IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Vol. 16, No. 2, summer 1387/2008

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Studies of petrography and petrogenesis of Incheh intrusive body, east of Heris, East-Azarbaidjan.

Gh. Hosseinzadeh[1, 2], M. Moayyed[1], A. A. Calagari[1, 2], B. Hajialilu[3], M. moazenzen[1]

1- Geology Department, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz 51664.
2- Research Institute for Fundamental Sciences, Tabriz University, Tabriz 51664.
3- Geology Department, Payame-Nour University, Tabriz.
E-mail: Hosseinzadehgh@Yahoo.com

(Received: 16/6/2007, in revised form: 4/2/2008)

Abstract: Incheh granitoid intrusive body is located in east of Heris, East-Azarbaidjan. It intruded the older rock units including the Sonajil sub-volcanic stock (upper Eocene-lower Oligocene) of micro-diorite porphyry composition. The Incheh intrusive ranges in composition from diorite through syeno-diorite to quartz-diorite. The major constituent minerals include plagioclase, hornblende, and pyroxene accompanied by minor amounts of biotite, alkali-feldspars, quartz, olivine, epidote, and tourmaline. These rocks feature dominantly porphyritic texture, however, granular, trachytoid, and ophitic textures are also sporadically present. The Incheh intrusive has been evolved by the influence of magmatic differentiation, fractional crystallization, assimilation, and crustal contamination. Chemical analyses show that the rocks of Incheh intrusive are chiefly metaluminous, and belong to high-K calc-alkaline to shoshonitic magma series. From the viewpoint of tectonic environment, the Incheh body was emplaced in a post-collision volcanic arc and an active continental margin setting.

Keywords: *Incheh, Sonajil; Okuzdaghi; Differentiation index; Calc-alkaline series; Post-collision arcs.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال شانزدهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۸۷، از صفحهٔ ۱۸۹ تا ۲۰۶

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

بررسی‌های سنگ‌شناسی و سنگ‌زایی تودهٔ نفوذی اینچه (شرق هریس، آذربایجان شرقی)

قادر حسین‌زاده[۱و۲]، محسن مؤید[۱]، علی اصغر کلاگری[۱و۲]، بهزاد حاجی‌علیلو[۳]، محسن مؤذن[۱]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲- انستیتو تحقیقات علوم پایه - تبریز

۳- گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور تبریز

پست الکترونیکی: Hosseinzadehgh@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۳/۲۶ ، نسخه نهایی: ۱۳۸۶/۱۱/۱۵)

چکیده: تودهٔ خارانمای (گرانیتوئیدی) اینچه در شرق هریس در استان آذربایجان‌شرقی واقع شده است. این توده به درون واحدهای سنگی قدیمی‌تر از جمله استوک نیمه آتشفشانی سوناجیل (ائوسن فوقانی – الیگوسن زیرین) با ترکیب میکرودیوریت پورفیری نفوذ کرده است. ترکیب تودهٔ نفوذی اینچه از دیوریت، سینودیوریت تا کوارتز دیوریت بوده و در نمودارهای سنگ‌شناسی در گسترهٔ دیوریت، سینودیوریت و کوارتزدیوریت قرار می‌گیرد. کانی‌های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و پیروکسن است و به صورت فرعی بیوتیت، فلدسپار قلیایی، کوارتز، الیوین، اپیدوت و تورمالین در آن دیده می‌شود. بافت غالب این سنگ‌ها پورفیری است، ولی بافت‌های دانه‌ای، تراکیتوئیدی و افیتیک نیز به صورت فرعی دیده می‌شوند. تودهٔ اینچه تحت تاثیر تفریق، تبلور بخشی و هضم و آلایش متحول شده است. تجزیه‌های شیمیائی نشان می‌دهند که سنگ‌های این توده غالباً متاآلومینوس بوده و به سری ماگمائی قلیایی- آهکی با پتاسیم بالا تا شوشونیتی تعلق دارند. از نظر محیط زمین ساختی، این توده در موقعیت قوس آتشفشانی پس برخوردی و حواشی فعال قاره‌ای جایگیری کرده است.

واژه‌های کلیدی: *اینچه، سوناجیل، اکوزداغی، شاخص تفریق، سری قلیایی-آهکی، قوس‌های پس از برخورد.*

مقدمه

گسترهٔ مورد مطالعه، در فاصلهٔ ۱۷ کیلومتری شرق شهر هریس در استان آذربایجان‌شرقی واقع شده است. در این منطقه از سال ۱۳۸۰ پروژه‌های مختلف زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و نیز پی جوییهایی در دو مرحله صورت گرفت و زمین‌شناسی اقتصادی منطقه نیز به تفصیل توسط مؤلف اول این مقاله از سال ۱۳۸۲ تاکنون بررسی شده است. با وجود پی جوییهای فراوانی که از سوی امور اکتشافات شرکت ملی صنایع مس ایران [۱- ۵] انجام گرفت، تاکنون بررسی دقیق و فراگیر سنگ شناسی در این منطقه صورت نگرفته است. تنها در قالب یک رسالهٔ کارشناسی ارشد [۶] روی برخی واحدهای سنگی مطالعاتی انجام شده است. لذا در این مقاله سعی شد تا سنگ شناسی، کانی‌شناسی، و سنگ‌زایی تودهٔ نفوذی اینچه به تفصیل مورد بررسی قرار گیرد. این کار پژوهشی می‌تواند در آگاهی از سنگ‌شناسی و سنگ‌زایی این توده و توده‌های نفوذی دیگر شمالغرب از قبیل تودهٔ شیورداغ، انزان، خانکندی و... مفید باشد.

روش مطالعه

بررسی‌های صحرائی و نمونه‌برداری سطحی از منطقهٔ مورد مطالعه طی چندین مرحله در سال‌های ۸۴ و ۸۵ صورت گرفت

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

که در نهایت نقشهٔ زمین‌شناسی و دگرسانی دقیق منطقه در مقیاس ۱/۵۰۰۰ تهیه شد. تعداد ۲۲ نمونه از تودهٔ نفوذی اینچه و دایک‌های وابسته به آن، پس از بررسی‌های دقیق کانی-شناسی به روش فلوئورسانی پرتو X (XRF) و پلاسمای جفت شده القائی (ICP) در آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا مورد تجزیه عناصر اصلی، فرعی، و کمیاب قرار گرفتند (جدول ۱). همچنین تعداد ۱۰ نمونه نیز در آزمایشگاه کانساران بینالود بروش XRF و ۵ نمونه نیز در دانشگاه لئوبن اطریش بروش ریز پردازی الکترونی (EPMA) بررسی شدند.

زمین‌شناسی

گسترهٔ مورد بررسی در رده‌بندی‌های زمین‌شناسی ایران در زون البرز – آذربایجان [۷] و زون آتشفشانی ترشیر- کواترنری [۸] قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های بارز این زون، فعالیت ماگمائی گستردهٔ ترشیری است که آغاز آن در ائوسن و نقطه اوج آن همراه با چین‌خوردگی گسترهٔ واحدهای آتشفشانی و آذرآواری، و جایگیری نفوذی‌های خارانما در الیگوسن (فاز پیرنه) بوده است [۹]. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی در این منطقه، نهشته-های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن تحتانی با ترکیب آندزیت مگاپورفیری، آندزیت تا آندزی‌بازالت و توف‌های وابسته بوده و توده نیمه عمیق سوناجیل پورفیری در زمان ائوسن فوقانی - الیگوسن بدرون آنها نفوذ کرده است. فعالیت نفوذی بعدی در این منطقه، تزریق تودهٔ دیوریتی، کوارتزدیوریتی تا مونزونیتی اینچه و دایک‌های وابسته به درون توده‌های آتشفشانی ائوسن و نیز تودهٔ سوناجیل پورفیری بوده‌اند که آثار دگرگونی در حد رخسارهٔ آلبیت– اپیدوت هورنفلس در مرز تماس آنها گسترش یافته است. در نهایت گدازه‌های تراکیتی، تراکی‌آندزیتی تا تراکی آندزیت بازالتی اکوزداغی با سن پلیو-کواترنری معرف جوانترین فاز ماگمائی در این منطقه است (شکل ۱).

جدول ۱ نتایج آنالیز نمونه‌های توده گرانیتوئیدی اینچه بروش XRF (اکسیدهای اصلی) و ICP عناصر فرعی و کمیاب.

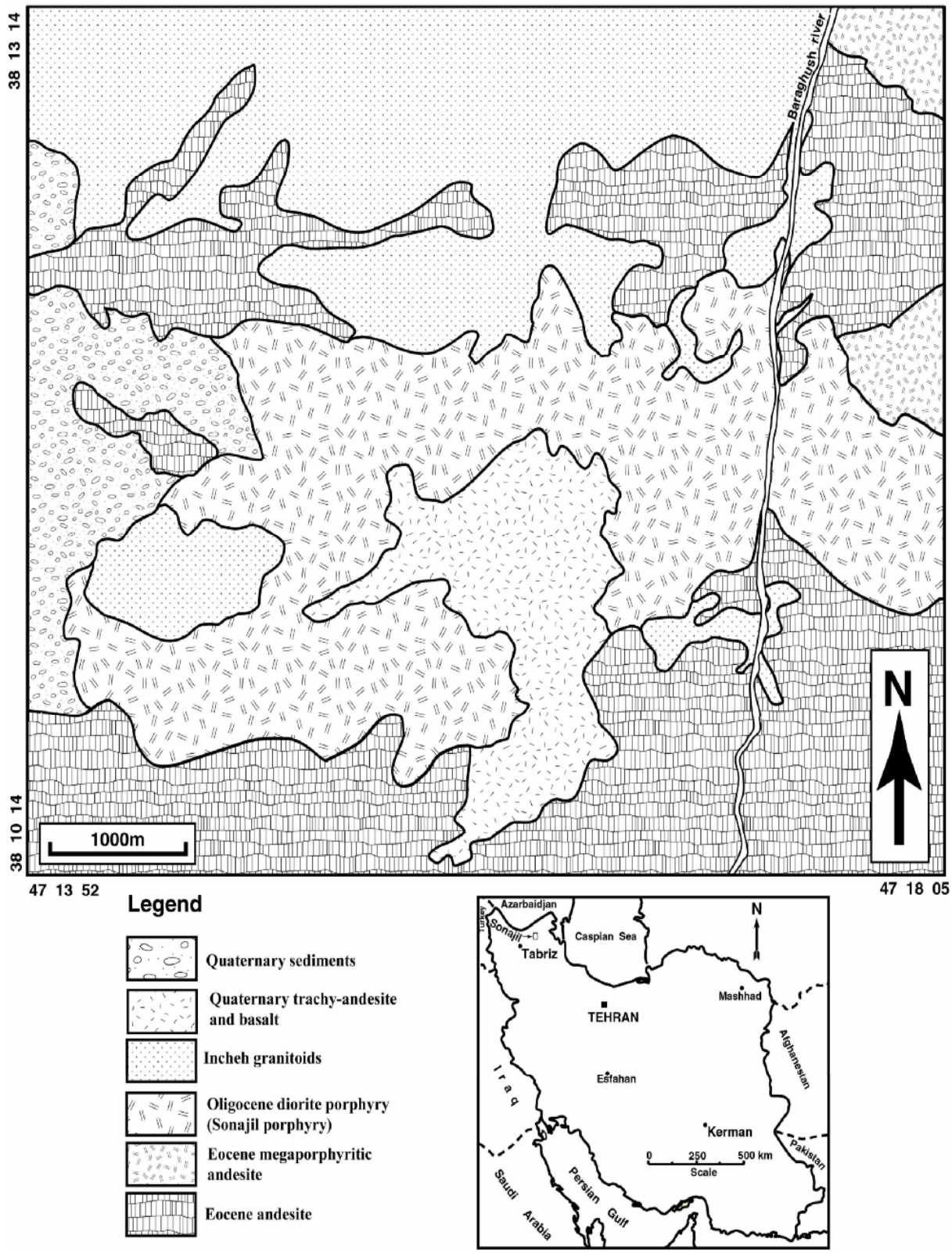
	G106	G16	G51	G58	G94	T18	T27	T28	T39	T40B	T44	T55	T56B	T8	T85	T87	T97	T111	T114	T119	T120B	T122
SiO_2 (%)	۵۹٫۵۷	۶۰٫۰۵	۵۹٫۳۳	۶۰٫۰۲	۵۷٫۳۳	۵۹٫۷۲	۵۲٫۰۹	۵۱٫۳۴	۵۴٫۱۶	۵۵٫۲۷	۵۳٫۹۸	۶۴٫۰۴	۶۵٫۷۱	۵۹٫۶۱	۵۳٫۹۳	۵۴٫۱۶	۵۳٫۹	۵۲٫۴۶	۵۲٫۷۴	۴۹٫۹۷	۵۱٫۴۵	۵۹٫۶۹
Al_2O_3(%)	۱۸٫۷۱	۱۷٫۷۱	۱۸٫۶	۱۸٫۸۶	۱۸٫۴۵	۱۸٫۷۳	۱۸٫۸۹	۱۸٫۹۵	۱۷٫۵۶	۱۷٫۱۳	۱۵٫۱۸	۱۸٫۳۴	۱۷٫۶۹	۱۸٫۰۲	۱۷٫۹۷	۱۹٫۳۶	۱۹٫۰۶	۱۸٫۲۵	۱۸٫۶۱	۱۸٫۵۳	۱۹٫۰۹	۱۸٫۸۲
FeO (%)	۲٫۰۱	۲٫۲۲	۱٫۸۲	۱٫۸	۲٫۹۳	۲٫۲۷	۴٫۵۶	۴٫۸	۳٫۴۶	۳٫۴۲	۲٫۶۷	۱٫۵۶	۱٫۴۲	۳٫۴۳	۳٫۷۵	۴٫۱۳	۳٫۴	۴٫۳۳	۴٫۱۴	۴٫۳۲	۴٫۵۲	۱٫۸۲
Fe_2O_3 (%)	۲٫۱	۲٫۲۳	۱٫۹۴	۱٫۹۶	۲٫۶۷	۲٫۰۵	۳٫۱۷	۳٫۴۱	۲٫۶۱	۲٫۹۶	۱٫۸۹	۱٫۶۶	۱٫۵۳	۳٫۰۴	۳٫۳۳	۳٫۰۵	۳٫۰۱	۳٫۳۷	۳٫۹	۳٫۰۱	۳٫۴۲	۲٫۲۹
CaO (%)	۴٫۸۱	۴٫۹۸	۴٫۷۹	۵٫۲۲	۵٫۹۲	۵٫۶۵	۶٫۵۴	۶٫۲۹	۶٫۴۳	۶٫۴۶	۸٫۵	۳٫۰۶	۳٫۲۶	۵٫۳۵	۴٫۴۱	۵٫۷۷	۴٫۸۱	۵٫۶۷	۵٫۴۴	۶٫۴۴	۵٫۹۱	۲٫۴
MgO (%)	۱٫۳۳	۱٫۵۴	۱٫۰۲	۱٫۲۸	۲٫۰۸	۰٫۶	۳٫۴۹	۳٫۷۷	۴٫۲۱	۳٫۷۸	۲٫۳۱	۰٫۸۳	۰٫۷۵	۱٫۴۶	۳٫۲۲	۳٫۶۶	۳٫۲۵	۴٫۰۵	۳٫۸۱	۳٫۵۷	۳٫۹۵	۱٫۲۹
Na_2O (%)	۴٫۷۴	۴٫۲۵	۴٫۸۱	۵٫۰۵	۴٫۰۲	۴٫۵	۳٫۵۳	۳٫۴۷	۳٫۸۱	۴٫۱۱	۲٫۸۲	۶٫۰۹	۵٫۸۳	۴٫۵۸	۴٫۹۵	۳٫۵۶	۳٫۵۷	۳٫۱۲	۳٫۵۵	۳٫۳۵	۳٫۹۲	۴٫۶۶
K_2O (%)	۲٫۶۵	۲٫۸۱	۲٫۷۵	۲٫۱۹	۲٫۲۵	۲٫۵۶	۲٫۶۴	۲٫۶۵	۲٫۴۱	۲٫۳۳	۲٫۸۵	۱٫۸۲	۱٫۸۱	۲٫۴۴	۳٫۰۳	۲٫۴۹	۴٫۴۸	۳٫۷۴	۳٫۶۴	۳٫۰۲	۲٫۸۴	۵٫۹۴
TiO_2 (%)	۰٫۵۱	۰٫۵	۰٫۴۸	۰٫۵	۰٫۷	۰٫۴۹	۰٫۸۲	۰٫۷۷	۰٫۶۹	۰٫۶۵	۰٫۷۲	۰٫۴۲	۰٫۴۳	۰٫۵۴	۰٫۶۸	۰٫۷۵	۰٫۷۷	۰٫۹۲	۰٫۸۷	۰٫۸۲	۰٫۸۷	۰٫۵۸
MnO (%)	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۱	۰٫۰۸	۰٫۱۷	۰٫۱۹	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۸	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۱۵	۰٫۱۹	۰٫۲۴	۰٫۱۳	۰٫۱۷	۰٫۱۳
P_2O_5 (%)	۰٫۲۴	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۲۲	۰٫۲۸	۰٫۲۶	۰٫۱۹	۰٫۲	۰٫۲۶	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۲۴	۰٫۳۷	۰٫۲۹	۰٫۳۶	۰٫۳۹	۰٫۳۸	۰٫۴۱	۰٫۴۴	۰٫۲۵
LOI (%)	۲٫۰۲	۱٫۶۹	۲٫۳۷	۱٫۸۳	۲٫۶۱	۲٫۷۴	۱٫۴۱	۲٫۵۷	۲٫۸۶	۱٫۲۲	۸٫۱۱	۱٫۴۵	۰٫۹۳	۱٫۹۳	۳٫۲۴	۱٫۷۲	۲٫۴۲	۲٫۵۱	۱٫۹۷	۵٫۳۶	۲٫۳۵	۱٫۵۵
Total	۹۹٫۲۵	۹۸٫۷۹	۹۸٫۶۴	۹۹٫۳۴	۹۹٫۹	۱۰۰٫۱	۹۸٫۴۷	۹۹٫۴۳	۹۹٫۲۲	۹۸٫۱۳	۹۹٫۹۲	۹۹٫۸۳	۹۹٫۹۴	۹۹٫۹۷	۹۹٫۹۱	۹۹٫۹۴	۹۹٫۸۹	۹۹٫۸۵	۹۹٫۶۱	۹۹٫۷۷	۹۹٫۸۳	۹۹٫۸۶

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

ادامه جدول ۱

	G106	G16	G51	G58	G94	T18	T27	T28	T39	T40B	T44	T55	T56B	T8	T85	T87	T97	T111	T114	T119	T120B	T122
Ba (ppm)	۱۰۱۵	۱۰۱۰	۹۹۱	۹۶۰	۹۹۷	۹۷۷	۹۴۶	۱۰۶۰	۹۳۰	۹۱۸	۶۴۰	۸۳۹	۱۵۱۰	۹۸۴	۱۱۰۵	۱۳۲۵	۹۴۵	۹۴۳	۱۰۵۵	۹۶۰	۱۰۱۰	۱۲۰۵
Ce (ppm)	۴۲٫۸	۴۴٫۶	۳۶٫۵	۴۰٫۴	۳۸٫۲	۴۰٫۱	۴۶٫۴	۴۱٫۴	۳۳٫۶	۳۷٫۳	۴۳٫۵	۲۵٫۸	۲۶٫۴	۴۳٫۳	۵۳٫۵	۴۹	۷۴٫۶	۶۴٫۸	۶۱٫۲	۵۷٫۳	۶۳٫۲	۸۸٫۵
Co (ppm)	۱۲	۱۱٫۱	۹٫۸	۹٫۷	۱۴٫۶	۱۱٫۹	۲۲٫۱	۲۲٫۷	۱۹٫۸	۲۱٫۷	۱۷	۷	۵٫۲	۱۲٫۸	۱۷٫۲	۱۹	۱۹	۲۱	۱۸٫۶	۲۲٫۸	۲۲٫۹	۵٫۵
Cr (ppm)	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۹۰	۱۰	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
Cs (ppm)	۱٫۵۴	۳٫۸۳	۶٫۳۸	۴٫۴۴	۴٫۴۸	۵٫۱۸	۴٫۳۲	۶٫۵۶	۳٫۲۸	۲٫۸۹	۳٫۱۳	۴٫۸۳	۲٫۵۲	۳٫۷۷	۵۰٫۲	۶٫۲۵	۵٫۲۲	۳٫۳۹	۹٫۲۳	۱٫۲۲	۲٫۴۱	۷٫۳۴
Cu (ppm)	۱۰۲	۶۹	۱۴۰	۶۱	۴۴	۱۴۰	۱۳۵	۱۳۳	۱۲۲	۲۳۵	۴۶	۲۸۴	۲۷۳	۱۳۸	۱۸۲	۱۰۳	۴۱	۱۸۶	۱۰۴	۹۴	۷۳	۳۰
Dy (ppm)	۱٫۹۵	۲٫۱۳	۱٫۸۷	۱٫۸۲	۲٫۶۱	۲٫۲۳	۳٫۲۸	۳٫۱۴	۲٫۵۷	۲٫۷۸	۲٫۰۹	۱	۰٫۹۳	۲٫۱۸	۲٫۹۳	۳٫۱	۳٫۸۲	۳٫۹۶	۳٫۸۹	۳٫۲۴	۳٫۵	۴٫۳۲
Eu (ppm)	۰٫۸۸	۰٫۸۷	۰٫۸۱	۰٫۹۳	۱٫۰۲	۰٫۹۱	۱٫۳۸	۱٫۳	۰٫۹۶	۱٫۰۲	۰٫۹۶	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۹۶	۱٫۳۸	۱٫۳۳	۱٫۴۲	۱٫۴۸	۱٫۶۴	۱٫۵	۱٫۵۴	۱٫۶
Gd (ppm)	۲٫۸	۳٫۰۲	۲٫۵۸	۲٫۸۱	۳٫۳۶	۲٫۷۸	۴٫۳۹	۳٫۹۷	۳٫۱	۳٫۲۱	۳	۱٫۴۹	۱٫۵۶	۲٫۸۳	۴٫۰۹	۴٫۰۵	۵٫۰۷	۵٫۴۷	۵٫۲۶	۴٫۶۳	۴٫۸	۵٫۶۹
Hf (ppm)	۳٫۶	۴٫۳	۳٫۷	۳٫۵	۳٫۵	۳٫۷	۳٫۹	۳٫۱	۳٫۲	۳٫۳	۳٫۱	۳	۳٫۳	۳٫۶	۲٫۸	۳٫۷	۵٫۸	۵٫۳	۵٫۱	۳٫۱	۳٫۷	۷٫۵
Ho (ppm)	۰٫۳۸	۰٫۴۳	۰٫۳۷	۰٫۳۶	۰٫۵۱	۰٫۴۶	۰٫۶۷	۰٫۶۴	۰٫۵۲	۰٫۵۶	۰٫۵۱	۰٫۲۱	۰٫۱۹	۰٫۵۱	۰٫۶۸	۰٫۷۱	۰٫۸۷	۹٫۰	۰٫۸۷	۰٫۷۲	۰٫۸	۰٫۹۹
La (ppm)	۲۴٫۱	۲۵٫۴	۲۰٫۷	۲۲٫۴	۲۰٫۴	۲۱٫۶	۲۴٫۹	۲۲٫۲	۱۸٫۴	۱۹٫۸	۲۴٫۶	۱۳٫۶	۱۴	۲۳٫۲	۲۸٫۶	۲۵٫۴	۴۰	۳۲٫۹	۳۱٫۵	۳۰٫۹	۳۳٫۲	۴۸٫۵
Lu (ppm)	۰٫۱۸	۰٫۲۱	۰٫۱۵	۰٫۱۴	۰٫۲۲	۰٫۱۹	۰٫۲۸	۰٫۲۷	۰٫۲۲	۰٫۲۳	۰٫۲۱	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۲۱	۰٫۲۶	۰٫۲۸	۰٫۴۱	۰٫۳۶	۰٫۳۵	۰٫۲۸	۰٫۳۱	۰٫۴۸
Nb (ppm)	۶٫۷	۹	۶٫۴	۶٫۳	۷٫۶	۷٫۸	۷٫۸	۶٫۳	۵٫۹	۶٫۷	۱۲٫۲	۵٫۴	۵٫۷	۷٫۹	۶٫۶	۸٫۹	۲۰٫۲	۱۲٫۸	۱۳	۹٫۴	۱۰٫۶	۲۳٫۸
Nd (ppm)	۱۸٫۱	۱۸٫۵	۱۶	۱۷٫۶	۱۷٫۴	۱۷٫۲	۲۱٫۶	۲۰٫۴	۱۵٫۶	۱۷٫۴	۱۶٫۹	۱۰٫۵	۱۰٫۷	۱۸٫۲	۲۳٫۳	۲۲٫۴	۲۹٫۵	۲۹٫۷	۲۸٫۶	۲۵٫۷	۲۷	۳۴٫۷
Ni (ppm)	۱۱	۷	۷	۹	۹	۸	۱۳	۱۲	۳۳	۳۴	۷۹	۹	۸	۱۱	۱۰	۱۵	۱۳	۱۵	۱۲	۱۱	۱۲	۷
Pb (ppm)	۱۳	۲۱	۱۶	۲۴	۱۲	۱۶	۱۸	۱۰	۹	۱۲	۱۲	۱۰	۱۰	۱۷	۸	۱۱	۱۱	۱۰	۶	۱۷	۱۰	۲۳
Rb (ppm)	۶۵	۹۰٫۴	۸۶٫۵	۵۴٫۷	۵۹٫۵	۷۶	۷۱٫۹	۵۹٫۳	۵۱٫۲	۵۷	۸۰٫۱	۴۰	۴۰٫۳	۷۵٫۶	۷۶	۶۶٫۶	۱۵۹٫۵	۸۹٫۷	۱۰۵٫۵	۶۴٫۶	۵۷	۱۹۴
Sm (ppm)	۳٫۳۱	۳٫۳۶	۲٫۸۹	۳٫۱۹	۳٫۳۵	۳٫۲۲	۴٫۵۸	۴٫۲۶	۳٫۱۶	۳٫۶	۳٫۰۳	۱٫۸	۱٫۸۶	۳٫۳۱	۴٫۵۱	۴٫۳۸	۵٫۸۳	۵٫۸۸	۵٫۷۴	۴٫۹۲	۵٫۲۴	۶٫۲۳
Sr (ppm)	۱۰۱۰	۹۳۱	۱۰۳۰	۹۴۸	۸۵۸	۹۱۹	۸۹۰	۸۳۷	۶۴۴	۹۵۶	۵۹۵	۹۹۳	۱۰۳۰	۹۹۰	۱۱۱۵	۷۸۸	۷۸۸	۸۵۵	۸۹۲	۹۹۲	۹۲۸	۵۱۰
Ta (ppm)	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۷	۰٫۹	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۷	۰٫۵	۰٫۵	۱٫۳	۰٫۸	۰٫۹	۰٫۶	۰٫۷	۱٫۴
Tb (ppm)	۰٫۳۸	۰٫۴	۰٫۳۴	۰٫۳۸	۰٫۴۸	۰٫۴۱	۰٫۶۲	۰٫۶	۰٫۴۷	۰٫۵	۰٫۳۹	۰٫۱۶	۰٫۱۵	۰٫۳۹	۰٫۵۵	۰٫۵۶	۰٫۶۹	۰٫۷۴	۰٫۷۵	۰٫۶	۰٫۶۸	۰٫۸۳
Th (ppm)	۴٫۹۸	۸٫۷۴	۵٫۳۴	۴	۴٫۳۸	۶٫۳۴	۷٫۵۱	۵٫۶۱	۴٫۷۱	۵٫۳۱	۶٫۷۸	۲٫۴۹	۲٫۷۲	۶٫۳۶	۵٫۳۸	۷٫۴۲	۱۸٫۸۵	۱۱٫۵۵	۱۱٫۱	۸٫۳۸	۹٫۶۱	۲۲٫۳
Tm (ppm)	۰٫۱۶	۰٫۱۹	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۲۱	۰٫۱۹	۰٫۲۷	۰٫۲۶	۰٫۲۲	۰٫۲۳	۰٫۱۷	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۱۷	۰٫۲۴	۰٫۲۶	۰٫۳۵	۰٫۳۳	۰٫۳۳	۰٫۲۴	۰٫۲۸	۰٫۴۵
U (ppm)	۱٫۵۲	۲٫۶۵	۱٫۶۴	۱٫۲۴	۱٫۴۴	۲٫۱	۲٫۳۳	۱٫۷۴	۱٫۴۹	۱٫۶۷	۱٫۹۳	۰٫۸۹	۰٫۸۵	۲٫۲	۱٫۷۵	۱٫۸۹	۵٫۶۳	۳٫۵۵	۳٫۳۳	۲٫۴۴	۲٫۹۴	۶٫۷۲
V (ppm)	۱۰۸	۱۱۶	۱۱۲	۱۱۰	۱۷۷	۱۲۰	۲۲۵	۲۳۵	۲۰۶	۲۰۳	۱۴۰	۸۳	۸۳	۱۴۵	۲۱۲	۲۰۵	۲۰۱	۲۵۵	۲۳۹	۲۴۱	۲۷۳	۸۸
Y (ppm)	۱۰٫۵	۱۲٫۲	۱۰٫۲	۹٫۸	۱۳٫۸	۱۲	۱۶٫۸	۱۶٫۶	۱۳٫۹	۱۴٫۳	۱۳٫۴	۶٫۱	۵٫۶	۱۳٫۴	۱۷٫۲	۱۷٫۴	۲۲٫۱	۲۲٫۲	۲۲	۱۸٫۴	۱۹٫۴	۲۵٫۵
Yb (ppm)	۱٫۰۴	۱٫۲۴	۰٫۹۸	۰٫۹۴	۱٫۳۸	۱٫۲۶	۱٫۸	۱٫۷۳	۱٫۴۸	۱٫۶	۱٫۲۲	۰٫۴۸	۰٫۴۹	۱٫۱۹	۱٫۶۱	۱٫۷۲	۲٫۳۶	۲٫۱۹	۲٫۰۱	۱٫۷	۱٫۸	۲٫۷۶
Zr (ppm)	۱۰۹	۱۲۸٫۵	۱۱۳٫۵	۱۱۳٫۵	۱۰۷٫۵	۱۱۰٫۵	۱۱۸	۹۱٫۶	۹۰٫۷	۹۷٫۵	۱۲۳	۱۱۹	۱۲۸٫۵	۱۳۴٫۵	۱۰۷	۱۵۱٫۵	۲۴۹	۲۱۰	۲۰۵	۱۲۶	۱۵۲٫۵	۳۲۰

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]



شکل ۱ نقشهٔ زمین‌شناسی ساده شده منطقهٔ مورد مطالعه.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

سنگ شناسی توده‌های نفوذی

تودهٔ نفوذی اینچه در بخش بزرگی از منطقهٔ مورد مطالعه نفوذ کرده و همبری مشخصی با توده‌های آتشفشانی و نیمه عمیق قدیمی‌تر نشان می‌دهد. دایک‌های ریشه گرفته از این توده نیز در بخش‌های مختلف توده‌های ائوسن نفوذ کرده‌اند. در نمونه-های دستی، این سنگ‌ها به رنگ قهوه‌ای روشن با بافت دانه دار بوده و بلورهای نسبتاً درشت پلاژیوکلاز در آنها به چشم می-خورند. کانی‌های اصلی توده‌های نفوذی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند، و بافت‌های غالب در این سنگ‌ها شامل پورفیریک با خمیرهٔ ریز تا درشت بلور (شکل a-۲)، دانه دار (شکل d-۲)، افیتیک و تراکیتوئیدی هستند. درشت بلورهای موجود در این سنگ‌ها بیشتر به صورت پلاژیوکلاز (شکل a-۲، b-۲ و c-۲) و به ندرت پیروکسن (شکل e-۲)، هورنبلند (شکل f-۲) و بیوتیت (شکل g-۲) دیده می‌شوند.

پلاژیوکلاز (۷۰٪ - ۵۰٪) از نظر ترکیبی در حد آندزین-الیگوکلاز بوده (۳۶/۶ - ۵۷/۷ = %An)، هم به صورت درشت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با ماکل پریکلین و آلبیتی (کوچکتر از ۷ میلیمتر) با منطقه‌بندی نوسانی و هم مرکز (شکل b-۲)، و هم به صورت ریز دانه و میکرولیتی در زمینهٔ سنگ حضور دارند. در بیشتر بلورهای پلاژیوکلاز، بافت غربالی به چشم می‌خورد. پلاژیوکلازها بطور بخشی به کانی‌های ثانویه از قبیل کلسیت (شکل a-۲) ، سریست، اپیدوت (شکل d-۲)، کلریت، کوارتز و کانی‌های رسی (شکلc-۲) دگرسان شده و اغلب حاوی میانبارهایی از آپاتیت، زیرکن و پیروکسن هستند. میانبارهایی پیروکسن حاکی از تبلور مقدم کلینوپیروکسن نسبت به پلاژیوکلاز بوده‌اند، به طوری که افزایش فشار بخار آب سبب افزایش گسترهٔ پایداری کلینوپیروکسن و کاهش پایداری پلاژیوکلاز شده است [۱۰].

پیروکسن (۲۰ - ۰٪) از نوع کلینوپیروکسن (اوژیت) بوده است و به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار (۲mm>) دیده می-شود (شکل e-۲). این کانی‌ها شدیداً به کلریت، کلسیت، کانی-های کدر، اکتینولیت و به مقدار کمتر به هورنبلند، اورالیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند.

آمفیبول (۲۰ - ۰٪) بیشتر از نوع هورنبلند بوده و به صورت بلورهای متوسط (۳mm>) شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار حضور دارد (شکل f-۲). این کانی بیشتر به کانی‌های ثانویه‌ای مانند کلسیت، کلریت، کوارتز و پرهنیت و به ندرت بیوتیت دگرسان شده است، به طوریکه گاهی سودومورف این کانی‌ها با کانی‌های ثانوی دیده می‌شود. به نظر می‌رسد که برخی از آمفیبول‌ها (هورنبلند و ترمولیت - اکتینولیت) در نتیجه دگرسانی پیروکسن‌ها حاصل شده باشند.

بیوتیت (۱۵ - ۰٪) به صورت صفحات ریز تا متوسط (۲mm>) حضور دارند و در بیشتر موارد به طور بخشی به کلریت (پنین) و اکسید آهن (هماتیت و گوتیت) تبدیل شده است (شکل g-۲). برخی از پولک‌های ریز بیوتیت ثانوی و محصول دگرسانی هورنبلندها هستند. این پولک‌ها گاهی تا ۱۵٪ حجم سنگ را تشکیل می‌دهند. برخی از بیوتیت‌های اولیه شکل خمیده (Kink band) داشته که نشانگر تنشهای وارده به آنها بطور همزمان یا پس از جایگیری تودهٔ نفوذی است.

آلکالی فلدسپار (۱۵ - ۰٪) بیشتر اورتوز، در زمینهٔ ریز دانه سنگ و برخی بصورت درشت‌دانه حضور داشته و بطور بخشی به سرسیت دگرسان شده است.

کوارتز (۱۵ - ۰٪) به صورت اولیه و ثانویه در چند نمونه دیده شد که به صورت میان بلوری ریزدانه در متن سنگ یا رگچه‌ای(شکل h-۲) دیده می‌شود.

الیوین (۵٪>) به مقدار اندک و در اندازه‌های ریز (۵۰۰μm>) در برخی از نمونه‌ها حضور داشته و برخی از آنها به کانی‌های رشته‌ای مانند آنتوفیلیت تبدیل شده است.

کلسیت (۵ - ۰٪) بیشترحاصل دگرسانی پلاژیوکلازها و کانی‌های آهن – منیزیم‌دار بوده (شکل a-۲) و به صورت سودومورف کانی‌های اولیه، پرکنندهٔ فضاهای خالی و نیز به همراه مقادیر زیادی کلریت، اپیدوت و اورالیت کدر دیده می-شود.

اپیدوت (۳٪>) به صورت ریز دانه تا متوسط حاصل از دگرسانی پلاژیوکلازها (شکل d-۲) و کانی‌های آهن – منیزیم‌دار همراه با کانی‌های ثانویهٔ دیگر دیده می‌شود.

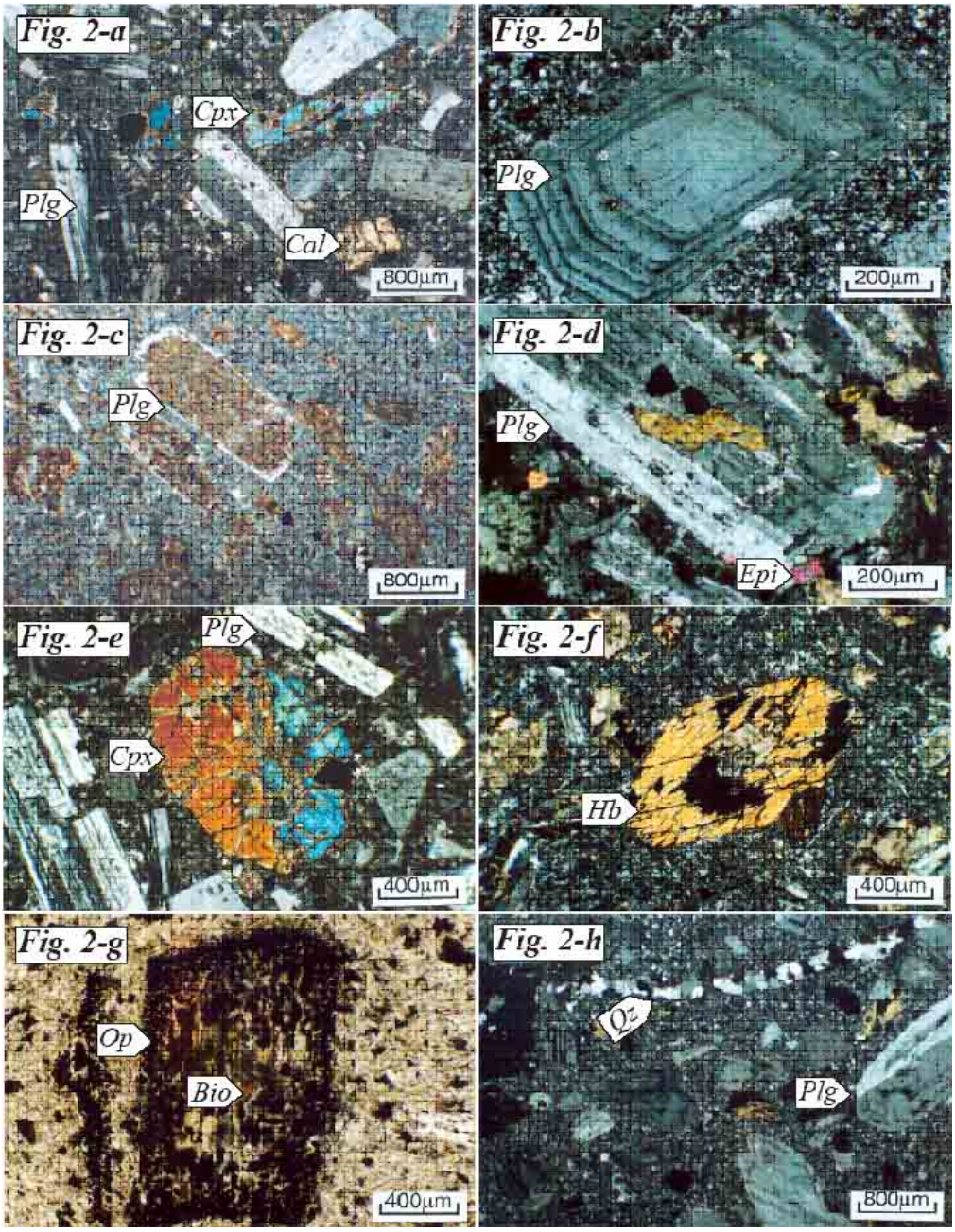
تورمالین (۵٪≤) بیشتر به صورت پولک‌های ریز و پراکنده و نیز به صورت اسفرولیتی و شعاعی دیده می‌شود. این کانی یا در زمینهٔ سنگ و یا به صورت لکه‌هائی درون درشت بلورهای پلاژیوکلاز حضور داشته و بنظر می‌رسد که از دگرسانی پلاژیوکلازها حاصل شده باشد.XRD و ریزپردازش این سنگ‌ها نشان می‌دهد که تورمالین‌ها از نوع دراویت (سدیم و منیزیم-دار) هستند.

آپاتیت به شکل تیغه‌های نسبتاً بلند و نازک بیشتر به صورت میانبار در درشت بلورهای پلاژیوکلاز یا در زمینهٔ ریزدانه

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

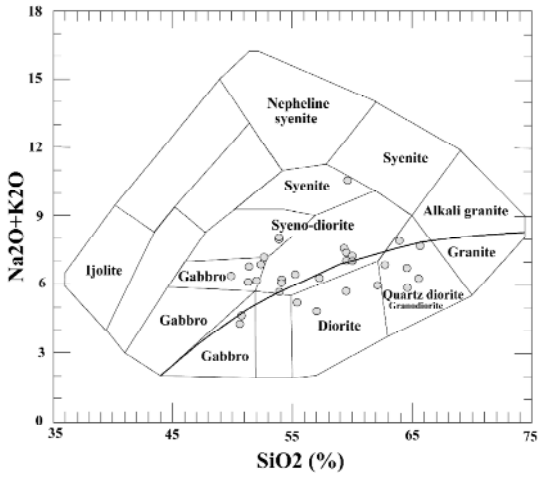
سنگ و زیرکن به مقدار فراوان در متن سنگ یا در درون درشت بلورها حضور دارد.

بنابراین از نظر کانی‌شناختی، نمونه‌های تودهٔ اینچه دارای ترکیب دیوریت تا کوارتزدیوریتی هستند، ولی در رده‌بندی شیمیائی در نمودار (TAS) SiO_2 - ($Na_2O + K_2O$) [۱۱] بخش بیشتر نمونه‌ها در گسترهٔ کوارتزدیوریت (گرانودیوریت)، سینودیوریت، و دیوریت و تعداد معدودی از آنها در گسترهٔ گابرو قرار می‌گیرند (شکل۳). در نمودار ($Zr/TiO_2 \times 0.0001$)-(Nb/Y) [۱۲] نیز تعداد زیادی از نمونه‌ها در گسترهٔ دیوریت و سینودیوریت و اندکی از آنها نیز در گسترهٔ گابروئی قرار می‌گیرند (شکل ۴).

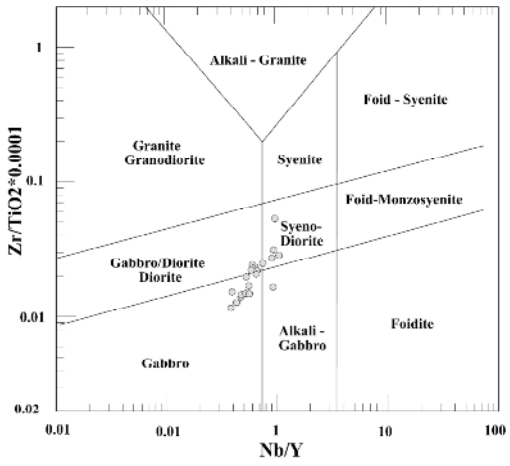


شکل۲ a - بافت پورفیری در تودهٔ اینچه (XPL)، **b**- منطقه‌بندی هم مرکز در پلاژیوکلاز (XPL)، **c**- تجزیهٔ پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی(XPL)، **d**- تبدیل پلاژیوکلاز به اپیدوت و دیگر کانی‌های ثانویه (XPL)، **e**- درشت‌بلور کلینوپیروکسن (XPL)، **f**- درشت‌بلور شکل‌دار هورنبلند (XPL)، **g**- درشت‌بلور بیوتیت اپاسیتی شده (PPL)،**h** - کوارتز به صورت رگچه‌ای و زمینه‌ای (XPL).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]



شکل ۳ موقعیت نمونه‌ها در دیاگرام TAS [۱۱].



شکل ۴ موقعیت نمونه‌ها در دیاگرام $Nb/Y-Zr/TiO_2*0.0001$ [۱۲].

پتروشیمی

درصد سلیس نمونه‌های تودهٔ نفوذی اینچه از ۴۹٫۹۷٪ تا ۶۵٫۷۱٪ متغیر، و میانگین درصد سیلیس در آنها ۵۷٫۳٪ است. بیشترین و کمترین میزان $Na_2O + K_2O$ در این سنگ‌ها به ترتیب ۱۰٫۶ و ۴٫۲۸٪ با میانگین ۶٫۶۲٪ است. میزان Na_2O/K_2O این سنگ‌ها بالاست و در بیش از ۸۰٪ نمونه‌ها به بیش از یک می‌رسد. درصد آلومین تودهٔ نفوذی بین ۱۵٫۱۸ تا ۱۹٫۴٪ با میانگین ۱۸٫۱۷٪ است و اغلب ویژگی متاآلومینوس از خود نشان می‌دهند. این سنگ‌ها به ندرت در گسترهٔ پرآلومینوس قرار می‌گیرند (شکل ۱۴). میزان TiO_2 پایین و از ۰٫۳۸ تا ۰٫۹۲ با میانگین ۰٫۶۲ متغیر است. همهٔ نمونه‌های تجزیه شده در ترکیب ساختاری خود دارای کوارتز در گسترهٔ بین ۰٫۵٪ تا ۲۴٫۱٪ با میانگین ۱۰٫۱٪ است. الیوین و نفلین نورماتیو در هیچیک از نمونه‌ها مشاهده نشده است. میزان آنورتیت نورماتیو از ۱۰٫۷٪ تا ۳۴٫۴٪ ، ارتوز نورماتیو از ۱۰٫۴٪ تا ۳۵٫۸٪ و آلبیت نورماتیو از ۱۹٪ تا ۵۲٪ متغیر است.

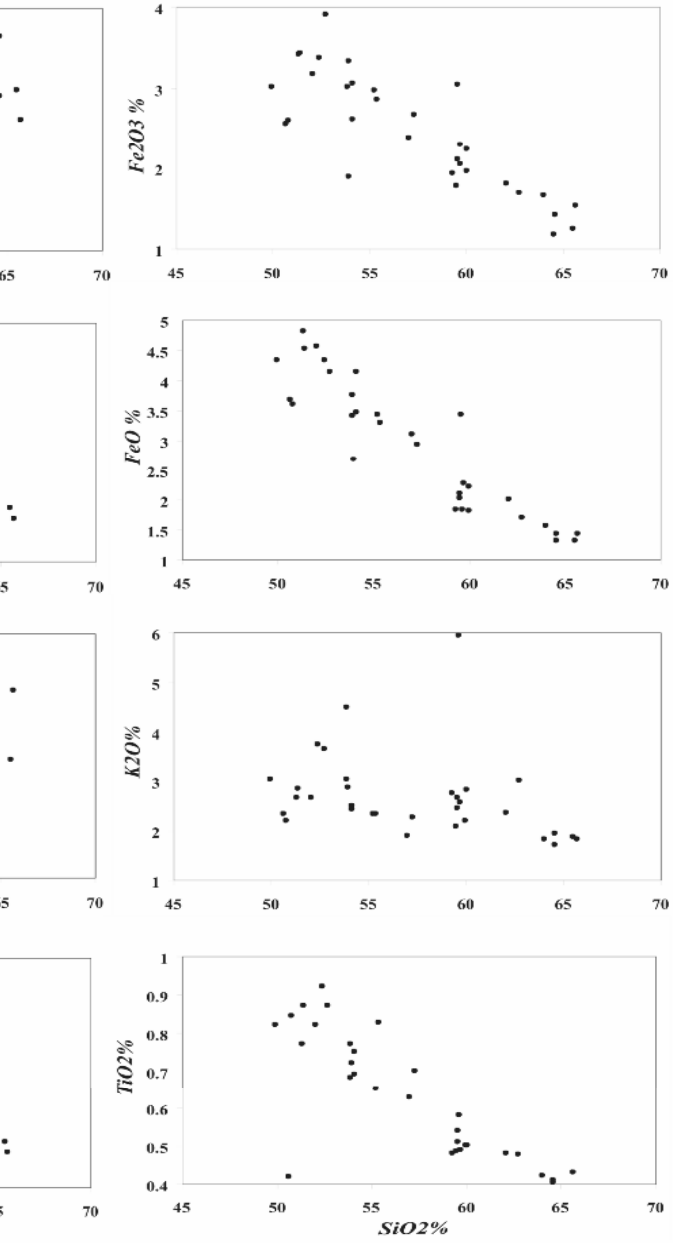
ژئوشیمی عناصر اصلی

برای بررسی روند تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی این سنگ‌ها و تعیین مسیر تحولات ماگمائی از نمودارهای اکسید – اکسید [۱۳] و شاخص تفریق [۱۴] در مقابل اکسیدهای عناصر اصلی استفاده شده است. در نمودارهای هارکر (شکل ۵) روند تغییرات نسبتاً منظم است. در این نمودارها، با افزایش میزان SiO_2 مقادیر Fe_2O_3،FeO، CaO، MgO، و TiO_2 سیر نزولی نشان می‌دهند. این فرایند می‌تواند مبین تشکیل تیتانومگنتیت، پیروکسن، پلاژیوکلاز، و آپاتیت و جدایش آنها از آبگون سیلیکاته باشد که سبب تحولات کانی‌شناسی و ژئوشیمیائی در تودهٔ نفوذی می‌شوند. البته نبایستی منطقه‌بندی ترکیبی تودهٔ نفوذی را نیز از نظر دور داشت. در مورد تغییرات CaO، دو روند نزولی با شیب متفاوت قابل مشاهده است که اولی با شیب تند در گسترهٔ SiO_2، ۵۵٪ - ۵۰٪ مربوط به تبلور بخشی پلاژیوکلاز کلسیک است که روند MgO و ثابت بودن مقدار آن در این گسترهٔ مؤید آن است و دومی با شیب نزولی ملایم‌تر در گسترهٔ SiO_2، ۶۷٪ - ۵۵٪ مربوط به تبلور بخشی همزمان کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز کلسیم دار است. روند کاملاً مشابه تغییرات MgO، FeO، و CaO نیز می‌تواند نشانگر تبلور بخشی کلینوپیروکسن باشد. روند نزولی شدید TiO_2 نیز نشانی از مشارکت Ti در ساختار مگنتیت، پیروکسن و کانی‌های دیگر آهن – منیزیم‌دار است. روند نسبتاً ثابت و تقریباً افقی Al_2O_3 بیانگر تفریق بخشی پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم است. روند صعودی چشمگیر Na_2O نشانگر تبلور بخشی پلاژیوکلاز و تشکیل پلاژیوکلاز سدیک با افزایش سیلیس ماگما بوده و پراکندگی و روند ثابت K_2O نیز می‌تواند مربوط به فرایندهای ذوب بخشی و نیز اختلاط ماگمائی و آلایش باشد.

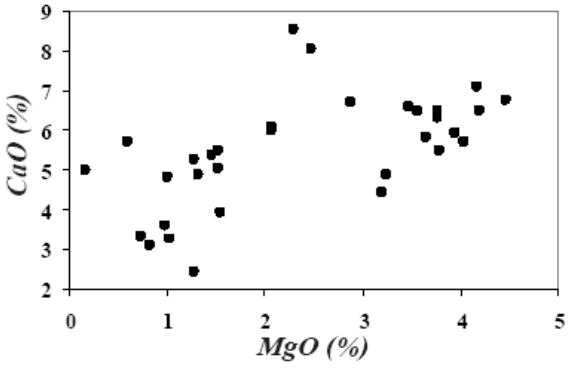
در نمودار CaO -MgO (شکل ۶) یک روند کلی صعودی مشاهده می‌شود که نشانگر مصرف همزمان MgO و CaO بوده و دال بر تبلور بخشی کلینوپیروکسن و تفریق ماگمای مولد است. این ویژگی از نمودارهای متغیر نیز قابل استنباط است. نمودارهای DI بر حسب اکسیدهای عناصر اصلی (شکل ۷) نیز روندهایی مشابه با نمودارهای هارکر را نشان می‌دهند. در این نمودارها SiO_2 وNa_2O روندی صعودی، Fe_2O_3، MgO، TiO_2، و CaO روندی نزولی، Al_2O_3 روندی تقریباً

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

افقی و K_2O روندی افقی و نسبتاً پراکنده از خود نشان می-دهند.

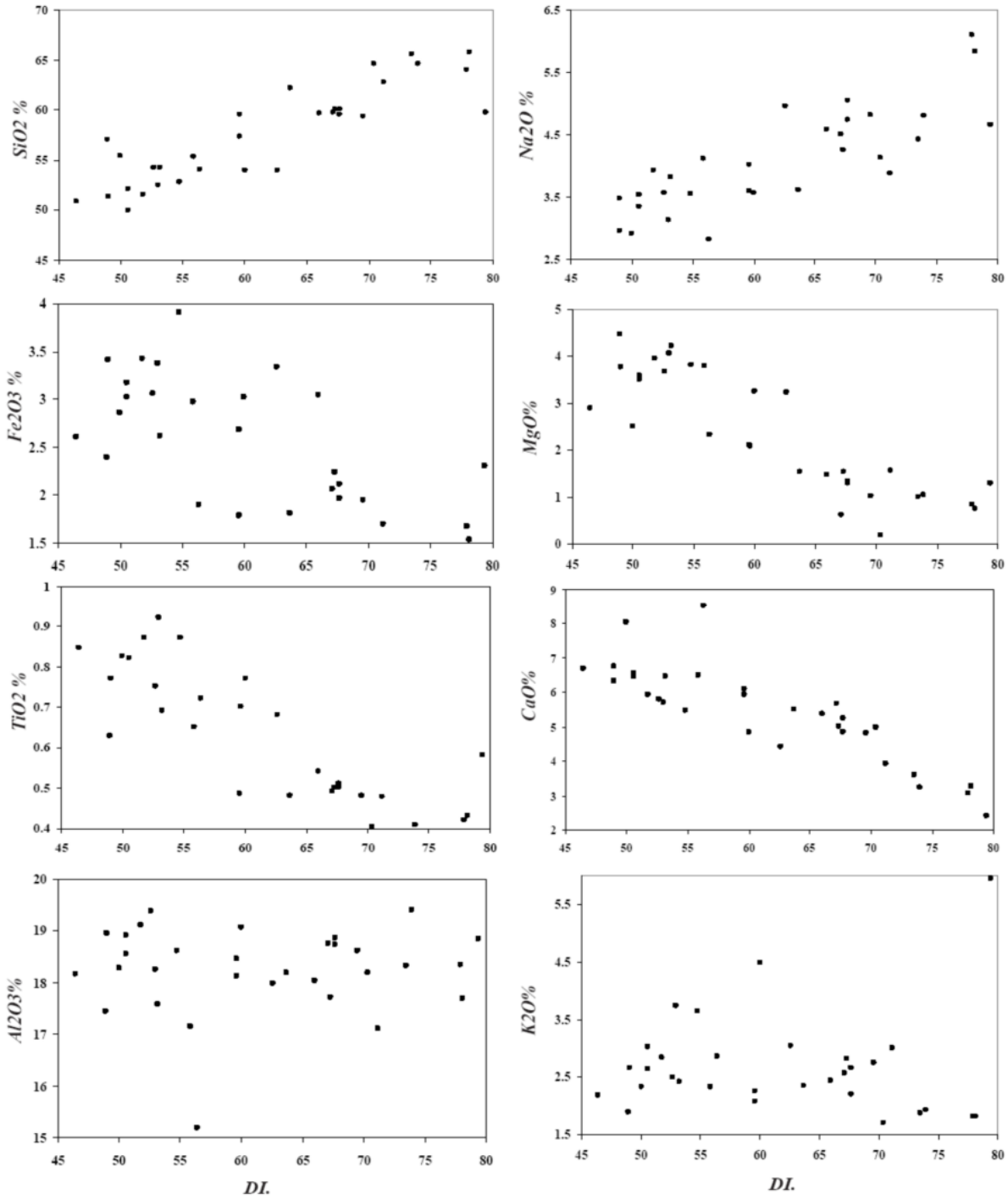


شکل ۵ نمودارهای اکسید – اکسید هارکر [۱۳] برای نمونه‌های توده نفوذی اینچه.



[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

شکل ۶ نمودار MgO - CaO نمونه‌های تودهٔ اینچه.



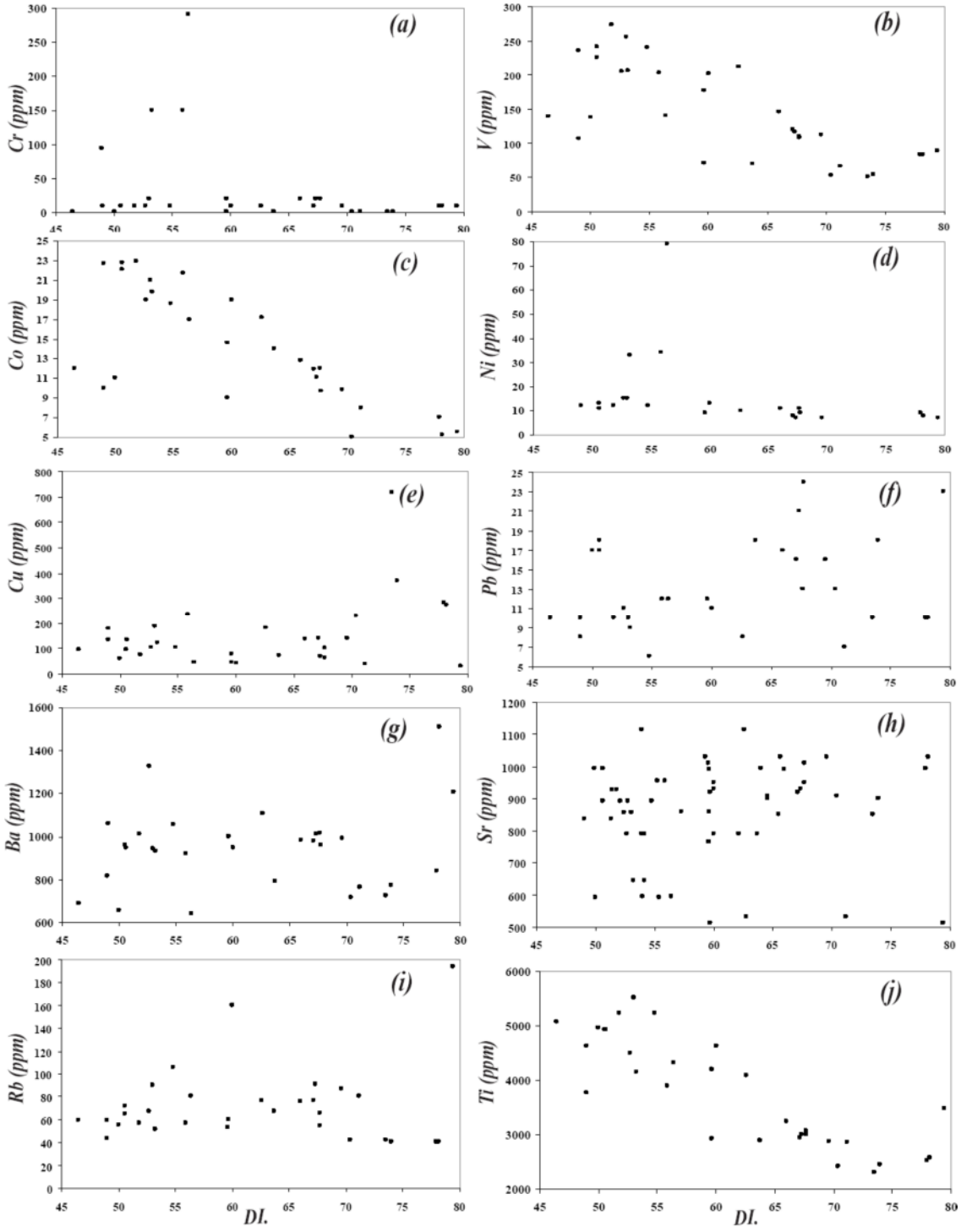
شکل ۷ نمودار اکسیدهای اصلی بر حسب DI برای نمونه‌های تودهٔ اینچه [۱۴].

ژئوشیمی عناصر کمیاب و فرعی

بررسی تغییرات عناصر کمیاب به موازات تفریق در تودهٔ نفوذی اینچه (شکل ۸) نشان می‌دهد که با افزایش شاخص تفریق (DI)، Cr فاقد روند مشخصی است که می‌توان این مسئله را به پدیده‌هائی مثل هضم و آلایش نسبت داد (شکل a-۸). V و Co (شکلهای b, c-۸) دارای روند نزولی مشخصی است که

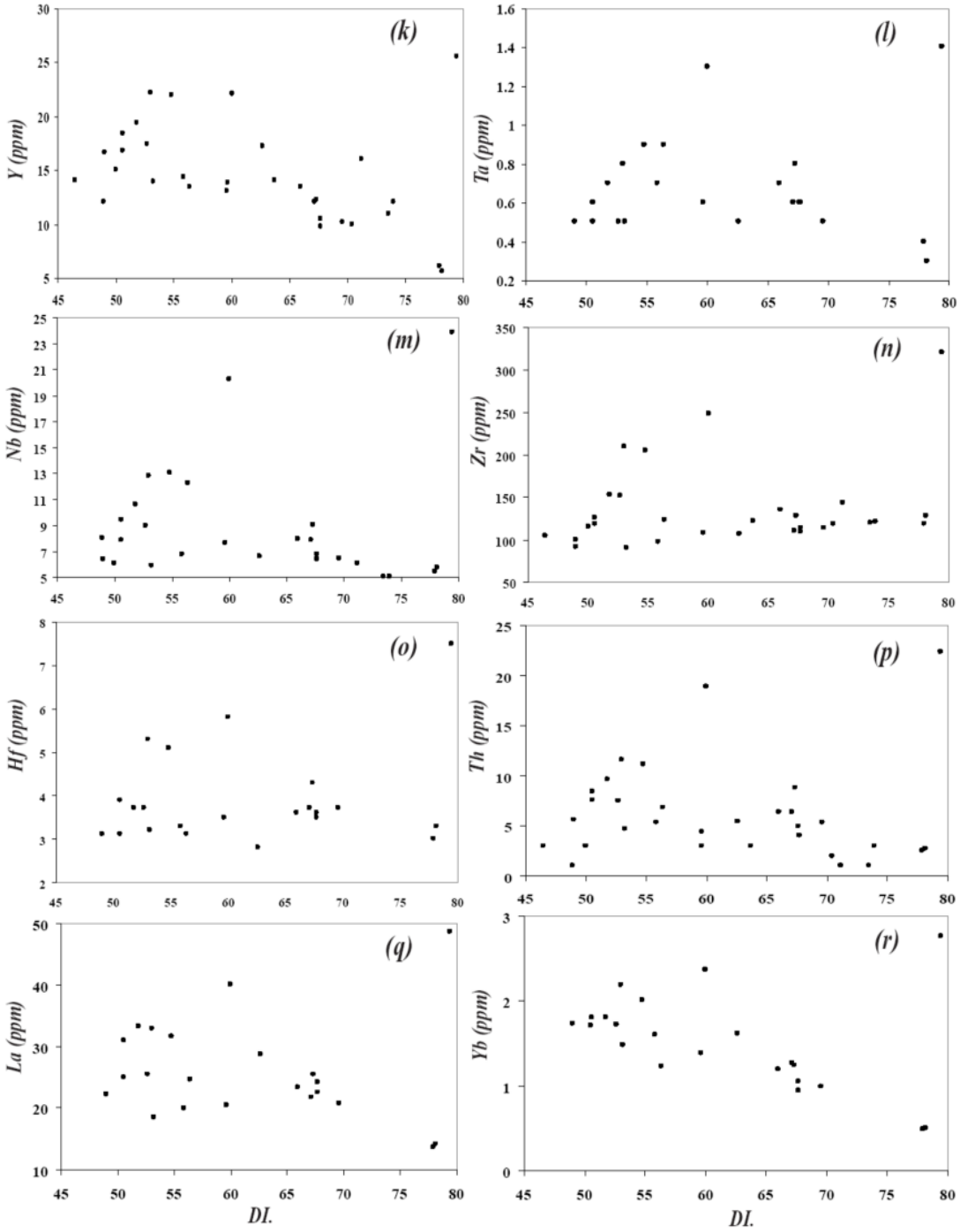
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

نشانگر مشارکت این عناصر در ساختار کانی‌های آهن - منیزیم‌دار نظیر الیوین، پیروکسن، و نیز مگنتیت طی تحول ماگمائی است. Ni دارای روند نزولی ملایمی است که می‌توان آن را به مشارکت در شبکهٔ الیوین مربوط دانست، چنانکه بالا بودن Ni در چند نمونه نیز مربوط به حضور الیوین در نمونه-های بازیک است (شکل d-۸). در نهایت Cu (شکل e-۸) دارای روند نسبتاً ثابت و افقی است و در مراحل نهایی در چندین نمونه تغلیظ شده است که می‌توان این پدیده را به عدم تشکیل سیلیکات‌های حاوی مس و تغلیظ در آبگون باقی‌مانده دانست.



[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

شکل ۸ نمودارهای DI بر حسب عناصر فرعی و کمیاب [۱۴].



شکل۸ (ادامه) نمودارهای DI بر حسب عناصر فرعی و کمیاب [۱۴].

عناصر LILE و Pb (شکل f-۸)، تا حدی دارای روند نزولی است که دلالت بر تمرکز آن در مذاب‌های نهائی است. روند تغییرات Ba (شکل g-۸) مشابه K_2O است که می‌تواند علامت نشستن Ba به جای K باشد. در نمونه‌های اسیدی، این عنصر

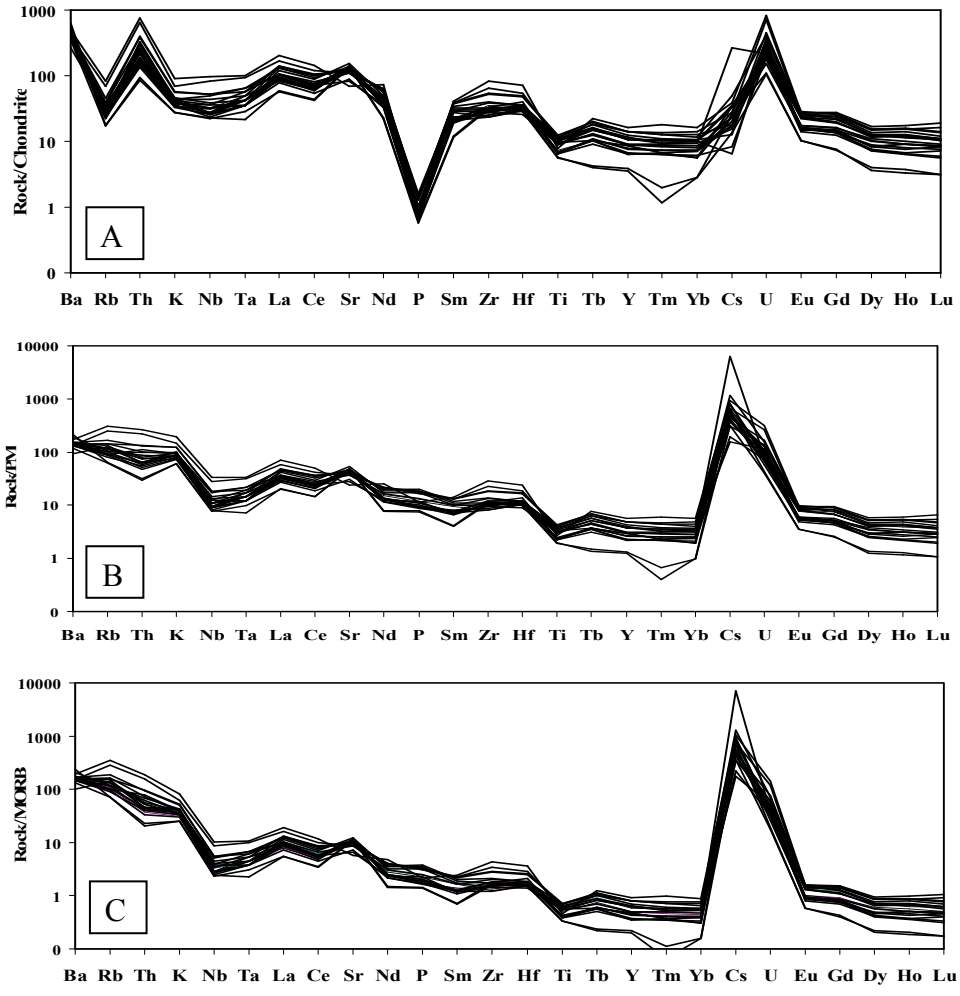
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

دارای افزایش ناگهانی است که مربوط به تبلور فلدسپار قلیایی و بیوتیت و نیز تغییر در مودال کانی‌ها است. روندهای پراکنده در مورد Sr و Rb (شکلهای ۸-h,i) را می‌توان به پدیده‌هایی مانند اختلاط و هضم نسبت داد .

عناصر گروه HFSE، Ti (شکل ۸-j) روند نزولی مشخصی داشته که نشانی است از شرکت آن در ساختار کانی‌های آهن – منیزیم‌دار. Y، Ta، و Nb (شکلهای ۸-k, l, m) دارای روند افزایشی و سپس کاهشی بوده و شکل زنگوله‌ای این روندها نشانگر مشارکت در شبکهٔ آمفیبول است. Zr، Hf، و Th (شکلهای ۸-n, o, p) دارای روندهای مشابه (تقریباً صعودی) بوده که همگی نشانگر غنی‌شدگی در نمونه‌های اسیدی و جایگزینی در شبکه زیرکن‌اند. پراکندگی و بی‌نظمی نسبی در این روندها نیز می‌تواند به پدیده‌های هضم و آلایش مربوط باشد.

عناصر نادر خاکی (REE) شامل La (شکل ۸-q) و Yb (شکل ۸-r)، روندهای نسبتاً مشابهی داشته و در نمونه‌های حدواسط بیشترین مقدار را دارند که می‌تواند نشانگر تبلور بخشی پلاژیوکلاز و فراوانی مودال آن در نمونه‌های حد واسط باشد. افزایش ناگهانی مقادیر این عناصر نیز در شرایط به شدت اسیدی قابل مشاهده است. معمولاً تمرکز این عناصر در شبکهٔ کانی‌هایی نظیر آلانیت و مونازیت صورت می‌گیرد که این افزایش ناگهانی شاید باز تابی از تبلور این کانی‌هاست.

در نمودارهای عنکبوتی گروه عناصر کمیاب که بر حسب کاهش ناسازگاری مرتب شده‌اند (شکل ۹) ناهنجاری مشخص و مثبتی از عناصر Ba، Rb، Th، La، Zr، Hf، Cs، و U و نیز ناهنجاری منفی از عناصر P، Tm ، و تا حدی Ti به چشم می‌خورد. به نظر می‌رسد که تبلور بخشی اکسیدهای Fe و Ti یا جدایش کانی‌های آهن – منیزیم‌دار حاوی Ti، مهمترین دلیل ناهنجاری منفی این عنصر بوده و تبلور بخشی آپاتیت نیز سبب ناهنجاری منفی P شده است. تأثیر پوستهٔ قاره‌ای در تکوین و تحول ماگمای مولد این توده‌های نفوذی نیز سبب ایجاد ناهنجاری‌های مثبت عناصر یاد شده، می‌باشد. همچنین ناهنجاری مثبت Hf ، Zr ، و Lu در این توده‌ها به دلیل حضور مقادیر زیادی کانی زیرکن است.



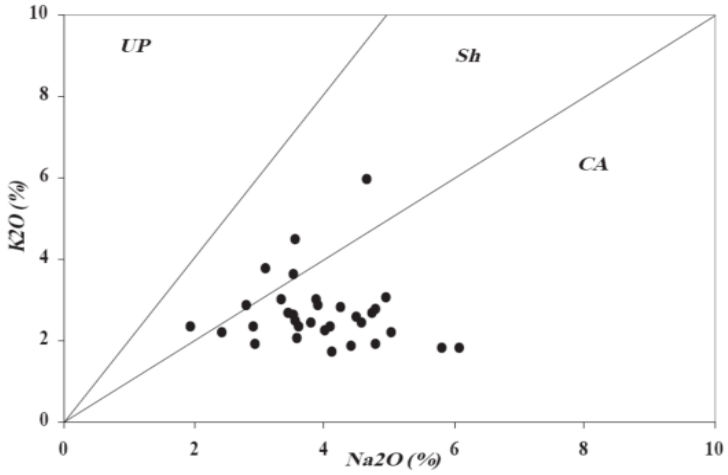
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

شکل ۹ نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب تودهٔ اینچه که بر حسب کاهش ناسازگاری مرتب شده‌اند. (A: بهنجار شده به کندریت، B: بهنجار شده به PM و C: بهنجار شده به MORB).

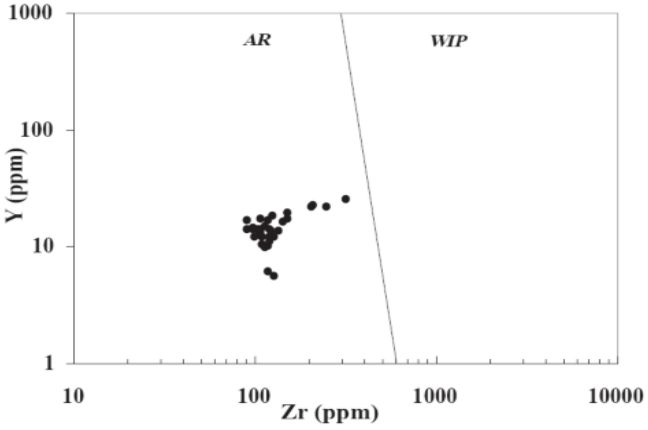
محیط زمین ساختی و سنگ زایی توده‌های نفوذی

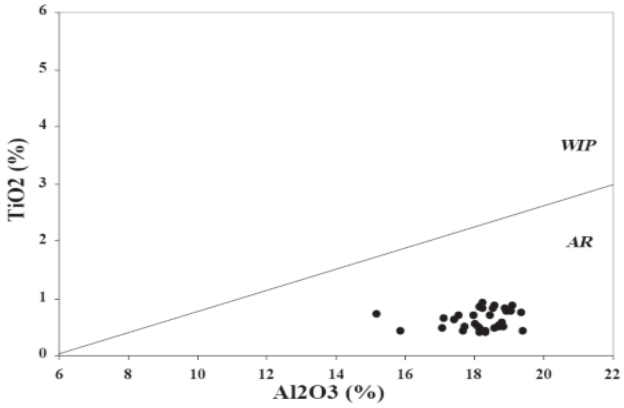
برای تعیین سری ماگمائی سنگ‌های تودهٔ نفوذی از نمودارهای Na_2O-K_2O [۱۵] و Th/Yb-Ta/Yb و Ce/Yb-Ta/Yb [۱۶] استفاده شد. در نمودار Na_2O-K_2O [۱۵]، بخش بیشتر نمونه‌های تودهٔ نفوذی در گسترهٔ کالکوآلکالن با پتاسیم بالا و نسبت $K_2O/Na_2O<1$ قرار گرفته و بقیهٔ آنها در گسترهٔ شوشونیتی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰). در نمودارهای Th/Yb-Ta/Yb و Ce/Yb-Ta/Yb [۱۶] که از عناصر نا متحرک HFSE با نسبت‌های Th/Yb، Ce/Yb ، و Ta/Yb استفاده شده (شکل۱۱)، بخش اعظم نمونه‌ها در گسترهٔ شوشونیتی و تعداد معدودی در گسترهٔ کالکوآلکالن قرار گرفته‌اند. با توجه به شدت دگرسانی گرمابی در این منطقه که آثار این تغییرات حتی در توده‌های نفوذی که نسبت به تودهٔ پورفیری تأخیری-ترند نیز دیده می‌شود، به نظر می‌رسد که استفاده از نمودارهای یاد شده نتیجه‌ای بهتر از نمودارهایی دارد که در آنها از اکسید-های عناصر اصلی استفاده شده است. با توجه به نتایج این نمودارها به طورکلی می‌توان گفت که ماگمای مولد سنگ‌های تودهٔ نفوذی در منطقهٔ سوناجیل دارای سرشت شوشونیتی و کالکوآلکالن با پتاسیم بالا بوده و سری شوشونیتی، غالب است.

برای شناسایی محیط زمین ساختی توده‌های نفوذی اینچه از نمودارهای مختلف به شرح زیر استفاده شد:



شکل ۱۰ نمودار Na_2O - K_2O [۱۵] برای تعیین سری ماگمائی نمونه‌های توده نفوذی اینچه.





[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

شکل ۱۱ نمودارهای Ce/Yb – Ta/Yb و Th/Yb – Ta/Yb[۱۶] برای تعیین سری ماگمائی نمونه‌های تودهٔ نفوذی اینچه.

در نمودارهای (TiO_2-Al_2O_3)، (Y-Zr) و (Zr/Al_2O_3-TiO_2/Al_2O_3) [۱۸] (شکل ۱۲) همهٔ نمونه‌ها در گسترهٔ وابسته به قوس‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند. برای تفکیک قوس‌های ماگمائی حاشیهٔ فعال قاره‌ای و قوس‌های ماگمایی پس برخوردی نیز از نمودار (Ce/P_2O_5-Zr/TiO_2) [۱۸] استفاده شد که در این نمودار، نمونه‌های تودهٔ اینچه در گسترهٔ قوس‌های پس برخوردی (PAP) قرار گرفته‌اند.

در نمودارهای سه متغیرهٔ (Rb/30-Hf-3Ta)، (Rb/10-Hf-3Ta) [۱۹] نمونه‌های تودهٔ نفوذی در گسترهٔ قوس‌های آتشفشانی با تمایلی مشخص به سمت جایگاه‌های پس‌برخوردی قرار می‌گیرند (شکل ۱۳A, B).

در نمودار A/CNK-A/NK [۲۰] بخش بیشتر نمونه‌های تودهٔ نفوذی دارای ویژگی متاآلومینوس و تعداد کمی از آنها پرآلومینوس‌اند (شکل ۱۴). در نمودار Nb-Y [۱۶] تمامی نمونه‌ها در گسترهٔ گرانیت‌های قوس‌های آتشفشانی و همزمان با برخورد (VAG + Syn-Col) قرار گرفته و در نمودار Rb-(Y + Nb) [۱۶] نمونه‌ها در گسترهٔ خاراهای وابسته به قوس-های آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۱۵-A). از مقایسه موقعیت نمونه‌های تودهٔ نفوذی در این نمودار با گسترهٔ پیشنهادی پیرس[۱۷] برای توده‌های نفوذی پس‌برخوردی (شکل ۱۵-B) مشخص می‌شود که بخش عمدهٔ نمونه‌ها، به قوس‌های پس‌برخوردی مربوط می‌شوند.

در نمودار ($Na_2O + K_2O - CaO$) - SiO_2 [۲۱] تودهٔ نفوذی اینچه بیشتر در گسترهٔ کالکوآلکالن و آلکالی کلسیک و چند نمونه در گسترهٔ قلیایی و کلسیک قرار گرفته‌اند. همچنین در نمودار ($FeO^t/FeO^t + MgO$) - SiO_2 [۲۱] بخش اعظم نمونه‌های تودهٔ نفوذی در گسترهٔ گرانیت‌های کردیلرائی و دارای ترکیب منیزین قرار می‌گیرند (شکل ۱۶).

در نمودار عنکبوتی رسم شده برای عناصر کمیاب که نسبت به پلاژیوگرانیت‌های شکاف میان اقیانوسی (ORG) بهنجار شده‌اند (شکل ۱۷)، با مقایسهٔ دامنهٔ تغییرات عیار این عناصر کمیاب در تودهٔ نفوذی اینچه، مشاهده می‌شود که همخوانی خوبی بین این توده با توده‌های نفوذی شیلی در آن [۱۶]، یا به عبارتی گرانیتوئیدهای وابسته به قوس‌های آتشفشانی وجود دارد. این توده‌ها دارای ناهنجاری مثبت و مشخصی از K_2O، Rb، Th، و Ba و ناهنجاری منفی Hf ، Y،Zr، Yb، و تاحدی Ta هستند که نشان می‌دهد تودهٔ یاد شده در پوستهٔ قاره‌ای با ضخامت زیاد تا متوسط جایگیری کرده و تحت تاثیر ذوب بخشی و آلایش پوسته‌ای نیز قرار گرفته است که از آن به تسلط پوسته‌ای یاد شده است[۲۲]. ضمناً ناهنجاری منفی عناصر نادر خاکی سنگین نشان‌دهندهٔ عمق زیاد تشکیل ماگما و وجود گارنت و زیرکن در مواد خاستگاه این ماگماهاست.

برداشت

۱- ترکیب سنگ‌شناسی تودهٔ نفوذی اینچه در حد دیوریت تا کوارتزدیوریت با بافت پورفیری و بندرت افیتیک، دانه‌ای و تراکیتوئیدی بوده و بدرون توده‌های قدیمی‌تر نفوذ کرده است.

۲- کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، هورنبلند بوده و به صورت فرعی فلدسپار قلیایی، بیوتیت، کوارتز، تورمالین و الیوین در این سنگ‌ها حضور دارند. کلسیت، اپیدوت، آنتوفیلیت، ترمولیت–اکتینولیت و کانی‌های رسی نیز به صورت ثانویه تشکیل شده‌اند.

۳- در نمودارهای شیمیائی، این سنگ‌ها در گسترهٔ کوارتز-دیوریت (گرانودیوریت)، سینودیوریت، دیوریت تا گابرو قرار می‌گیرند.

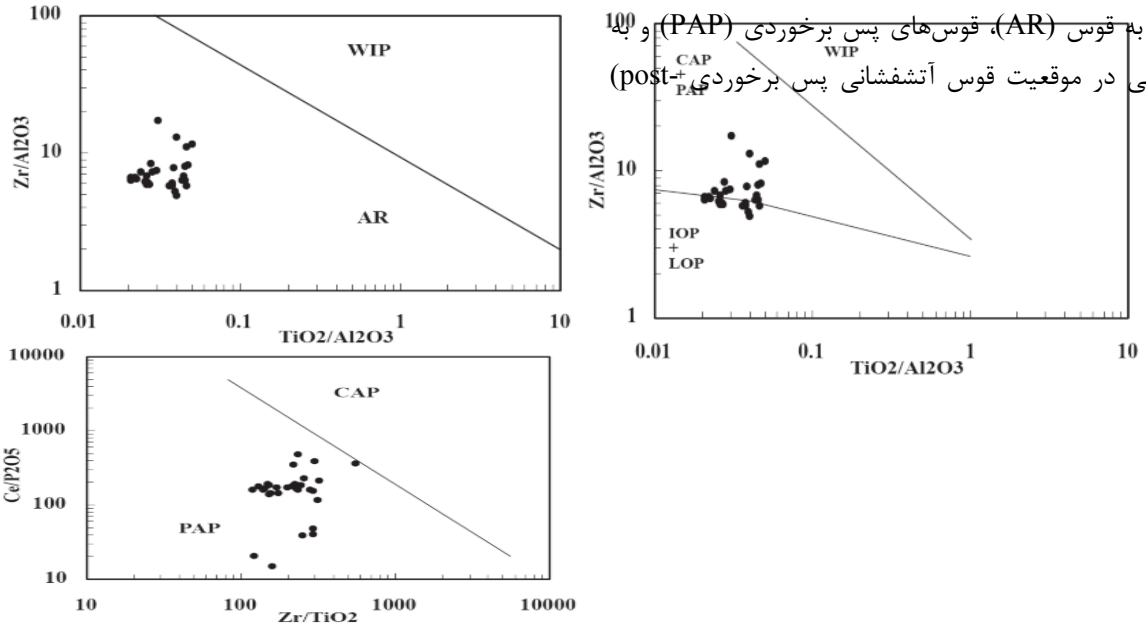
۴- ماگمای مولد این توده دارای سرشت کالکوآلکالن با پتاسیم بالا تا شوشونیتی بوده و بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیائی نشانگر دخالت پدیده‌های AFC در تحول آن است.

۵- این توده‌ها دارای ناهنجاری مثبت و مشخصی از K_2O، Rb ، Th، و Ba و ناهنجاری منفی Hf، Zr، Y، Yb، و تا حدی Ta هستند که نشانگر جایگیری در پوسته قاره‌ای با ضخامت زیاد تا متوسط و تاثیر ذوب بخشی و آلایش پوسته‌ای است. ضمناً ناهنجاری منفی عناصر نادر خاکی سنگین نشان‌دهندهٔ

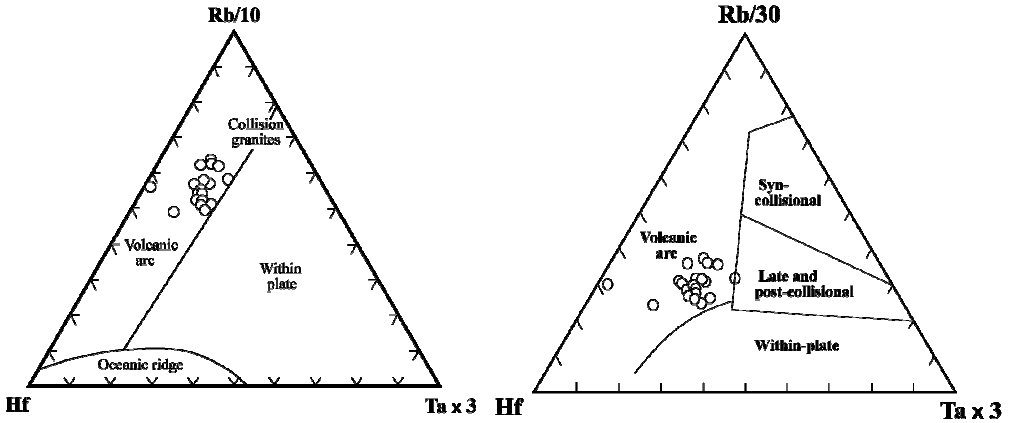
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

عمق زیاد تشکیل ماگما و وجود گارنت و زیرکن در مواد خاستگاه این ماگماهاست.

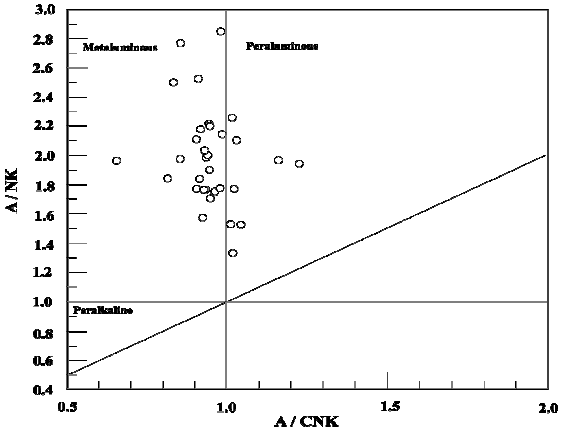
۶- از نظر محیط زمین ساختی، نمونه‌های این توده در موقعیت وابسته به قوس (AR)، قوس‌های پس برخوردی (PAP) و به طور کلی در موقعیت قوس آتشفشانی پس برخوردی (post-collisional arc) قرار می‌گیرند بنابراین تودهٔ اینچه ارتباطی به فرورانش فعال نئوتتیس ندارد.



شکل ۱۲ نمودارهای Zr/Al_2O_3-TiO_2/Al_2O_3، Y-Zr،TiO_2-Al_2O_3 و Ce/P_2O_5-Zr/TiO_2 [۱۸] برای تعیین موقعیت زمین ساختی تودهٔ نفوذی اینچه (WIP : موقعیت داخل صفحه‌ای AR : وابسته به قوس‌های آتشفشانی CAP : قوس‌حواشی فعال قاره‌ای PAP : قوس پس برخورد IOP : قوس اقیانوسی آغازین LOP : قوس اقیانوسی تاخیری.)

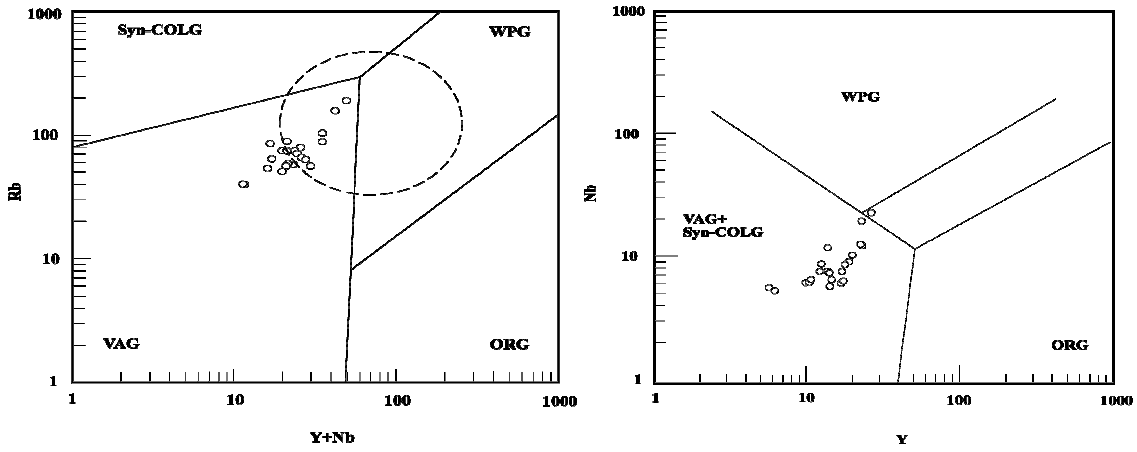


شکل ۱۳ نمودارهای سه متغیره متمایزکنندهٔ محیط‌های مختلف زمین ساختی (A) (Rb/30-Hf-3Ta) و (B) (Rb/10-Hf-3Ta) [۱۹].

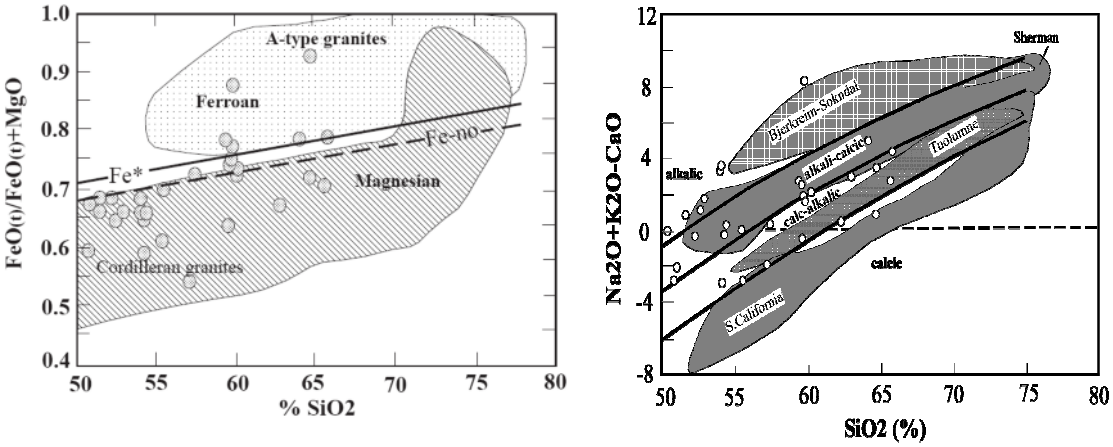


[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

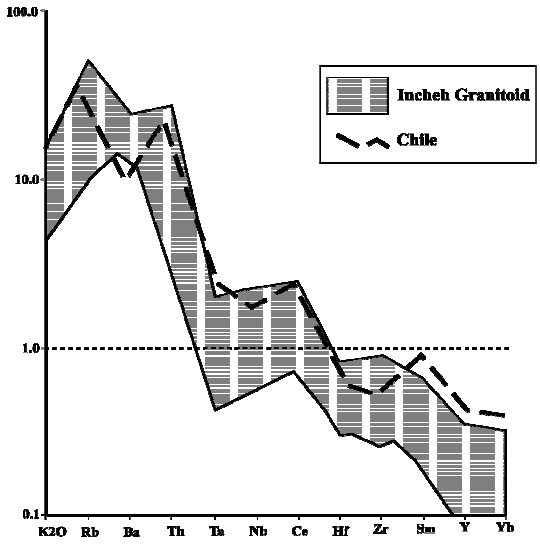
شکل ۱۴ نمودار A/CNK-A/NK [۲۰] برای تمایز توده‌های گرانیتوئیدی پرآلومینوس از متاآلومینوس.



شکل ۱۵ نمودار Nb - Y (A) و Rb - (Y + Nb) (B) [۱۶] که برای رده‌بندی گرانیتوئیدها به کار می‌روند. بخش اعظم نمونه‌ها در نمـودار B در گسترهٔ پس‌برخوردی پیشنهادی پیرس [۱۷] قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۶ (A) نمودار SiO_2 - $(Na_2O + K_2O - CaO)$ [۲۱] جهت تعیین سرشت ماگمائی و (B) نمودار SiO_2 - $(FeOt/FeOt + MgO)$ [۲۱] جهت تعیین تیپ گرانیتوئیدهای منطقه اینچه.



[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

شکل ۱۷ نمودار عنکبوتی رسم شده برای عناصر کمیاب توده نفوذی اینچه که نسبت به پلاژیوگرانیت‌های شکاف میان اقیانوسی (ORG) بهنجار شده‌اند و مقایسهٔ آنها با داده‌های مربوط به شیلی (گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی) [۱۶].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]

تشکر و قدردانی

نگارندگان این مقاله از مدیریت محترم امور اکتشافات و امور تحقیق و توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران، معاونت محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز و همچنین مرکز تحقیقات علوم پایه تبریز به خاطر حمایت مالی از این پروژه تشکر و قدردانی می‌نمایند. بجاست مؤلفین از هیئت تحریریه و داوران محترم مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران نیز سپاسگزاری نمایند.

مراجع

[۱] کاوشگران (مهندسین مشاور)، *"گزارش نهائی اکتشافات لیتوژئوشیمیائی در منطقه سوناجیل ۱/۵۰۰۰"* (۱۳۸۵).

[۲] کاوشگران (مهندسین مشاور)، *"گزارش برداشت دگرسانی-های منطقه سوناجیل"*، (۱۳۸۵).

[۳] توسعه علوم زمین، *"مطالعات ژئوفیزیکی بروش پلاریزاسیون القائی و مغناطیس در منطقه سوناجیل"*، (۱۳۸۲).

[۴] دفتر اکتشافات شمالغرب، *"زمین‌شناسی کانسار مس سوناجیل"*، امور اکتشافات و مهندسی توسعه (۱۳۸۱).

[۵] سلیمانی سید حسین، *"مطالعات ژئوفیزیکی بر روی کانسار مس سوناجیل هریس"*، امور اکتشافات (۱۳۸۱).

[۶] کریمی قره بابا حسین، عامری علی، جهانگیری احمد، کلاگری علی اصغر، *"مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی سنگهای آذرین شرق هریس در ارتباط با ژنز مس"*، دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز، رساله کارشناسی ارشد (۱۳۸۳).

[۷] نبوی محمد حسن، *"دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران"*، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۵۵).

[8] Stoklin J., *"Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and central Asia: Memoir Hors serie de la Societe Geologique de France"*, No. 8, (1977) P.333-335.

[۹] مؤید محسن، *"بررسی‌های پترولوژیکی نوار ولکانوپلوتونیک ترشیر البرز غربی – آذربایجان با نگرشی ویژه بر منطقه هشجین"*، پایاننامه دوره دکتری زمین‌شناسی گرایش پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۸۰)، ۳۲۸ صفحه.

[10] Sekine T., Katsra T., Aramaki S., *"Water-saturated phase with aplacation to the estimation of the initial temperature and water pressure at the time of eruption"*, Geochim. Cosmochim. Acta., 43, (1979) 1367-76.

[11] Cox K. G., Bell J. D., Pakhurst R. J., *"The interpretation of igneous rocks"*, London, Allen and Unvin, (1979), 450p.

[12] Winchester J. A., Floyd P. A., *"Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements"*, Chemical Geology, 16, (1977). 325-343.

[13] Harker A., *"The natural history of igneous rocks"*, Macmillan, New York, (1909) 384pp.

[14] Thornton C. P., Tuttle O. F., *"Chemistry of igneous rocks, 1. Differentiation index"*, Am. Jour. Sa. 258 (1960), 665-684.

[15] Rogers N. W., James D., Kelley S. P., Mulder M., *"The generation of potassic lavas from the eastern Virunga province, Rwanda"*, J. Petrol, V. 39 (1998), pp. 1223-1247.

[16] Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G., *"Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks"*, J. Petrol, V. 25 (1984), 956-983.

[17] Pearce J. A., *"Source and setting of granitic rocks"*, Episode, V. 19, (1996), 120-125.

[18] Muller D., Groves D. I., *"Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization"*, Sec. Updated. Springer-Verlag, (1997), 242pp.

[19] Harris N. B. W., Pearce J. A., Tindle A. G., *"Cheochemical characteristics of collision – zone magmatism"*, In: Coward, M. P., and Reis, A. C., (ed), Collision tectonics. Spec. Publ. Geol. Soc., 19 (1986), 67-81.

[20] Maniar P. O., Piccoli P. M., *"Tectonic discrimination of granitoids"*, Geol. Soc. Ame. Bull. 11, (1989), 635-643.

[21] Frost B. R., Barnes C. G., Collins W. J., Arculus R. J., Ellis D. J., Frost C. D., *"A geochemical classification for granitic rocks"*, Journal of petrology, 42 (2001), 2033-2048.

[22] Harris C., *"The petrology of lavas and associated plutonic inclusions of Ascension Island"*, J. Petrol. 24, (1983), 424-470.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-16]