

مطالعه ماهیت ژئوشیمیایی و لکانیک‌های ترشیری و سنگ‌های بازالتی جوان منطقه شمال شرق بیرجند

اسماعیل اله‌پور*^۱، منصور وثوقی عابدینی^۲، سید محمد پورمعافی^۳، محمدمهدی خطیب^۳ و Soraya Heuss Assbichler^۴

۱. گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور بیرجند، بیرجند

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۳. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند

4. Section of Mineralogy, Department of geology and environmental sciences, Ludwig Maximilian university(LMU), Munich, Germany

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۳۰

چکیده

سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال شرق بیرجند را میتوان به دو گروه متمایز تقسیم کرد. نخست سنگ‌های آندزیتی، داسیتی و ریولیتی پالئوژن که تشکیل‌دهنده غالب بوده و دوم موژه آریته‌ها، آندزیت‌های بازالتی و بازالت‌های جوانتر که باروند شاخص شمال غرب - جنوب شرق در بستر سنگ‌های پالئوژن رخنمون یافته‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که این دو مجموعه سنگ‌شناسی واجد خصوصیات ژئوشیمیایی و ژنتیک متفاوت بوده و معلول فرایندهای سنگ‌زائی متفاوت می‌باشند. انواع حدواسط تا اسیدی از نوع ولکانیک‌های کالکوآکالن حاشیه فعال قاره‌ای بوده و از تفریق یک ماگمای اولیه آندزیتی ایجاد گردیده‌اند که از فرایند آرایش پوسته‌ای حداقل در ترم‌های تفریق یافته داسیتی و ریولیتی نیز تأثیر پذیرفته است. سنگ‌های بازالتی منطقه ویژگی غالب آکالن داشته و از نوع بازالت‌های درون صفحه‌ای و دارای منشأ گوشته‌ای بوده که در سیستم‌های کششی ناشی از عملکرد زون‌های گسلی راستگرد به سطح راه یافته‌اند.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، آندزیت، موژه آریته، کالکوآکالن، آکالن، بیرجند

مقدمه

پهنه لوت بوده و حضور نوارکمپلکس فیولیتی در شمال خاوری و بخش فلیشی در جنوب و شمال باختری منطقه را می‌توان نتیجه رژیم تکنونیک حاکم بر ناحیه دانست. در بخش اعظم منطقه سنگ‌های آذرین خروجی حد واسط تا اسیدی قدیمی‌تر (عمدتاً پالئوژن) تشکیل‌دهنده بستر منطقه بوده و رخنمون‌های سنگ‌های آذرین خروجی بازیک (جوان‌تر) با روندی تابع روند کلی ساختاری حاکم بر منطقه (شمال غرب - جنوب شرق) در زمینه یاد شده پراکندگی یافته‌اند (شکل ۱). در این مطالعه ویژگی‌های شیمیایی ولکانیک‌های ترشیری و سنگ‌های بازالتی فوق‌الذکر مقایسه شده و در این مورد که آیا این سنگ‌ها از نظر

منطقه مورد مطالعه محدوده‌ای است میان $30^{\circ} 59'$ تا 60° طول شرقی و 33° تا $30^{\circ} 33'$ عرض شمالی که در بخش واسط بین زون جوش خورده سیستان در شرق و پهنه لوت در غرب واقع گردیده است. این منطقه با وسعت بالغ بر 2600 کیلومتر مربع شامل بخش‌هایی از شمال شرق شهرستان بیرجند، جنوب شرق شهرستان قینات و غرب و شمال غرب شهرستان در میان در استان خراسان جنوبی می‌گردد. زمین‌شناسی منطقه را می‌توان بازتاب تاریخ تکنونیک شرق ایران دانست چنانکه بیش از دو سوم سطح منطقه زیر پوشش سنگ‌های آتشفشانی ترشیری تا پلیوکواترتر

* نویسنده مرتبط elahpour_es2002@yahoo.com

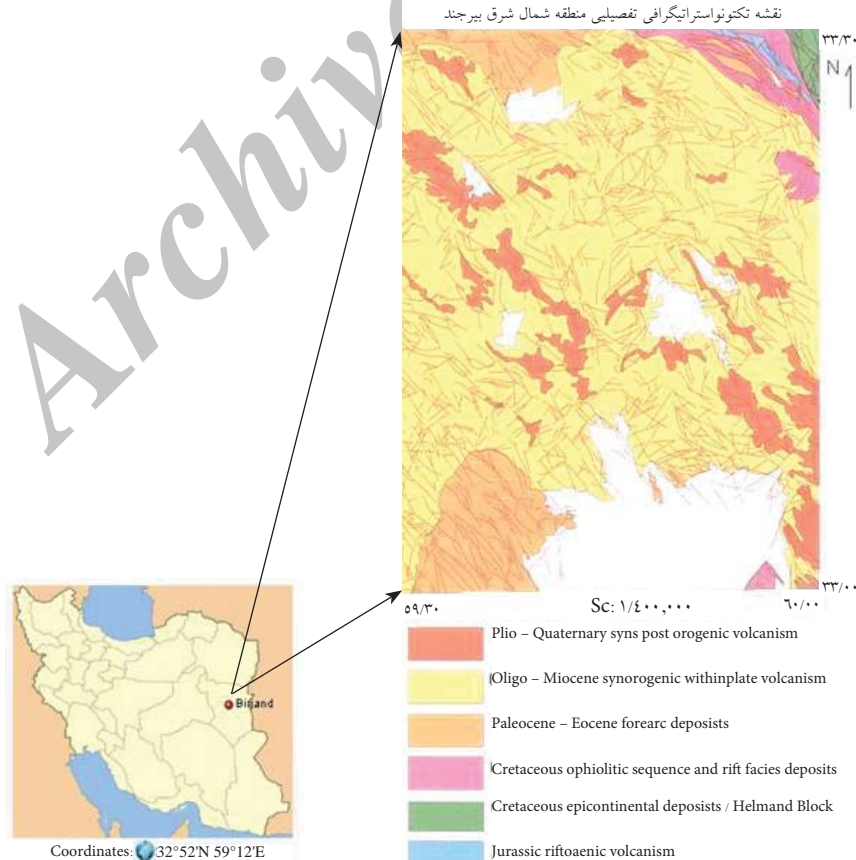
آریت‌ها) در نمونه دستی امکانپذیر نمی‌باشد. بافت غالب سنگ‌های آذرین خروجی حدواسط تا اسیدی که مشتمل بر طیف گسترده‌ای از سنگ‌های مزوکرات تا لوکوکرات می‌باشند، پرفیریک بوده و فنوکریست‌ها در مزوستاز ریزلور تا شیشه‌ای پراکنده‌اند. در این سنگ‌ها گاهی بافت گلومروپرفیریتیک نیز دیده می‌شود. بررسی‌های پتروگرافیک و آزمایشات میکروپروپ حاکمی از آنند که فنوکریست‌های سنگ‌های آندزیتی را به ترتیب فراوانی ارتوپیروکسن (انستاتیت)، پلاژیوکلاز (آندزین) و هورنبلند تشکیل می‌دهند. فراوان‌ترین فنوکریست‌ها در سنگ‌های داسیتی دارای بافت پرفیریک با مزوستاز میکروولیتی - شیشه‌ای عبارتند از هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز که با بلورهایی از جنس کوارتز و آپاتیت و اکسیدهای آهن و تیتانیم همراهی می‌گردند. بافت سنگ‌های لوکوکرات ریولیتی پرفیریک 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. در نتیجه مطالعات پتروگرافی و همین طور بر اساس نمودار مجموع اکسیدهای پتاسیم و سدیم در برابر سیلیس (شکل ۲) سنگ‌های آذرین خروجی مورد بررسی را می‌توان به دو مجموعه بازیک شامل بازالت، آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی و مجموعه حد واسط تا اسیدی شامل آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریولیت تقسیم‌بندی کرد.

زایشی ارتباط دارند یا خیر نتیجه گیری خواهد شد. علاوه بر این فرایندهای تکنونوماگمائی مؤثر بر شکل گیری این مجموعه‌های سنگ شناسی نیز مورد بحث قرار خواهند گرفت.

برای تحقق این مهم علاوه بر تهیه و مطالعه بالغ بر صد مقطع نازک، در فرصت تحقیقاتی مؤلف اول در دانشگاه مونیخ آلمان به منظور مطالعات ژئوشیمیایی و بررسی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب تعداد چهل و یک نمونه در پژوهشگاه علوم زمین شهر پتسدام آلمان (GFZ) مورد آنالیز XRF و تعداد ۲۰ نمونه مناسب مورد آزمایش به روش ICP - AES قرار گرفته (جداول ۱، ۲ و ۳) و به منظور بررسی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و اندازه‌گیری‌ها از نرم‌افزارهای Excel, Minpet 20, Petrograph1-0-5 و Newpet Ver.1993 استفاده شده است

پتروگرافی

مطالعات پتروگرافی حاکمی از حضور طیف گسترده‌ای از سنگ‌های آذرین خروجی در منطقه می‌باشد. بازالت‌ها و آندزیت‌های بازالتی مورد مطالعه قرار گرفته از منطقه عموماً تیره رنگ دارای بافت پرفیریک با مزوستاز میکروولیتی تا شیشه‌ای - میکروولیتی می‌باشند. محتوی فنوکریست در این سنگ‌ها اندک و مشتمل بر الیون، کلینوپیروکسن (دیپسید، اوژیت دیوپسیدی و اوژیت) و پلاژیوکلاز با ترکیب متوسط لابرادوریت بوده و تفکیک آندزیت‌های بازالتی از تراکی آندزیت‌های بازالتی (موژه



شکل ۱- شمای کلی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از عمرانی و همکاران، ۸۲-۱۳۸۱، نقشه زمین‌شناسی سرچاه).

جدول ۱ - داده‌های تجزیه شیمیائی سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق بیرجند (محتوی اکسیدها بر حسب درصد وزنی و مقدار عناصر بر حسب گرم در تن گزارش گردیده است).

Sample Name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	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)

Sample Name	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	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

Sample Name	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

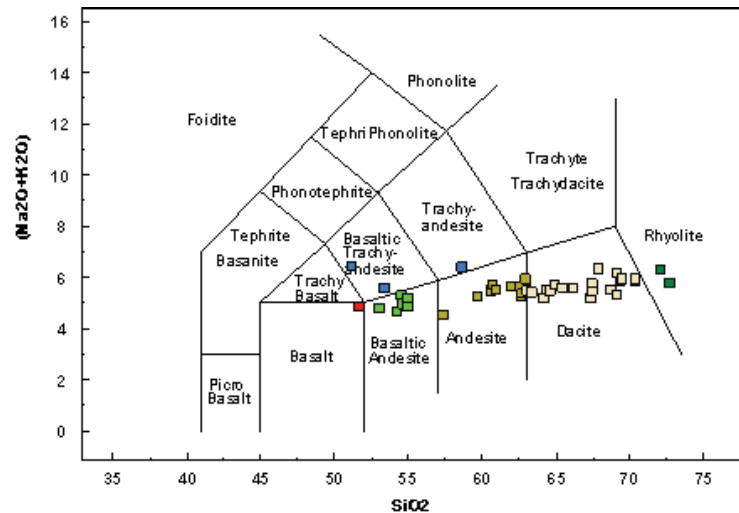
جدول ۲- راهنمای موقعیت جغرافیایی برداشت نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته

ردیف	کد نمونه	ترکیب شیمیایی	موقعیت جغرافیایی نمونه برداری	
۱	۰۱۲۶۴	بازالت	ترانشه جاده سراب	N33°/13' - E59°/55'
۲	۰۱۲۳۴	موژه آریث	بعد از دوراهی کبودان بسمت افین	N33°/29' - E59°/46'
۳	۱۴۶۱۱	موژه آریث	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	۰۱۲۶۷	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	شمالشرق درخش	N33°/14' - E59°/57'.5
۳۳	۰۰۶۷۱	داسیت	جنوبغرب آسو	N33°/12'.5 - E59°/29'
۳۴	۰۱۳۶۷	داسیت	جنوبشرق 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	۰۱۳۶۵	ریولیت	شمالشرق خوان	N33°/16' - E59°/43'
۴۱	۰۱۴۶۵	ریولیت	روستای بایمرغ	N33°/19'.85 - E59°/48'

جدول ۳- نتایج تجزیه عناصر کمیاب سنگهای آذرین خروجی شمالشرق بیرجند بر حسب گرم در تن

Sample	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Sc
۱۲۶۴	۲۱	۳۱	۶۰	۶/۵	۲۵	۴/۸	۱/۶	۴/۷	۰/۶۸	۴/۱	۰/۸۰	۲/۴	۰/۳۶	۲/۳	۰/۳۳	۲۱
۱۲۳۴	۲۱	۳۲	۶۰	۶/۳	۲۴	۴/۸	۱/۵	۴/۷	۰/۶۶	۴/۰	۰/۷۷	۲/۳	۰/۳۵	۲/۲	۰/۳۲	۱۸
۱۲۶۹	۲۳	۲۱	۴۴	۵/۳	۲۳	۵/۰	۱/۶	۵/۱	۰/۷۷	۴/۵	۰/۸۵	۲/۵	۰/۳۸	۲/۳	۰/۳۳	۲۰
۳۰۵۱۳	۲۲	۲۵	۴۹	۵/۳	۲۱	۴/۳	۱/۴	۴/۶	۰/۶۴	۴/۳	۰/۸۵	۲/۶	۰/۳۷	۲/۵	۰/۳۵	۱۹
۶۷۲	۲۳	۲۴	۴۷	۵	۲۰	۴/۳	۱/۴	۴/۵	۰/۷	۴/۲	۰/۹	۲/۶	۰/۴	۲/۵	۰/۴	۱۹
۳۰۵۹	۲۲	۲۳	۴۵	۴/۹	۱۹	۳/۹	۱/۲	۴/۲	۰/۶۳	۴/۰	۰/۸۰	۲/۵	۰/۳۸	۲/۵	۰/۳۶	۱۸
۲۷۵۶۲	۲۴	۲۹	۵۵	۵/۸	۲۳	۴/۶	۱/۴	۴/۷	۰/۷۰	۴/۳	۰/۹۰	۲/۷	۰/۴۱	۲/۷	۰/۴۰	۱۳
۱۴۶۱۰	۱۹	۲۸	۵۲	۵/۳	۲۰	۴/۰	۱/۲	۴/۰	۰/۵۷	۳/۶	۰/۷۲	۲/۲	۰/۳۳	۲/۲	۰/۳۱	۱۲
۳۰۵۱۲	۲۰	۲۱	۴۱	۴/۳	۱۷	۳/۵	۰/۹۸	۳/۷	۰/۵۶	۳/۶	۰/۷۳	۲/۳	۰/۳۶	۲/۳	۰/۳۴	۱۴
۱۴۶۳	۲۴	۲۷	۵۴	۵/۷	۲۲	۴/۵	۱/۳	۴/۷	۰/۶۵	۴/۴	۰/۹۲	۲/۸	۰/۴۳	۲/۹	۰/۴۲	۱۲
۲۵۵۴	۲۳	۳۱	۵۶	۵/۹	۲۲	۴/۳	۱/۲	۴/۴	۰/۶۱	۴/۲	۰/۸۶	۲/۶	۰/۴۰	۲/۷	۰/۴۰	۹/۸
۱۴۶۲	۲۵	۲۷	۵۲	۵/۵	۲۱	۴/۳	۱/۲	۴/۶	۰/۶۷	۴/۵	۰/۹۲	۲/۹	۰/۴۶	۳/۰	۰/۴۴	۱۲
۱۲۶۷	۲۲	۲۸	۵۳	۵/۵	۲۱	۴/۲	۱/۳	۴/۳	۰/۶۱	۴/۱	۰/۸۵	۲/۶	۰/۳۹	۲/۷	۰/۴۰	۱۰
۲۵۵۵	۲۴	۳۲	۵۷	۵/۹	۲۲	۴/۳	۱/۲	۴/۵	۰/۶۴	۴/۲	۰/۸۸	۲/۷	۰/۴۴	۲/۸	۰/۴۲	۱۰
۲۵۵۱۰	۲۰	۲۹	۵۱	۵/۲	۲۰	۳/۸	۱/۱	۳/۹	۰/۵۷	۳/۶	۰/۷۱	۲/۲	۰/۳۴	۲/۳	۰/۳۴	۹/۵
۱۴۶۷	۱۴	۲۶	۴۷	۴/۶	۱۷	۳/۳	۰/۹۷	۳/۲	۰/۴۵	۲/۷	۰/۵۴	۱/۶	۰/۲۳	۱/۶	۰/۲۳	۷/۷
۱۳۶۹	۱۹	۲۹	۵۳	۵/۳	۲۰	۳/۹	۱/۱	۳/۹	۰/۵۴	۳/۵	۰/۷۲	۲/۲	۰/۳۳	۲/۲	۰/۳۳	۷/۷
۱۳۶۷	۱۷	۲۳	۴۲	۴/۲	۱۶	۳/۱	۰/۸۴	۳/۱	۰/۴۶	۲/۹	۰/۵۹	۱/۹	۰/۳۰	۲/۰	۰/۳۰	۸/۲
۱۳۶۵	۱۲	۲۴	۴۱	۳/۸	۱۴	۲/۷	۰/۶۸	۲/۵	۰/۳۸	۲/۲	۰/۴۳	۱/۳	۰/۲۰	۱/۳	۰/۲۰	۵/۷
۱۴۶۵	۱۱	۲۲	۳۸	۳/۳	۱۲	۲/۳	۰/۷۰	۲/۲	۰/۳۴	۱/۹	۰/۳۹	۱/۲	۰/۱۷	۱/۳	۰/۲۰	۴/۱



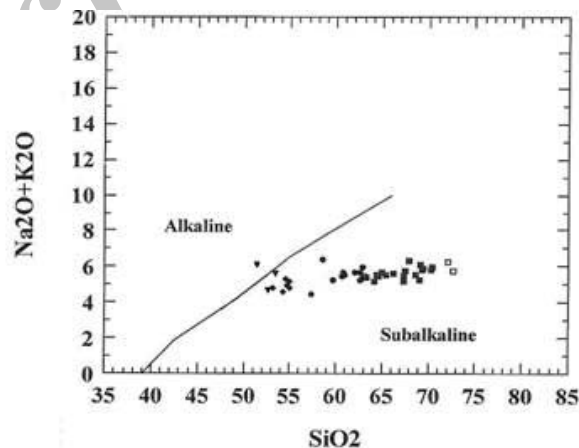
شکل ۲- طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی بر اساس دیاگرام مجموع آلکالن در مقابل سیلیس (Le Maitre et al., 1989)

(شکل ۴). حسینی و همکاران (۱۳۸۹) نیز در مطالعه بازالت‌های گزبلند شهربابک کرمان این ویژگی سنگ‌های مورد مطالعه را نشانگر ماهیت آلکالن آنها دانسته‌اند.

روند خطی، پیوسته و مثبت در نمودار تغییرات TiO_2 در برابر P_2O_5 نیز از شواهد قابل ارائه برای ماهیت کالکوالکالن سری‌های سنگی است. چنانچه در شکل (۵) دیده می‌شود ماهیت کالکوالکالن ریولیت‌ها، داسیت‌ها و بخش اعظم سنگ‌های آندزیتی منطقه محرز می‌باشد. این در حالیست که دیاگرام در مورد بازالت‌ها و بازالت‌های آندزیتی تفرق و واگرایی نشان داده که ناشی از تمایل ژئوشیمیایی این سنگ‌ها به ترکیبات غنی از پتاسیم و آلکالن می‌باشد. موضوعاتی مانند داسیت‌ها و ریولیت‌ها بخش اعظم سنگ‌های حد واسط تا اسیدی راتشکیل می‌دهند، فراوانی چشمگیر فنوکریست‌های هورنبلند و بیوتیت در پیکره

ژئوشیمی

جهت مطالعه سری ماگمایی سنگ‌های آذرین خروجی منطقه شمال شرق بیرجند از دیاگرام مجموع آلکالن در مقابل سیلیس (Irvine and Baragar, 1971) که بر مبنای اکسیدهای اصلی پایه‌گذاری شده است، استفاده کرده‌ایم (شکل ۳). این دیاگرام تمایز بین سنگ‌های بازیک و انواع حدواسط تا اسیدی را آشکار ساخته و حاکی از آن است که سنگ‌های آندزیتی تاریولیتی منطقه ماهیت کالکوالکالن دارند درحالی‌که انواع بازیک به سنگ‌های سری آلکالن تمایل نشان می‌دهند. شواهد دیگری نیز وجود دارند که تمایز ژئوشیمیایی این دو مجموعه سنگ‌شناسی را تأیید می‌نمایند. از جمله می‌توان به عدم وجود حاشیه واکنشی و تبدیل‌شدگی به ارتوپیروکسن در بلورهای الیون سنگ‌های بازیک اشاره کرد که حاکی از ماهیت آلکالن این سنگ‌ها می‌باشد



شکل ۳- نمودار مجموع آلکالن در مقابل سیلیس (Irvine and Baragar (1971)

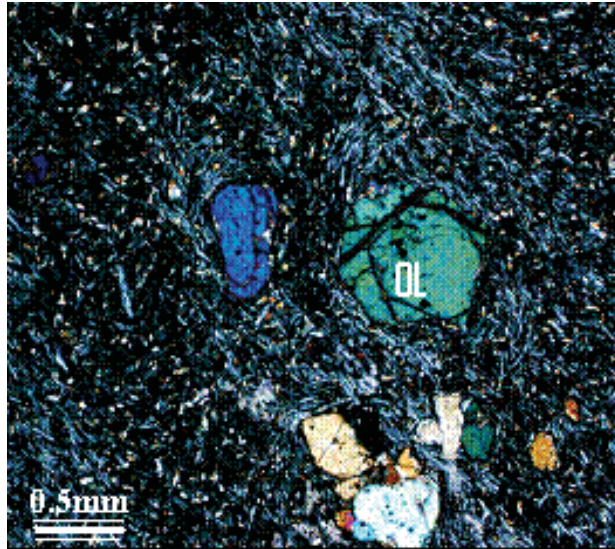
▼ : بازالت و موژه آریت

◆ : آندزیت بازالتی

● : آندزیت

■ : داسیت

□ : ریولیت



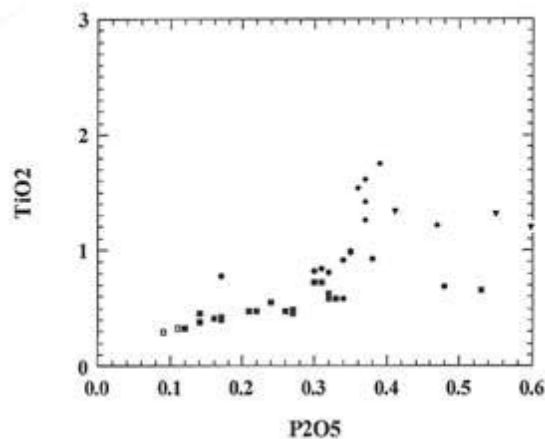
شکل ۴- مقطع میکروسکوپی از سنگ‌های بازالتی منطقه که نشان می‌دهد فنوکریست‌های الیوین فاقد حاشیه واکنشی می‌باشند (نمونه ۱۲۶۴). XPL

بازیک به فازهای اسیدی‌تر می‌گردد. کاهش محتوی Zr به تناسب افزایش اندیس تفریق از مشخصه‌های بارز سنگ‌های کالکوالکالن بوده و این نمودار (شکل ۶) ماهیت کالکوالکالن سنگ‌های حدواسط و اسیدی منطقه و تمایز آنها از انواع بازیک را به روشنی آشکار می‌سازد. از طرف دیگر شواهد مبتنی بر محتوی عناصر کمیاب نیز ایده تعلق سنگ‌های بازیک منطقه مورد مطالعه به سری سنگ‌های آلکالن را مورد تأیید قرار می‌دهند. Coleman (1988) and McGuire (1988) محتوی پایین Rb را نشانه تعلق به سری سنگ‌های آلکالن دانسته‌اند، موضوعی که در مورد سنگ‌های بازالتی و آندزیت‌های بازالتی مورد بررسی مصداق دارد زیرا میانگین مقدار Rb در این سنگ‌ها $24/36$ (ppm) می‌باشد در حالیکه مقدار این عنصر در سنگ‌های حدواسط - اسیدی منطقه از 32 تا 104 (ppm) در نوسان است. Pearce and Cann (1973)، $Y/Nb > 1$ را شاخصه بازالت‌های آلکالن دانسته‌اند. این نسبت در بازالت‌های مورد بررسی $1/45$ می‌باشد.

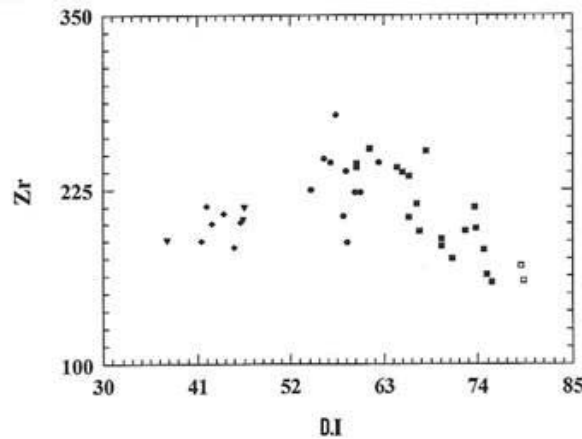
آنها و بازه وسیع تغییرات محتوی سیلیس که در این طیف سنگی از $59/73$ تا $72/71$ درصد در نوسان می‌باشد، از دیگر شواهد تعلق سنگ‌های آندزیتی، داسیتی و ریولیتی شمال شرق بیرجند به سری سنگ‌های کالکوالکالن بشمار می‌روند. از نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب در برابر اندیس تفریق Thornton and Tuttle (1960) نیز برای آشکارسازی تشابهات و تفاوت‌های سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی استفاده شده است. ضریب مورد اشاره جهت بررسی ماگماهای اسیدی و حد واسط مناسب‌تر بوده و عبارتست از مجموع درصد کانی‌های روشن سنگ که از طریق محاسبه نرم بدست می‌آید:

$$D.I = Qz + Or + Ab + Ne + Ks + Lc$$

کانی‌های سبک فوق‌الذکر (کوارتز، ارتوز، آلبیت، نفلین، کالسیت و لوسیت) با پیشرفت روند تفریق از قطب بازیک به سمت قطب اسیدی از ماگما جدا شده و درصد آنها در فاز باقیمانده افزایش می‌یابد. این افزایش خود باعث تحول ماگمای



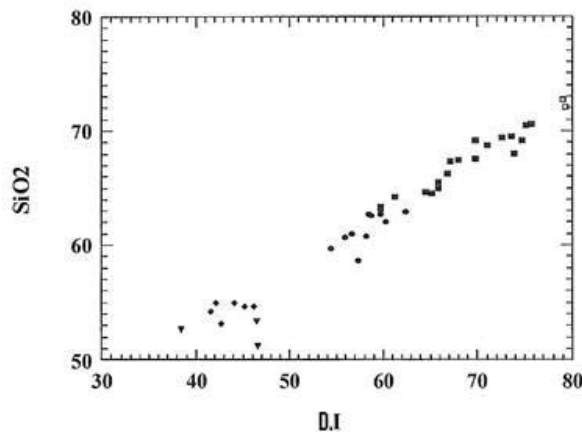
شکل ۵- نمودار تغییرات TiO_2 در برابر P_2O_5 ارتباط افزایشی و پیوسته در تغییرات محتوی این دو اکسید در سنگ‌های ریولیتی تا آندزیتی حاکی از ارتباط ژنتیکی و تعلق این سنگ‌ها به سری کالکوالکالن است.



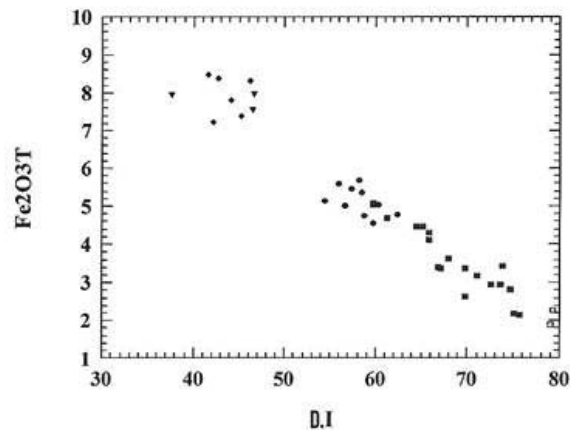
شکل ۶- نمودار تغییرات Zr در مقابل D.I.

و دیاگرام حکایت از محتوی نسبتاً بالای آلومین دارد که چنانچه ذکر شد خود از شاخصه‌های سنگ‌های مرتبط با محیط‌های کوهزائی است (شکل‌های ۷، ۸ و ۹). اضافه می‌شود در سنگ‌های حدواسط مانند آندزیت‌ها مقدار حجمی پلاژیوکلاز بیشتر از ترم‌های اسیدی است. به این معنی که در سنگ‌های اسیدی بطور نسبی مقدار کوارتز زیاد و در مقابل از مقدار پلاژیوکلاز کاسته می‌شود. این موضوع را نیز باید در رابطه با چگونگی تغییرات Al_2O_3 به تناسب افزایش ضریب تفریق در این گونه سنگ‌ها در نظر داشت. برای درک شرایط زایشی این سنگ‌ها از نمودارهای مبتنی بر عناصر ناسازگار و الگوهای عنکبوتی نیز کمک گرفته‌ایم. بر اساس نمودار Ti/Zr در برابر Zr (ppm) که نتایج آن با عنایت به دخالت عنصر ناسازگار کلاسیک و دارای پتانسیل یونی بالای زیرکونیم و عنصر ناسازگار تیتانیوم مطمئن ارزیابی می‌گردد، سنگ‌های آتشفشانی بازیک منطقه ماهیت گوشته‌ای داشته و به طور نسبی از نظر ترکیبی به بازالت‌های شکاف میان اقیانوسی نزدیک‌ترند. ترکیب سایر سنگ‌های آذرین خروجی منطقه شمال شرق بیرجند از ترکیب MORB فاصله گرفته و روند خطی آشکار آنها وابستگی زایشی آنها را به یکدیگر و همین‌طور تفکیک آنها از ترکیبات بازالتی را تداعی می‌نماید. (Price et al. (1999)

از نمودارهای SiO_2 and Fe_2O_3 , Al_2O_3 در برابر اندیس تفریق نیز برای مطالعه رفتار ژئوشیمیایی ولکانیک‌های منطقه کمک گرفته‌ایم. در همه این نمودارها انقطاع بین مجموعه سنگ‌های بازیک و سنگ‌های اسیدی - حدواسط آشکار و حتی تشدید شده است. نظر به ضریب بالای اطمینان در کاربرد این دیاگرام‌ها تردیدی باقی نمی‌ماند که این دو مجموعه واجد ویژگی‌های ژنتیک متفاوت می‌باشند. در نمودار سیلیس نسبت به اندیس تفریق نقاط نشانگر ترکیبات بازیک روند خاصی نشان نداده، در حالیکه در مجموعه دیگر با افزایش اندیس تفریق میزان سیلیس افزایش می‌یابد. نمودار دارای همبستگی مثبت و شیب حدود ۴۵ درجه بوده و حکایت از ارتباط زایشی مجموعه سنگ‌های آندزیتی تا ریولیتی منطقه شمال شرق بیرجند دارد. در سایر نمودارها نیز ترکیبات بازیک منفک بوده و روند خاصی نشان نمی‌دهند. میزان آهن کل سنگ‌های تجزیه شده بویژه انواع اسیدی تا حدواسط کم بوده و در مقایسه با آندزیت‌های غیرکوهزائی (ایسلندیت‌ها)، کاهش آهن کل و افزایش آلومین حاکی از تعلق این سنگ‌ها به مناطق کوهزائی می‌باشد (نسبت $Al_2O_3/FeO+$ در Fe_2O_3 در همه آندزیت‌های مورد بررسی بیشتر از ۲ می‌باشد). شیب منفی در نمودار Al_2O_3 در برابر اندیس تفریق ناچیز بوده



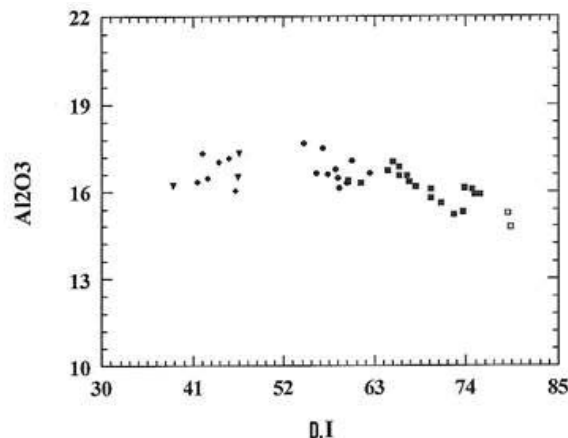
شکل ۷- نمودار تغییرات درصد وزنی سیلیس در برابر اندیس تفریق



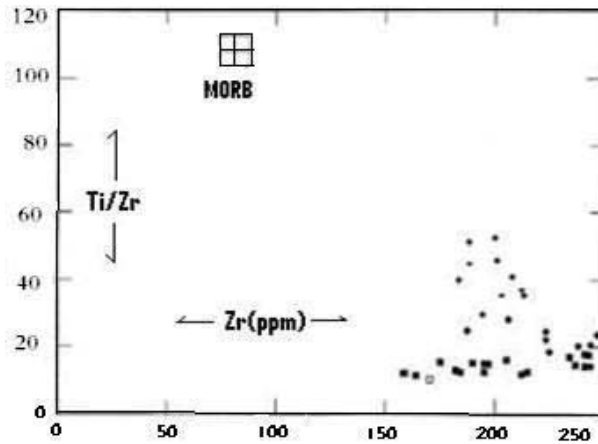
شکل ۸- نمودار تغییرات درصد وزنی Fe_2O_3 کل در برابر اندیس تفریق

ویژگی‌هایی کاملاً در تضاد با ترکیبات حدواسط تا اسیدی داشته و اشتقاق از یک ماگمای گوشته‌ای کمتر تهی شده را تداعی می‌نمایند. برای تکمیل یافته‌ها در مورد وضعیت آرایش سنگ‌های مورد مطالعه استفاده از نمودار K/Rb در برابر فراوانی Rb(ppm) (Parker et al., 2005) نتایج خوبی در اختیار گذاشته است. (Parker et al., 2005) از دیاگرامی که بر مبنای نسبت دو عنصر ناسازگار قوی پتاسیم و روبیدیم بنیان گذاشته‌اند، برای توضیح آثار دخالت بعضی از فرایندهای خاص در تکوین ماگماهای مختلف استفاده کرده‌اند. فرایندهای پتروژنتیک نشان داده شده در فضای نمودار (شکل ۱۲) را می‌توان اینگونه تشریح کرد که بازالت مشتق از گوشته با جذب مواد پوسته زیرین روند تغییر شیمیایی سریع (1a) را ممکن است پشت سر بگذارد. این ماگما که به مذابی غنی از مواد پوسته زیرین تبدیل شده است، بوسیله فرایند تبلور تفریقی - جذب (AFC) به آندزیت بازالتی منتج از آلودگی با مواد پوسته فوقانی (1b) تکامل می‌یابد. بنابراین ممکن است مجموعه‌ای از فرایندهای پیچیده در تکوین آندزیت‌های بازالتی دخیل باشند. منحنی‌های اختلاط کل (2) مشتمل بر اختلاط مذاب‌های پوسته‌ای با آندزیت‌های بازالتی نشان می‌دهند که افزایش ۱۰ درصد وزنی جذب کل (Taylor and McLennan

نمودار را به استناد مطالعات Woodhead et al. (1993) مبنی بر اینکه وضعیت نسبت Ti/Zr گدازه‌ها در کمان‌های ماگمایی می‌تواند برای دریافت استنتاجی درباره درجه تهی‌شدگی در محیط‌های منشأ گوشته‌ای، از ماگمای والد به سمت گدازه‌های مشتق از آن مورد استفاده قرار گیرد، ارائه کردند (شکل ۱۰). الگوی عنکبوتی میانگین همه تیپ‌های سنگی منطقه شمال شرق بیرجند عادی‌سازی شده با کندریت (شکل ۱۱) نیز حاکی از تمایز سنگ‌های بازالتی و بازالت‌های آندزیتی از سایر گونه‌های سنگی (آندزیت‌ها، داسیت‌ها و ریولیت‌ها) می‌باشد. وجه افتراق این سنگ‌ها از یکدیگر محتوی پایین‌تر Rb و محتوی بالاتر Ni و Nb, Ti در سنگ‌های بازیک نسبت به سنگ‌های حدواسط تا اسیدی است که می‌تواند مؤید ماهیت گوشته‌ای آنها باشد. آنومالی مثبت Rb و آنومالی منفی REE در ریولیت‌ها نسبت به داسیت‌ها و آندزیت‌ها شاخص‌تر می‌باشد. ویژگی‌های یاد شده و هم‌منظور آنومالی منفی Nb و Ti در ریولیت‌های شمال شرق بیرجند نشان از تعلق آنها به مجموعه‌های سنگ‌شناسی حاشیه فعال قاره‌ای دارد. ضمن اینکه ماگمای مولد این سنگ‌ها ضمن صعود از پدیده آرایش پوسته‌ای نیز متأثر گردیده است. این در حالیست که آندزیت‌های بازالتی و بویژه موژه آریته‌ها



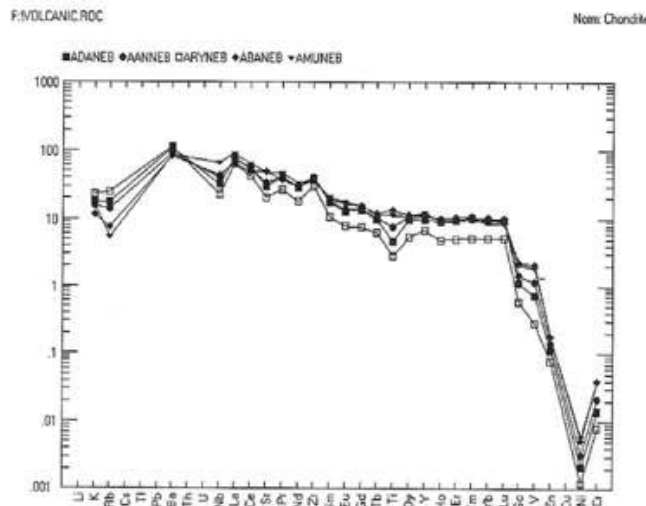
شکل ۹- نمودار تغییرات درصد وزنی Al_2O_3 در برابر اندیس تفریق



شکل ۱۰- نمودار تغییرات نسبت Ti/Zr در برابر Zr(ppm) Price et al. (1999)

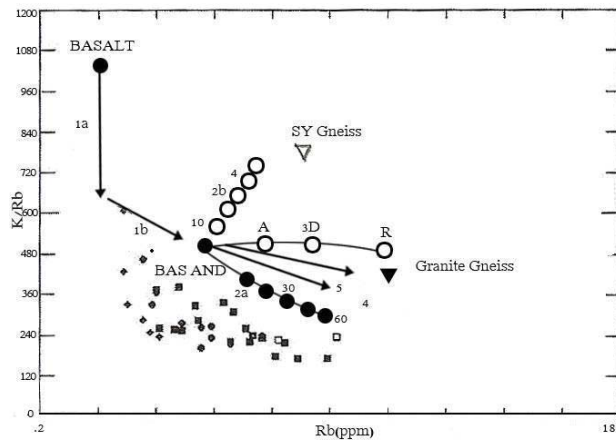
تکون سنگ‌های بازیک منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در اثر این فرایند این سنگ‌ها در بررسی با نمودارهای مبتنی بر عناصر آلکالن شبیه نمودار مجموع درصد وزنی Na_2O و K_2O در برابر درصد وزنی سیلیس (شکل ۳) به ترکیبات کالکوالکالن متمایل گردند. در همین ارتباط نمودار $\text{Ti}(\text{ppm})$ در برابر $\text{Zr}(\text{ppm})$ (Pearce, 1980) مؤید آن است که سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال شرق بیرجند به دو گروه متمایز تقسیم می‌شوند؛ سنگ‌های حدواسط تا اسیدی که متعلق به قوس آتشفشانی بوده و سنگ‌های بازیک که به مجموعه ولکانیک‌های درون صفحات لیتوسفری تعلق دارند. مشخص شدن جایگاه ویژه‌ای برای بازالت‌های زون گسترش کف اقیانوس‌ها نیز از ویژگی‌های قابل ذکر این نمودار بشمار می‌رود (شکل ۱۳). و سرانجام Pearce and Norry (1979)

(1985) پوسته فوقانی، روند (2a) را باعث می‌گردد در حالیکه اختلاط ترکیب معادل گنایس سینیتی با آندزیت بازالتی روند (2b) را نتیجه می‌گردد. تفریق آندزیت بازالتی در محیط بسته، ماگمای دختری ایجاد می‌کند (3) که روندی به موازات محور تغییرات Rb نشان خواهد داد (ریولیت = R، داسیت = D و آندزیت = A). ذوب گنایس گرانیتی قاعده پوسته نیز مذابی ریولیتی (4) تولید می‌کند که خود ممکن است در مراحل تکاملی با مذاب‌های داسیتی تولید شده بوسیله فرایندهای AFC مخلوط گردد. چنانچه در تصویر دیده می‌شود نمونه‌های بازیک منطقه شمال شرق بیرجند بر روند (1b) منطبق بوده در حالیکه اکثر نمونه‌ها، مشتمل بر ترکیبات حدواسط تا اسیدی انطباق خوبی بر روند (2a) نشان می‌دهند. نمودار مذکور بیانگر اثر فرایند آلودگی پوسته‌ای در



شکل ۱۱- الگوی عنکبوتی همه گونه‌های سنگی منطقه عادی سازی شده با کندریت.

- ADANEB : متوسط ترکیب شیمیایی داسیت‌های شمال شرق بیرجند
 AANNEB : متوسط ترکیب شیمیایی آندزیت‌های شمال شرق بیرجند
 ARYANEB : متوسط ترکیب شیمیایی ریولیت‌های شمال شرق بیرجند
 ABANEB : متوسط ترکیب شیمیایی آندزیت‌های بازالتی منطقه
 AMUNEB : متوسط ترکیب شیمیایی موژه آریته‌های شمال شرق بیرجند



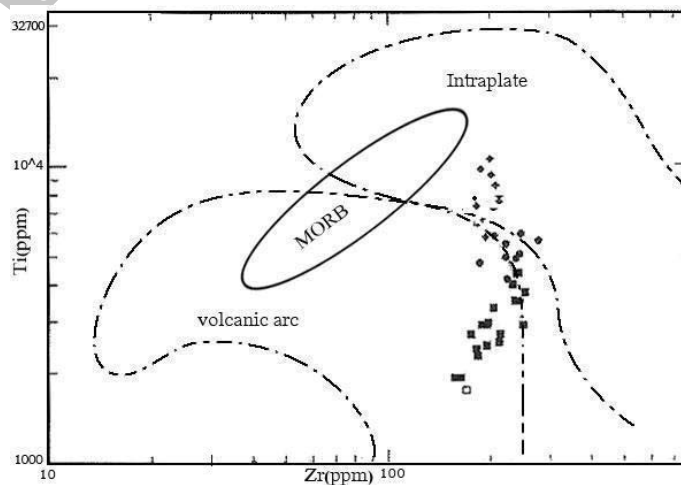
شکل ۱۲- نمودار K/Rb در مقابل Rb(ppm) (Parker et al., 2005)

کرتاسه زیرین شکل گرفته است. وی ابراز عقیده کرده است که با پایان یافتن اشتقاق خاور ایران، پوسته اقیانوسی مذکور به زیر بلوک لوت فروورانش کرده است. Camp and Griffis (1982) و Terrule et al. (1983) معتقد به جدایش بلوک افغان (هلمند) از بلوک لوت در سنومانین (آغاز کرتاسه فوقانی) هستند که منجر به تشکیل پوسته اقیانوسی و انباشت رسوبات فیلیشی شده است. آنان معتقد به شروع فروورانش پوسته اقیانوسی به زیر بلوک افغان در ماستریشین و برخورد نهایی دو بلوک در ائوسن میانی هستند. فتوحی‌راد (۱۳۸۳) معتقد است سرگذشت زمین‌شناسی کلی منطقه با ریفتینگ در بلوک قاره‌ای واحدی آغاز شده است که با گسترش ریفت و تبدیل آن به ریفت اقیانوسی، تشکیل بخش‌های مختلف یک لیتوسفر اقیانوسی را داده و نهایتاً مجموعه افیولیتی منطقه شرق بیرجند را در سرحد ژوراسیک و کرتاسه و احتمالاً مطابق با حوضه مکران یا در ابتدای کرتاسه زیرین بوجود آورده است. متعاقب آن، بر اثر تغییر حرکات تکتونیکی، بازشدگی متوقف شده و پوسته اقیانوسی تشکیل شده، فروورانش خود را آغاز نموده است (والانژین - هاتریوین در کرتاسه زیرین). ادامه این حرکت همگرا در کرتاسه فوقانی تا احتمالاً پالئوژن منجر به

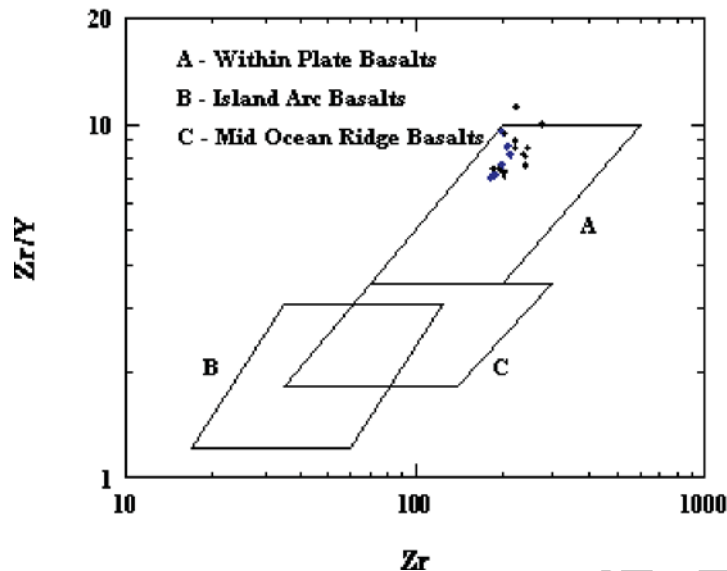
دریافتند که نسبت Zr/Y که در مقابل اندیس تفریق Zr ترسیم شده، تمایز مؤثری بین بازالت‌های جزایر قوسی، MORB و بازالت‌های درون صفحه‌ای به نمایش می‌گذارد. در این نمودار، بازالت‌های قوسی در محدوده B, MORB در محدوده C و بازالت‌های درون صفحه‌ای در جایگاه A قرار می‌گیرند. بر اساس این نمودار همچنین قادریم بازالت‌های قوسی قاره‌ای را از انواع اقیانوسی متمایز نماییم. به این صورت که انواع واقع شده بالای خط $Zr/Y = 3$ از نوع بازالت قوسی قاره‌ای و انواع قرار گرفته زیر این خط، بازالت قوسی اقیانوسی می‌باشند (Pearce, 1983). مکان‌یابی سنگ‌های بازیک مورد مطالعه قرار گرفته از منطقه شمال شرق بیرجند (شکل ۱۴) دلالت بر تعلق این سنگ‌ها به بازالت‌های درون صفحه‌ای دارد.

بحث

در ارتباط با تاریخچه شکل‌گیری این مجموعه‌های سنگی و ارائه مدل ژئودینامیکی با مروری بر یافته‌های قبلی متذکر می‌گردیم که افتخارنژاد (۱۳۵۲) معتقد به وجود حوضه فیلیشی ناشی از کافت قاره‌ای بین دو بلوک لوت و هلمند بوده که در



شکل ۱۳- نمودار تغییرات Ti(ppm) در برابر Zr(ppm) (Pearce, 1983)



شکل ۱۴- نمودار تغییرات Zr/Y در مقابل (Log Zr(ppm)) (Pearce and Norry, 1979)

صفحه‌ای هستند که در محیط‌های کششی متأثر از سیستم‌های گسلی راستگرد به سطح راه یافته‌اند. با توجه به اینکه سنگ‌های آتشفشانی حدواسط تا اسیدی کمان آتشفشانی ناشی از همگرایی و فرورانش حادث گردیده بین قطعات قاره‌ای لوت و هلمند می‌باشند، بخوبی آثار تأثیرپذیری از متاسوماتیسم تیغه فرورونده و آرایش با مواد پوسته‌ای را نشان می‌دهند (شکل ۱۲). از طرف دیگر از آنجا که در بازه زمانی شکل‌گیری بازالت‌های پلیوکواترنر (عمرانی و نظری، ۱۳۸۳) و به احتمال قوی پلیوسن، پوسته از ضخامت قابل توجه برخوردار گشته است، ماگمای تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها ضمن صعود به آندزیت‌های بازالتی تفریق یافته و از آرایش با مواد پوسته‌ای تأثیر پذیرفته است. این آلودگی بر محتوی عناصر اصلی این سنگ‌ها به نحوی تأثیر گذاشته که در بررسی با نمودار مجموع آلکالن در مقابل سیلیس (شکل ۳) پیرامون منحنی واسط بین ترکیبات آلکالن و کالکوالکالن قرار گرفته‌اند.

منابع

- آقائاتی، س.ع، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶.
- افتخارنژاد، ج، ۱۳۵۲. مطالبی چند درباره تشکیل حوضه رسوبی فیلیس در خاور ایران و توجه آن با تئوری تکتونیک صفحه‌ای، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۶۷-۷۱.
- اله‌پور، ا، پتروژنز و ارزیابی رابطه ژنتیک ولکانیک‌های ترشیری و بازالت‌های جوان منطقه شمال شرق بیرجند. رساله دکتری پتروژنی، دانشگاه شهید بهشتی، در حال تدوین.
- امامی، م. ه، ۱۳۷۹. ماگماتیسیم در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بربریان، م، ۱۳۶۷. فرگشت ژئوتکتونیک رشته کوه‌های ایران زمین، هفتمین گردهمایی علوم زمین، تهران ۲۴ تا ۲۷ بهمن ماه، خلاصه نوشتارها، ۲۸-۳۳.

برخورد دو بلوک لوت و افغان شده است. وجود حوضه اقیانوسی در سرحد ژوراسیک - کرتاسه بین قطعات قاره‌ای لوت و هلمند مقبولیت همگانی دارد اما در مورد زمان برخورد قطعات قاره‌ای اختلاف نظر وجود دارد. در این زمینه علاوه بر Terrule et al. (1983) که زمان برخورد نهایی دو بلوک را ائوسن میانی دانسته‌اند، درویش‌زاده (۱۳۷۰) بازه زمانی برخورد را اواخر ائوسن دانسته و امامی (۱۳۷۹) نیز معتقد به تصادم بلوک لوت و زون فیلیس در ائوسن میانی است. بربریان (۱۳۶۷) به فرورانش دوگانه باریکه اقیانوسی به زیر بلوک افغان و بلوک لوت اعتقاد داشته و زمان برخورد دو بلوک را ائوسن میانی می‌داند.

در مورد ویژگی‌های شیمیایی سنگ‌های آذرین خروجی لوت و به‌ویژه بخش شرقی آن پیش از این آقائاتی (۱۳۸۳) سنگ‌های بازالتی لوت را متعلق به سری آلکالن دانسته و وثوقی عابدینی (۱۳۷۶) در مطالعه سنگ‌های بازالتی مناطق مود و فردوس در خراسان جنوبی، این سنگ‌ها را از نوع آلکالن و دارای ویژگی دوگانگی ژئوشیمیایی معرفی کرده است. در همین رابطه بربریان (۱۳۶۷) نیز ولکانیک‌های لوت شمالی را از نوع بایمودال گزارش کرده است.

نتیجه‌گیری

بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که ولکانیسم در منطقه شمال شرق بیرجند از نوع بایمودال بوده و دو مجموعه سنگ‌شناسی مورد بررسی کاملاً از یکدیگر متمایز و معول فرایندهای ژنتیکی و ژئودینامیکی متفاوت می‌باشند. ولکانیک‌های حد واسط تا اسیدی منطقه ماهیت کالکوالکالن داشته و به محیط ژئوتکتونیک حاشیه فعال قاره‌ای تعلق دارند. این در حالیست که ولکانیک‌های بازیک متعلق به سری سنگ‌های آتشفشانی آلکالن بوده، منشأ گوشته‌ای داشته و از نوع بازالت‌های درون

In: Hawkesworth C.J., Norry, M.J., (eds.), Continental Basalts and mantle Xenoliths., Shiva, Nantwich, 230-249.

- Pearce, J. A., 1980. Geochemical evidence for the genesis and eruptive setting of lavas from tethyan ophiolites symp., Cyprus 1979, Institute of Mining and Metallurgy, 261-272.

- Pearce, J.A. and Norry, M.J., 1979. petrogenetic implications of Ti, Zr, Y & Nb variations in volcanic rocks, Contribution on Mineralogy and Petrology, 69, 33-47.

- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses, Earth Planetary Science letters, 19, 290-300.

- Pearce, J.A. and Gale, G.H., 1977. Identification of ore deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks, Geological Society, Special. Publication, 7, 14-24.

- Price, R.C., Stewart, R.B., Woodhead, J.D. and Smith, I. E.M., 1999. Petrogenesis of high K arc magmas: evidence from Egmont volcano, north Island, New Zealand, Journal of Petrology, 40, 1, 167-197.

- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985. The Continental Crust: its composition and evolution, Blackwell, Oxford, 312.

- Thornton, C.P. and Tuttle, O.F., 1960. Chemistry of igneous rocks, 1. Differentiation index, American Journal, Sa., 258, 665-684.

- Tirrule, R., Bell, L.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran, Geological Society of America, 84, 134-150.

- Woodhead, J.D, Eggins, S. and Gamble, J.A., 1993. High field strength and transition element systematics in island arc and back arc basin basalts: evidence for multi-stage melt extraction and an ultra-depleted mantle wedge, Earth and Planetary Science Letters 114, 491-504.

- حسینی، س.ض.، آروین، م. و دیگران، ۱۳۸۹. بررسی میکروپروپ الیون ها در الیون بازالت های پلیو - پلیستوسن گزبلند، شمال شهر بابک، مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، ۱۲ تا ۱۴ آبانماه، مشهد.

- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰. زمین شناسی ایران، نشر دانش امروز.

- عمرانی، ج. و نظری، ح.، ۸۲-۱۳۸۱، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ سرچاه، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- فتوحی راد، غ.، ۱۳۸۳. پترولوژی و ژئوشیمی افیولیت های دگرگون شده شرق بیرجند، رساله دکتری دانشگاه تربیت معلم تهران.

- وثوقی عابدینی، م.، ۱۳۷۶. بررسی پترولوژیکی و تکتونوماگمائی بازالت های سنوزوئیک خاور ایران (خراسان)، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶، ۲۳ و ۲۴، ۱۶-۳۲.

- Camp, V.E. and Griffis, R.I., 1982. Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in Sistan suture zone, Lithos, 15, 221-239.

- Coleman, G.R. and McGuire, A.V., 1988. Magma systems related to the Red sea opening, Tectonophysics, 150, 1-2, 77-100.

- Irvine, T.W. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.

- Le Maitre, R.W. et al., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms, Blackwell Scientific.

- Parker, D.F., Ghosh, A., Price, C.W., Rinard, B.D. and Others, 2005. Origin of Rhyolite by crustal melting and the nature of parental magmas in the Oligocene Conejos formation, San Juan mountains, Colorado, USA, Journal of Volcanology and Geothermal Research. 139, 185-210.

- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins,