

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. Hajialilu³, 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.*



بررسی های سنگ شناسی و سنگ زایی توده نفوذی اینچه (شرق هریس، آذربایجان شرقی)

قادر حسین زاده¹، محسن مؤید¹، علی اصغر کلاگری²، بهزاد حاجی علیلو³، محسن مؤذن¹

1- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

2- انستیتو تحقیقات علوم پایه - تبریز

3- گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور تبریز

پست الکترونیکی: Hosseinzadegh@yahoo.com

(دریافت مقاله: 1386/3/26، نسخه نهایی: 1386/11/15)

چکیده: توده خارانمای (گرانیتوئیدی) اینچه در شرق هریس در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این توده به درون واحدهای سنگی قدیمی تر از جمله استوک نیمه آتشفشانی سوناجیل (اوسن فوقانی - الیگوسن زیرین) با ترکیب میکرودیوریت پورفیری نفوذ کرده است. ترکیب توده نفوذی اینچه از دیوریت، سینودیوریت تا کوارتز دیوریت بوده و در نمودارهای سنگ شناسی در گستره دیوریت، سینودیوریت و کوارتز دیوریت قرار می گیرد. کانی های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و پیروکسن است و به صورت فرعی بیوتیت، فلدسپار قلیایی، کوارتز، الیوین، اپیدوت و تورمالین در آن دیده می شود. بافت غالب این سنگ ها پورفیری است، ولی بافت های دانه ای، تراکیتوئیدی و افیتیک نیز به صورت فرعی دیده می شوند. توده اینچه تحت تاثیر تفریق، تبلور بخشی و هضم و آلیش متحول شده است. تجزیه های شیمیائی نشان می دهند که سنگ های این توده غالباً متالومینوس بوده و به سری ماگمایی 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 قاره ای جایگیری کرده است.

واژه های کلیدی: اینچه، سوناجیل، اکوزداغی، شاخص تفریق، سری قلیایی-آهکی، قوس های پس از برخورد.

مقدمه

یک رساله کارشناسی ارشد [6] روی برخی واحدهای سنگی مطالعاتی انجام شده است. لذا در این مقاله سعی شد تا سنگ شناسی، کانی شناسی، و سنگ زایی توده نفوذی اینچه به تفصیل مورد بررسی قرار گیرد. این کار پژوهشی می تواند در آگاهی از سنگ شناسی و سنگ زایی این توده و توده های نفوذی دیگر شمالغرب از قبیل توده شیورداغ، انزان، خانکندی و... مفید باشد.

روش مطالعه

بررسی های صحرایی و نمونه برداری سطحی از منطقه مورد مطالعه طی چندین مرحله در سال های 84 و 85 صورت گرفت

گستره مورد مطالعه، در فاصله 17 کیلومتری شرق شهر هریس در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. در این منطقه از سال 1380 پروژه های مختلف زمین شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و نیز پی جوییهایی در دو مرحله صورت گرفت و زمین شناسی اقتصادی منطقه نیز به تفصیل توسط مؤلف اول این مقاله از سال 1382 تاکنون بررسی شده است. با وجود پی جوییهای فراوانی که از سوی امور اکتشافات شرکت ملی صنایع مس ایران [1-5] انجام گرفت، تاکنون بررسی دقیق و فراگیر سنگ شناسی در این منطقه صورت نگرفته است. تنها در قالب

همراه با چین‌خوردگی گستره واحدهای آتشفشانی و آذرآواری، و جایگیری نفوذی‌های خارانما در الیگوسن (فاز پیرنه) بوده است [9]. 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 بدون آنها نفوذ کرده است. فعالیت نفوذی بعدی در این منطقه، تزریق توده دیوریتی، کوارتزیدیوریتی 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، تراکی‌آندزیتی تا تراکی آندزیت بازالتی اکوزداغی با سن پلیو-کواترنری معرف جوانترین فاز ماگمایی در این منطقه است (شکل 1).

که در نهایت نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی دقیق منطقه در مقیاس 1:5000 تهیه شد. تعداد 22 نمونه از توده نفوذی اینچه و دایک‌های وابسته به آن، پس از بررسی‌های دقیق کانی‌شناسی به روش فلونورسانی پرتو X (XRF) و پلاسمای جفت شده القائی (ICP) در آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا مورد تجزیه عناصر اصلی، فرعی، و کمیاب قرار گرفتند (جدول 1). همچنین تعداد 10 نمونه نیز در آزمایشگاه کانساران بینالود بروش XRF و 5 نمونه نیز در دانشگاه لئوبن اطریش بروش ریز پردازش الکترونی (EPMA) بررسی شدند.

زمین‌شناسی

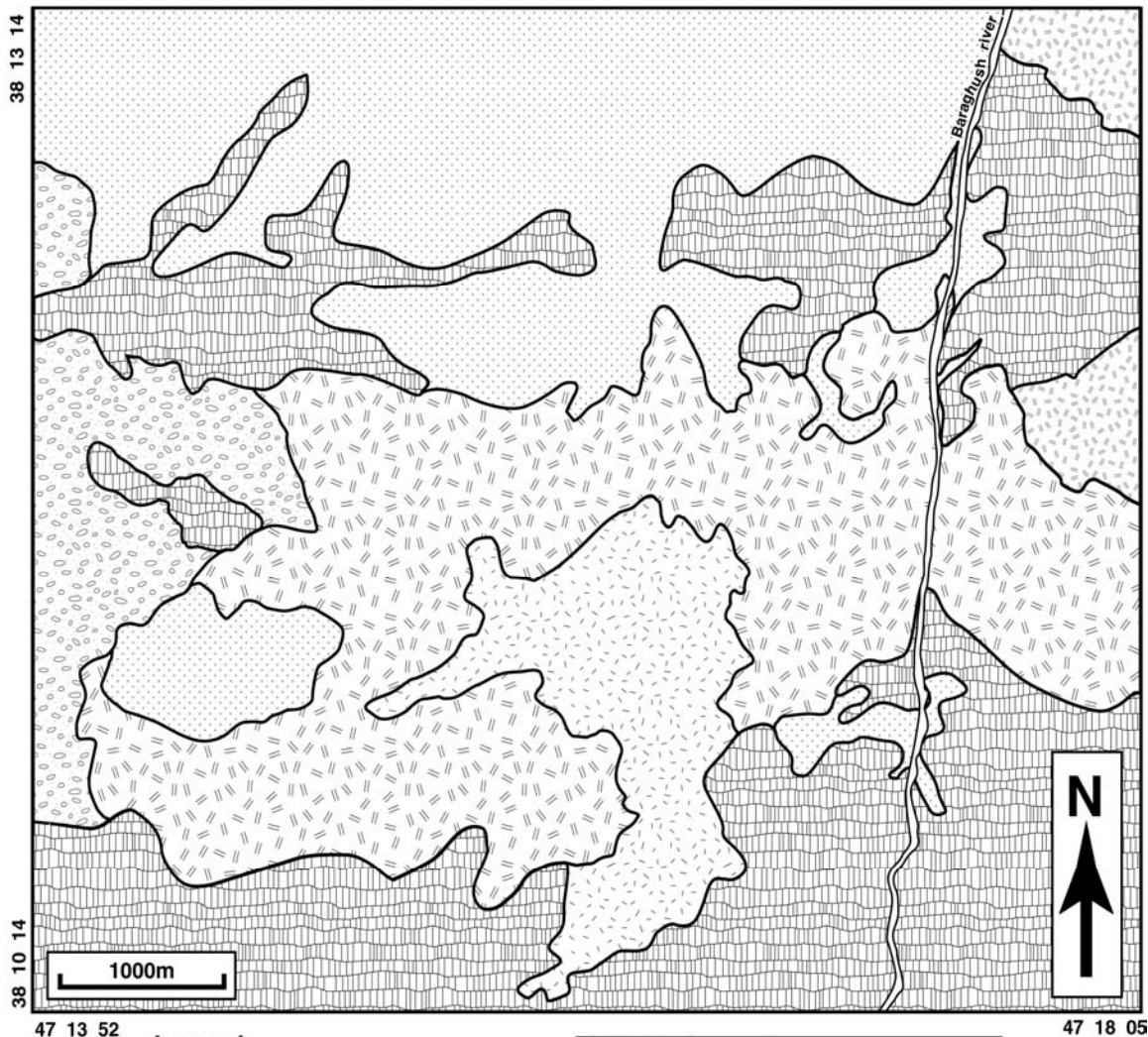
گستره مورد بررسی در رده‌بندی‌های زمین‌شناسی ایران در زون البرز - آذربایجان [7] و زون آتشفشانی ترشیر-کواترنری [8] قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های بارز این زون، فعالیت ماگمایی گسترده ترشیری است که آغاز آن در ائوسن و نقطه اوج آن

جدول 1 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 (%)	59,57	60,05	59,33	60,02	57,33	59,72	52,09	51,34	54,16	55,27	53,98	64,04	65,71	59,61	53,93	54,16	53,9	52,46	52,74	49,97	51,45	59,69
Al ₂ O ₃ (%)	18,71	17,71	18,6	18,86	18,45	18,73	18,89	18,95	17,56	17,13	15,18	18,34	17,69	18,02	17,97	19,36	19,06	18,25	18,61	18,53	19,09	18,82
FeO (%)	2,01	2,22	1,82	1,8	2,93	2,27	4,56	4,8	3,46	3,42	2,67	1,56	1,42	3,43	3,75	4,13	3,4	4,33	4,14	4,32	4,52	1,82
Fe ₂ O ₃ (%)	2,1	2,23	1,94	1,96	2,67	2,05	3,17	3,41	2,61	2,96	1,89	1,66	1,53	3,04	3,33	3,05	3,01	3,37	3,9	3,01	3,42	2,29
CaO (%)	4,81	4,98	4,79	5,22	5,92	5,65	6,54	6,29	6,43	6,46	8,5	3,06	3,26	5,35	4,41	5,77	4,81	5,67	5,44	6,44	5,91	2,4
MgO (%)	1,33	1,54	1,02	1,28	2,08	0,6	3,49	3,77	4,21	3,78	2,31	0,83	0,75	1,46	3,22	3,66	3,25	4,05	3,81	3,57	3,95	1,29
Na ₂ O (%)	4,74	4,25	4,81	5,05	4,02	4,5	3,53	3,47	3,81	4,11	2,82	6,09	5,83	4,58	4,95	3,56	3,57	3,12	3,55	3,35	3,92	4,66
K ₂ O (%)	2,65	2,81	2,75	2,19	2,25	2,56	2,64	2,65	2,41	2,33	2,85	1,82	1,81	2,44	3,03	2,49	4,48	3,74	3,64	3,02	2,84	5,94
TiO ₂ (%)	0,51	0,5	0,48	0,5	0,7	0,49	0,82	0,77	0,69	0,65	0,72	0,42	0,43	0,54	0,68	0,75	0,77	0,92	0,87	0,82	0,87	0,58
MnO (%)	0,07	0,08	0,07	0,07	0,1	0,08	0,17	0,19	0,14	0,15	0,15	0,04	0,04	0,08	0,18	0,18	0,15	0,19	0,24	0,13	0,17	0,13
P ₂ O ₅ (%)	0,24	0,2	0,2	0,21	0,21	0,22	0,28	0,26	0,19	0,2	0,26	0,16	0,17	0,24	0,37	0,29	0,36	0,39	0,38	0,41	0,44	0,25
LOI (%)	2,02	1,69	2,37	1,83	2,61	2,74	1,41	2,57	2,86	1,22	8,11	1,45	0,93	1,93	3,24	1,72	2,42	2,51	1,97	5,36	2,35	1,55
Total	99,25	98,79	98,64	99,34	99,9	100,1	98,47	99,43	99,22	98,13	99,92	99,83	99,94	99,97	99,91	99,94	99,89	99,85	99,61	99,77	99,83	99,86

ادامه جدول 1

	G106	G16	G51	G58	G94	T18	T27	T28	T39	T40B	T44	T55	T56B	T8	T85	T87	T97	T111	T114	T119	T120B	T122
Ba (ppm)	1015	1010	991	960	997	977	946	1060	930	918	640	839	1510	984	1105	1325	945	943	1055	960	1010	1205
Ce (ppm)	42,8	44,6	36,5	40,4	38,2	40,1	46,4	41,4	33,6	37,3	43,5	25,8	26,4	43,3	53,5	49	74,6	64,8	61,2	57,3	63,2	88,5
Co (ppm)	12	11,1	9,8	9,7	14,6	11,9	22,1	22,7	19,8	21,7	17	7	5,2	12,8	17,2	19	19	21	18,6	22,8	22,9	5,5
Cr (ppm)	20	20	10	20	20	10	10	10	150	150	290	10	10	20	10	10	10	20	10	10	10	10
Cs (ppm)	1,54	3,83	6,38	4,44	4,48	5,18	4,32	6,56	3,28	2,89	3,13	4,83	2,52	3,77	50,2	6,25	5,22	3,39	9,23	1,22	2,41	7,34
Cu (ppm)	102	69	140	61	44	140	135	133	122	235	46	284	273	138	182	103	41	186	104	94	73	30
Dy (ppm)	1,95	2,13	1,87	1,82	2,61	2,23	3,28	3,14	2,57	2,78	2,09	1	0,93	2,18	2,93	3,1	3,82	3,96	3,89	3,24	3,5	4,32
Eu (ppm)	0,88	0,87	0,81	0,93	1,02	0,91	1,38	1,3	0,96	1,02	0,96	0,6	0,6	0,96	1,38	1,33	1,42	1,48	1,64	1,5	1,54	1,6
Gd (ppm)	2,8	3,02	2,58	2,81	3,36	2,78	4,39	3,97	3,1	3,21	3	1,49	1,56	2,83	4,09	4,05	5,07	5,47	5,26	4,63	4,8	5,69
Hf (ppm)	3,6	4,3	3,7	3,5	3,5	3,7	3,9	3,1	3,2	3,3	3,1	3	3,3	3,6	2,8	3,7	5,8	5,3	5,1	3,1	3,7	7,5
Ho (ppm)	0,38	0,43	0,37	0,36	0,51	0,46	0,67	0,64	0,52	0,56	0,51	0,21	0,19	0,51	0,68	0,71	0,87	9,0	0,87	0,72	0,8	0,99
La (ppm)	24,1	25,4	20,7	22,4	20,4	21,6	24,9	22,2	18,4	19,8	24,6	13,6	14	23,2	28,6	25,4	40	32,9	31,5	30,9	33,2	48,5
Lu (ppm)	0,18	0,21	0,15	0,14	0,22	0,19	0,28	0,27	0,22	0,23	0,21	0,08	0,08	0,21	0,26	0,28	0,41	0,36	0,35	0,28	0,31	0,48
Nb (ppm)	6,7	9	6,4	6,3	7,6	7,8	7,8	6,3	5,9	6,7	12,2	5,4	5,7	7,9	6,6	8,9	20,2	12,8	13	9,4	10,6	23,8
Nd (ppm)	18,1	18,5	16	17,6	17,4	17,2	21,6	20,4	15,6	17,4	16,9	10,5	10,7	18,2	23,3	22,4	29,5	29,7	28,6	25,7	27	34,7
Ni (ppm)	11	7	7	9	9	8	13	12	33	34	79	9	8	11	10	15	13	15	12	11	12	7
Pb (ppm)	13	21	16	24	12	16	18	10	9	12	12	10	10	17	8	11	11	10	6	17	10	23
Rb (ppm)	65	90,4	86,5	54,7	59,5	76	71,9	59,3	51,2	57	80,1	40	40,3	75,6	76	66,6	159,5	89,7	105,5	64,6	57	194
Sm (ppm)	3,31	3,36	2,89	3,19	3,35	3,22	4,58	4,26	3,16	3,6	3,03	1,8	1,86	3,31	4,51	4,38	5,83	5,88	5,74	4,92	5,24	6,23
Sr (ppm)	1010	931	1030	948	858	919	890	837	644	956	595	993	1030	990	1115	788	788	855	892	992	928	510
Ta (ppm)	0,6	0,8	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9	0,4	0,3	0,7	0,5	0,5	1,3	0,8	0,9	0,6	0,7	1,4
Tb (ppm)	0,38	0,4	0,34	0,38	0,48	0,41	0,62	0,6	0,47	0,5	0,39	0,16	0,15	0,39	0,55	0,56	0,69	0,74	0,75	0,6	0,68	0,83
Th (ppm)	4,98	8,74	5,34	4	4,38	6,34	7,51	5,61	4,71	5,31	6,78	2,49	2,72	6,36	5,38	7,42	18,85	11,55	11,1	8,38	9,61	22,3
Tm (ppm)	0,16	0,19	0,16	0,17	0,21	0,19	0,27	0,26	0,22	0,23	0,17	0,05	0,03	0,17	0,24	0,26	0,35	0,33	0,33	0,24	0,28	0,45
U (ppm)	1,52	2,65	1,64	1,24	1,44	2,1	2,33	1,74	1,49	1,67	1,93	0,89	0,85	2,2	1,75	1,89	5,63	3,55	3,33	2,44	2,94	6,72
V (ppm)	108	116	112	110	177	120	225	235	206	203	140	83	83	145	212	205	201	255	239	241	273	88
Y (ppm)	10,5	12,2	10,2	9,8	13,8	12	16,8	16,6	13,9	14,3	13,4	6,1	5,6	13,4	17,2	17,4	22,1	22,2	22	18,4	19,4	25,5
Yb (ppm)	1,04	1,24	0,98	0,94	1,38	1,26	1,8	1,73	1,48	1,6	1,22	0,48	0,49	1,19	1,61	1,72	2,36	2,19	2,01	1,7	1,8	2,76
Zr (ppm)	109	128,5	113,5	113,5	107,5	110,5	118	91,6	90,7	97,5	123	119	128,5	134,5	107	151,5	249	210	205	126	152,5	320



Legend

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



شکل 1 نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه.

سنگ شناسی توده‌های نفوذی

توده نفوذی اینچنین در بخش بزرگی از منطقه مورد مطالعه نفوذ کرده و همبندی 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 2-a)، دانه دار (شکل 2-d)، افیتیک و تراکیتوئیدی هستند. درشت بلورهای موجود در این سنگ‌ها بیشتر به صورت پلاژیوکلاز (شکل 2-a، 2-b و 2-c) و به ندرت پیروکسن (شکل 2-e)، هورنبلند (شکل 2-f) و بیوتیت (شکل 2-g) دیده می‌شوند.

پلاژیوکلاز (70٪ - 50٪) از نظر ترکیبی در حد آندزین-ایگولاز بوده (An = 57,7 - 36,6٪)، هم به صورت درشت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با ماکل پریکلین و آلبیتی (کوچکتر از 7 میلیمتر) با منطقه‌بندی نوسانی و هم مرکز (شکل 2-b)، و هم به صورت ریز دانه و میکروولیتی در زمینه سنگ حضور دارند. در بیشتر بلورهای پلاژیوکلاز، بافت غربالی به چشم می‌خورد. پلاژیوکلازها بطور بخشی به کانی‌های ثانویه از قبیل کلسیت (شکل 2-a)، سربست، اپیدوت (شکل 2-d)، کلریت، کوارتز و کانی‌های رسی (شکل 2-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 [10].

پیروکسن (20 - 0٪) از نوع کلینوپیروکسن (اوژیت) بوده است و به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار (<2mm) دیده می‌شود (شکل 2-e). این کانی‌ها شدیداً به کلریت، کلسیت، کانی‌های کدر، اکتینولیت و به مقدار کمتر به هورنبلند، اورالیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند.

آمفیبول (20 - 0٪) بیشتر از نوع هورنبلند بوده و به صورت بلورهای متوسط (<3mm) شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار حضور دارد (شکل 2-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 (15 - 0٪) به صورت صفحات ریز تا متوسط (<2mm) حضور دارند و در بیشتر موارد به طور بخشی به کلریت (پنین) و اکسید آهن (هماتیت و گوتیت) تبدیل شده است (شکل 2-g). برخی از پولک‌های ریز بیوتیت ثانوی و محصول دگرسانی هورنبلندها هستند. این پولک‌ها گاهی تا 15٪ 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 (15 - 0٪) بیشتر اورتوز، در زمینه ریز دانه سنگ و برخی بصورت درشت‌دانه حضور داشته و بطور بخشی به سرسیت دگرسان شده است.

کوارتز (15 - 0٪) به صورت اولیه و ثانویه در چند نمونه دیده شد که به صورت میان بلوری ریزدانه در متن سنگ یا رگچه‌ای (شکل 2-h) دیده می‌شود.

الیون (<5٪) به مقدار اندک و در اندازه‌های ریز (<500µm) در برخی از نمونه‌ها حضور داشته و برخی از آنها به کانی‌های رشته‌ای مانند آنتوفیلیت تبدیل شده است.

کلسیت (5 - 0٪) بیشتر حاصل دگرسانی پلاژیوکلازها و کانی‌های آهن - منیزیم‌دار بوده (شکل 2-a) و به صورت سودومورف کانی‌های اولیه، پرکننده فضاهای خالی و نیز به همراه مقادیر زیادی کلریت، اپیدوت و اورالیت کدر دیده می‌شود.

اپیدوت (3٪) به صورت ریز دانه تا متوسط حاصل از دگرسانی پلاژیوکلازها (شکل 2-d) و کانی‌های آهن - منیزیم‌دار همراه با کانی‌های ثانویه دیگر دیده می‌شود.

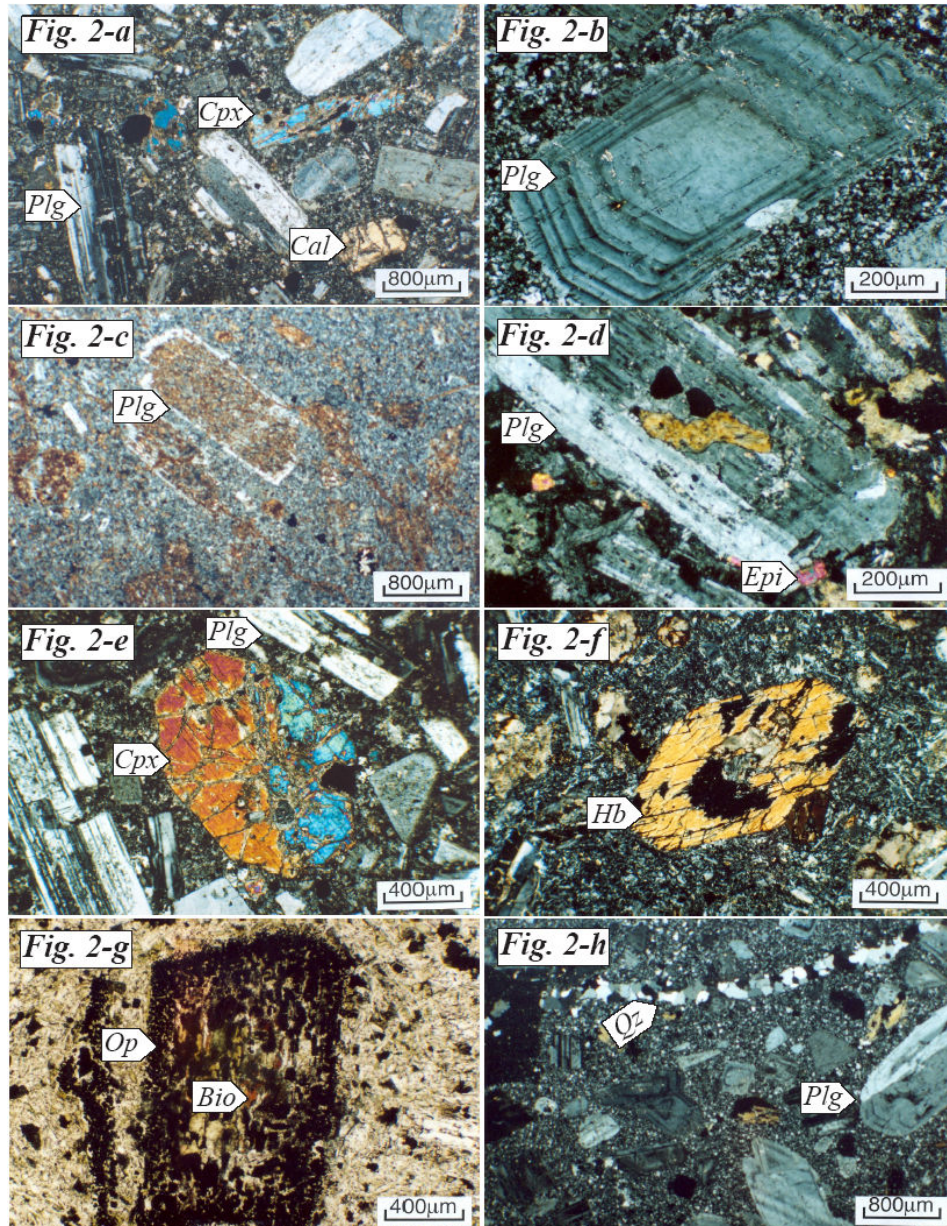
تورمالین (<5٪) بیشتر به صورت پولک‌های ریز و پراکنده و نیز به صورت اسفروولیتی و شعاعی دیده می‌شود. این کانی یا در زمینه سنگ و یا به صورت لکه‌هایی درون درشت بلورهای پلاژیوکلاز حضور داشته و بنظر می‌رسد که از دگرسانی پلاژیوکلازها حاصل شده باشد. XRD و ریزپردازش این سنگ‌ها نشان می‌دهد که تورمالین‌ها از نوع دراویت (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

سینودیوریت، و دیوریت و تعداد معدودی از آنها در گستره گابرو قرار می‌گیرند (شکل 3). در نمودار $(Zr/TiO_2 \times 0.0001) - (Nb/Y)$ [12] نیز تعداد زیادی از نمونه‌ها در گستره دیوریت و سینودیوریت و اندکی از آنها نیز در گستره گابروئی قرار می‌گیرند (شکل 4).

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 شیمیائی در نمودار $(TAS) SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ [11] بخش بیشتر نمونه‌ها در گستره کوارتزدیوریت (گرانودیوریت)،



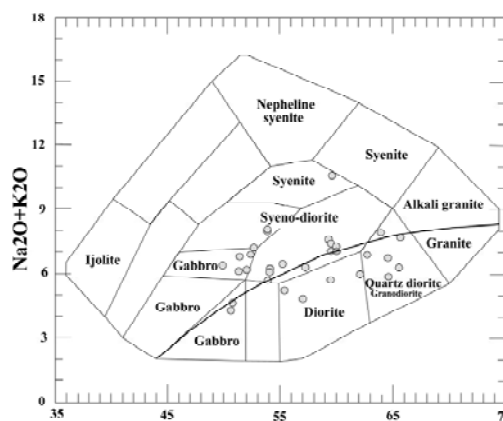
شکل 2 - **a** بافت پورفیری در توده اینچه (XPL)، **b**- منطقه‌بندی هم مرکز در پلاژیوکلاز (XPL)، **c**- تجزیه پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی (XPL)، **d**- تبدیل پلاژیوکلاز به اپیدوت و دیگر کانی‌های ثانویه (XPL)، **e**- درشت‌بلور کلینوپیروکسن (XPL)، **f**- درشت‌بلور شکل دار هورنبلند (XPL)، **g**- درشت‌بلور بیوتیت اپاسیتی شده (PPL)، **h**- کوارتز به صورت رگچه‌ای و زمینه‌ای (XPL).

آنورتیت نورماتیو از 10/7٪ تا 34/4٪، ارتوز نورماتیو از 10/4٪ تا 35/8٪ و آلبیت نورماتیو از 19٪ تا 52٪ متغیر است.

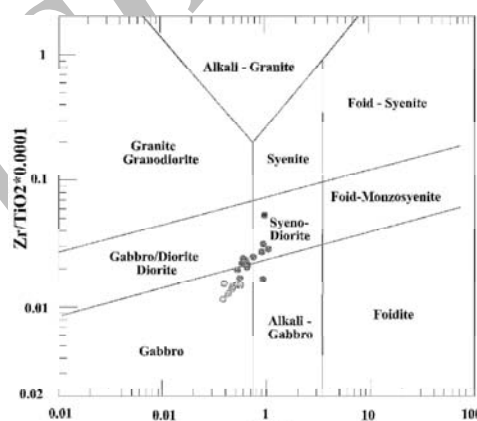
ژئوشیمی عناصر اصلی

برای بررسی روند تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی این سنگ‌ها و تعیین مسیر تحولات ماگمایی از نمودارهای اکسید - اکسید [13] و شاخص تفریق [14] در مقابل اکسیدهای عناصر اصلی استفاده شده است. در نمودارهای هارکر (شکل 5) روند تغییرات نسبتاً منظم است. در این نمودارها، با افزایش میزان SiO_2 مقادیر FeO ، CaO ، MgO ، 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 نیایستی 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 55٪ - 50٪ 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 67٪ - 55٪ 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 آلایش باشد.

در نمودار CaO - MgO (شکل 6) 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 7) 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 افقی و K_2O روندی افقی و نسبتاً پراکنده از خود نشان می‌دهند.



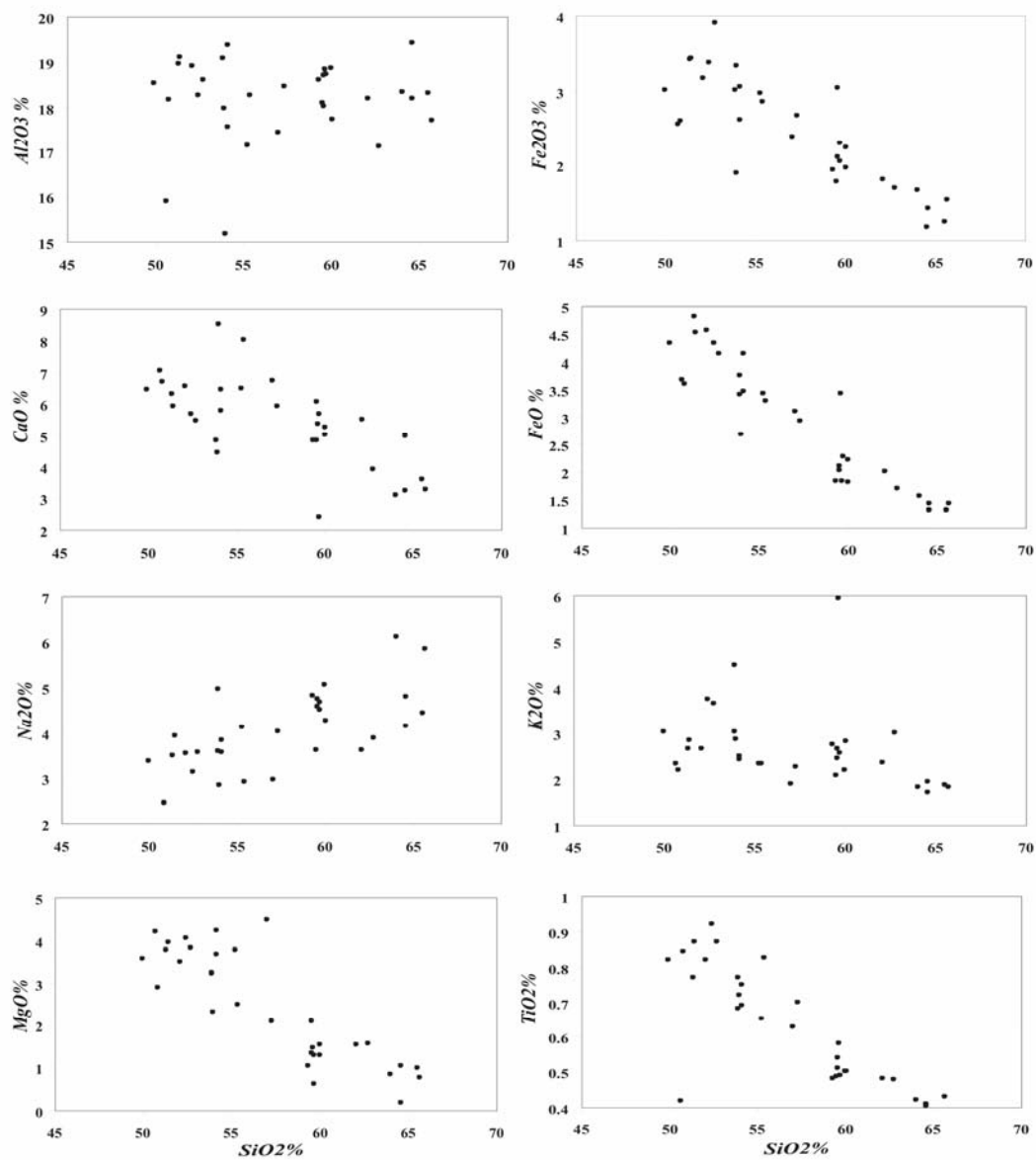
شکل 3 موقعیت نمونه‌ها در دیاگرام TAS [11].



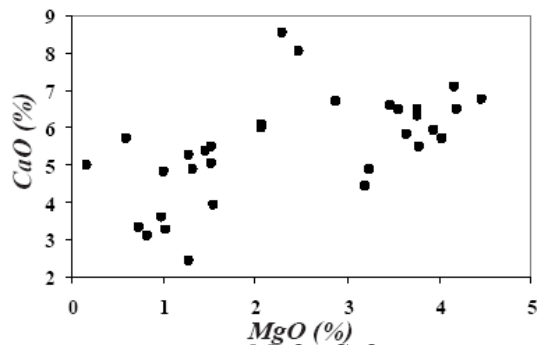
شکل 4 موقعیت نمونه‌ها در دیاگرام Nb/Y - $Zr/TiO_2*0.0001$ [12].

پetroشیمی

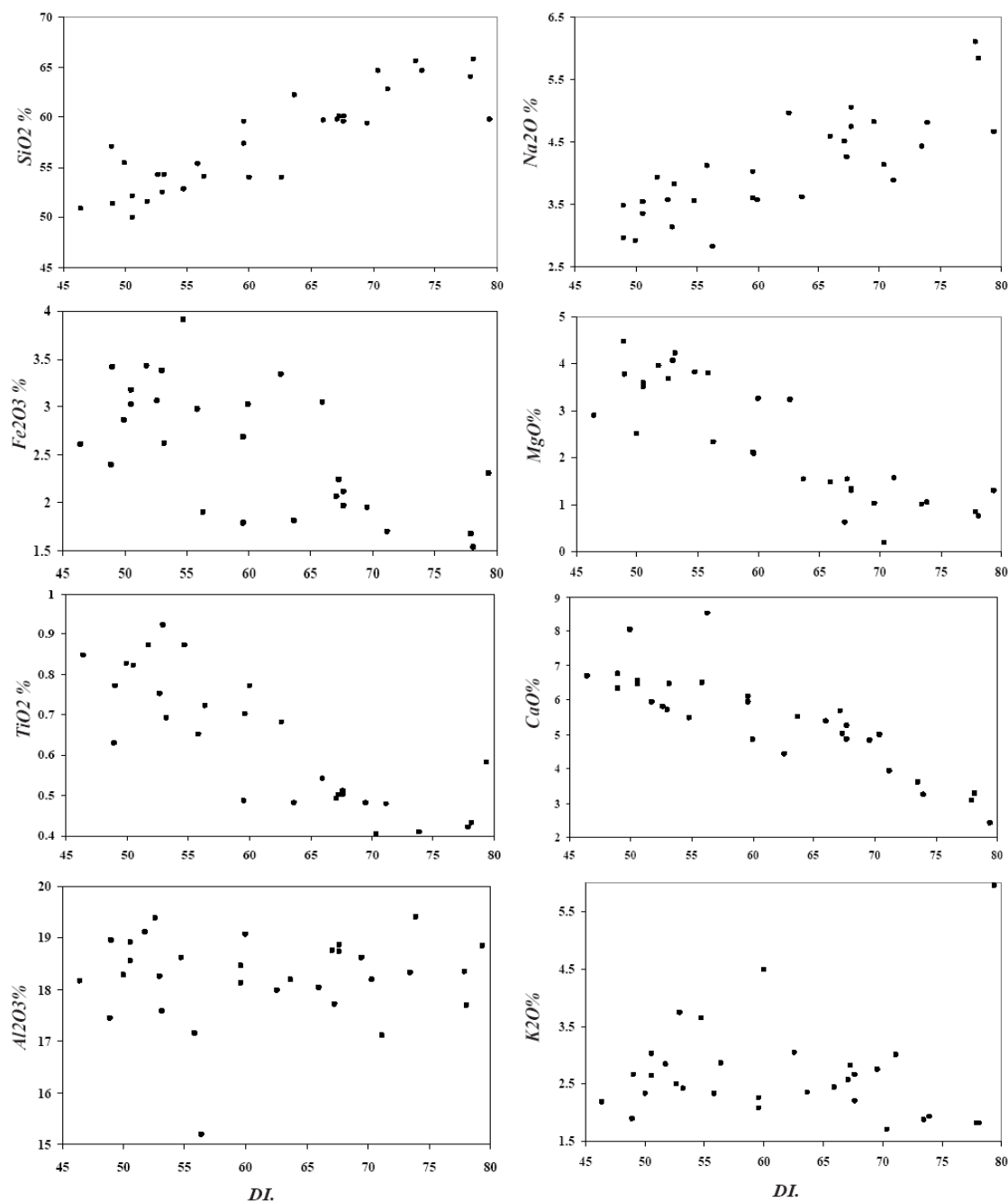
درصد سیلیس نمونه‌های توده نفوذی اینچپه از 49/97٪ تا 65/71٪ متغیر، و میانگین درصد سیلیس در آنها 57/3٪ است. بیشترین و کمترین میزان $Na_2O + K_2O$ در این سنگ‌ها به ترتیب 10/6 و 4/28٪ با میانگین 6/62٪ است. میزان Na_2O/K_2O این سنگ‌ها بالاست و در بیش از 80٪ نمونه‌ها به بیش از یک می‌رسد. درصد آلومین توده نفوذی بین 15/18 تا 19/4٪ با میانگین 18/17٪ است و اغلب ویژگی متآلومینوس از خود نشان می‌دهند. این سنگ‌ها به ندرت در گستره پراآلومینوس قرار می‌گیرند (شکل 14). میزان TiO_2 پایین و از 0/38 تا 0/92 با میانگین 0/62 متغیر است. همه نمونه‌های تجزیه شده در ترکیب ساختاری خود دارای کوارتز در گستره بین 0/5٪ تا 1/24٪ با میانگین 10/1٪ است. الیون و نفلین نورماتیو در هیچیک از نمونه‌ها مشاهده نشده است. میزان



شکل 5 نمودارهای اکسید - اکسید هارکر [13] برای نمونه‌های توده نفوذی اینچه.



شکل 6 نمودار MgO - CaO نمونه‌های توده اینچه.



شکل 7 نمودار اکسیدهای اصلی بر حسب DI برای نمونه‌های تودهٔ اینچه [14].

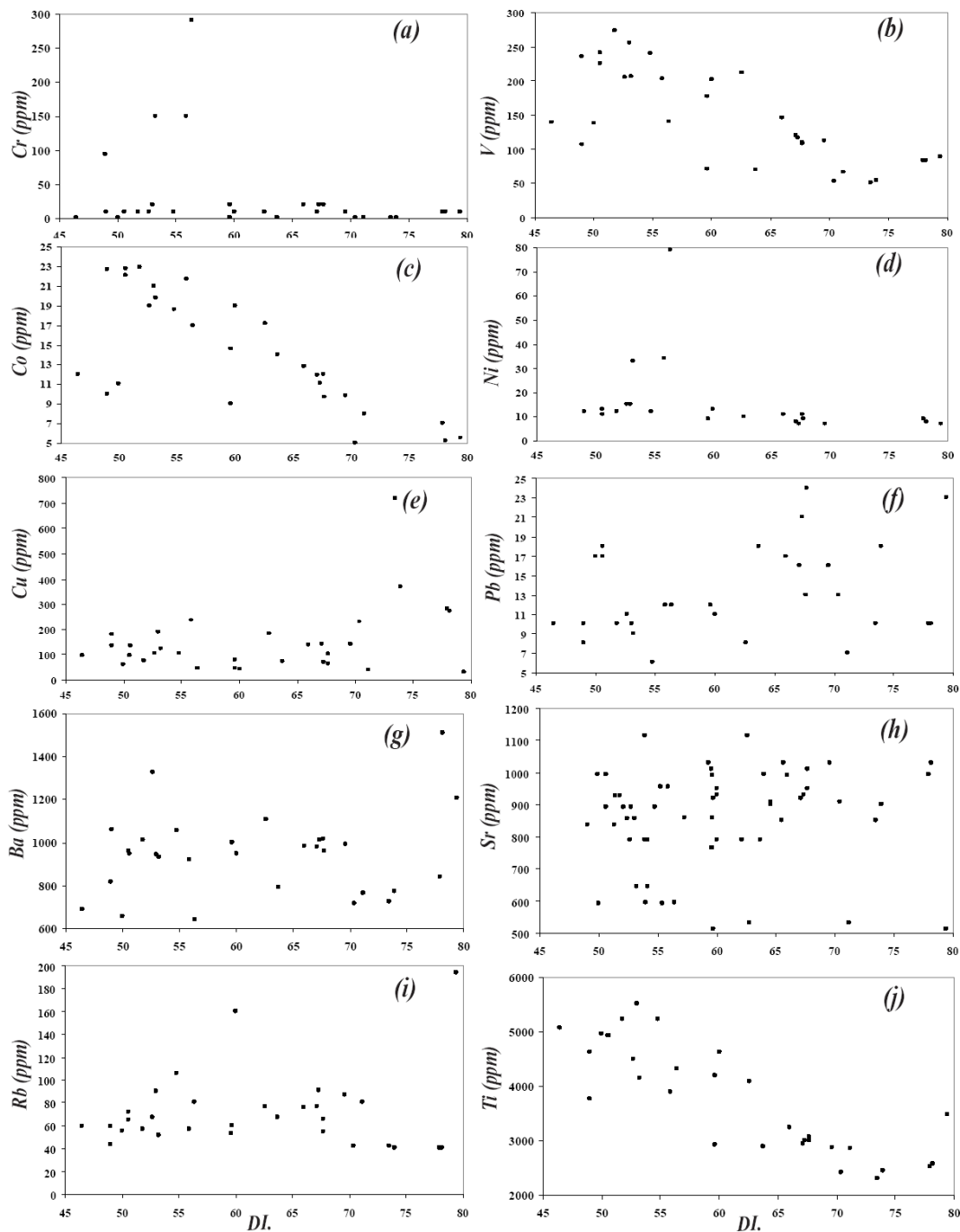
Co (شکلهای c، b-8) دارای روند نزولی مشخصی است که نشانگر مشارکت این عناصر در ساختار کانی‌های آهن - منیزیم‌دار نظیر الیوین، پیروکسن، و نیز مگنتیت طی تحول ماگمایی است. Ni دارای روند نزولی ملایمی است که می‌توان آن را به مشارکت در شبکهٔ الیوین مربوط دانست، چنانکه بالا

ژئوشیمی عناصر کمیاب و فرعی

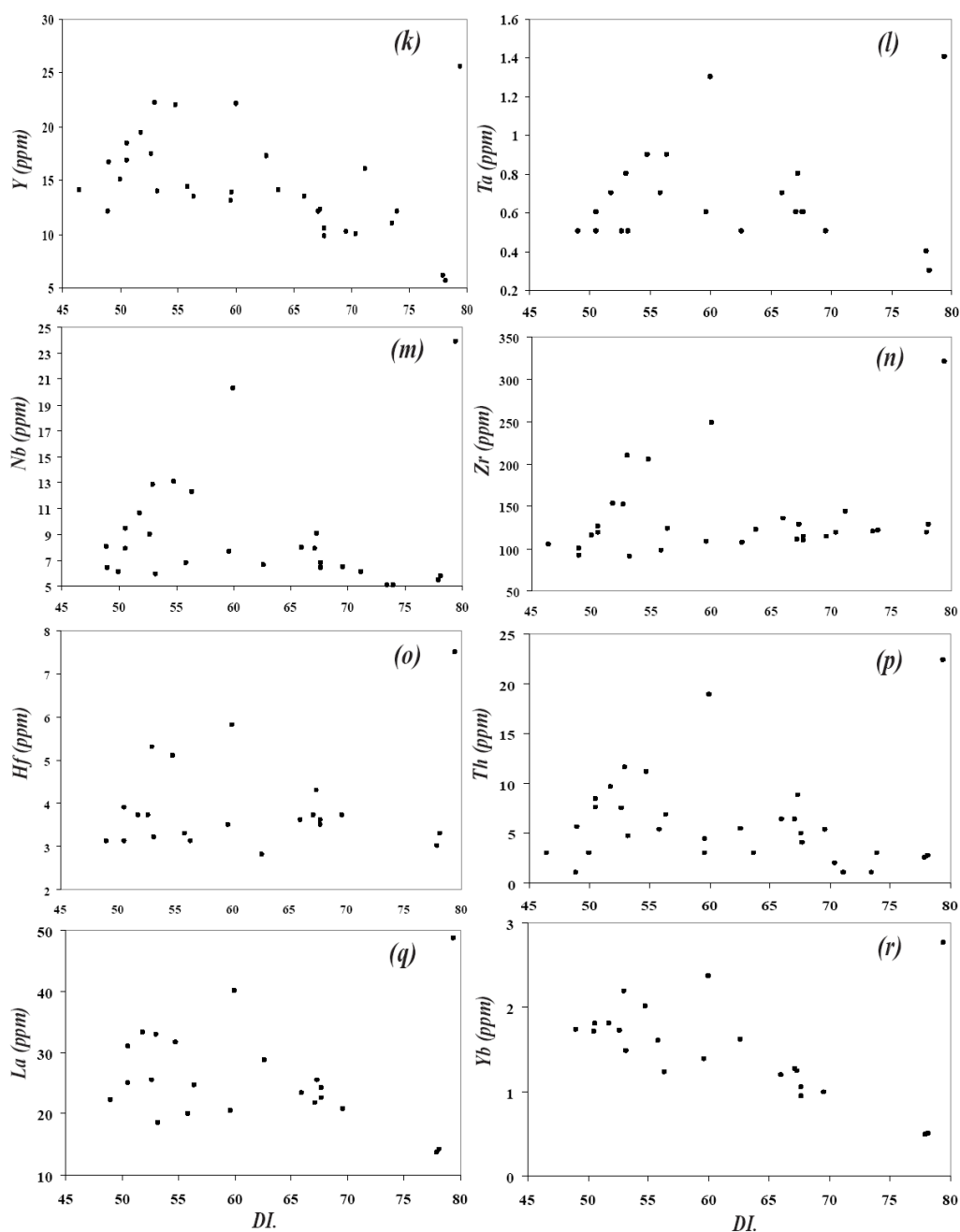
بررسی تغییرات عناصر کمیاب به موازات تفریق در تودهٔ نفوذی اینچه (شکل 8) نشان می‌دهد که با افزایش شاخص تفریق (DI)، Cr فاقد روند مشخصی است که می‌توان این مسئله را به پدیده‌هایی مثل هضم و آرایش نسبت داد (شکل a-8). V و

تشکیل سیلیکات‌های حاوی مس و تغلیظ در آبگون باقی‌مانده دانست.

بودن Ni در چند نمونه نیز مربوط به حضور الیون در نمونه-های بازیگ است (شکل 8-d). در نهایت Cu (شکل 8-e) دارای روند نسبتاً ثابت و افقی است و در مراحل نهایی در چندین نمونه تغلیظ شده است که می‌توان این پدیده را به عدم



شکل 8 نمودارهای DI بر حسب عناصر فرعی و کمیاب [14].



شکل 8 (ادامه) نمودارهای DI بر حسب عناصر فرعی و کمیاب [14].

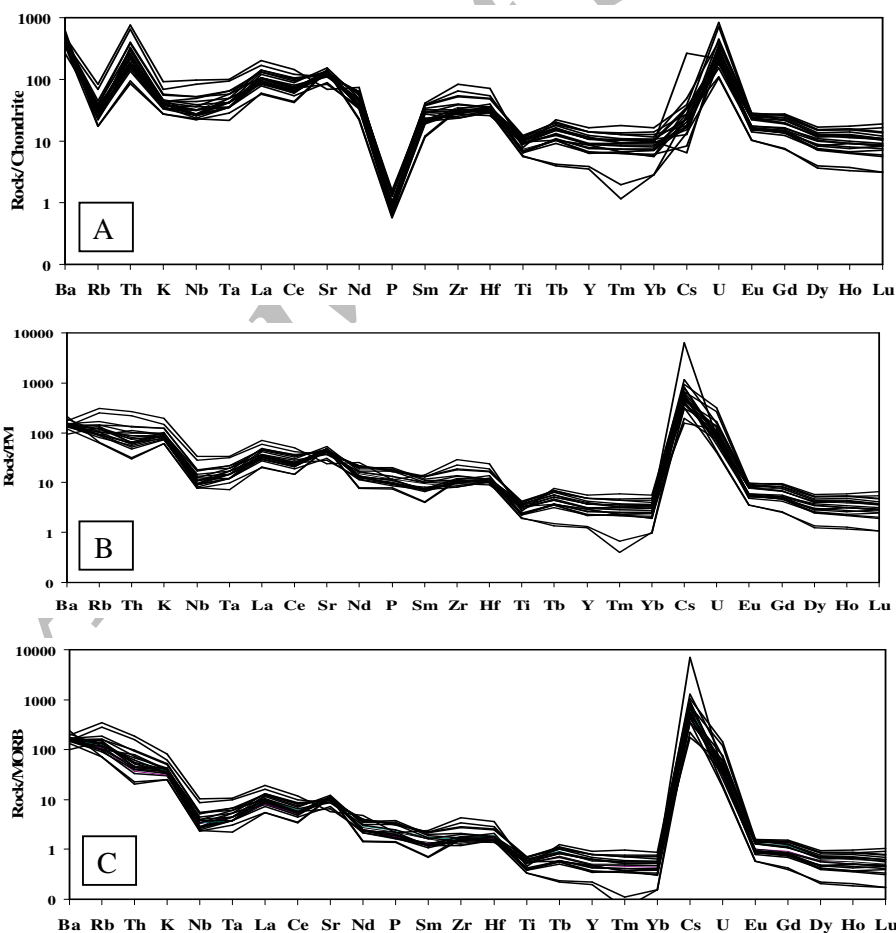
در مورد Sr و Rb (شکلهای 8-h,i) را می‌توان به پدیده‌هایی مانند اختلاط و هضم نسبت داد. عناصر گروه HFSE، Ti (شکل 8-j) روند نزولی مشخصی داشته که نشانی است از شرکت آن در ساختار کانی‌های آهن - منیزیم‌دار. Ta، Y، و Nb (شکلهای 8-k, l, m) دارای روند افزایشی و سپس کاهش‌ی بوده و شکل زنگوله‌ای این روندها

عنصر LILE و Pb (شکل 8-f)، تا حدی دارای روند نزولی است که دلالت بر تمرکز آن در مذاب‌های نهائی است. روند تغییرات Ba (شکل 8-g) مشابه K_2O است که می‌تواند علامت نشستن Ba به جای K باشد. در نمونه‌های اسیدی، این عنصر دارای افزایش ناگهانی است که مربوط به تبلور فلدسپار قلیایی و بیوتیت و نیز تغییر در موادل کانی‌ها است. روندهای پراکنده

در نمودارهای عنکبوتی گروه عناصر کمیاب که بر حسب کاهش ناسازگاری مرتب شده اند (شکل 9) 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 می خورد. به نظر می رسد که تبلور بخشی اکسیدهای Fe و Ti یا جدایش کانی های آهن - منیزیم دار حاوی Ti, مهمترین دلیل ناهنجاری منفی این عنصر بوده و تبلور بخشی آپاتیت نیز سبب ناهنجاری منفی P شده است. تأثیر پوسته قاره ای در تکوین و تحول ماگمای مولد این توده های نفوذی نیز سبب ایجاد ناهنجاری های مثبت عناصر یاد شده، می باشد. همچنین ناهنجاری مثبت Hf, Zr, و Lu در این توده ها به دلیل حضور مقادیر زیادی کانی زیرکن است.

نشانه مشارکت در شبکه آمفیبول است. Th, Zr, Hf, و Th (شکل های 8-n, o, p) دارای روندهای مشابه (تقریباً صعودی) بوده که همگی نشانگر غنی شدگی در نمونه های اسیدی و جایگزینی در شبکه زیرکن اند. پراکندگی و بی نظمی نسبی در این روندها نیز می تواند به پدیده های هضم و آلیش مربوط باشد.

عناصر نادر خاکی (REE) شامل La (شکل 8-q) و Yb (شکل 8-r)، روندهای نسبتاً مشابهی داشته و در نمونه های حدواسط بیشترین مقدار را دارند که می تواند نشانگر تبلور بخشی پلاژیوکلاز و فراوانی مودال آن در نمونه های حد واسط باشد. افزایش ناگهانی مقادیر این عناصر نیز در شرایط به شدت اسیدی قابل مشاهده است. معمولاً تمرکز این عناصر در شبکه کانی های نظیر آلانیت و مونازیت صورت می گیرد که این افزایش ناگهانی شاید باز تابی از تبلور این کانی ها است.

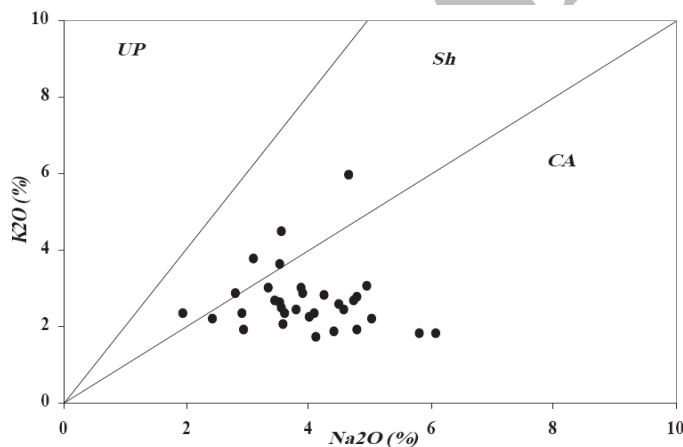


شکل 9 نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب توده اینچه که بر حسب کاهش ناسازگاری مرتب شده اند. A: بهنجار شده به کندریت، B: بهنجار شده به PM و C: بهنجار شده به MORB).

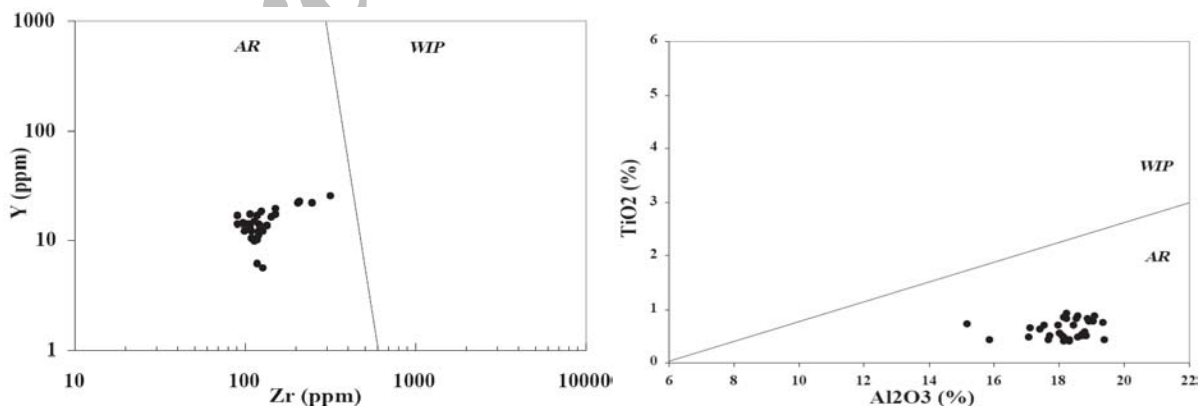
محیط زمین ساختی و سنگ زایی توده‌های نفوذی

برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های توده نفوذی از نمودارهای Ce/Yb-Ta/Yb و Th/Yb-Ta/Yb و $[\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}]$ [15] استفاده شد. در نمودار $[\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}]$ [15]، بخش بیشتر نمونه‌های توده نفوذی در گستره کالکوالکالن با پتاسیم بالا و نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 1$ قرار گرفته و بقیه آنها در گستره شوشونیتی قرار گرفته‌اند (شکل 10). در نمودارهای Th/Yb - Ta/Yb و Ce/Yb-Ta/Yb [16] که از عناصر نا متحرک HFSE با نسبت‌های Th/Yb ، Ce/Yb ، و Ta/Yb استفاده شده (شکل 11)، بخش اعظم نمونه‌ها در گستره شوشونیتی و تعداد معدودی در گستره کالکوالکالن قرار گرفته‌اند. با توجه به

شدت دگرسانی گرمایی در این منطقه که آثار این تغییرات حتی در توده‌های نفوذی که نسبت به توده 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 توده نفوذی در منطقه سوناجیل دارای سرشت شوشونیتی و کالکوالکالن با پتاسیم بالا بوده و سری شوشونیتی، غالب است. برای شناسایی محیط زمین ساختی توده‌های نفوذی اینچہ از نمودارهای مختلف به شرح زیر استفاده شد:



شکل 10 نمودار $[\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}]$ [15] برای تعیین سری ماگمایی نمونه‌های توده نفوذی اینچہ.



شکل 11 نمودارهای Th/Yb-Ta/Yb و Ce/Yb-Ta/Yb [16] برای تعیین سری ماگمایی نمونه‌های توده نفوذی اینچہ.

در نمودارهای $(\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3)$ ، (Y-Zr) و $(\text{Zr/Al}_2\text{O}_3\text{-})$ [18] $(\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (شکل 12) 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 $(\text{Ce/P}_2\text{O}_5\text{-Zr/TiO}_2)$ [18] 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) [19] نمونه‌های توده نفوذی در گستره قوس‌های آتشفشانی با تمایلی مشخص به سمت جایگاه‌های پس برخوردی قرار می‌گیرند (شکل 13A, B).

در نمودار (A/CNK-A/NK) [20] بخش بیشتر نمونه‌های توده نفوذی دارای ویژگی متاآلومینوس و تعداد کمی از آنها پراآلومینوس‌اند (شکل 14). در نمودار (Nb-Y) [16] تمامی نمونه‌ها در گستره گرانیتهای قوس‌های آتشفشانی و همزمان با برخورد (VAG + Syn-Col) قرار گرفته و در نمودار (Rb-Y + Nb) [16] نمونه‌ها در گستره خارا‌های وابسته به قوس‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل 15-A). از مقایسه موقعیت نمونه‌های توده نفوذی در این نمودار با گستره پیشنهادی پیرس [17] برای توده‌های نفوذی پس برخوردی (شکل 15-B) مشخص می‌شود که بخش عمده نمونه‌ها، به قوس‌های پس برخوردی مربوط می‌شوند.

در نمودار $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}) - \text{SiO}_2$ [21] توده نفوذی اینچه بیشتر در گستره کالکوالکالن و آلکالی کلسیک و چند نمونه در گستره قلیایی و کلسیک قرار گرفته‌اند. همچنین در نمودار $(\text{FeO}^\text{I}/\text{FeO}^\text{II} + \text{MgO}) - \text{SiO}_2$ [21] بخش اعظم نمونه‌های توده نفوذی در گستره گرانیتهای کردیلرانی و دارای ترکیب منیزین قرار می‌گیرند (شکل 16).

در نمودار عنکبوتی رسم شده برای عناصر کمیاب که نسبت به پلاژیوگرانیتهای شکاف میان اقیانوسی (ORG) بهنجار شده‌اند (شکل 17)، با مقایسه دامنه تغییرات عیار این عناصر کمیاب در توده نفوذی اینچه، مشاهده می‌شود که همخوانی خوبی بین این توده با توده‌های نفوذی شییلی در آن [16]، یا به عبارتی گرانیتهای وابسته به قوس‌های آتشفشانی وجود دارد. این توده‌ها دارای ناهنجاری مثبت و مشخصی از Rb ، K_2O ، Th و Ba و ناهنجاری منفی Hf ،

Y ، Zr ، Yb ، و واحدی 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 [22]. ضمناً ناهنجاری منفی عناصر نادر خاکی سنگین نشان‌دهنده عمق زیاد تشکیل ماگما و وجود گارنت و زیرکن در مواد خاستگاه این ماگماهاست.

برداشت

1- ترکیب سنگ‌شناسی توده نفوذی اینچه در حد دیوریت تا کوارتز دیوریت با بافت پورفیری و بندرت افیتیک، دانه‌ای و تراکتوئیدی بوده و بدرون توده‌های قدیمی تر نفوذ کرده است.

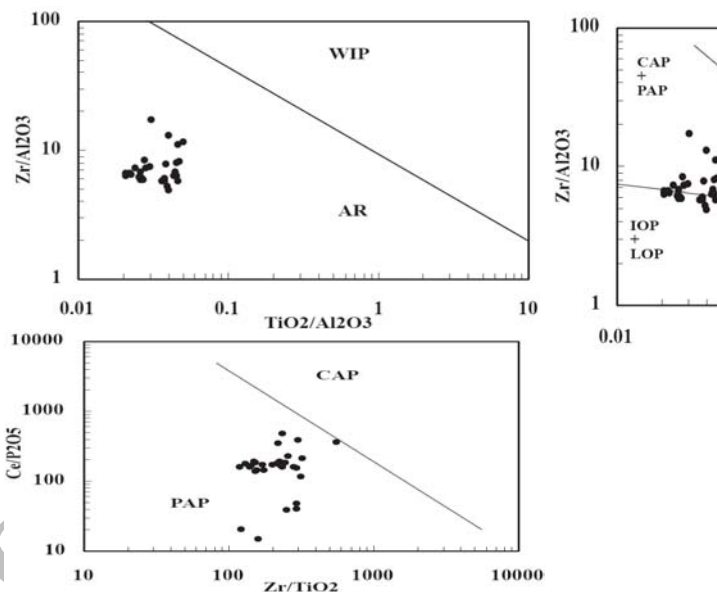
2- کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، هورنبلند بوده و به صورت فرعی فلدسپار قلیایی، بیوتیت، کوارتز، تورمالین و الیون در این سنگ‌ها حضور دارند. کلسیت، اپیدوت، آنتوفیلیت، ترمولیت-اکتینولیت و کانی‌های رسی نیز به صورت ثانویه تشکیل شده‌اند.

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

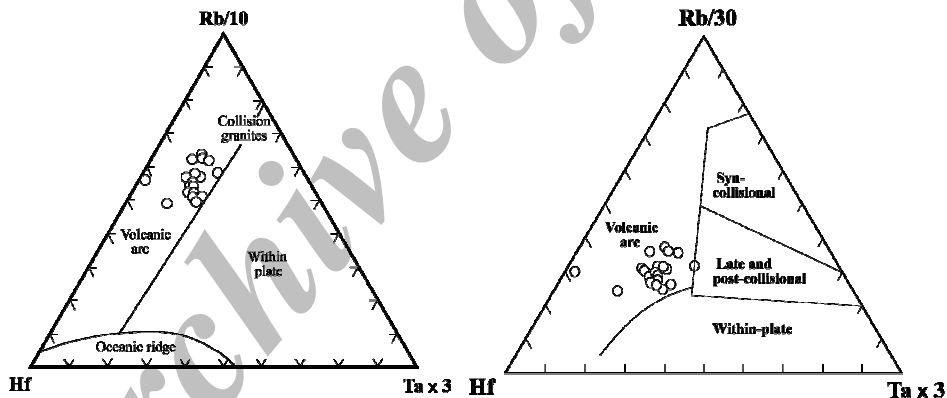
4- ماگمای مولد این توده دارای سرشت کالکوالکالن با پتاسیم بالا تا شوشونیتی بوده و بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی نشانگر دخالت پدیده‌های AFC در تحول آن است.

5- این توده‌ها دارای ناهنجاری مثبت و مشخصی از Rb ، K_2O ، 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 آرایش پوسته‌ای است. ضمناً ناهنجاری منفی عناصر نادر خاکی سنگین نشان‌دهنده عمق زیاد تشکیل ماگما و وجود گارنت و زیرکن در مواد خاستگاه این ماگماهاست.

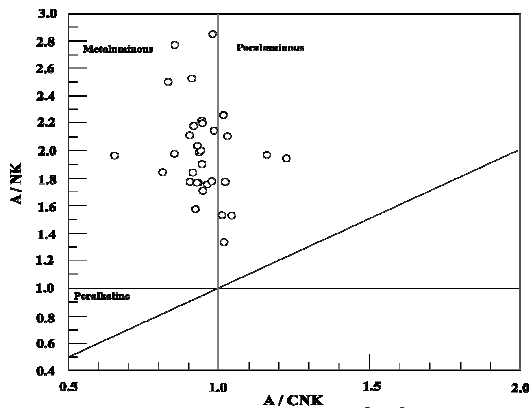
6- از نظر محیط زمین ساختی، نمونه‌های این توده در موقعیت وابسته به قوس (AR)، قوس‌های پس برخوردی (PAP) و به طور کلی در موقعیت قوس آتشفشانی پس برخوردی (post-collisional arc) قرار می‌گیرند بنابراین توده اینچه ارتباطی به فرورانش فعال نئوتتیس ندارد.



شکل 12 نمودارهای $Y-Zr.TiO_2-Al_2O_3$ ، $Zr/Al_2O_3-TiO_2/Al_2O_3$ و $Ce/P_2O_5-Zr/TiO_2$ [18] برای تعیین موقعیت زمین ساختی توده نفوذی اینچه (WIP) موقعیت داخل صفحه‌های AR: وابسته به قوس‌های آتشفشانی CAP: قوس‌های فعال قاره‌ای PAP: قوس پس برخورد IOP: قوس اقیانوسی آغازین LOP: قوس اقیانوسی تاخیری).



شکل 13 نمودارهای سه متغیره متمایزکننده محیط‌های مختلف زمین ساختی (A) $(Rb/30-Hf-3Ta)$ و (B) $(Rb/10-Hf-3Ta)$ [19].



شکل 14 نمودار $A/CNK-A/NK$ [20] برای تمایز توده‌های گرانیتوئیدی پرآلمینوس از متآلومینوس.

- 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 می‌نمایند. بجاست مؤلفین از هیئت تحریریه و داوران محترم مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران نیز سپاسگزاری نمایند.

مراجع

- [1] کاوشگران (مهندسين مشاور)، گزارش نهائی اکتشافات لیتوژئوشیمیائی در منطقه سوناجیل 1/5000، (1385).
- [2] کاوشگران (مهندسين مشاور)، گزارش برداشت دگرسانی-های منطقه سوناجیل، (1385).
- [3] توسعه علوم زمین، مطالعات ژئوفیزیکی بروش پلاریزاسیون القائی و مغناطیس در منطقه سوناجیل، (1382).
- [4] دفتر اکتشافات شمالغرب، زمین‌شناسی کانسار مس سوناجیل، امور اکتشافات و مهندسی توسعه (1381).
- [5] سلیمانی سید حسین، مطالعات ژئوفیزیکی بر روی کانسار مس سوناجیل هریس، امور اکتشافات (1381).
- [6] 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 (1383).
- [7] نبوی محمد حسن، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور (1355).
- [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.
- [9] مؤید محسن، بررسی‌های پترولوژیکی نوار ولکانوپلوتونیک ترشیر البرز غربی - آذربایجان با نگرشی ویژه بر منطقه هسجین، پایان‌نامه دوره دکتری زمین‌شناسی گرایش پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، (1380)، 328 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*