



## سنگ‌شناسی و بررسی ترکیب شیمیایی کانی‌های مافیک سنگ‌های آذرین خروجی منطقه‌ی شمال - شرق بیرجند

اسماعیل اله پور<sup>۱\*</sup>، منصور وثوقی عابدینی<sup>۲</sup>، سیدمحمد پورمعافی<sup>۲</sup>، ثریا هویس آسپیشلر<sup>۳</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- بخش کانی‌شناسی و پترولوژی، دانشکده زمین‌شناسی و محیط زیست، دانشگاه لودویگ ماکسیمیلیان، مونیخ - آلمان

(دریافت مقاله: ۸۹/۱/۱۷، نسخه نهایی: ۸۹/۸/۲۲)

**چکیده:** بخش بزرگی از واحدهای زمین‌شناسی منطقه‌ی شمال‌شرق بیرجند را سنگ‌های آذرین خروجی تشکیل می‌دهند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که سنگ‌های آذرین منطقه‌ی مورد بررسی را می‌توان به انواع آندزیتی، داسیتی، ریولیتی و گروهی مشتمل بر آندزیت-های بازالتی و بازالت رده‌بندی کرد. در گروه اخیر که بر اساس خواص ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی از انواع دیگر تمیز داده می‌شود، علاوه بر آندزیت‌های بازالتی دارای پتاسیم متوسط و بازالت شبه قلیایی، آندزیت‌های بازالتی غنی از پتاسیم و به‌صورت محدود بنموریت و موژه آريت نیز وجود دارند. نتایج تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد که اکتیویته‌ی فورستريت در بلورهای الیوین موجود در آندزیت‌های بازالتی و بازالت‌ها از ۰/۶۷ تا ۰/۷۳ در تغییر و نوع آن‌ها کریزولیت است. بلورهای پیروکسن در بازالت از نوع دیوپسید، در آندزیت‌های بازالتی اوژیت و در آندزیت‌ها انستاتیت بوده و آمفیبول موجود در سنگ‌های حدواسط منیزپوهورنبلند - چرماکیت هورنبلند است.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌شناسی، بیرجند، آندزیت، بنموریت، شبه قلیایی.

### مقدمه

از جمله مطالعات قبلی صورت گرفته در منطقه بوده و وجود شواهد اولیه مبنی بر حضور سنگ‌های آتشفشانی بازی وابسته به پلیوکواترن در شمال شرق بیرجند، اهمیت این بررسی را آشکار می‌نماید. [۱-۳]. منطقه‌ی مورد بررسی گستره‌ای میان ۳۰° ۵۹' تا ۶۰° طول شرقی و ۳۳° تا ۳۳° ۳۰' عرض شمالی می‌باشد. نقشه‌ی زمین‌شناسی این منطقه که بیش از دوسوم سطح آن با سنگ‌های آذرین خروجی ترشیری تا پلیوکواترن پوشیده شده است در سال ۲۰۰۴ میلادی (۸۲-۱۳۸۱) تحت عنوان نقشه‌ی سرچاه منتشر شده است. این منطقه به وسعت تقریبی ۲۶۰۰ کیلومتر مربع شامل بخش‌هایی از شمال شرقی

با توجه به گسترش چشمگیر سنگ‌های آذرین خروجی پیرامون شهر بیرجند و لزوم بررسی آن‌ها به‌منظور بازسازی چگونگی شکل‌گیری ژئودینامیکی منطقه‌ی شرق ایران، بررسی این مجموعه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا بررسی ژئوشیمی و سنگ‌شناختی سنگ‌های آذرین خروجی ترشیری شمال بیرجند، اله پور و همکاران (۱۳۸۸) و سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه‌ی بیرجند - خوسف (شمال غرب بیرجند) با نگرش ویژه بر برونوم‌های موجود در آن‌ها، یوسف‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)

\* نویسنده مسئول، تلفن - نامبر: ۲۵۰۲۰۲۶ (۰۵۶۱)، پست الکترونیکی: elahpour\_es2002@yahoo.com

پژوهشی شش ماهه‌ی مؤلف اول در دانشگاه مونیخ آلمان، به منظور شناسایی نوع و ترکیب شیمیایی کانی‌ها، آنالیز نقطه‌ای کانی‌ها (EPMA) روی پنج نمونه با دستگاه CAMEX-SX-100 به عمل آمد. علاوه بر این به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی و بررسی عناصر اصلی و فرعی نیز تعداد چهل و یک نمونه در پژوهشگاه علوم زمین شهر پتسدام آلمان (GFZ) مورد آنالیز XRF قرار گرفت (جدول ۱ و ۲). برای بررسی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و اندازه‌گیری‌ها از نرم افزارهای Excel

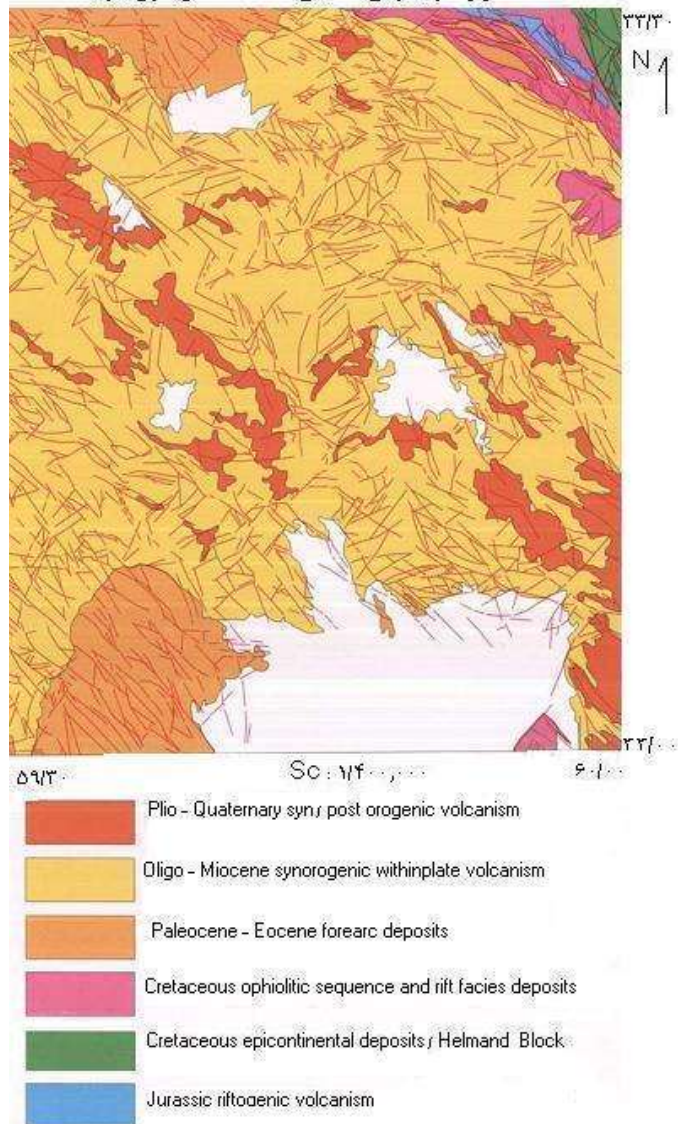
Minpet20, Petrograph 1-0-5, F1 WinAX, & F5 - Thermocalc استفاده شد [۴].

شهرستان بیرجند، جنوب شرقی شهرستان قاینات و غرب و شمال غربی شهرستان درمیان می‌شود (شکل ۱). راه اصلی دسترسی به منطقه، جاده‌ی آسفالت‌هی بیرجند- منصورآباد- زهان و راه‌های فرعی منتهی به آن است از جمله سکونتگاه‌های مهم منطقه می‌توان به شهر قهستان (تشکیل شده از تلفیق دو روستای درخش و آسیابان) با ارتفاع ۲۰۱۰ متر از سطح دریا و زهان با ارتفاع ۱۶۸۰ متر اشاره کرد. بلندترین نقطه‌ی منطقه با ۲۵۰۲ متر ارتفاع در شمال روستای اسنان قرار گرفته است.

#### روش کار و روند بررسی‌ها

علاوه بر تهیه و بررسی بالغ بر صد مقطع نازک، در فرصت

نقشه تکتونواستراتیگرافی تفصیلی منطقه شمال شرقی بیرجند



شکل ۱ شمای کلی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی (اقتباس از عمرانی و همکاران، ۸۲-۱۳۸۱، نقشه‌ی زمین‌شناسی سرچاه).

جدول ۱ داده‌های تجزیه‌ی شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی شمال‌شرق بیرجند (محتوی اکسیدها بر حسب درصد وزنی و مقدار عناصر بر حسب گرم در تن گزارش شده است).

نمونه‌ها	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*FeO	MnO	MgO	CaO
1234	51,22	1,31	17,31	3,53	4,31	0,15	6,73	8,46
1264	51,77	1,33	16,24	5,44	2,66	0,12	7,92	9,28
14611	53,15	1,75	16,45	8,23	0,87	0,14	5,78	8,44
1268	53,37	1,2	16,48	7,28	0,91	0,14	4,22	10,2
1269	54,22	1,61	16,31	3,62	4,7	0,13	5,7	8,71
1469	54,61	1,54	16,02	4,72	3,66	0,13	5,25	8,4
1265	54,66	1,22	17,15	5,12	2,5	0,13	5,15	8,63
672	54,95	1,42	17	2,72	4,82	0,15	5,64	7,76
30513	54,98	1,26	17,32	2,46	4,52	0,13	5,6	8,54
3059	57,4	0,96	16,29	2,19	4,33	0,12	5,94	8,04
30510	58,66	0,93	16,6	3,78	1,85	0,11	4,01	7,28
3058	59,73	0,69	17,66	3,19	2,04	0,09	3,41	7,49
27562	60,67	0,98	16,63	2,53	2,96	0,11	4,01	6,3
14610	60,78	0,99	16,76	2,9	2,77	0,11	3,41	6,23
27561	60,95	0,84	17,49	2,2	2,73	0,09	3,56	6,31
30511	62,08	0,91	17,05	2,49	2,51	0,1	2,9	5,97
30512	62,59	0,78	16,1	1,95	2,7	0,08	3,58	6,4
2554	62,67	0,81	16,46	1,93	3,26	0,11	3,3	5,91
30515	62,73	0,82	16,26	2,6	1,98	0,14	2,83	6,99
1463	62,95	0,58	16,64	2,4	2,35	0,1	2,43	6,27
1462	63,11	0,72	16,38	1,62	3,24	0,11	3,3	5,75
1267	63,36	0,72	16,33	1,43	3,37	0,1	3,23	5,73
1461	64,21	0,62	16,27	2,19	2,43	0,1	2,87	5,83
3057	64,49	0,58	17,02	3,67	1,03	0,11	1,36	5,87
2557	64,65	0,58	16,7	2,83	1,72	0,11	2,17	5,44
2555	64,99	0,66	16,84	2,64	1,72	0,07	1,89	5,18
25510	65,5	0,55	16,56	2,64	1,56	0,07	1,96	5,36
2552	66,25	0,45	16,56	2,53	1	0,06	2,07	5,22
1467	67,35	0,48	16,32	2,38	1,1	0,07	1,8	5,12
1369	67,46	0,48	16,17	1,59	1,98	0,08	1,84	4,69
1266	67,52	0,48	16,05	2,73	0,8	0,05	1,47	4,96
1361	67,96	0,49	16,1	3,7	0,08	0,06	0,66	4,39
671	68,71	0,45	15,59	2,55	0,77	0,05	1,51	4,68
1367	69,12	0,38	15,76	2,18	0,59	0,04	1,69	4,83
2753	69,17	0,4	16,06	2,97	0,12	0,07	0,27	4,63
12610	69,39	0,41	15,21	1,51	1,42	0,07	1,38	4,64
1368	69,51	0,42	15,3	2,04	1,01	0,07	1,49	4,09
2752	70,4	0,32	15,88	2,4	0,01	0,04	0,94	4,03
2751	70,49	0,32	15,88	2,38	0,01	0,02	0,91	3,94
1365	72,09	0,32	14,78	2,49	0,01	0,04	0,54	3,38
1465	72,71	0,29	15,23	2,07	0,01	0,02	0,52	3,33

## ادامه جدول ۱

نمونه ها	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Ba	Cr	Ga	Nb
1234	4,4	2,03	0,55	100	338	126	18	30
1264	3,7	1,14	0,41	100	99,71	341	283	17
14611	3,71	1,08	0,39	100	347	116	22	18
1268	4,37	1,22	0,6	100	234	184	18	20
1269	3,53	1,1	0,37	100	241	179	17	18
1469	3,41	1,9	0,36	100	304	139	17	19
1265	3,93	1,02	0,47	100	382	156	17	12
672	3,82	1,34	0,37	100	188	170	15	15
30513	3,58	1,26	0,37	100	229	148	21	17
3059	3,4	1,06	0,27	100	245	224	16	13
30510	4,89	1,5	0,38	100	313	86	17	24
3058	3,83	1,4	0,48	100	331	85	16	16
27562	3,77	1,7	0,35	100	332	97	16	16
14610	4,16	1,53	0,35	100	363	57	17	16
27561	3,94	1,59	0,31	100	307	94	16	16
30511	4,06	1,59	0,34	100	243	41	16	14
30512	3,65	1,99	0,17	100	310	135	15	11
2554	4	1,23	0,32	100	310	49	16	16
30515	3,88	1,46	0,3	100	318	141	15	17
1463	4,15	1,79	0,34	100	262	76	14	13
1462	4,17	1,3	0,3	100	248	85	14	14
1267	4,06	1,35	0,31	100	272	90	18	15
1461	3,98	1,17	0,32	100	259	81	18	15
3057	3,97	1,57	0,33	100	379	67	17	15
2557	3,85	1,63	0,32	100	558	48	15	14
2555	3,7	1,98	0,35	100	307	42	15	13
25510	3,82	1,73	0,24	100	376	55	17	13
2552	3,89	1,69	0,27	100	312	59	18	16
1467	3,58	1,58	0,21	100	316	60	17	11
1369	3,56	1,89	0,26	100	500	53	16	15
1266	3,87	1,85	0,22	100	483	36	14	11
1361	3,97	2,32	0,27	100	384	58	15	10
671	3,9	1,64	0,14	100	296	48	17	17
1367	3,58	1,68	0,14	100	297	52	17	10
2753	3,87	2,25	0,17	100	296	48	14	9
12610	3,9	1,91	0,16	100	478	50	17	10
1368	3,88	2,01	0,17	100	333	69	15	12
2752	3,84	2,01	0,12	100	433	40	14	10
2751	3,98	1,95	0,12	100	429	39	19	9
1365	3,6	2,63	0,11	100	452	35	16	9
1465	3,69	2,03	0,09	100	321	28	14	8

## ادامه جدول ۱

نمونه ها	Ni	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr
1234	90	34	671	152	27	75	212
1264	11	173	23	699	166	24	188
14611	78	27	839	213	21	94	200
1268	103	<3	500	160	28	89	203
1269	105	32	488	167	26	84	188
1469	86	26	528	141	26	76	201
1265	74	34	494	201	26	84	183
672	94	26	531	144	24	84	208
30513	91	13	537	148	26	70	213
3059	142	37	392	124	26	63	194
30510	57	53	424	102	28	64	278
3058	52	35	520	107	20	88	225
27562	69	53	486	107	29	64	247
14610	54	59	492	88	22	61	206
27561	63	36	400	94	30	62	244
30511	26	50	410	97	25	61	223
30512	79	69	288	95	25	49	187
2554	28	50	355	85	29	70	238
30515	62	44	329	98	26	68	223
1463	49	32	337	95	32	69	244
1462	55	42	299	90	31	66	243
1267	58	44	429	84	27	62	241
1461	55	37	302	85	31	64	254
3057	36	59	359	69	26	64	237
2557	29	36	352	75	27	63	241
2555	25	43	322	84	28	66	234
25510	33	65	328	75	25	60	205
2552	28	49	380	64	18	54	215
1467	29	73	342	57	17	41	195
1369	27	48	471	65	26	51	252
1266	18	89	439	46	22	49	190
1361	30	57	348	60	17	52	197
671	31	104	313	65	25	55	175
1367	25	80	271	59	22	44	184
2753	28	60	299	42	12	43	182
12610	26	66	293	34	18	32	195
1368	77	76	239	53	25	47	212
2752	23	64	471	28	11	39	164
2751	21	69	326	37	13	45	158
1365	25	92	242	25	16	41	159
1465	15	74	239	22	15	32	170

\* - آزمایشگاه تمام محتوی آهن را به صورت  $Fe_2O_3$  گزارش کرده است. اعداد در اختیار برای تبدیل به اکسید آهن دو ظرفیتی بر ۱/۱۱۱۳۴۴ تقسیم شده است. مقدار اکسید آهن دو ظرفیتی جداگانه به روش عیارسنجی اندازه‌گیری شده و با کسر مقدار آن از محتوی آهن کل که بر حسب اکسید آهن دو ظرفیتی محاسبه شده بود، محتوی اکسید آهن سه ظرفیتی بر حسب اکسید آهن دو ظرفیتی به دست آمده است. حاصل ضرب عدد مورد اشاره در ۱/۱۱۱۳۴۴ مقدار واقعی اکسید آهن سه ظرفیتی است.

جدول ۲. راهنمای موقعیت جغرافیایی برداشت نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته.

ردیف	کد نمونه	ترکیب شیمیایی	موقعیت جغرافیایی نمونه برداری
۱	۰۱۲۶۴	بازالت (ساب آکالن)	ترانشه جاده سراب N33°/13'-E59°/55'
۲	۰۱۲۳۴	موژه آریٹ	بعد از دوراهی کبودان بسمت افین N33°/29'-E59°/46'
۳	۱۴۶۱۱	موژه آریٹ	جنوب شرق پایهان N33°/26'-E59°/48'
۴	۰۱۲۶۸	آندزیت بازالتی	شمال شرق خلف N33°/10'-E59°/55'
۵	۰۱۲۶۹	آندزیت بازالتی	شمال خلف N33°/10'-E59°/54'
۶	۰۱۴۶۹	آندزیت بازالتی	قبل از دوراهی کبودان بسمت افین N33°/28'-E59°/47'
۷	۰۱۲۶۵	آندزیت بازالتی	منطقه قنات سراب N33°/13'-E59°/58'
۸	۰۰۶۷۲	آندزیت بازالتی	جنوب آسو N33°/12'-E59°/29'
۹	۳۰۵۱۳	آندزیت بازالتی	خروجی شاخن بسمت مبارک آباد N33°/23'-E59°/32'
۱۰	۳۰۵۱۰	بنموریت	مسیر ارتباطی و اشان به شاخن N33°/19'.25 - E59°/34'.038
۱۱	۰۳۰۵۹	آندزیت	حاشیه شرقی جاده و اشان N33°/19'.2 - E59°/34'.05
۱۲	۰۳۰۵۸	آندزیت	خروجی اوجاد بسمت و اشان N33°/16 - E59°/30'
۱۳	۲۷۵۶۲	آندزیت	بلندی تخت ملک ، سرخنگ N33°/11'.5 - E59°/42'.4
۱۴	۱۴۶۱۰	آندزیت	جنوب شرق پایهان، حاشیه شرقی جاده N33°/26' - E59°/49'
۱۵	۲۷۵۶۱	آندزیت	دامنه تخت ملک ، شمال شرق سرخنگ N33°/11' - E59°/42'.6
۱۶	۳۰۵۱۱	آندزیت	حداصل و اشان - شاخن N33°/21' - E59°/34'
۱۷	۳۰۵۱۲	آندزیت	جنوب شاخن N33°/21'.7 - E59°/33'.188
۱۸	۰۲۵۵۴	آندزیت	شمال غرب منند N33°/12' - E59°/38'
۱۹	۳۰۵۱۵	آندزیت	شمال شاخن N33°/21'.9 - E59°/32'
۲۰	۰۱۴۶۳	آندزیت	جنوب شیرگ N33°/17' - E59°/47'.28
۲۱	۰۱۴۶۲	داسیت	بعد از دوراهی سراب - زهان، بسمت زهان - شرق جاده N33°/15' - E59°/48'
۲۲	۰۱۴۶۷	داسیت	جنوب سراب N33°/12' - E59°/52'
۲۳	۰۱۴۶۱	داسیت	دوراهی سراب - زهان، بسمت زهان - شرق جاده N33°/14'.5 - E59°/48'
۲۴	۰۳۰۵۷	داسیت	حاشیه جاده نوغابچیک - دارج N33°/16' - E59°/31'
۲۵	۰۲۵۵۷	داسیت	شمال غرب منند N33°/12'.5 - E59°/37'.5
۲۶	۰۲۵۵۵	داسیت	غرب منند N33°/13' - E59°/37'
۲۷	۲۵۵۱۰	داسیت	حداصل اسنان - بیدخت N33°/16'.2 - E59°/33'.7
۲۸	۰۲۵۵۲	داسیت	شمال شرق آویشک N33°/11' - E59°/37'.3
۲۹	۰۱۴۶۷	داسیت	رودخانه زهان N33°/24'.8 - E59°/47'.6
۳۰	۰۱۳۶۹	داسیت	روستای فخران N33°/20'.7 - E59°/41'.4
۳۱	۰۱۲۶۶	داسیت	مسیر سراب - درخش، دوراهی خلف N33°/12'.5 - E59°/52'.15
۳۲	۰۱۳۶۱	داسیت	شمال شرق درخش N33°/14' - E59°/57'.5
۳۳	۰۰۶۷۱	داسیت	جنوب غرب آسو N33°/12'.5 - E59°/29'
۳۴	۰۱۳۶۷	داسیت	جنوب شرق نوغاب N33°/19' - E59°/42'.05
۳۵	۰۲۷۵۳	داسیت	روستای توت کری N33°/07' - E59°/42'
۳۶	۱۲۶۱۰	داسیت	جنوب دره چرم N33°/07' - E59°/53'.8
۳۷	۰۱۳۶۸	داسیت	نوغاب فخران N33°/19' - E59°/41'
۳۸	۰۲۷۵۲	داسیت	جاده درخش، فرعی کوشکک N33°/07' - E59°/43'
۳۹	۰۲۷۵۱	داسیت	دوراهی درخش - کوشکک N33°/06'.9 - E59°/43'

۴۰	۰۱۴۶۵	ریولیت	شمالشرق خوان N33°/16' - E59°/43'
۴۱	۰۱۴۶۵	ریولیت	روستای بایمرغ N33°/19'.85 - E59°/48'

### زمین‌شناسی منطقه

منطقه‌ی بیرجند بین زون جوش خورده‌ی سیستان [۵،۶] در شرق و پهنه‌ی لوت در غرب قرار گرفته است. زون جوش خورده‌ی سیستان با روند کلی شمالی جنوبی، در واقع زمین درز برخوردی قطعه‌ی لوت با قطعه‌ی هیلمند است که حاصل بسته شدن باریکه‌ی اقیانوسی خاور ایران در مزوزوئیک پایانی و ترشیر آغازین است. این پهنه‌ی برخوردی شامل مجموعه‌های سنگی زمین‌ساختی لیتوسفر اقیانوسی، نهشته‌های رخساره‌ی فلیش، مجموعه‌های آذرآواری - آتشفشانی و نهشته‌های رخساره‌ی مولاس از کرتاسه فوقانی به بعد است. پهنه‌ی لوت نیز توده‌ای است کشیده و مستحکم که طول آن در راستای شمال جنوبی به ۹۰۰ کیلومتر می‌رسد و آن بخش از خاور ایران است که در مغرب زون فلیش شرق ایران و بین آن و ایران مرکزی قرار گرفته است. از ویژگی‌های این ناحیه رسوبات ضخیم مزوزوئیک است که ضخامت آن‌ها گاهی به بیش از ۵۰۰ متر می‌رسد. به علاوه گسترش سنگ‌های آتشفشانی ترشیر از ویژگی‌های بارز این پهنه است که به صورت واحدهای آذرآواری قدیمی تر و سنگ‌های آتشفشانی جوان تر رخنمون دارند. بخش گسترده‌ای از این پهنه با رسوبات تخریبی پلیوکواترن پوشیده شده است [۷،۸]. زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی را می‌توان بازتاب تاریخ زمین‌ساختی شرق ایران دانست چنانکه بیش از دوسوم سطح منطقه زیر پوشش سنگ‌های آتشفشانی ترشیری تا پلیوکواترن پهنه‌ی لوت بوده و حضور نوار همبافت

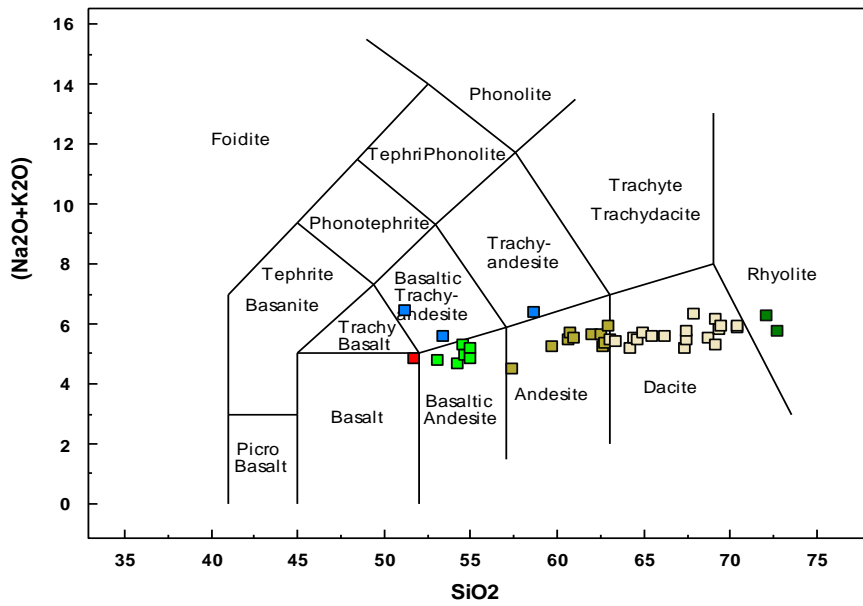
افیولیتی در شمال خاوری و بخش فلیشی در جنوب و شمال باختری آن را می‌توان نتیجه‌ی رژیم زمین‌ساختی حاکم بر ناحیه دانست.

### سنگ‌شناسی

بر اساس نمودار مجموع اکسیدهای پتاسیم و سدیم نسبت به سیلیس (شکل ۲) سنگ‌های آذرین خروجی مورد بررسی را می‌توان به دو مجموعه بازی شامل بازالت، آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی و مجموعه حدواسط تا اسیدی شامل آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریولیت رده‌بندی کرد.

### بازالت‌ها و آندزیت‌های بازالتی

این سنگ‌ها عموماً تیره رنگ و دارای بافت پرفیری با مزوستاز میکروولیتی تا شیشه‌ای - میکروولیتی هستند. محتوی فنوکریست در این سنگ‌ها اندک و مشتمل بر الیوین، کلینوپیکروکسن (دیوپسید، اوژیت دیوپسیدی و اوژیت) و پلاژیوکلاز با ترکیب متوسط لابرادوریت و اکسیدهای آهن و تیتان است (جدول ۳). جدایش آندزیت‌های بازالتی از تراکی آندزیت‌های بازالتی (موژه آریته‌ها) [۹] در نمونه‌ی دستی امکان‌پذیر نبوده و ترکیب متوسط خمیره که با آنالیز ریزپردازشی در نمونه‌ی بازالتی مورد آزمایش قرار گرفته آندزیت بازالتی مشخص شده است. این در حالیست که در نمونه‌ای منتخب از آندزیت‌های بازالتی فنوکریست‌ها در خمیره‌ای با ترکیب داسیتی پراکنده‌اند (شکل‌های ۳ تا ۶).

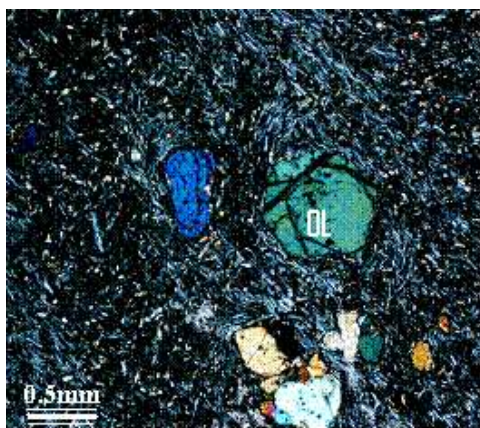


شکل ۲. رده بندی سنگ های آتشفشانی مورد بررسی بر اساس نمودار مجموع قلیای نسبت به سیلیس (Le Maitre et al, 1989).

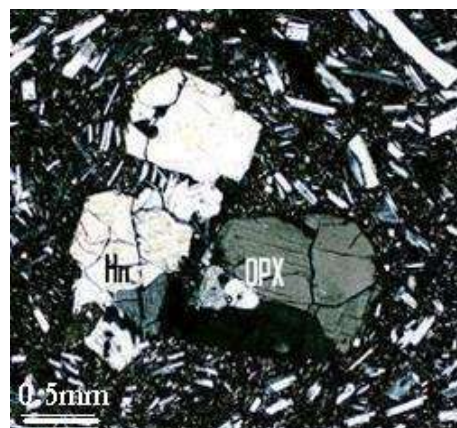
جدول ۳. بنابر مشاهدات سنگ شناختی سنگ ها در منطقه ی مورد بررسی به پنج گروه به صورت جدول تقسیم می شوند (علامت + به معنای حضور و علامت - به معنای عدم حضور کانی در ترکیب سنگ است).

Composition	ol	cpx	opx	hbl	bi	Plg	Kfs	Qz	Ilm	Ap	Iron oxide	Glass	Common texture
Rhyolite	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	Porphyric with vitric mezo stasis
Dacite	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	Porphyric with microlitic + vitric mezo stasis
Andesite	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	Porphyric with microcrystalline + vitric mezo stasis and sometimes Glomeroporphyritic
Basaltic Andesite	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	Porphyric with microcrystalline + vitric mezo stasis
Basalt	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	Porphyric with microlitic mezo stasis

ol : Olivine – cpx : Clinopyroxene – opx : Orthopyroxene – hbl : Hornblende – plg : Plagioclase  
kfs : Alkali Feldspare – bi : Biotite – Qz : Quartz – Ilm : Ilmenite – Ap : Apatite

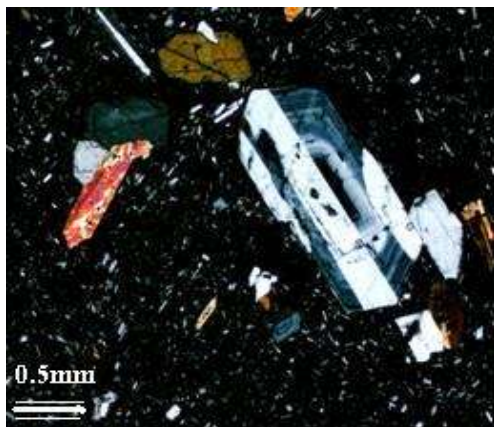


شکل ۳ فنوکریست های الیوین کریزولیتی در بازالت XPL.



شکل ۴ اجتماع ارتوپروکسن و هورنبلند و تشکیل بافت گلومروپرفیری در آندزیت (XPL).



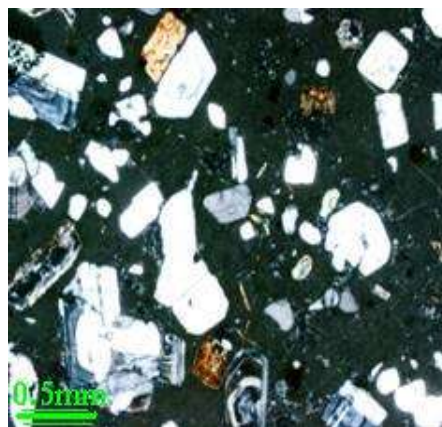


شکل ۵ بلورهای درشت و زون پلاژیوکلاز همراه با هورنبلند و بیوتیت در خمیره‌ی شیشه‌ای داسیت XPL. بازی تاریخچه-

ی فرآیند آتشفشانی منطقه، اعمال ضریب فراوانی و بحث انتخاب نمونه‌های با حداقل دگرسانی و حداکثر پارامترهای کیفی سنگ‌شناسی و نیز محدودیت‌های سخت افزاری کانی-های پنج نمونه‌ی سنگی بازالت (ردیف ۱ جدول ۲)، آندزیت بازالتی (ردیف ۹ جدول ۲)، آندزیت (ردیف ۲۰ جدول ۲)، داسیت (ردیف ۳۴ جدول ۲) و ریولیت (ردیف ۴۱ جدول ۲) مورد آنالیز نقطه‌ای قرار گرفتند. کانی‌های مورد بررسی با توجه به نقش آن‌ها در ترکیب‌های مختلف سنگی از مجموعه‌ی الیون‌ها، پیروکسن‌ها و آمفیبول‌ها انتخاب شده‌اند.

#### شیمی الیون‌ها

در مجموعه‌ی سنگ‌های بازالتی و آندزیت‌های بازالتی بلورهای الیون وجود دارند. تغییر فعالیت‌ها در این سنگ‌ها از  $FO_{0.67}$  در آندزیت‌های بازالتی تا  $FO_{0.73}$  در بازالتهای متغیر است (جدول‌های ۴ و ۵). فرمول الیون  $Mg_{1.618} Fe_{0.382} SiO_4$  برای بازالت و  $Mg_{1.72} Fe_{0.28} SiO_4$  در آندزیت بازالتی محاسبه شده است و الیون‌ها برابر شکل ۷ از نوع کریزولیت‌اند. بنابر این ترکیب الیون‌ها در طیف‌های مختلف این گروه سنگی تفاوت شیمیایی چندانی ندارد. در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ تصویر ریز پردازشی کانی و شکل نوسان‌های سطح منیزیم و آهن در دو راستای طولی و عرضی بلور مورد بررسی در آندزیت بازالتی دیده می‌شود. شکل‌ها حاکی از آنند که در هر دو راستای طولی



شکل ۶ بافت پرفیری با خمیره‌ی شیشه‌ای در

ریولیت XPL. آندزیت‌ها، داسیت‌ها و ریولیت‌ها

بافت غالب این سنگ‌ها که مشتمل بر طیف گسترده‌ای از سنگ‌های مزوکرات تا لوکوکراتند، پورفیری بوده و فنوکریست-ها در مزوستاز ریزبلور تا شیشه‌ای پراکنده‌اند. در این سنگ‌ها گاهی بافت گلمروپورفیری نیز دیده می‌شود. فنوکریست‌های سنگ‌های آندزیتی را به ترتیب فراوانی ارتوپروکسن (انستاتیت)، کلینوپروکسن (اویژیت)، پلاژیوکلاز (آندزین)، هورنبلند و اکسیدهای آهن و تیتان تشکیل می‌دهند. بر این اساس عموماً سنگ‌های آندزیتی مورد بررسی پیروکسن آندزیت‌اند. در یک نمونه‌ی منتخب از این سنگ‌ها، ترکیب خمیره شیشه‌ی ریولیتی فقیر از عناصر قلیایی اندازه‌گیری شده است.

فراوانترین فنوکریست‌ها در سنگ‌های داسیتی دارای بافت پرفیری با مزوستاز میکرولیتی - شیشه‌ای عبارتند از هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز که با بلورهایی از جنس کوارتز، آپاتیت و اکسیدهای آهن و تیتان همراهی می‌شوند. بافت سنگ‌های لوکوکرات ریولیتی پرفیری با مزوستاز عموماً شیشه‌ای بوده و فراوان‌ترین فنوکریست‌ها در این سنگ‌ها مشتمل بر بیوتیت، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم و کوارتز بوده که با بلورهای کوچک ایلمنیت و آپاتیت درون شیشه‌ای با محتوی سیلیس بالغ بر ۷۰٪ قرار گرفته‌اند.

کانی‌شناسی

و عرضی از حاشیه به مرکز بلور بر محتوی منیزیم افزوده و متناسب با آن از آهن کاسته می‌شود. این تغییر در عناصر یاد شده در راستای عرضی بلور شاخص‌تر است. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ تصویر کانی و تصویر نوسان‌های آهن و منیزیم در راستای طولی بلور الیوین نمونه‌ی بازالتی نیز نشانگر افزایش منیزیم به تناسب کاهش آهن از حاشیه به مرکز بلور است. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نیز تصویر ریز پردازشی و تصویر نوسان‌ها در راستای عرضی یک بلور دیگر الیوین در نمونه بازالتی به خوبی تقارن در منحنی‌های سطح آهن و منیزیم را نشان می‌دهند.

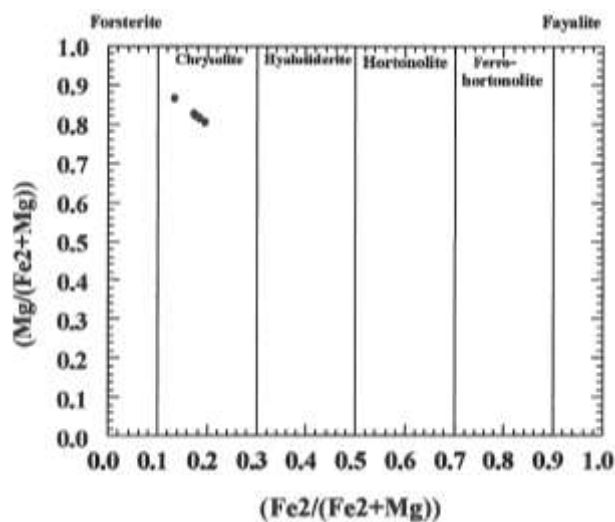
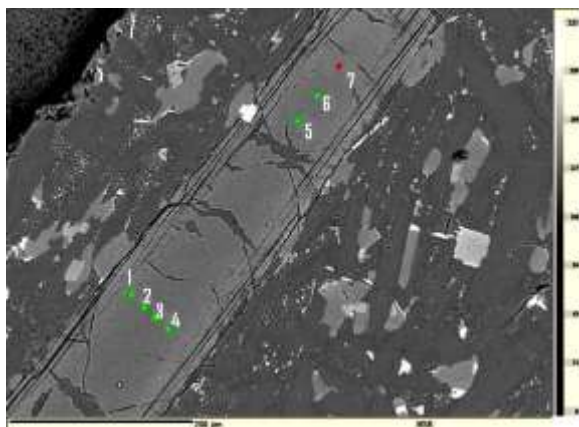
#### شیمی پیروکسن‌ها

پیروکسن علاوه بر سنگ‌های بازالتی در آندزیت‌ها نیز دیده می‌شود. برابر شکل ۱۵ پیروکسن در بازالت‌ها از نوع دیوپسید، در آندزیت‌های بازالتی از جنس اوژیت و در آندزیت‌ها انستاتیت است. در سنگ‌های بازی فعالیت دیوپسید از ۰/۵۲ در آندزیت-های بازالتی تا ۰/۶۴ در بازالت‌ها در نوسان است. این در حالیست که فعالیت انستاتیت در بلورهای ارتوپروکسن سنگ-های آندزیتی ۰/۵۸ اندازه‌گیری شده است. بر مبنای اندازه-گیری‌ها فرمول متوسط پیروکسن در بازالت‌ها  $Ca_{0.92}Mg_{0.88}Fe_{0.2}Si_2O_6$ ، در آندزیت‌های بازالتی

جدول ۴ میانگین ترکیب شیمیایی الیوین در آندزیت بازالتی مورد آزمایش قرار گرفته . جدول ۵ میانگین ترکیب شیمیایی الیوین در بازالت آزمایش شده.

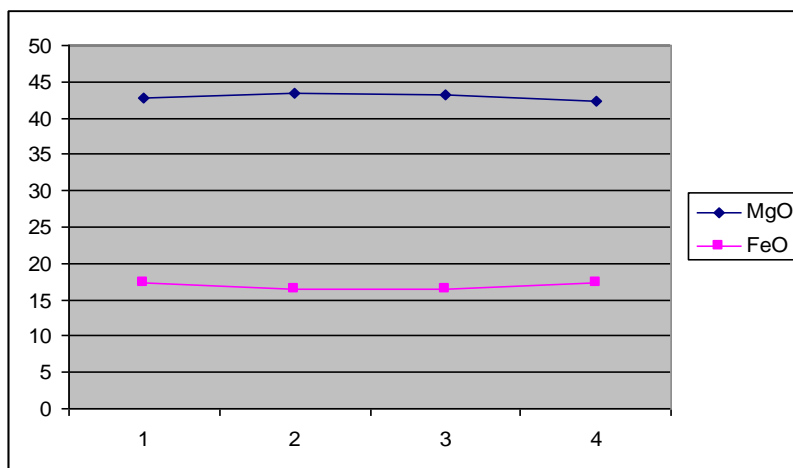
جدول ۴	میانگین	جدول ۵	میانگین
SiO <sub>2</sub>	38,86	SiO <sub>2</sub>	38/95
TiO <sub>2</sub>	0,02	TiO <sub>2</sub>	0/01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0/02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0
FeO	17,71	FeO	17,08
MnO	0,35	MnO	0/31
MgO	42,15	MgO	42,98
CaO	0,15	CaO	0/18
Na <sub>2</sub> O	0,01	Na <sub>2</sub> O	0/01
K <sub>2</sub> O	0,02	K <sub>2</sub> O	0/01
Total	99,3	Total	99/53
(O) p.f.u.	4	(O) p.f.u.	4
Formula		Formula	

Si	0,997	Si	0/994
Ti	0,000	Ti	0
Al	0,001	Al	0/001
Cr	0,000	Cr	0
Fe <sup>++</sup>	0,380	Fe <sup>++</sup>	0/364
Mn	0,008	Mn	0/007
Mg	1,612	Mg	1/635
Ca	0,004	Ca	0/005
Na	0,000	Na	0
K	0,001	K	0
Total	3,003	Total	3/006

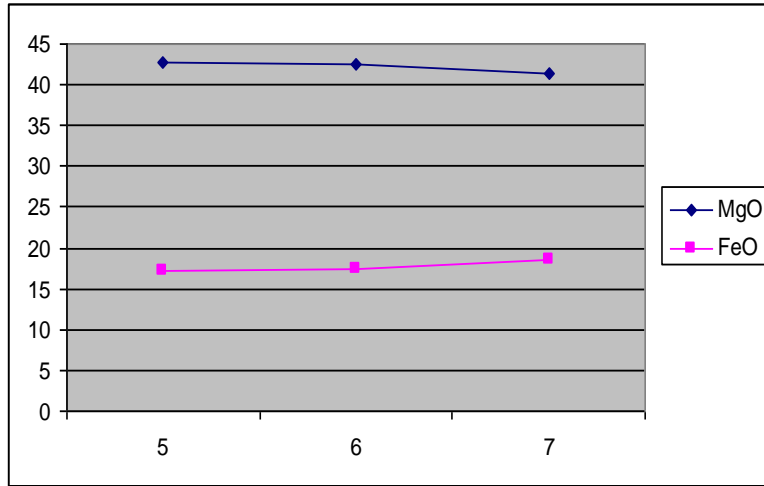


شکل ۸ تصویر ریز پردازشی بلور الیومین درآندزیت بازالتی که موقعیت نقاط آنالیز شده روی آن مشخص شده است.

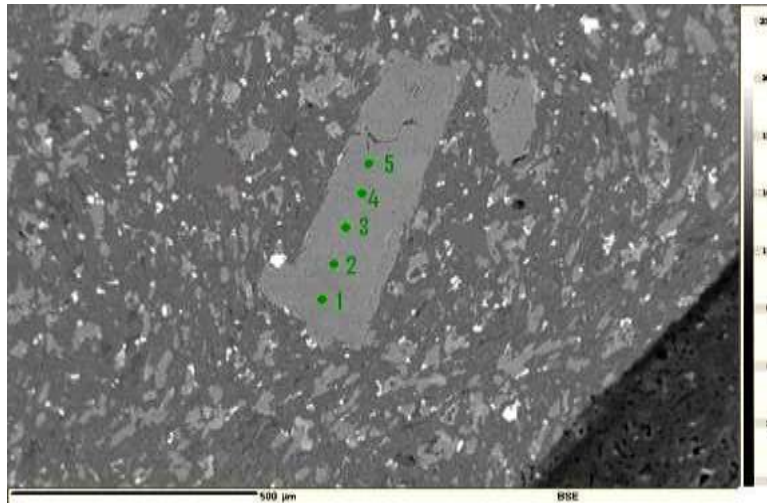
شکل ۷ ترکیب شیمیایی بلورهای الیومین بازالت‌ها و آندزیت‌های بازالتی مورد بررسی.



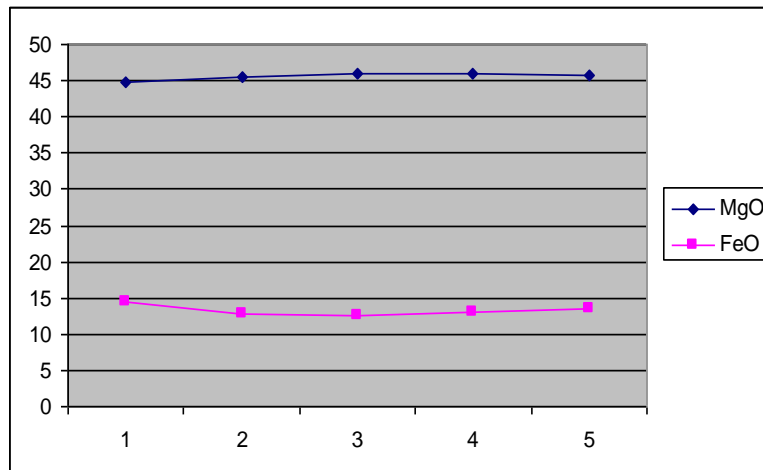
شکل ۹ نوسان‌های محتوای آهن و منیزیم در راستای عرضی بلورالیومین در آندزیت بازالتی (در تمامی شکل‌های نشانگر نوسان‌های کاتیونی روی محور X شماره نقاطی از کانی که مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و روی محور Y درصد وزنی اکسید مورد بررسی نشان داده شده‌اند).



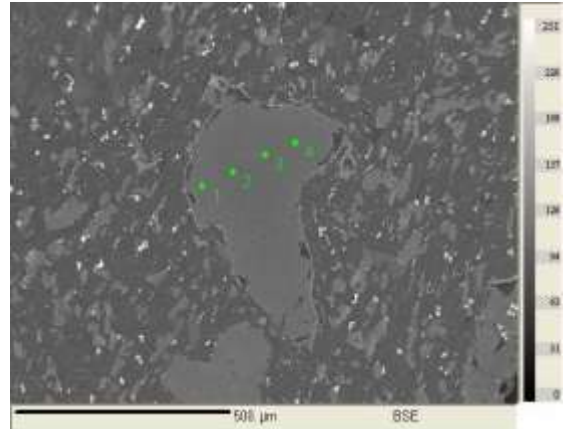
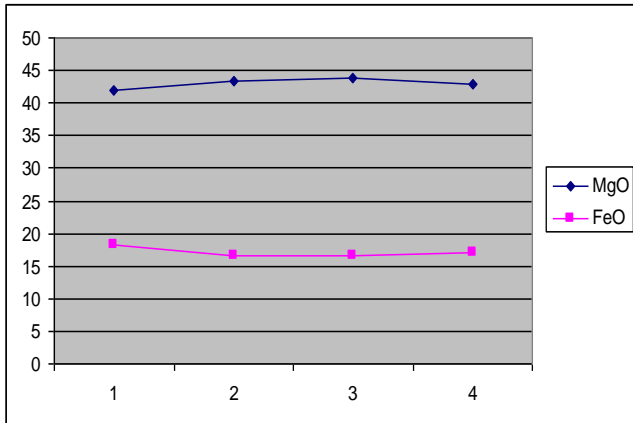
شکل ۱۰ نوسان‌های محتوای آهن و منیزیم در راستای طولی بلور الیومین در آندزیت بازالتی.



شکل ۱۱ تصویر ریز پردازشی بلور الیومین در بازالت که موقعیت نقاط آنالیز شده روی آن مشخص شده است.



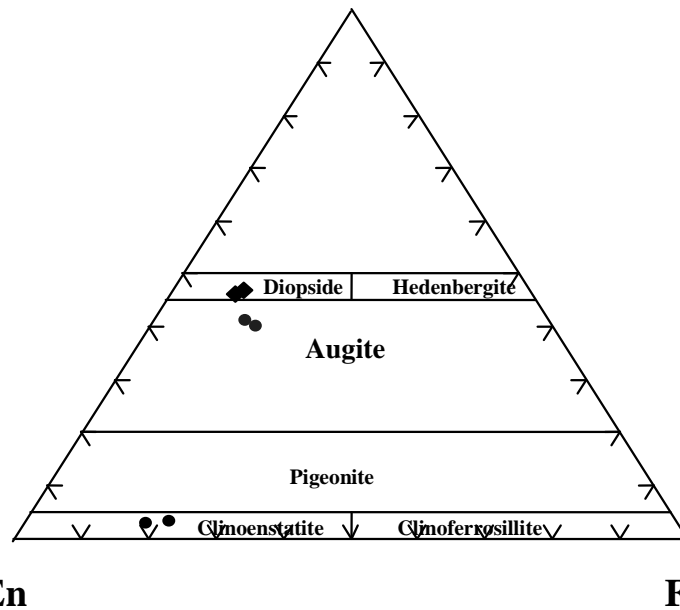
شکل ۱۲ نوسان‌های آهن و منیزیم در بلور الیوین نشان داده شده در نمونه‌ی بازالتی شکل ۱۱.



شکل ۱۳ تصویر ریز پردازشی بلوری دیگر از کانی الیوین در بازالت که موقعیت نقاط آنالیز شده روی آن مشخص شده است.

شکل ۱۴ نوسان‌های آهن و منیزیم مربوط به بلور الیوین نمونه

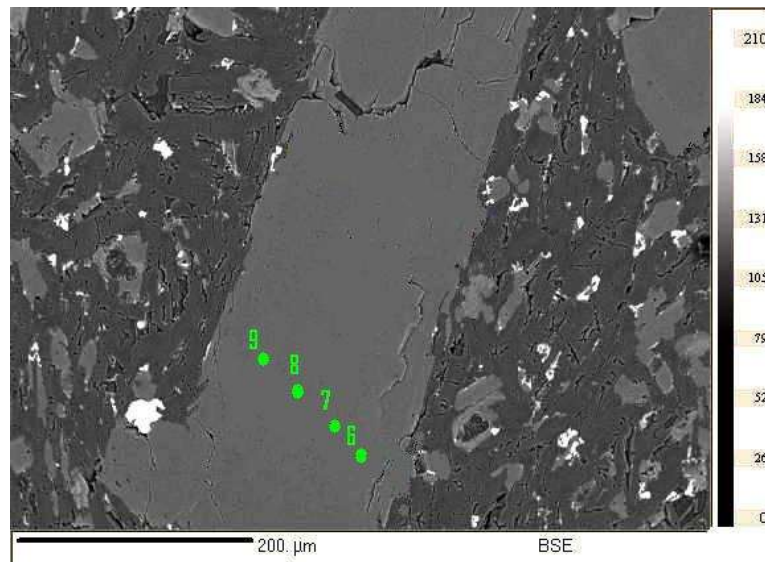
بازالتی شکل ۱۳. Wo



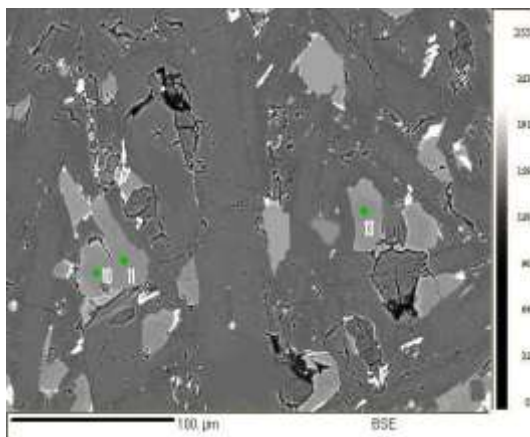
شکل ۱۵ نمودار حاکی از آن است که نوع پیروکسن در بازالت دیوپسید، در آندزیت بازالتی اوژیت و در آندزیت کلینواستاتیت است.

جدول ۶ میانگین ترکیب شیمیایی پیروکسن در نمونه‌ی آندزیت بازالتی آزمایش شده.		جدول ۷ میانگین ترکیب شیمیایی پیروکسن در بازالت مورد آزمایش قرار گرفته.		جدول ۸ میانگین ترکیب شیمیایی پیروکسن در نمونه‌ی آندزیتی آزمایش شده.	
جدول ۶	میانگین	جدول ۷	میانگین	جدول ۸	میانگین
SiO <sub>2</sub>	50/53	SiO <sub>2</sub>	49/68	SiO <sub>2</sub>	54/01
TiO <sub>2</sub>	1/07	TiO <sub>2</sub>	0/96	TiO <sub>2</sub>	0/22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2/09	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4/22	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1/68
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0
FeO	8/85	FeO	5/86	FeO	12/76
MnO	0/24	MnO	0/12	MnO	0/33
MgO	15/38	MgO	15	MgO	28/38
CaO	19/33	CaO	21/98	CaO	1/41

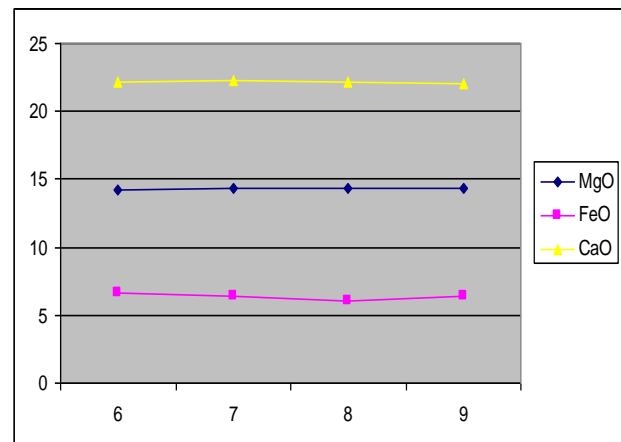
Na <sub>2</sub> O	0/35	Na <sub>2</sub> O	0/34	Na <sub>2</sub> O	0/03
K <sub>2</sub> O	0/01	K <sub>2</sub> O	0	K <sub>2</sub> O	0/01
Total	97/84	Total	98/18	Total	98/83
(O) p.f.u.	6	(O) p.f.u.	6	(O) p.f.u.	6
Formula		Formula		Formula	
Si	1/912	Si	1/858	Si	1/946
Ti	0/03	Ti	0/027	Ti	0/006
Al	0/093	Al	0/186	Al	0/072
Fe <sup>+++</sup>	0/049	Fe <sup>+++</sup>	0/069	Fe <sup>+++</sup>	0/027
Fe <sup>++</sup>	0/231	Fe <sup>++</sup>	0/114	Fe <sup>++</sup>	0/358
Mn	0/008	Mn	0/004	Mn	0/01
Mg	0/867	Mg	0/836	Mg	1/524
Ca	0/784	Ca	0/881	Ca	0/055
Na	0/026	Na	0/025	Na	0/002
K	0	K	0	K	0
Total	4	Total	4	Total	4
Mg/(Mg/Fe <sub>2</sub> )	0/79	Mg/(Mg/Fe <sub>2</sub> )	0/88	Mg/(Mg/Fe <sub>2</sub> )	0/81



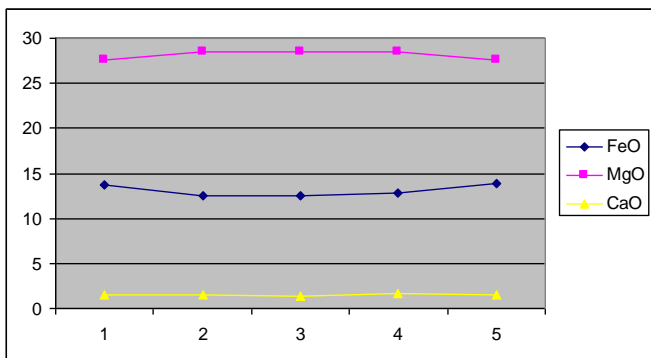
شکل ۱۶ تصویر ریز پردازشی بلور دیوپسید موجود در بازالت که موقعیت نقاط آنالیز شده روی آن مشخص شده است.



شکل ۱۸ فراوانی و نحوه پراکندگی بلورهای اوزیت در آندزیت بازالتی.



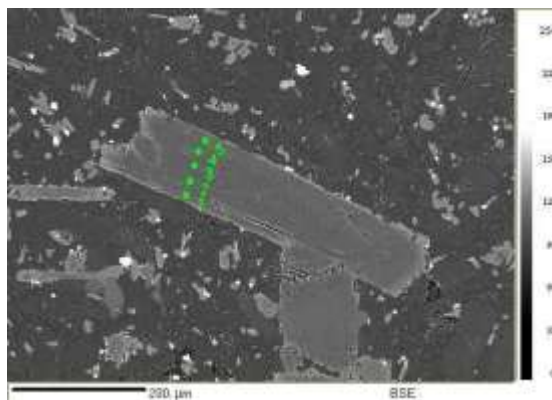
شکل ۱۷ شکل تغییرات ترکیبی در بلور دیوپسید بازالت.



شکل ۲۰ نوسان‌های آهن و منیزیم و سطح فراوانی کلسیم در بلورهای انستاتیت آندزیت‌ها.

منیزیوهورنبلند) است.

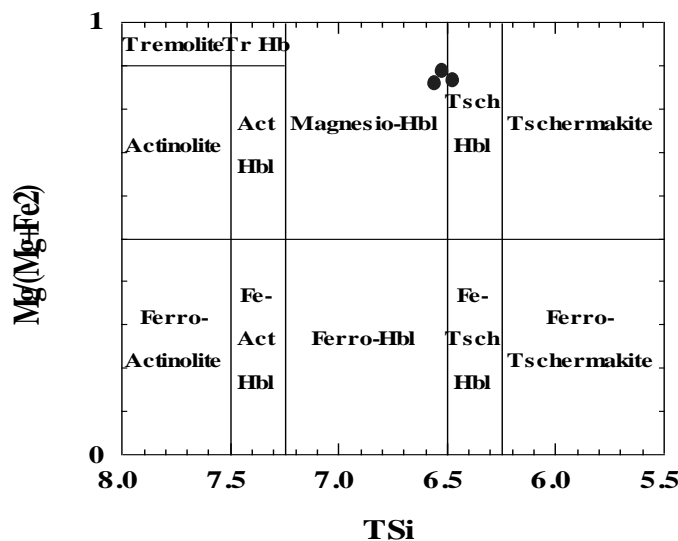
شکل ۲۲ نشان می‌دهد که در راستای عرضی بلور، آهن و منیزیم نوسان‌های وارون افزایشی و کاهش‌ی دارند. کانی دارای محتوای پایین پتاسیم و سدیم و سطح نسبتاً بالایی از کلسیم بوده و سطح فراوانی سدیم و کلسیم در این بلورها تابع تغییرات در محتوای آهن و منیزیم بلور نیست (شکل ۲۳). با استفاده از نرم افزار ترموکالک و شیمی آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازها در داسیت‌های مورد بررسی، دمای تبلور تعادلی آمفیبول و پلاژیوکلازی که همزمان متبلور شده‌اند در فشار بین صفر تا پنج کیلو بار و دمای ۸۶۲ تا ۸۲۳ درجه سانتیگراد ارزیابی شده است [۱۰] (جدول ۱۰).



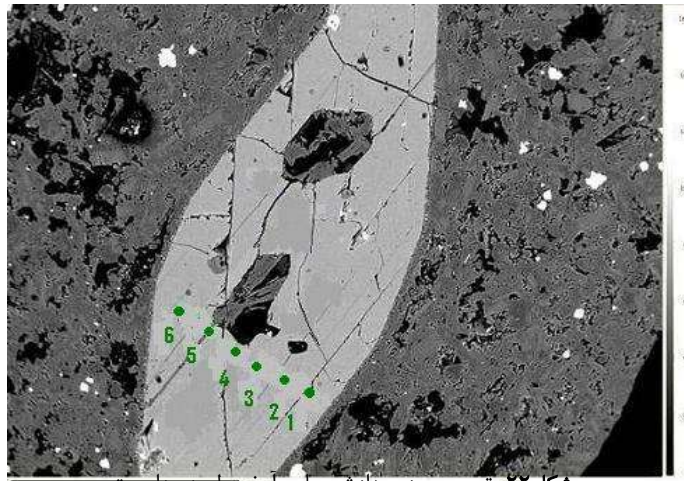
شکل ۱۹ تصویر ریز پردازش بلورهای انستاتیت در سنگ‌های آندزیتی که محل نقاط آنالیز شده روی آن نشان داده شده است.

شیمی آمفیبول‌ها

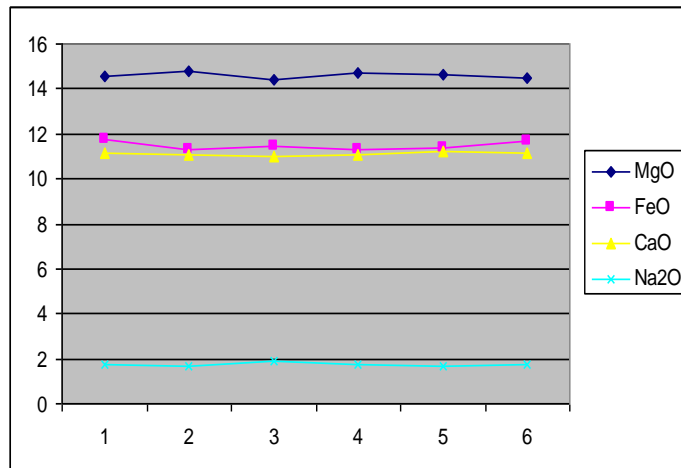
نظر به اینکه آندزیت‌های منطقه عموماً پیروکسن آندزیت بوده و به دلیل اکسایش شدید فاقد آمفیبول مناسب برای آنالیز ریز پردازشی هستند، این کانی‌ها تنها در سنگ‌های داسیتی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این سنگ‌ها بر اساس شکل ۲۱ آمفیبول از نوع منیزیوهورنبلند - چرماکیت هورنبلند بوده و فعالیت ترمولیت در این کانی‌ها ۰/۰۴۹ و فعالیت پارگازیت معادل ۰/۰۸۶ به دست آمده است. فرمول میانگین این کانی‌ها را می‌توان به صورت  $Na_{0.56}Fe^{3+}_{0.89}Ca_{1.76}Al_{1.98}Mg_{3.79}Si_7O_{22}(OH)_2$  (جدول ۹) نوشت که نزدیک‌ترین فرمول تعریف شده به آن  $Ca_2 Mg_4Al Fe^{3+}(Si_7 Al O_{22})(OH)_2$  (فرمول



شکل ۲۱ ترکیب شیمیایی بلورهای آمفیبول موجود در سنگ‌های داسیتی منطقه‌ی شمال شرق بیرجند.



شکل ۲۲ تصویر ریز پردازشی بلور آمفیبول در داسیت.



شکل ۲۳ نوسان‌های آهن و منیزیم و سطح فراوانی کلسیم و سدیم در بلور آمفیبول نمونه‌ی داسیت (ردیف ۳۴ جدول ۲)، تصویر ۲۲.

جدول ۹ متوسط ترکیب شیمیایی بلور منتخب آمفیبول در نمونه داسیتی.

جدول ۹	Average
SiO <sub>2</sub>	44/95
TiO <sub>2</sub>	1/91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10/09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0
FeO	11/52
MnO	0/22
MgO	14/59
CaO	11/07
Na <sub>2</sub> O	1/75
K <sub>2</sub> O	0/32
Total	96/43
(O) p.f.u.	23
Formula	
Si	6/503
Ti	0/208
Al	1/72



Fe <sup>+++</sup>	0/872
Fe <sup>++</sup>	0/522
Mn	0/027
Mg	3/147
Ca	1/717
Na	0/492
K	0/06
Total	15/268
Mg/(Mg/Fe2)	0/858

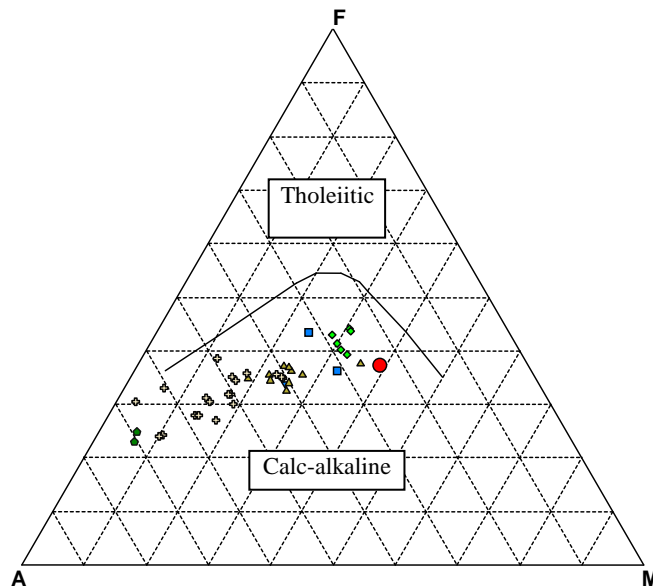
جدول ۱۰ دمای تعادلی تبلور آمفیبول و پلاژیوکلازی که همزمان متبلور شده‌اند. داده‌ها در نتیجه آزمایش روی ترکیب منتخب داسیتی به دست آمده‌اند (Holland & Blundy, 1994).

P (kbr)	۰	۵	۱۰	۱۵
T(ed - tr)	۸۶۲	۸۲۳	۷۸۴	۷۴۵
T(ed- ri)	۸۱۶	۸۳۸	۸۶۰	۸۸۱

اند. نمودارهای مشهود در شکل‌های ۲۶ تا ۲۹ که تغییرات نمودارهای تغییرات شیمیایی برای آشکار ساختن تفاوت‌ها و روندهای تغییرات ترکیب شیمیایی موجود در میان یک سری خاص از سنگ‌ها که نتیجه‌ی ذوب یا تبلور بخشی و نیز آمیختن ماگمایی و پدیده‌های دیگر چون هضم و آلودگی پوسته‌ای هستند، مناسب‌ترین ابزار به‌شمار می‌روند. بنابر این با استفاده از تعدادی از این نمودارها به بررسی سنگ‌های مورد بررسی پرداخته‌ایم. بنابر نمودار AFM (شکل ۲۴) تمامی سنگ‌های مورد بررسی آهکی - قلیایی هستند گر چه تعداد محدودی از این سنگ‌ها بر اساس شکل ۲۵ آهکی - قلیایی غنی از پتاسیم بوده و به مجموعه بنموریت‌ها و موژه آریته‌ها وابسته-

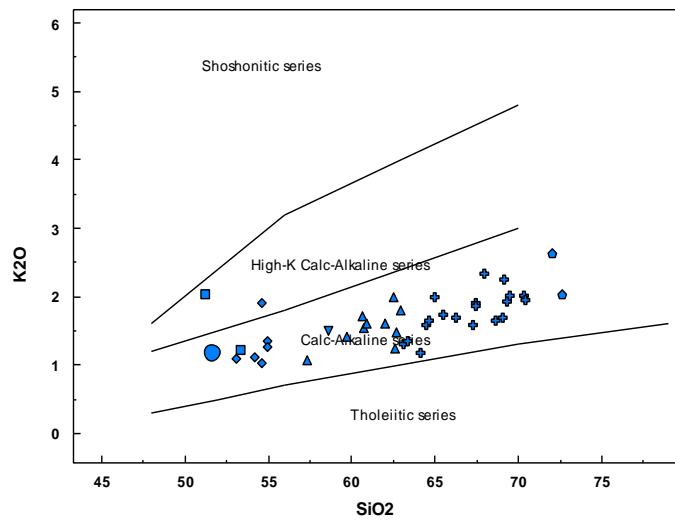
سیمای ژئوشیمیایی

نمودارهای تغییرات شیمیایی برای آشکار ساختن تفاوت‌ها و روندهای تغییرات ترکیب شیمیایی موجود در میان یک سری خاص از سنگ‌ها که نتیجه‌ی ذوب یا تبلور بخشی و نیز آمیختن ماگمایی و پدیده‌های دیگر چون هضم و آلودگی پوسته‌ای هستند، مناسب‌ترین ابزار به‌شمار می‌روند. بنابر این با استفاده از تعدادی از این نمودارها به بررسی سنگ‌های مورد بررسی پرداخته‌ایم. بنابر نمودار AFM (شکل ۲۴) تمامی سنگ‌های مورد بررسی آهکی - قلیایی هستند گر چه تعداد محدودی از این سنگ‌ها بر اساس شکل ۲۵ آهکی - قلیایی غنی از پتاسیم بوده و به مجموعه بنموریت‌ها و موژه آریته‌ها وابسته-



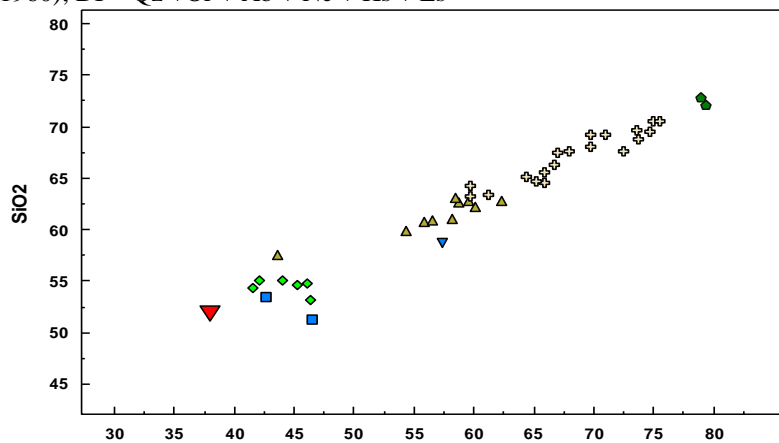
شکل ۲۴ نمودار AFM \* ; Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O - MgO - FeO (Irvine & Baragar, 1971) [۱۳].

- - بازالت شبه قلیایی
- - ریولیت
- + - داسیت
- ▲ - موژه آریته
- ▼ - بنموریت
- ◆ - اندزیت بازالتی
- ▲ - اندزیت

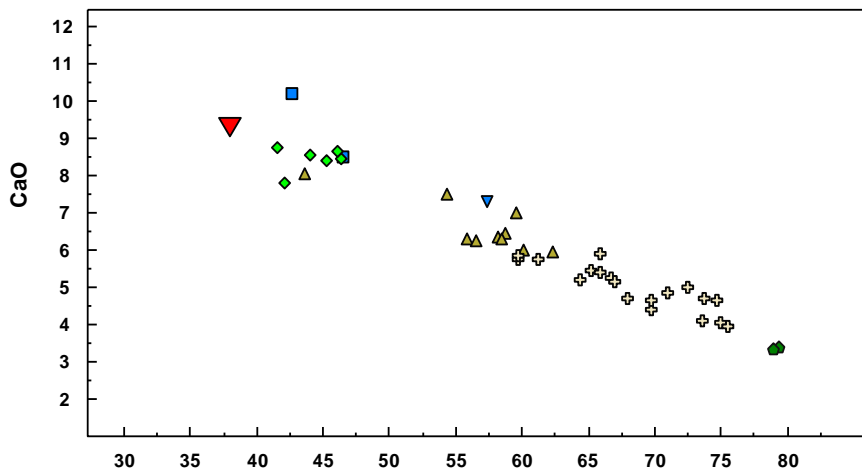


شکل ۲۵ نمودار K<sub>2</sub>O نسبت به سیلیس (Peccerillo and Taylor, 1976) [۱۴].

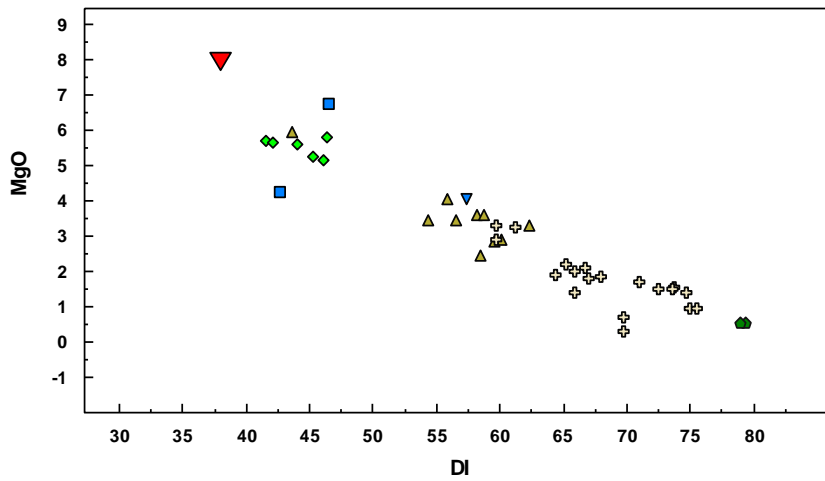
- Tuttle & Thornton (1960);  $DI = Qz + Or + Ab + Ne + Ks + Ls$



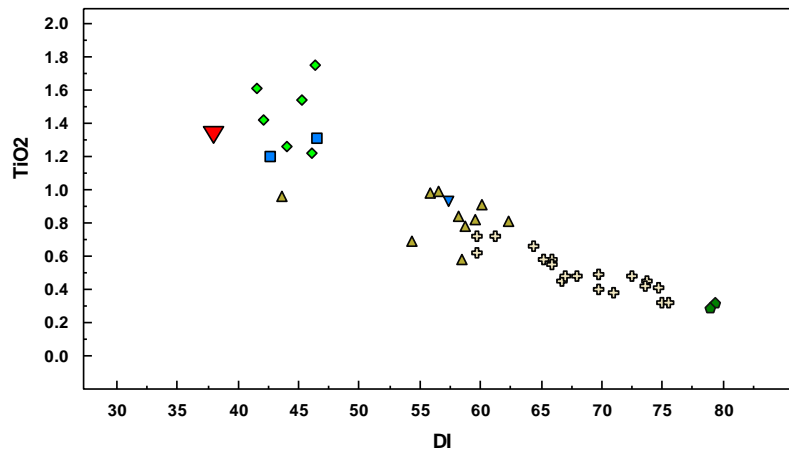
شکل ۲۶ نمودار تغییرات سیلیس نسبت به شاخص تفریق (Tuttle & Thornton, 1960) (در تصاویر ۲۶ تا ۲۹ از نماد ▼ برای نشان دادن جایگاه بازالت شبه قلیایی استفاده شده است).



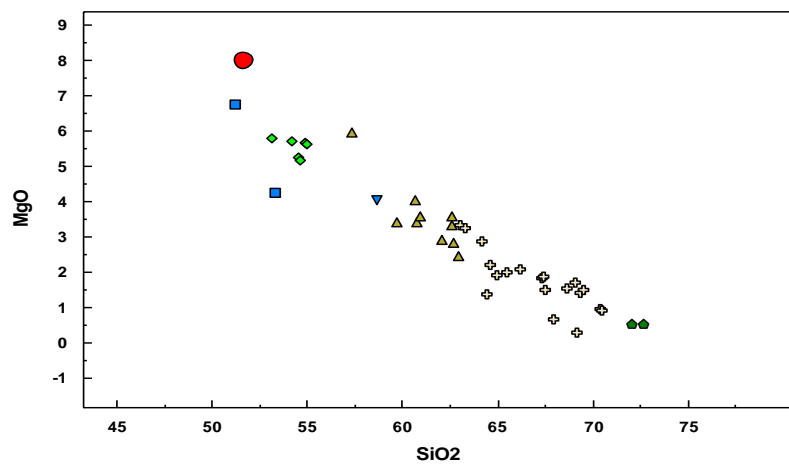
شکل ۲۷ نمودار تغییرات CaO نسبت به شاخص تفریق.



شکل ۲۸ نمودار تغییرات MgO نسبت به شاخص تفریق.



شکل ۲۹ نمودار تغییرات TiO<sub>2</sub> نسبت به شاخص تفریق.



شکل ۳۰ نمودار تغییرات MgO نسبت به سیلیس (Harker, 1909). ● - بازالت شبه قلیایی.

سنگ‌های آتشفشانی منطقه را آندزیت، داسیت و ریولیت تشکیل می‌دهند، گرچه ریولیت‌ها از فراوانی محدودی

برداشت

امکان آنالیز XRF را در پژوهشگاه علوم زمین پتسدام فراهم آورده‌اند، سپاسگزاری نماییم.

#### مراجع

[۱] اله پور، وثوقی عابدینی م، امامی م. ه، "ژئوشیمی و پترولوژی سنگهای آذرین خروجی ترشیری منطقه بیرجند"، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، جلد بیستم، شماره ۲ (۱۳۸۳)، ص ۱۲۱ - ۱۳۸

[۲] یوسف زاده م. ح، "پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگهای آتشفشانی ترشیری منطقه بیرجند - خوسف با نگرشی ویژه بر انکلاوهای موجود در آن"، رساله دکتری پترولوژی دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۸).

[۳] عمرانی ج، نظری ح، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰/۱ سرچاه"، سازمان زمین شناسی ایران (۸۲-۱۳۸۱).

[4] Holland, Powell, F5 - Thermocalc - Version 3/ 22/ 2001.

[5] Camp V. E., Griffis R. J., "Character. genesis and tectonic setting of igneous rocks in Sistan suture zone", Lithos 15, (1981) pp. 221 - 239.

[6] Tirrul R., Bell I. R., Griffis R. J., Camp V. E., "The Sistan suture zone of eastern Iran", Geological Soc. Of America. Bul. V. 94. (1989) pp. 134 - 150.

[7] Ohanian T., Tatavoosian Sh., "Geological map of Birjand, sheet No. 7855, Scale 1 : 100000", Geological survey of Iran, 1975, final reserVISION : Eftekharneshad, 1986.

[۸] اله پور ا، "بررسی پتروژنز و ژئوشیمی ولکانیسم ترشیری شمال بیرجند با نگرشی بر توان کانسارزائی آن"، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۷۵).

[9] Le Maitre R. W., "A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms", Blackwell. Oxford, (1989) 193 pp.,.

[10] Holland T., Blundy J., "Non- ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry", Contributions to Mineralogy and Petrology, 116, (1994) 433-447.

[11] Thornton C. P., Tuttle O.F., "Chemistry of igneous rocks", 1. Differentiation index. Am. Jour.. Sa. No. 258, (1960) p. 665 - 684.

[12] Harker A., "The natural history of igneous rocks", Methuen, London (1909).

برخوردارند و در مقابل داسیت‌ها و آندزیت‌ها گسترش قابل توجهی دارند. طیف دوم سنگ‌های آذرین خروجی منطقه را آندزیت‌های بازالتی و به صورت محدود بازالت تشکیل می‌دهند. تمایل ژئوشیمیایی عمومی همه‌ی این سنگ‌ها آهکی - قلیایی بوده گرچه معدودی از ترکیب‌های حدواسط و بازی به مجموعه‌های قلیایی تمایل داشته و بنموریت و موژه آریست نامگذاری شده‌اند. با توجه به ماهیت غنی از کلسیم تمامی سنگ‌های مورد بررسی و فراوانی فنوکریست ارتوپیروکسن، سرشت اصلی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال شرق بیرجند آهکی - قلیایی بوده و بروز ماهیت قلیایی ممکن است معلول نوعی فرایند ثانویه مانند آلیش پوسته‌ای باشد. در این سنگ‌ها الیوین عموماً از نوع کریزولیت، پیروکسن در بازالت‌ها دیوپسید، در آندزیت‌های بازالتی اوژیت، و در آندزیت‌ها انستاتیت است. حضور کلسیم در ساختار انستاتیت باعث شد تا این کانی در نمودار رده‌بندی پیروکسن‌ها کلینوانستاتیت نامگذاری شود، گرچه ویژگی‌های نوری ارتوپیروکسن را داراست. کلسیم در ساختار آمفیبول‌ها نیز اثرگذار بوده و این کانی‌ها از نوع منیزیوهورنبلند تا چرماکیت هورنبلندند. شکل‌های بدست آمده از بررسی محتوی کاتیونی کانی‌ها نشانگر نوسان‌های فراوانی آهن و منیزیم در الیوین‌ها، ارتوپیروکسن‌ها و آمفیبول‌ها و کلسیم و آهن در کلینوپیروکسن هستند. بررسی پاراژنز هورنبلند - پلاژیوکلاز دمای تبلور تعادلی این فازها در نمونه‌ی داسیتی را ۸۲۳ تا ۸۶۲ درجه‌ی سانتیگراد بین پنج تا صفر کیلوپا فشار نشان می‌دهد. بررسی نمودارهای اکسیدهای اصلی نسبت به شاخص جدایش و نیز مقابله اکسیدهای اصلی، نشانگر عدم پیوستگی و وجود گسستگی بین طیف آندزیت بازالتی - بازالت و سنگ‌های مورد بررسی دیگر است که ممکن است نتیجه‌ی تفاوت در چگونگی تشکیل، محیط تشکیل، سن و یا تلفیقی از تمامی این موارد باشد [۱۵]. آزمایش‌های ایزوتوپی و سال‌سنجی می‌تواند این موضوع را روشن کند.

#### قدردانی

لازم می‌دانیم از پروفیسور دکتر Thomas Fehr استاد کانی - شناسی دانشگاه ماکسیمیلیان مونیخ برای مساعدت ایشان برای انجام آنالیز ریز پردازشی که در تهیه بیشتر آنالیزها مشارکت مستقیم نیز داشته‌اند و پروفیسور دکتر Jorg Erzinger که

*Kastamonu area*", Northern Turkey . Contributions to Mineralogy and Petrology 58, (1976) 63 -81.

[۱۵] اله پور ا، "پتروژنز و ارزیابی رابطه ژنتیک و لکانیک‌های

ترشیری و بازالت‌های جوان منطقه شمال‌شرق بیرجند"، رساله

دکتری پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۹۰).

[13] Irvine T.W., Baragar W.R.A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian journal of Earth sciences, Vol. 8, (1971) pp. 523 -548.

[14] Peccerillo A., Taylor S.R., "Geochemistry of Eocene Calc-alkaline volcanic rocks from the