

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

Gh. Hosseinzadeh^{1,2}, M. Moayyed¹, A. A. Calagari^{1,2}, B. Hajjalilu³, M. moazenzen¹

1- Geology Department, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz 51664.

2- Research Institute for Fundamental Sciences, Tabriz University, Tabriz 51664.

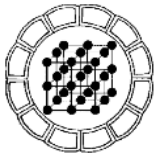
3- Geology Department, Payame-Nour University, Tabriz.

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.*



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

قادر حسین‌زاده^۱، محسن مؤید^۱، علی اصغر کلاگری^۲، بهزاد حاجی‌علیلو^۳، محسن مؤذن^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲- انستیتو تحقیقات علوم پایه - تبریز

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور تبریز

پست الکترونیکی: Hosseinzadehgh@yahoo.com

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

چکیده: توده‌خارنامای (گرانیتوئیدی) اینچه در شرق هریس در استان آذربایجان شرقی 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 توده نفوذی اینچه از دیوریت، سینودیوریت تا کوارتز دیوریت بوده و در نمودارهای سنگ‌شناسی در گستره دیوریت، سینودیوریت و کوارتز دیوریت قرار می‌گیرد. کانی‌های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و پیروکسن است و به صورت فرعی بیوتیت، فلدسپار قلیایی، کوارتز، الیون، 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. توده اینچه تحت تاثیر تفریق، تبلور بخشی و هضم و آرایش متحول شده است. تجزیه‌های شیمیائی نشان می‌دهند که سنگ‌های این توده غالباً متآلومینوس بوده و به سری ماگمایی قلیایی-آهکی با پتاسیم بالا تا شوشونیتی تعلق دارند. از نظر محیط زمین‌ساختی، این توده در موقعیت قوس آتشفشانی پس برخوردی و حواشی فعال قاره‌ای جایگیری کرده است.

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

مقدمه

یک رساله کارشناسی ارشد [۶] روی برخی واحدهای سنگی مطالعاتی انجام شده است. لذا در این مقاله سعی شد تا سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، و سنگ‌زایی توده 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 توده شیورداغ، انزان، خانکندی و... مفید باشد.

روش مطالعه

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

گستره مورد مطالعه، در فاصله ۱۷ کیلومتری شرق شهر هریس در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. در این منطقه از سال ۱۳۸۰ پروژه‌های مختلف زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و نیز پی‌جویی‌هایی 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 پی‌جویی‌های فراوانی که از سوی امور اکتشافات شرکت ملی صنایع مس ایران [۱-۵] انجام گرفت، تاکنون بررسی دقیق و فراگیر سنگ‌شناسی در این منطقه صورت نگرفته است. تنها در قالب

که در نهایت نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی دقیق منطقه در مقیاس ۱/۵۰۰۰ تهیه شد. تعداد ۲۲ نمونه از توده نفوذی اینچه و دایک‌های وابسته به آن، پس از بررسی‌های دقیق کانی-شناسی به روش فلورسانسی 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 اتریش بروش ریز بردازی الکترونی (EPMA) بررسی شدند.

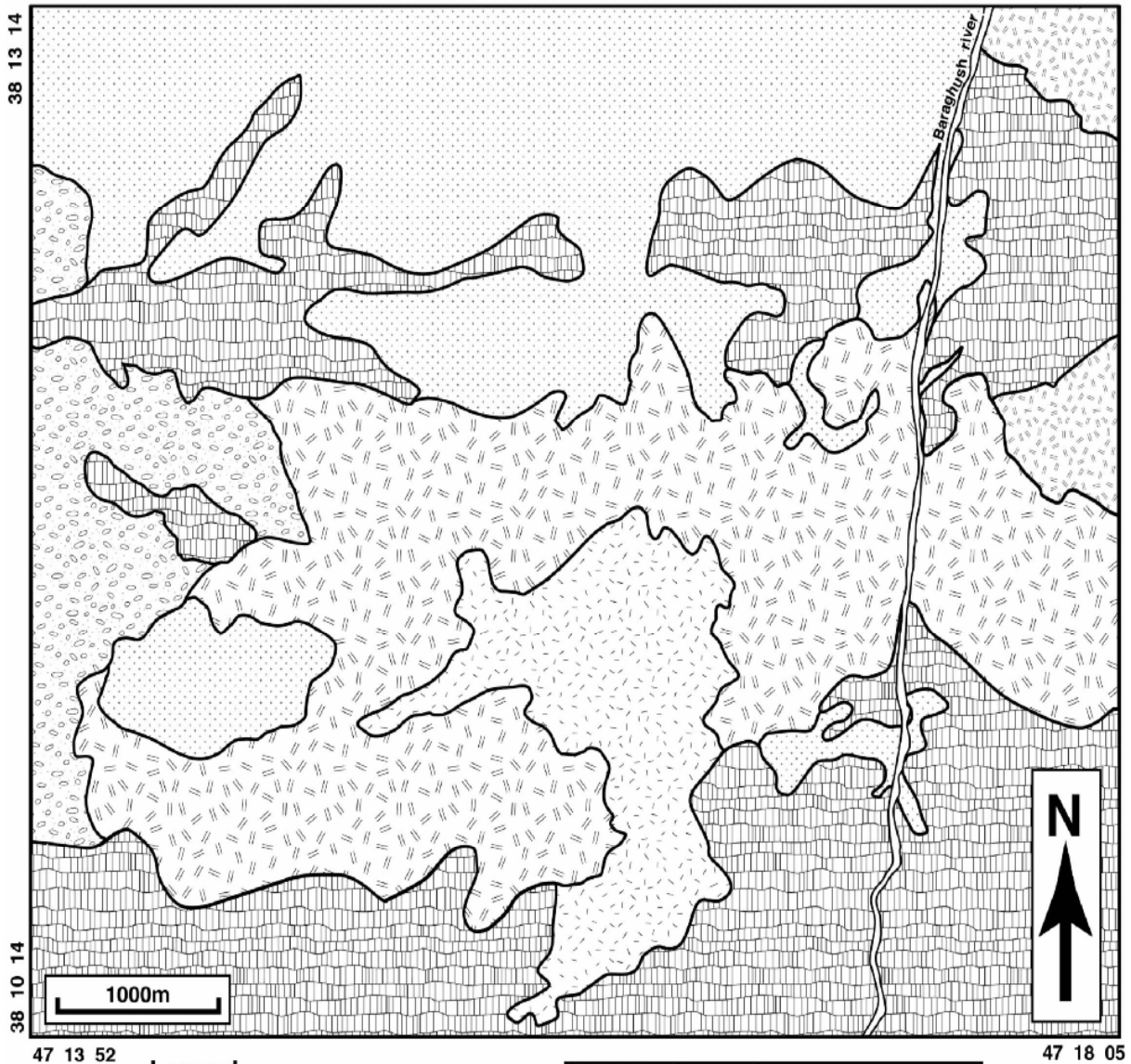
زمین‌شناسی

گستره 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 ماگمایی گسترده ترشیری است که آغاز آن در ائوسن و نقطه اوج آن







همراه با چین‌خوردگی گستره 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 آندزیت‌بازالت 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 توده دیوریتی، کوارتز دیوریتی تا مونزونیتی اینچه و دایک‌های وابسته به درون توده‌های آتشفشانی ائوسن و نیز توده سوناجیل پورفیری بوده‌اند که آثار دگرگونی در حد رخساره آلبیت - اپیدوت هورنفلس در مرز تماس آنها گسترش یافته است. در نهایت گدازه‌های تراکیتی، تراکی آندزیتی تا تراکی آندزیت بازالتی اکوزداغی با سن پلیو-کواترنری معرف جوانترین فاز ماگمایی در این منطقه است (شکل ۱).

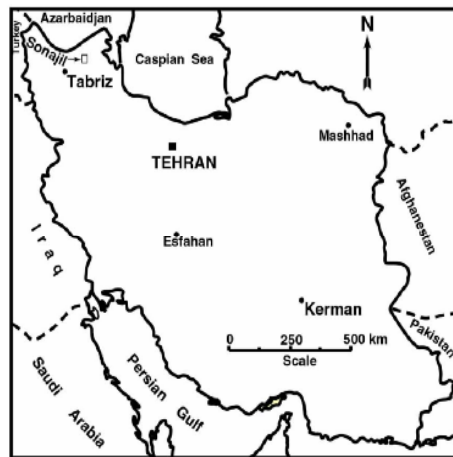
جدول ۱ نتایج آنالیز نمونه‌های توده گرانیتوئیدی اینچه بروش XRF (اکسیدهای اصلی) و ICP عناصر فرعی و کمیاب.

	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 ₂ O 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 ₂ O 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 ₂ O (%)	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 ₂ O (%)	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 ₂ O 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



Legend

-  Quaternary sediments
-  Quaternary trachy-andesite and basalt
-  Incheh granitoids
-  Oligocene diorite porphyry (Sonajil porphyry)
-  Eocene megaporphyritic andesite
-  Eocene andesite



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه.

سنگ شناسی توده‌های نفوذی

توده نفوذی اینچه در بخش بزرگی از منطقه 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 نمونه‌های دستی، این سنگ‌ها به رنگ قهوه‌ای روشن با بافت دانه دار بوده و بلورهای نسبتاً درشت پلاژیوکلاز در آنها به چشم می‌خورد. کانی‌های اصلی توده‌های نفوذی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند، و بافت‌های غالب در این سنگ‌ها شامل پورفیریک با خمیره ریز تا درشت بلور (شکل ۲-a)، دانه دار (شکل ۲-d)، افیتیک و تراکیتوئیدی هستند. درشت بلورهای موجود در این سنگ‌ها بیشتر به صورت پلاژیوکلاز (شکل ۲-a، ۲-b و ۲-c) و به ندرت پیروکسن (شکل ۲-e)، هورنبلند (شکل ۲-f) و بیوتیت (شکل ۲-g) 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 ۲-b)، و هم به صورت ریز دانه و میکرولیتی در زمینه سنگ حضور دارند. در بیشتر بلورهای پلاژیوکلاز، بافت غربالی به چشم می‌خورد. پلاژیوکلازها بطور بخشی به کانی‌های ثانویه از قبیل کلسیت (شکل ۲-a)، سرپست، اپیدوت (شکل ۲-d)، کلریت، کوارتز و کانی‌های رسی (شکل ۲-c) 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 گستره پایداری کلینوپیروکسن و کاهش پایداری پلاژیوکلاز شده است [۱۰].

پیروکسن (۲۰ - ۱۰٪) از نوع کلینوپیروکسن (اوژیت) بوده است و به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار (۲mm <) دیده می‌شود (شکل ۲-e). این کانی‌ها شدیداً به کلریت، کلسیت، کانی‌های کدر، اکتینولیت و به مقدار کمتر به هورنبلند، اورالیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند.

آمفیبول (۲۰ - ۱۰٪) بیشتر از نوع هورنبلند بوده و به صورت بلورهای متوسط (۳mm <) شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار حضور دارد (شکل ۲-f). این کانی بیشتر به کانی‌های ثانویه‌ای مانند کلسیت، کلریت، کوارتز و پرهنیت و به ندرت بیوتیت دگرسان شده است، به طوری که 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 - ۱۰٪) 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 ۲-g). 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 توده نفوذی است.

آلکالی فلدسپار (۱۵ - ۱۰٪) بیشتر اورتوز، در زمینه ریز دانه سنگ و برخی بصورت درشت‌دانه حضور داشته و بطور بخشی به سرسیت دگرسان شده است.

کوارتز (۱۵ - ۱۰٪) به صورت اولیه و ثانویه در چند نمونه دیده شد که به صورت میان بلوری ریزدانه در متن سنگ یا رگچه‌ای (شکل ۲-h) دیده می‌شود.

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

کلسیت (۵ - ۱۰٪) بیشتر حاصل دگرسانی پلاژیوکلازها و کانی‌های آهن - منیزیم‌دار بوده (شکل ۲-a) و به صورت سودومورف کانی‌های اولیه، پرکننده فضاهای خالی و نیز به همراه مقادیر زیادی کلریت، اپیدوت و اورالیت کدر دیده می‌شود.

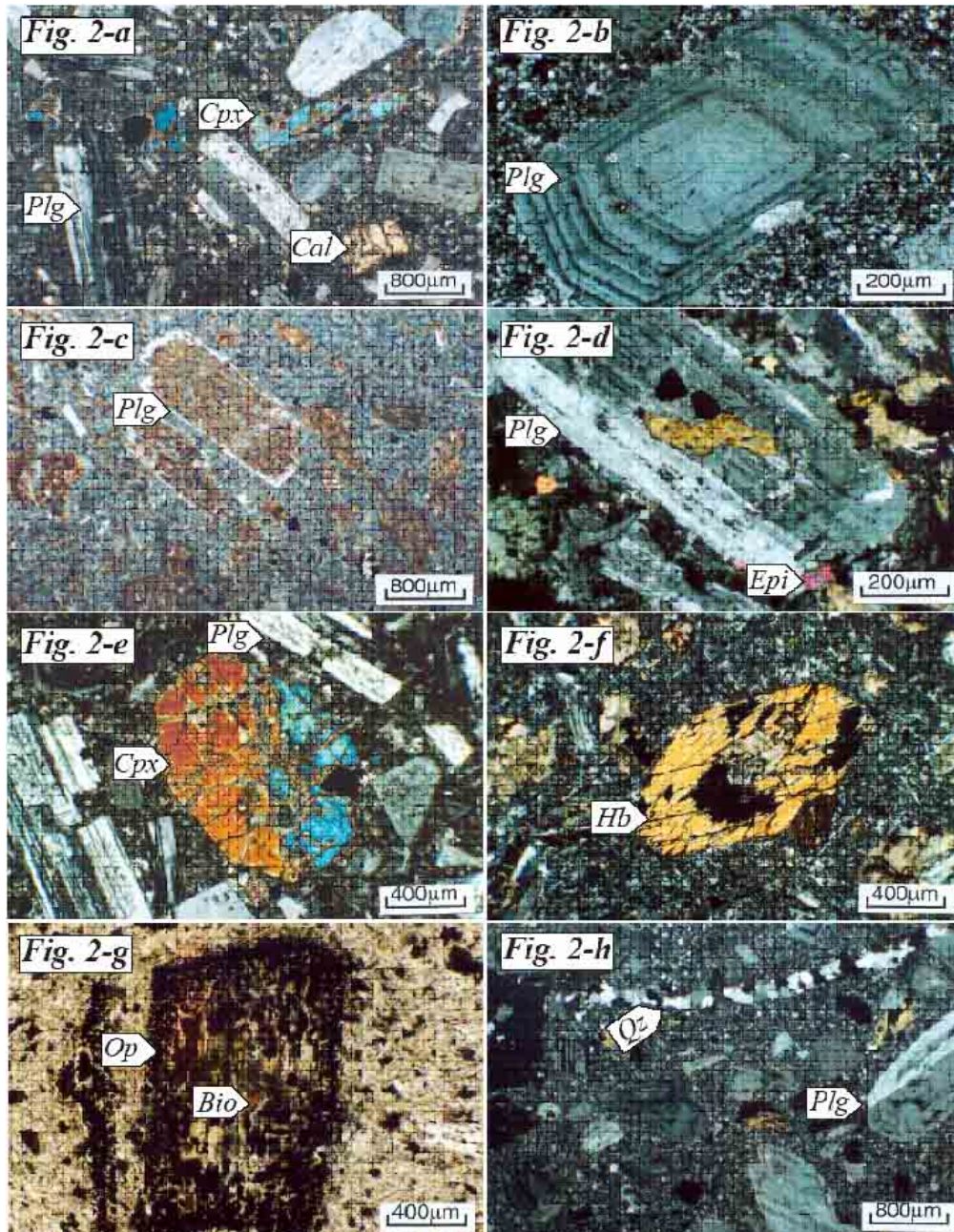
اپیدوت (۳٪ <) به صورت ریز دانه تا متوسط حاصل از دگرسانی پلاژیوکلازها (شکل ۲-d) و کانی‌های آهن - منیزیم‌دار همراه با کانی‌های ثانویه دیگر دیده می‌شود.

تورمالین (۵٪ <) بیشتر به صورت پولک‌های ریز و پراکنده و نیز به صورت اسفرولیتی و شعاعی دیده می‌شود. این کانی یا در زمینه سنگ و یا به صورت لکه‌هایی 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 درایت (سدیم و منیزیم-دار) هستند.

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

سنگ و زیرکن به مقدار فراوان در متن سنگ یا در درون درشت بلورها حضور دارد. بنابراین از نظر کانی‌شناختی، نمونه‌های توده اینچه دارای ترکیب دیوریت تا کوارتزدیوریتی هستند، ولی در رده‌بندی شیمیایی در نمودار $(Na_2O + K_2O) - SiO_2$ (TAS) [۱۱] بخش بیشتر نمونه‌ها در گستره کوارتزدیوریت (گرانودیوریت)، سینودیوریت، و دیوریت و تعداد معدودی از آنها در گستره گابرو قرار می‌گیرند (شکل ۳). در نمودار $(Zr/TiO_2 \times 0.0001) - (Nb/Y)$ [۱۲] نیز تعداد زیادی از نمونه‌ها در گستره دیوریت و سینودیوریت و اندکی از آنها نیز در گستره گابروئی قرار می‌گیرند (شکل ۴).

سنگ و زیرکن به مقدار فراوان در متن سنگ یا در درون درشت بلورها حضور دارد. بنابراین از نظر کانی‌شناختی، نمونه‌های توده اینچه دارای ترکیب دیوریت تا کوارتزدیوریتی هستند، ولی در رده‌بندی شیمیایی در نمودار $(Na_2O + K_2O) - SiO_2$ (TAS) [۱۱] بخش بیشتر نمونه‌ها در گستره کوارتزدیوریت (گرانودیوریت)،



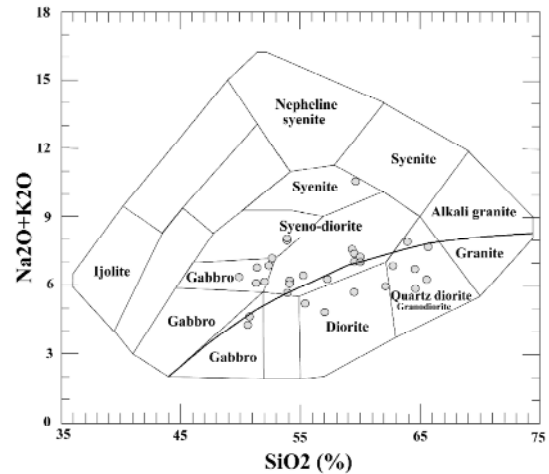
شکل ۲ - a بافت پورفیری در توده اینچه (XPL)، b - منطقه‌بندی هم مرکز در پلاژیوکلاز (XPL)، c - تجزیه پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی (XPL)، d - تبدیل پلاژیوکلاز به اپیدوت و دیگر کانی‌های ثانویه (XPL)، e - درشت‌بلور کلینوپیروکسن (XPL)، f - درشت‌بلور شکل‌دار هورنبلند (XPL)، g - درشت‌بلور بیوتیت پاسیتی شده (PPL)، h - کوارتز به صورت رگچه‌ای و زمینه‌ای (XPL).

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 آلپیت نورماتیو از ۱۹٪ تا ۵۲٪ متغیر است.

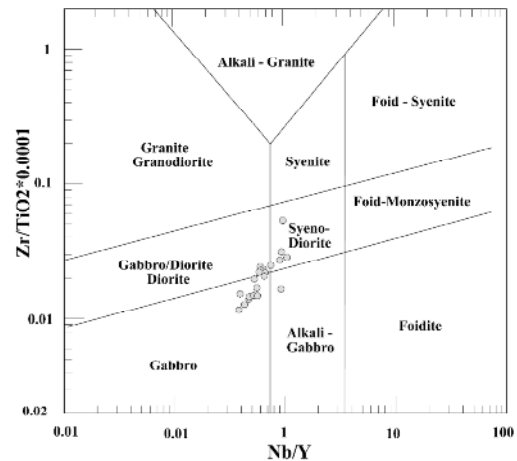
ژئوشیمی عناصر اصلی

برای بررسی روند تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی این سنگ‌ها و تعیین مسیر تحولات ماگمایی 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 MgO ، CaO ، FeO ، Fe_2O_3 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 ژئوشیمیایی در توده نفوذی می‌شوند. البته ناپیستی منطقه‌بندی ترکیبی توده 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 گستره SiO_2 ، ۵۵٪ - ۵۰٪ مربوط به تبلور بخشی پلاژیوکلاز کلسیک است که روند MgO و ثابت بودن مقدار آن در این گستره مؤید آن است و دومی با شیب نزولی ملایم‌تر در گستره 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 ماگمایی و آلیش باشد.

در نمودار $\text{CaO} - \text{MgO}$ (شکل ۶) یک روند کلی صعودی مشاهده می‌شود که نشانگر مصرف همزمان CaO و MgO بوده و دل 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 و Na_2O روندی صعودی، Fe_2O_3 ، MgO ، TiO_2 و CaO روندی نزولی، Al_2O_3 روندی تقریباً



شکل ۳ موقعیت نمونه‌ها در دیاگرام TAS [۱۱].

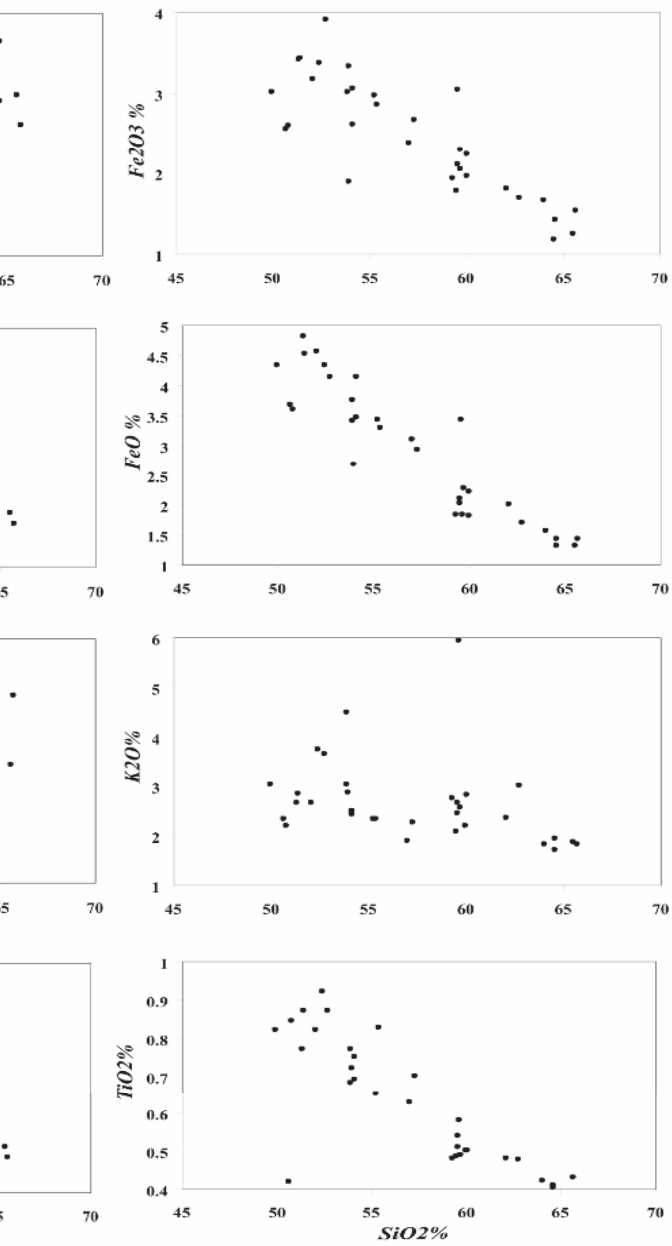


شکل ۴ موقعیت نمونه‌ها در دیاگرام $\text{Nb/Y} - \text{Zr/TiO}_2 * 0.0001$ [۱۲].

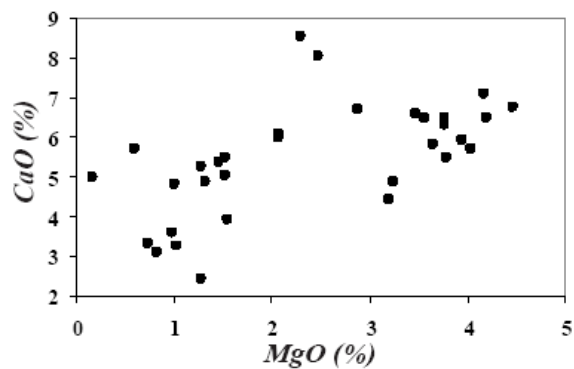
پتروشیمی

درصد سیلیس نمونه‌های توده نفوذی اینچه از ۴۹/۹۷٪ تا ۶۵/۷۱٪ متغیر، و میانگین درصد سیلیس در آنها ۵۷/۳٪ است. بیشترین و کمترین میزان $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در این سنگ‌ها به ترتیب ۱۰/۶ و ۴/۲۸٪ با میانگین ۶/۶۲٪ است. میزان $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ این سنگ‌ها بالاست و در بیش از ۸۰٪ نمونه‌ها به بیش از یک می‌رسد. درصد آلومین توده نفوذی بین ۱۵/۱۸ تا ۱۹/۴٪ با میانگین ۱۸/۱۷٪ است و اغلب ویژگی متآلومینوس از خود نشان می‌دهند. این سنگ‌ها به ندرت در گستره پراآلومینوس قرار می‌گیرند (شکل ۱۴). میزان TiO_2 پایین و از ۰/۳۸ تا ۰/۹۲ با میانگین ۰/۶۲٪ متغیر است. همه نمونه‌های تجزیه شده در ترکیب ساختاری خود دارای کوارتز در گستره بین ۰/۵٪ تا ۲۴/۱٪ با میانگین ۱۰/۱٪ است. الیون و نفلین

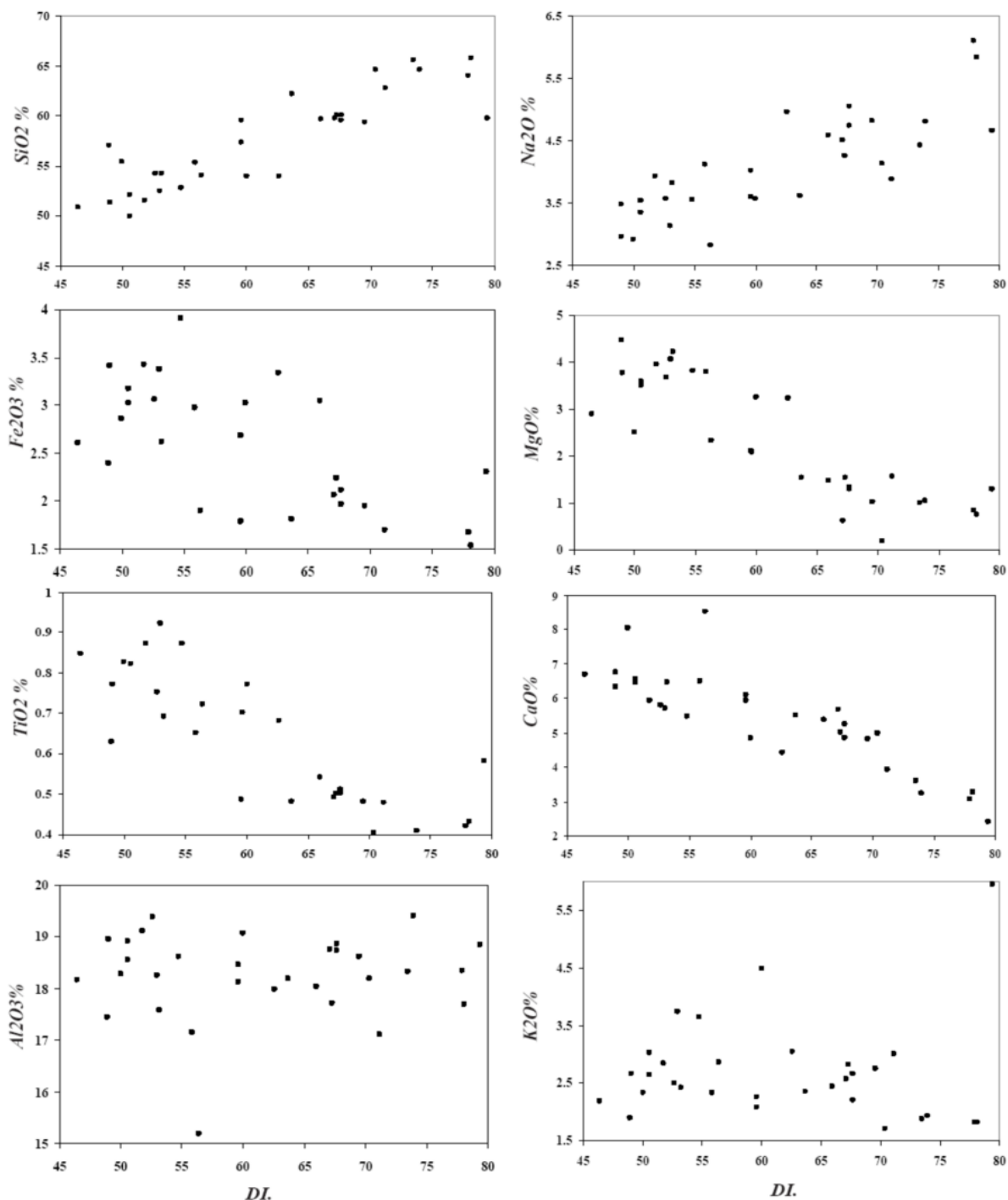
افقی و K_2O روندی افقی و نسبتاً پراکنده از خود نشان می‌دهند.



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



شکل ۶ نمودار MgO - CaO نمونه‌های توده اینچه.



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

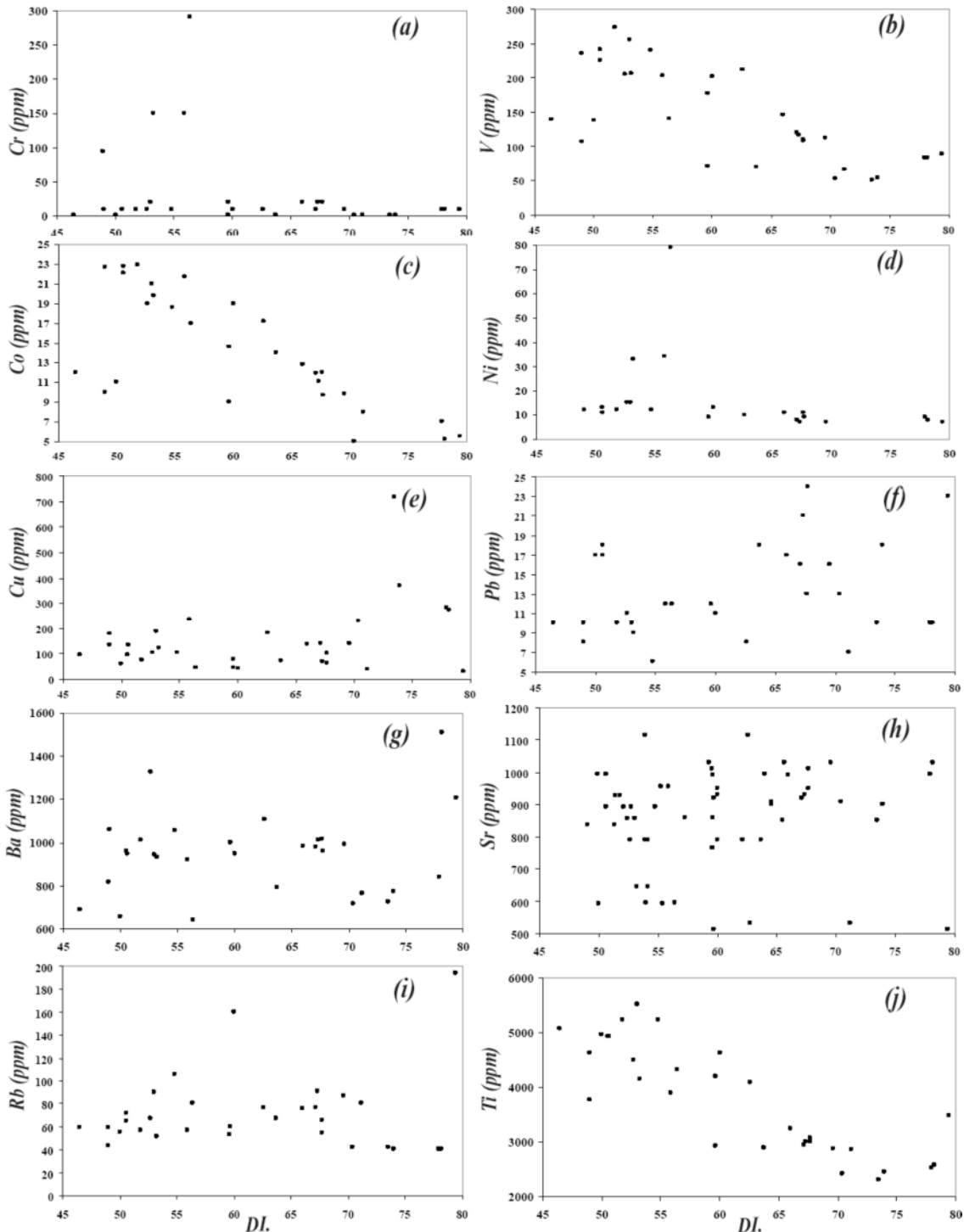
ژئوشیمی عناصر کمیاب و فرعی

Cr، (DI) فاقد روند مشخصی است که می‌توان این مسئله را به پدیده‌هایی مثل هضم و آرایش نسبت داد (شکل a-۱) و V و Co (شکل‌های c، b-۱) دارای روند نزولی مشخصی است که

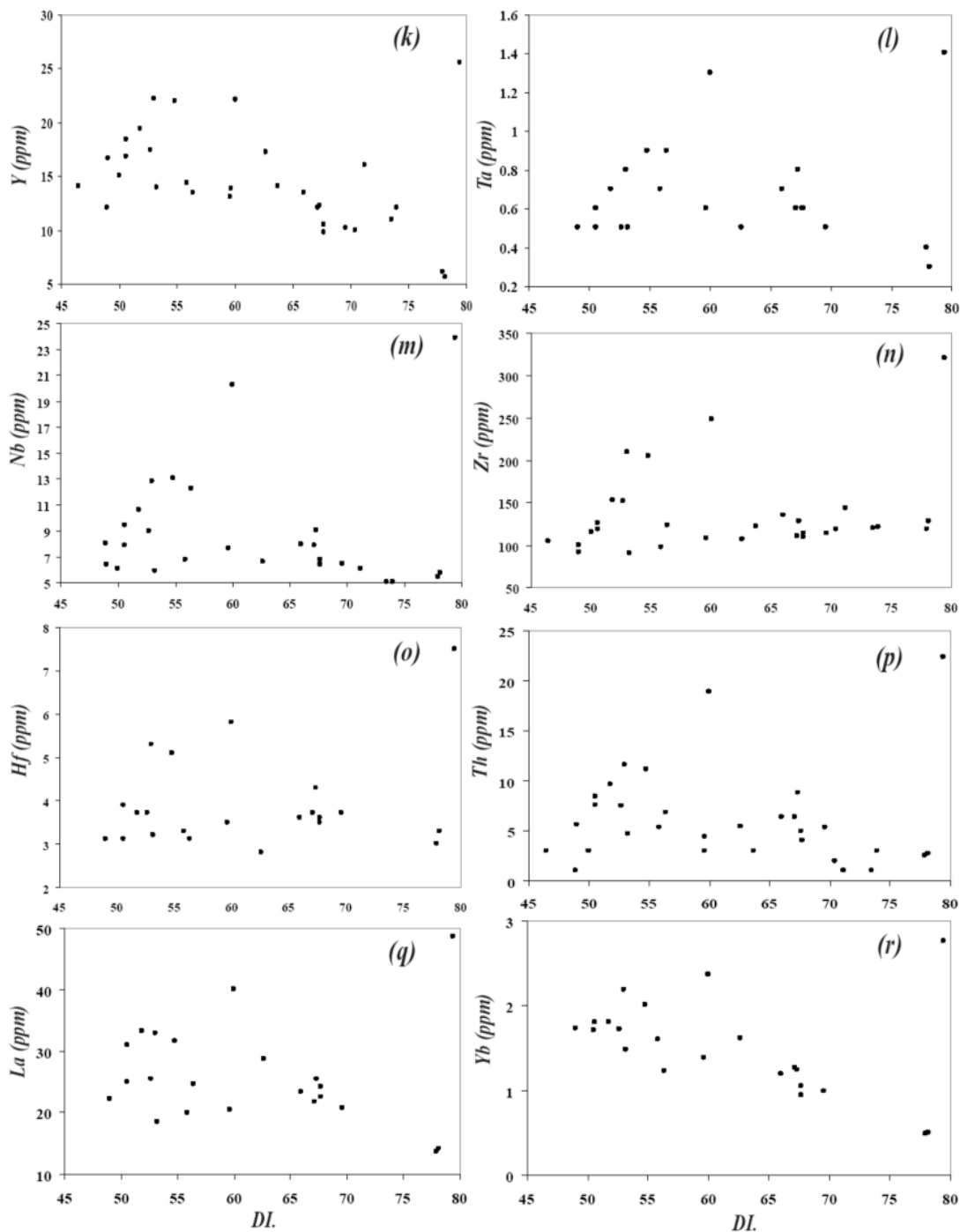
بررسی تغییرات عناصر کمیاب به موازات تفریق در توده نفوذی اینچه (شکل ۸) نشان می‌دهد که با افزایش شاخص تفریق

چندین نمونه تغلیظ شده است که می‌توان این پدیده را به عدم تشکیل سیلیکات‌های حاوی مس و تغلیظ در آبگون باقی‌مانده دانست.

نشانه‌گر مشارکت این عناصر در ساختار کانی‌های آهن - منیزیم‌دار نظیر الیوین، پیروکسن، و نیز مگنتیت طی تحول ماگمایی است. Ni دارای روند نزولی ملایمی است که می‌توان آن را به مشارکت در شبکه الیوین مربوط دانست، چنانکه بالا بودن Ni در چند نمونه نیز مربوط به حضور الیوین در نمونه‌های بازیک است (شکل ۸-d). در نهایت Cu (شکل ۸-e) دارای روند نسبتاً ثابت و افقی است و در مراحل نهایی در



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



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

تغییرات Ba (شکل g-۸) مشابه K_2O است که می‌تواند علامت نشستن Ba به جای K باشد. در نمونه‌های اسیدی، این عنصر

عناصر LILE و Pb (شکل f-۸)، تا حدی دارای روند نزولی است که دلالت بر تمركز آن در مذاب‌های نهائی است. روند

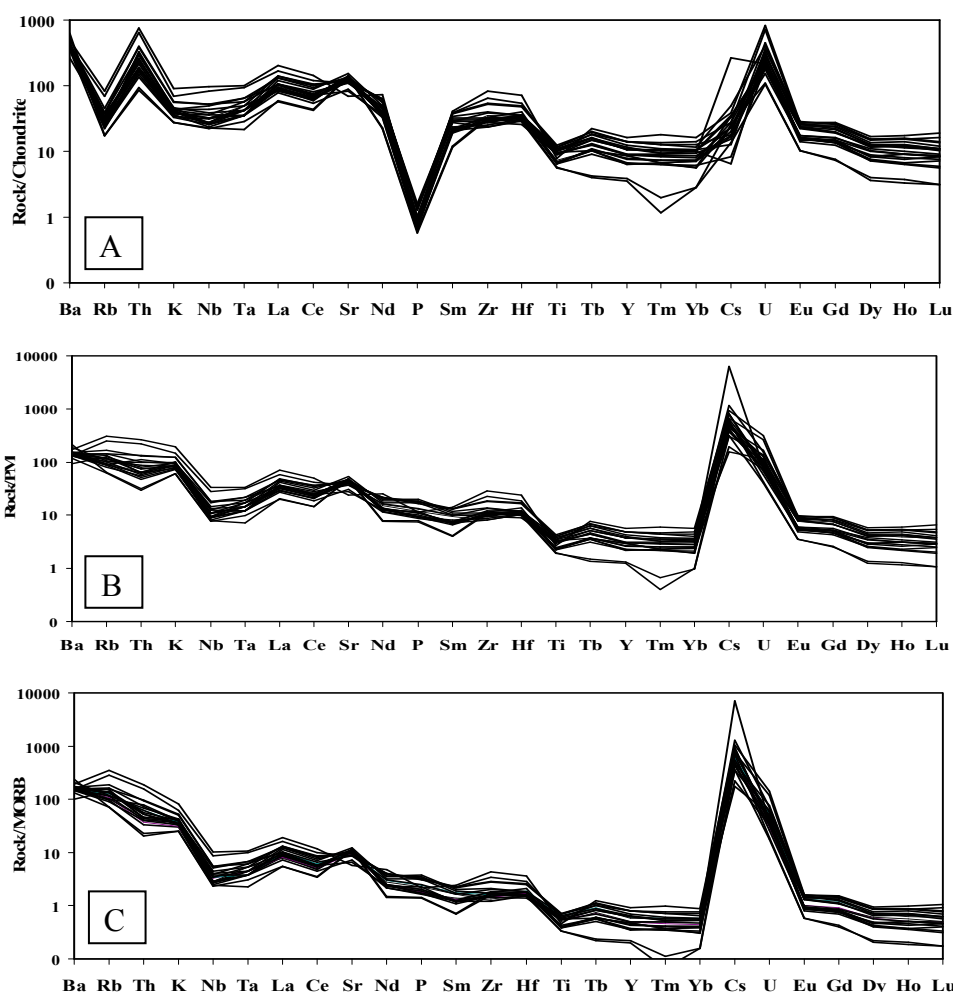
بخشی پلاژیوکلاز و فراوانی مودال آن در نمونه‌های حد واسط باشد. افزایش ناگهانی مقادیر این عناصر نیز در شرایط به شدت اسیدی قابل مشاهده است. معمولاً تمرکز این عناصر در شبکه کانی‌هایی نظیر آلانیت و موناژیت صورت می‌گیرد که این افزایش ناگهانی شاید بازتابی از تبلور این کانی‌هاست.

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, 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 پوسته 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.

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. Ta, Y, و Nb (شکل‌های ۸-k, l, m) دارای روند افزایشی و سپس کاهش یافته و شکل زنگوله‌ای این روندها نشانگر مشارکت در شبکه 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 آلیش 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

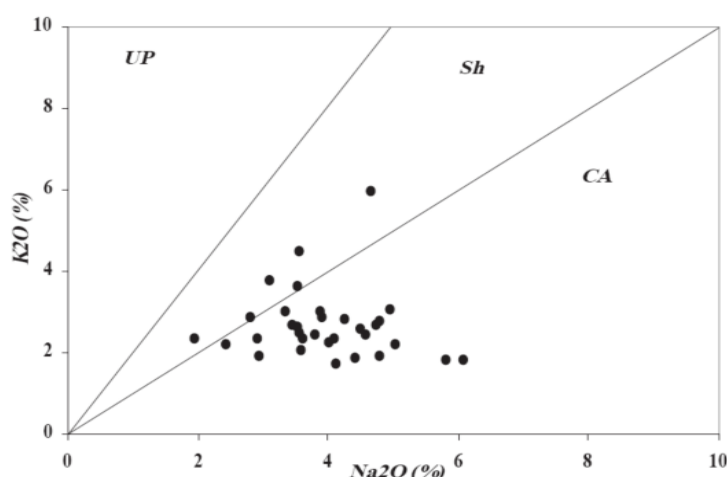


شکل ۹ نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب تودهٔ اینچه که بر حسب کاهش ناسازگاری مرتب شده‌اند. (A: بهنجار شده به کندریت، B: بهنجار شده به PM و C: بهنجار شده به MORB).

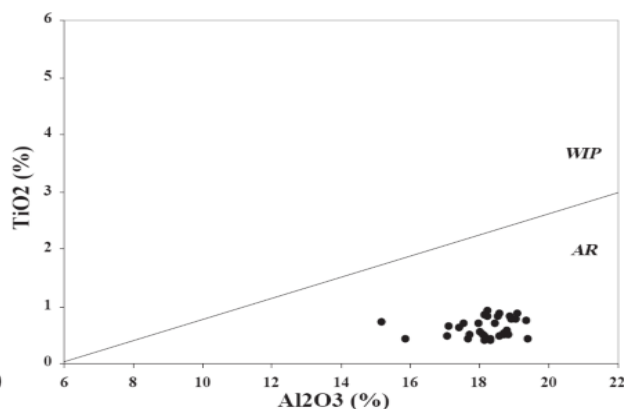
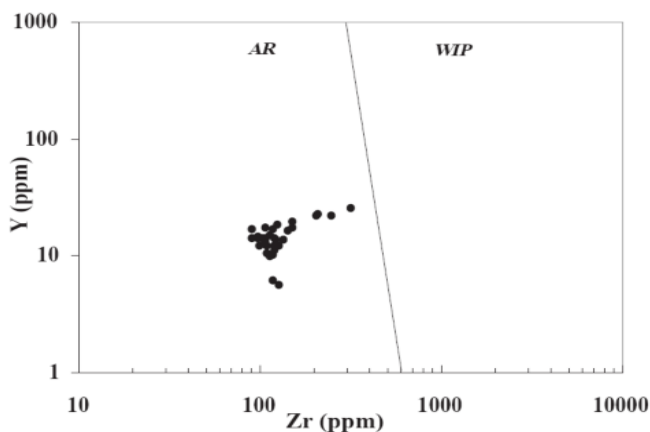
شدت دگرسانی گرمابی در این منطقه که آثار این تغییرات حتی در توده‌های نفوذی که نسبت به تودهٔ پورفیری تأخیری-ترند نیز دیده می‌شود، به نظر می‌رسد که استفاده از نمودارهای یاد شده نتیجه‌ای بهتر از نمودارهایی دارد که در آنها از اکسید-های عناصر اصلی استفاده شده است. با توجه به نتایج این نمودارها به طور کلی می‌توان گفت که ماگمای مولد سنگ‌های تودهٔ نفوذی در منطقهٔ سوناجیل دارای سرشت شوشونیتی و کالکوالکالن 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:

محیط زمین ساختی و سنگ زایی توده‌های نفوذی

برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های تودهٔ نفوذی از نمودارهای Ce/Yb-Ta/Yb و Th/Yb-Ta/Yb و $[\text{۱۵}] \text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ استفاده شد. در نمودار $[\text{۱۵}] \text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ ، بخش بیشتر نمونه‌های تودهٔ نفوذی در گسترهٔ کالکوالکالن با پتاسیم بالا و نسبت $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O} < 1$ قرار گرفته و بقیهٔ آنها در گسترهٔ شوشونیتی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰). در نمودارهای Th/Yb-Ta/Yb و Ce/Yb-Ta/Yb که از عناصر نا متحرک HFSE با نسبت‌های Th/Yb ، Ce/Yb ، و Ta/Yb استفاده شده (شکل ۱۱)، بخش اعظم نمونه‌ها در گسترهٔ شوشونیتی و تعداد معدودی در گسترهٔ کالکوالکالن قرار گرفته‌اند. با توجه به



شکل ۱۰ نمودار $[\text{۱۵}] \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ برای تعیین سری ماگمایی نمونه‌های تودهٔ نفوذی اینچه.



شکل ۱۱ نمودارهای $Ce/Yb - Ta/Yb$ و $[16]Th/Yb - Ta/Yb$ برای تعیین سری ماگمایی نمونه‌های توده نفوذی اینچه.

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 ، و Yb ، و تاحدی Ta هستند که نشان می‌دهد توده یاد شده در پوسته قاره‌ای با ضخامت زیاد تا متوسط جایگیری کرده و تحت تاثیر ذوب بخشی و آرایش پوسته‌ای نیز قرار گرفته است که از آن به تسلط پوسته‌ای یاد شده است [۲۲]. ضمناً ناهنجاری منفی عناصر نادر خاکی سنگین نشان‌دهنده عمق زیاد تشکیل ماگما و وجود گارنت و زیرکن در مواد خاستگاه این ماگماهاست.

برداشت

۱- ترکیب سنگ‌شناسی توده نفوذی اینچه در حد دیوریت تا کوارتز دیوریت با بافت پورفیری و بندرت افیتیک، دانه‌ای و تراکیتوئیدی بوده و بدرون توده‌های قدیمی تر نفوذ کرده است.
۲- کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، هورنبلند بوده و به صورت فرعی فلدسپار قلیایی، بیوتیت، کوارتز، تورمالین و الیوپن در این سنگ‌ها حضور دارند. کلسیت، اپیدوت، آنتوفیلیت، ترمولیت-اکتینولیت و کانی‌های رسی نیز به صورت ثانویه تشکیل شده‌اند.

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

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

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

در نمودارهای $(TiO_2-Al_2O_3)$ ، $(Y-Zr)$ و (Zr/Al_2O_3-) (TiO_2/Al_2O_3) [۱۸] (شکل ۱۲) همه نمونه‌ها در گستره وابسته به قوس‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند. برای تفکیک قوس‌های ماگمایی حاشیه 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 توده اینچه در گستره قوس‌های پس برخوردی (PAP) قرار گرفته‌اند.

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

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

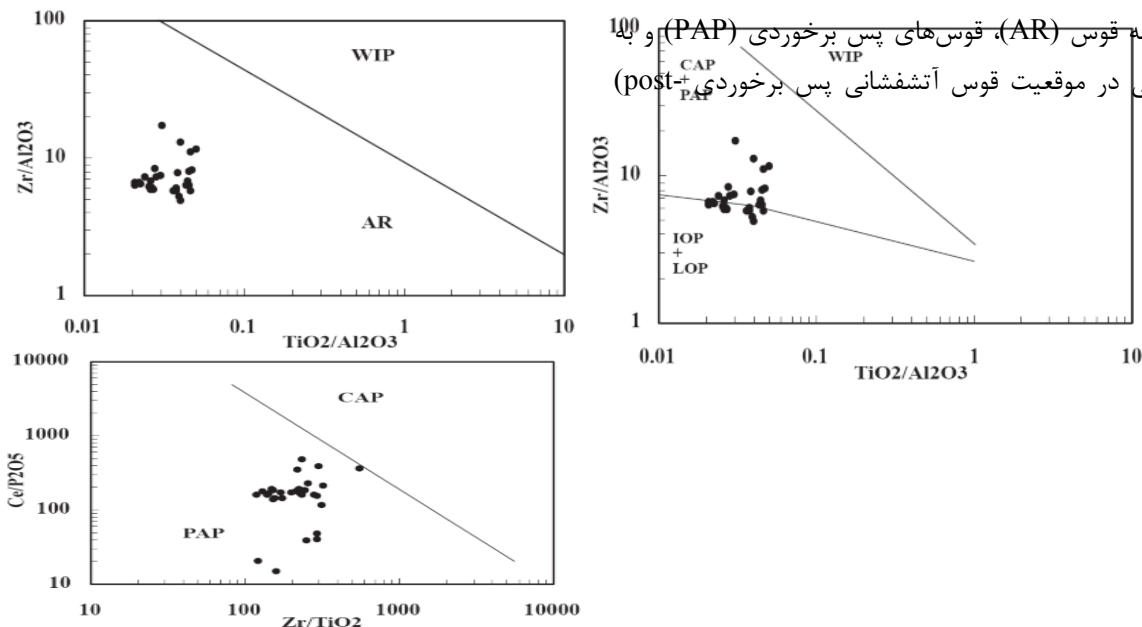
در نمودار $(Na_2O + K_2O - CaO) - SiO_2$ [۲۱] توده نفوذی اینچه بیشتر در گستره کالکوالکالن و آلکالی کلسیک و چند نمونه در گستره قلیایی و کلسیک قرار گرفته‌اند. همچنین در نمودار $(FeO^4/FeO^3 + MgO) - SiO_2$ [۲۱] بخش اعظم نمونه‌های توده نفوذی در گستره گرانیت‌های کردیلرایی و دارای ترکیب منیزین قرار می‌گیرند (شکل ۱۶).

در نمودار عنکبوتی رسم شده برای عناصر کمیاب که نسبت به پلاژیوگرانیت‌های شکاف میان اقیانوسی (ORG) بهنجار شده‌اند (شکل ۱۷)، با مقایسه دامنه تغییرات عیار این عناصر کمیاب در توده نفوذی اینچه، مشاهده می‌شود که

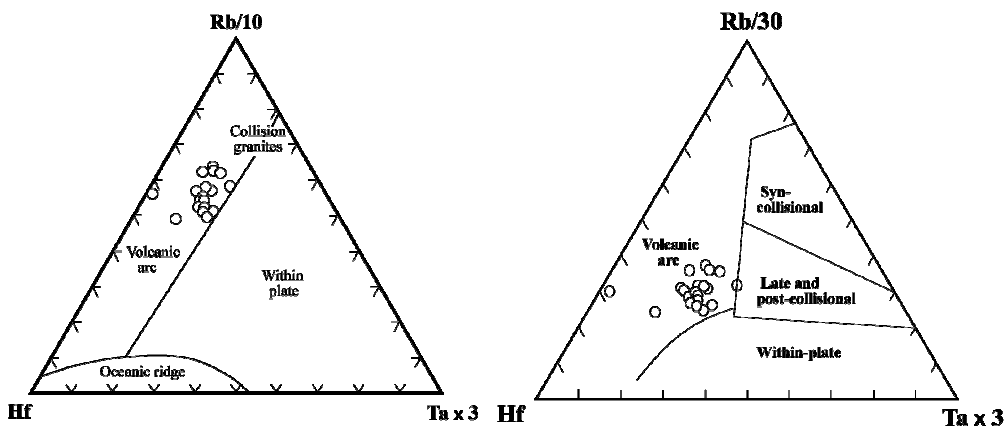
collisional arc) قرار می‌گیرند بنابراین تودهٔ اینچه ارتباطی به فرورانش فعال نئوتتیس ندارد.

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

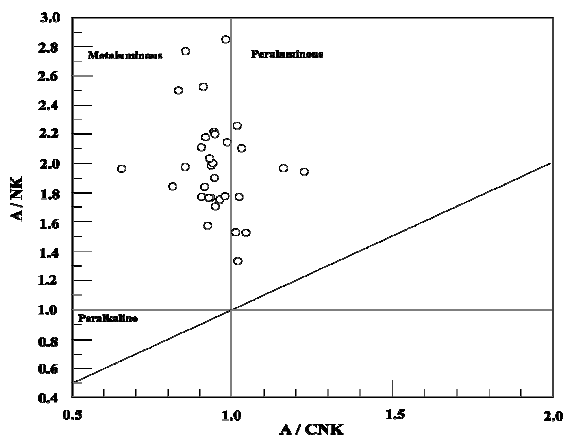
۶- از نظر محیط زمین‌ساختی، نمونه‌های این توده در موقعیت وابسته به قوس (AR)، قوس‌های پس‌برخوردی (PAP) و (post-IOP) در موقعیت قوس آتشفشانی پس‌برخوردی (post-IOP) قرار می‌گیرند.



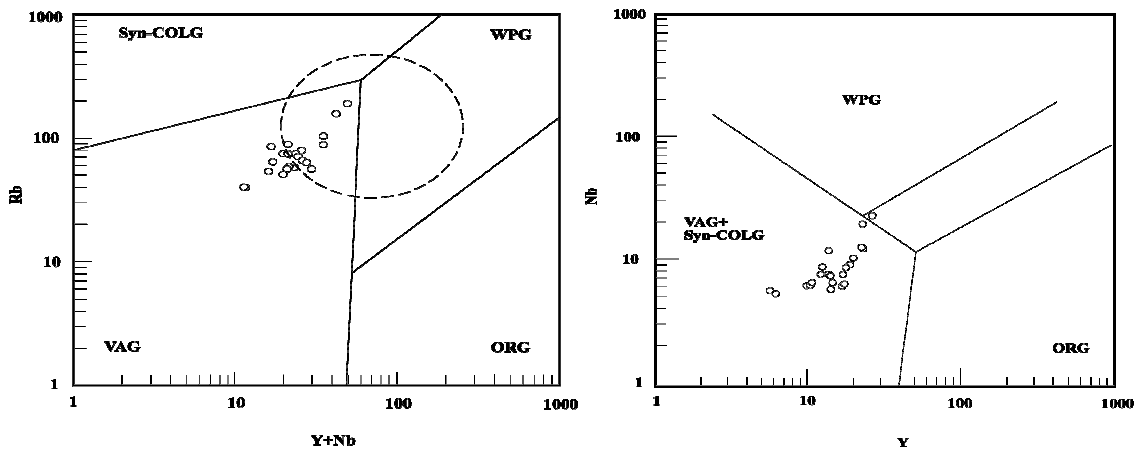
شکل ۱۲ نمودارهای $Y-Zr, TiO_2-Al_2O_3$, $Zr/Al_2O_3-TiO_2/Al_2O_3$ و $Ce/P_2O_5-Zr/TiO_2$ [۱۸] برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی تودهٔ نفوذی اینچه (WIP) : موقعیت داخل صفحه‌های AR : وابسته به قوس‌های آتشفشانی CAP : قوس‌های فعال قاره‌ای PAP : قوس پس‌برخورد IOP : قوس اقیانوسی آغازین LOP : قوس اقیانوسی تاخیری.)



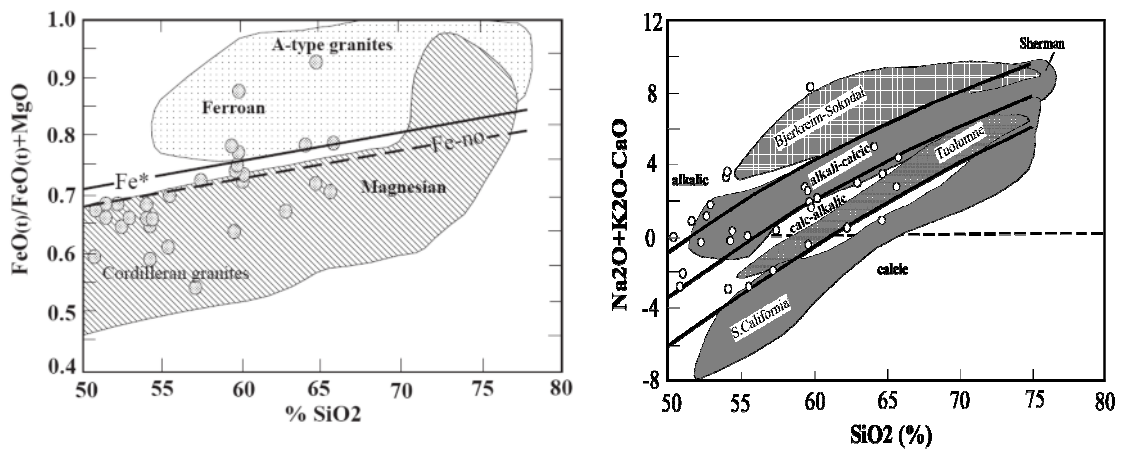
شکل ۱۳ نمودارهای سه‌متغیره متمایزکنندهٔ محیط‌های مختلف زمین‌ساختی (A) (Rb/30-Hf-3Ta) و (B) (Rb/10-Hf-3Ta) [۱۹].



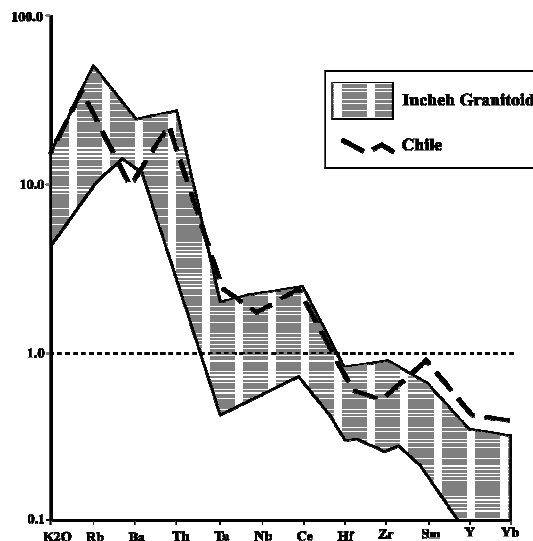
شکل ۱۴ نمودار A/CNK-A/NK [۲۰] برای تمایز توده‌های گرانیتوئیدی پرآلومینوس از مت‌آلومینوس.



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



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



شکل ۱۷ نمودار عنکبوتی رسم شده برای عناصر کمیاب توده نفوذی اینچہ کہ نسبت به پلاژیوگرانیتهای شکاف میان اقیانوسی (ORG) بہنچار شدہ اند و مقایسہ آنها با دادہہای مربوط بہ شیلی (گرانیٹوئیدہای قوس آتشفشانی) [۱۶].

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 Unwin, (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, I. 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.

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 می نمایند. بجاست مؤلفین از هیئت تحریریه و داوران محترم مجله بلورشناسی و کانی شناسی 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، "زمین شناسی 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، "دیباجه ای 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، "بررسی های پترولوژیکی نوار ولکانوپلوتونیک ترشیر البرز غربی - آذربایجان با نگرشی ویژه بر منطقه هسجین"، پایان نامه دوره دکتری زمین شناسی 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*