

خاستگاه سازند زاگون بر اساس پتروگرافی، آنالیز مودال و ژئوشیمی در برش سربندان، البرز مرکزی

مریم جافری سالور¹، محبوبه حسینی برزی^{2*}، عباس صادقی³

1- کارشناس ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

2- استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

3- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

*پست الکترونیک: m_hosseini@sbu.ac.ir

تاریخ پذیرش: 92/12/20

تاریخ دریافت: 92/2/11

چکیده

با هدف تعیین خاستگاه، جایگاه زمین ساختی و بررسی هوازگی سنگ منشأ، پتروگرافی، آنالیز مودال ماسه سنگها و ژئوشیمی عناصر اصلی شیل‌های سازند زاگون با سن کامبرین پیشین در برش سربندان، البرز مرکزی مورد مطالعه قرار گرفته است. پتروگرافی برشهای نازک و نتایج داده‌های آنالیز مودال بر روی نمودارهای Qt44، F47، L9 و Qm44، F45، Lt11، نمونه‌های ماسه سنگی را آرکوز معرفی نموده، سنگ منشأ غالب پلوتونیک و دگرگونی درجه بالا تا متوسط با خاستگاه زمین ساختی پی سنگ بالا آمده را نشان می‌دهد. بر اساس همین داده‌ها، این رسوبات تحت آب و هوای خشک تا نیمه مرطوب، در یک جایگاه زمین ساختی متأثر از ریف، در گذار به حاشیه غیر فعال نهشته شده‌اند. از طرف دیگر، داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی نیز، اکثر ماسه سنگهای این سازند را آرکوز و غالب شیل‌های آن را بدون آهن معرفی می‌کند. نتایج اشاره شده، این نهشته‌ها را حاصل فرسایش از خاستگاه رسوبی - کوارتزی (کوارتزی قدیمی مانند گرانیت و گنایس اسیدی) نشان می‌دهد که در یک جایگاه زمین ساختی از نوع حاشیه قاره‌ای غیرفعال نهشته شده، هوازگی شیمیایی متوسطی را تحت شرایط آب و هوایی خشک تا نیمه مرطوب متحمل گردیده‌اند. به این ترتیب، همخوانی واضحی بین کلیه روش‌های استفاده شده در برش سربندان (پتروگرافی، آنالیز مودال و ژئوشیمی) برای بررسی خاستگاه مشاهده گردید. همچنین، این نتایج با بررسی‌های مشابه در برش الگوی سازند زاگون نیز هماهنگ است که یکنواختی نسبی شرایط بالادست و حوضه نهشت این سازند در البرز مرکزی طی کامبرین پیشین را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: زاگون؛ ژئوشیمی؛ آنالیز مودال؛ خاستگاه؛ سنگ مادر؛ هوازگی سنگ منشأ

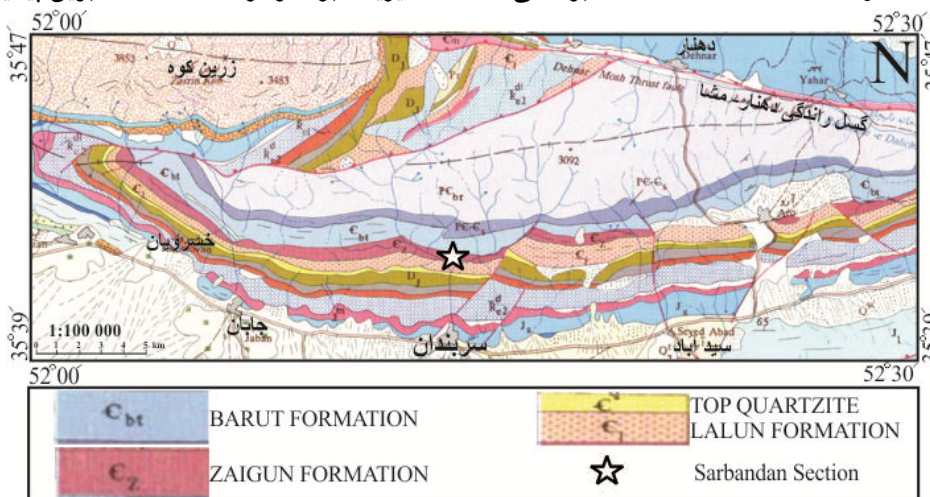
مقدمه

شیل‌های قرمز رنگ، سیلت سنگ و ماسه سنگ تقسیم کرده است. از سازند زاگون به جز در برش کالشانه (ناحیه شیرگشت) تاکنون هیچ گونه فسیلی یافت نشده است. لذا با توجه به موقعیت چین‌های سن این سازند را به کامبرین پیشین نسبت می‌دهند (آقناباتی، 1383). حمدی (1374) سن این

سازند زاگون با سن کامبرین پیشین در پهنه البرز مرکزی دارای گسترش وسیعی می‌باشد. این سازند در برش الگو برای اولین بار توسط Asserto (1963) در غرب روستای زاگون در منطقه البرز مرکزی اندازه‌گیری و معرفی شده است. وی سازند زاگون را به واحدهای سنگی شامل

داده‌های ژئوشیمیایی نهشته‌های سیلیسی آواری می‌توان به تعیین سنگ منشأ (Floyd & Taylor & McLenna., 1985) Condie & Wronkiewicz, 1990؛ *et al.*, 1989؛ Cullers, 1994, 2002؛ Das *et al.*, 2006) خاستگاه و جایگاه زمین ساختی (Bhatia & Taylor, 1981)؛ Bhatia & Bhatia, 1983؛ Maynard *et al.*, 1982؛ Crook, 1986؛ Roser & Korsch, 1986, 1988؛ Gu *et al.*, 2002؛ McLennan & Taylor, 1991؛ Jafarzadeh & Shadan & Hosseini-Barzi, 2007؛ Etemad-Saeed & Hosseini-Barzi, 2008؛ Barzi, 2011؛ Shadan & Hosseini-Barzi, 2013) و هوازگی شیمیایی (Nesbitt & Young, 1982) اشاره نمود. در این تحقیق اطلاعات پتروگرافی، آنالیز مودال و ژئوشیمی عناصر اصلی از نمونه‌های ماسه سنگی و شیلی سازند زاگون ارایه گردیده که بر پایه آن خاستگاه زمین ساختی و سنگ منشأ سازند زاگون مورد بررسی قرار می‌گیرد. از این نتایج می‌توان جهت بازسازی جغرافیای دیرینه البرز مرکزی در زمان کامبرین پیشین استفاده کرد.

رسوبات را معادل کامبرین پیشین و در خور مقایسه با سری لنین (Lenian) و به احتمالی هم‌ارز آشکوب توینونین (Toyonian) می‌داند. منطقه مورد بررسی (شکل 1) در پهنه البرز مرکزی در شمال روستای سرپندان قرار دارد. مرز پایین و بالای سازند زاگون در برش اشاره شده به ترتیب با سازند باروت و لالون هم شیب و تدریجی است. سازند زاگون در برش سرپندان (جعفری و همکاران، 1390؛ جعفری 1391) و برش الگو (جوادی‌نیا، 1390) در یک پهنه جزرومدی نهشته شده است. در این پهنه جزرومدی، سازند زاگون در برش الگو، در عمق بیشتری نسبت به برش سرپندان نهشته شده است (جعفری و همکاران، 1390؛ جعفری، 1391). به طور معمول مطالعات خاستگاهی براساس مطالعات پتروگرافی صورت می‌گیرد (Cullers, 2000) و از روی شواهد ترکیبی و بافتی، ویژگیهای سنگ منشأ رسوبات بررسی می‌شود (Pettijohn *et al.*, 1987). با این حال، علاوه بر پتروگرافی می‌توان از آنالیز مودال و ژئوشیمی نهشته‌های سیلیسی آواری نیز در بررسیهای خاستگاهی استفاده نمود (Das *et al.*, 2006). در بررسی



شکل 1: نقشه زمین شناسی منطقه مورد بررسی بر روی برگه شماره 6461 دماوند (Allenbach & Steiger, 1997). منطقه مورد بررسی با ستاره مشخص شده است.

تغییرات رخساره‌ایی و به طور سیستماتیک، تعداد 100 نمونه ماسه سنگی و شیلی جهت بررسیهای پتروگرافی و ژئوشیمیایی برداشت گردید (شکل 2). پس از تهیه برشهای

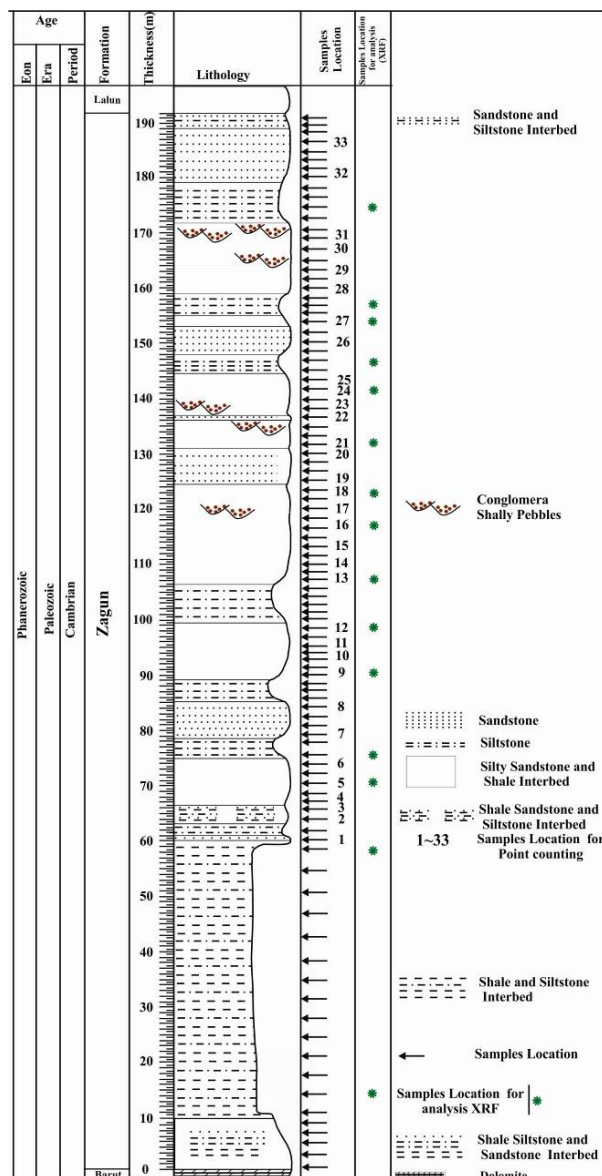
روش مطالعه

در این پژوهش طی بررسیهای صحرایی رخنمون کاملی از سازند زاگون به ضخامت 192 متر انتخاب و با توجه به

جدول 1: تقسیم بندی انواع دانه‌های نقطه شماری شده و علائم اختصاری آنها

Qm non	Non-undulose monocrystalline quartz
Qm un	Undulose monocrystalline quartz
Qpq	Polycrystalline quartz
Qpq>3	Qpq>3 crystal units per grain
Qpq2-3	Qpq2-3 crystal units per grain
Cht	Chert
Qp	Polycrystalline quartz (or Calcedonic) lithic fragments (Qpq+Cht)
Qt	Total quartzose grain (Qm+QP)
Q	Total (Qmnon+Qm un) and Qpq used for Folk (1980) classification (Qm+QPQ)
P	Plagioclase feldspar
K	Potassium feldspar
F	Total feldspar grain (P+K)
Ls	Sedimentary rock fragments
Lsm	Metasedimentary rock fragments (Ls+(1-x) Lm)
L	Lm)
Lt	Unstable lithic fragments (Lv+Ls+Lsm)
RF	Total Siliciclastic lithic fragments (L+Qp) Total unstable rock fragments and Chert used for Folk (1980) classification (L+Cht)
Acc	Accessory minerals
Cem	Cements
Matx	Matrix

خردکن آزمایشگاه تهیه پودر دانشگاه شهید بهشتی، با استفاده از دستگاه تهیه پودر با هاون چدنی نمونه‌ها پودر شدند. به منظور تعیین درصد کربنات کلسیم نمونه‌های پودر شده، آنالیز کلسی متری در آزمایشگاه رسوب شناسی دانشگاه شهید بهشتی بر روی آنها انجام شد و با توجه به میزان دی‌اکسید کربن آزاد شده از هر نمونه نسبت به نمونه شاهد (کربنات کلسیم خالص) در اثر ترکیب با اسید کلریدریک یک نرمال، درصد کربنات کلسیم هر نمونه مشخص شد و در نهایت تعداد 5 نمونه ماسه سنگ و 10 نمونه شیل، با حداقل میزان هوازگی و درصد کربنات کلسیم (کمتر از 5 درصد)، به گونه‌ای که پراکندگی منطقی در ضخامت سازند داشته باشند، انتخاب شد. نمونه‌های انتخابی پس از آماده سازی، جهت انجام آنالیز عنصری به آزمایشگاه بررسی‌های مواد معدنی زرآرما فرستاده شدند و توسط دستگاه (XRF) مدل Philips 1480 مورد تجزیه قرار گرفتند. دقت دستگاه مورد نظر برای اکسیدهای عناصر اصلی (Fe_2O_3 , CaO , Al_2O_3 , SiO_2) حدود 0/01 (TiO_2 , P_2O_5 , Na_2O , MnO , MgO , K_2O)



شکل 2: ستون چینه شناسی منطقه مورد بررسی، پیکانها (←) نشان دهنده مناطق نمونه برداری می‌باشند و اعداد 1 تا 33 نمونه‌های استفاده شده جهت آنالیز مودال مطابق با جدول 3 را نشان می‌دهند.

نازک و بررسی‌های پتروگرافی، از میان نمونه‌های ماسه سنگی بررسی شده، 33 نمونه ماسه سنگی دانه متوسط و خوب جور شده جهت آنالیز مودال انتخاب و در هر مقطع حدود 200 دانه به روش Dickinson (1988) نقطه شماری گردید. تقسیم بندی انواع دانه‌ها در جدول 1 و نتایج حاصل از این نقطه شماری در جدول 2 نشان داده شده است جهت انجام ژئوشیمی، 50 نمونه ماسه سنگی و شیلی با پراکندگی نسبتاً یکسان، در کل ضخامت سازند انتخاب و پس از خرد کردن نمونه‌های مذکور توسط دستگاه

جدول 2: درصد عناصر اصلی موجود در نمونه‌های شیلی و ماسه سنگی (ستاره‌دار) سازند زاگون

Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	TiO ₂	LOI
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
DL	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Scheme	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01
S.3	57.07	17.09	0.46	7.91	4.84	4.91	0.04	2.76	0.21	0.01	0.78	3.83
S.13	50.25	12.67	8.97	5.65	2.66	6.15	0.08	1.95	0.16	0.02	0.57	10.79
S.22 ★	24.93	6.19	33.79	2.08	1	1.72	0.24	1.85	0.12	0.03	0.3	27.71
S.24	59.79	14.62	1.88	6.6	3.12	5.3	0.05	2.68	0.19	0.04	0.65	4.99
S.28	58.25	14.18	3.87	6.52	3.18	4.47	0.09	2.27	0.19	0.02	0.64	6.25
S.32a	64.12	13.69	2.08	5.02	3.5	4.17	0.05	2.08	0.12	<	0.49	4.57
S.34b ★	74.03	9.88	2.34	1.77	2.9	3.06	0.03	1.29	0.07	0.04	0.26	4.18
S.35a	54.82	14.98	4.4	7.04	3.25	4.98	0.07	2.19	0.18	0.02	0.67	7.05
S.42 ★	78.6	7.25	2.25	1.13	2.77	2.87	0.03	0.22	0.05	0.02	0.17	4.29
S.46a	68.98	12.27	1.15	3.87	3.83	4.06	0.03	0.52	0.27	0.01	0.65	4.26
S.52 ★	73.9	7.77	4.36	0.8	2.97	3.05	0.04	0.22	0.04	0.45	0.1	6.23
S.53a	57.51	16.63	0.39	8.19	5.46	5.57	0.05	0.09	0.17	0.37	0.71	4.78
S.59 ★	73.1	9.57	2.05	1.67	3.47	4.12	0.05	0.31	0.08	0.23	0.27	5.02
S.59a	55.21	17.4	0.36	9.32	5.49	5.9	0.06	0.08	0.2	0.15	0.74	5.04
S.64a	55.88	15.95	2.35	8.43	4.5	4.58	0.06	1.66	0.19	0.16	0.69	5.41
Average-Sh (%)	58.28	14.96	5.59	6.85	4.01	5	0.05	1.62	0.08	0.08	0.65	0.65
Average-Sn (%)	64.93	8.18	8.95	1.49	2.62	2.95	0.07	0.73	0.07	0.15	0.22	0.22

انواع ارتو کلاز، میکروکلین و پلاژیو کلاز هستند. فراوانی بالای فلدسپاتهای پتاسیم‌دار نسبت به پلاژیو کلازها را می‌توان به پایداری بیشتر آنها و یا نبود سنگ منشأ پلاژیو کلازدار برای این ماسه سنگها نسبت داد (Tucker, 2001). کانی کوارتز با میانگین فراوانی (44%) دومین جزو فراوان تشکیل دهنده ماسه سنگهای مورد بررسی است که بیشتر از نوع کوارتز تک بلور با خاموشی مستقیم (شکل 3b) و موجی بوده و کوارتزهای چند بلور و همچنین، کوارتز با سیمان رورشدی گردشده (شکل 3c) از فراوانی کمتری برخوردارند. فراوانتر بودن کوارتز تک بلور نسبت به کوارتز چند بلور می‌تواند نشان دهنده اهمیت بیشتر عوامل مکانیکی به شیمیایی در تکوین این نهشته‌ها باشد (انرژی بالای محیط رسوب‌گذاری، جابه‌جایی طولانی و یا چرخه مجدد رسوبی این دانه‌ها) (Tucker, 2001). در درون دانه‌های کوارتز تک بلوری، درون‌گیرهایی از کانیهای سوزنی و واکوئل وجود دارد. خرده سنگها از دیگر اجزای شناسایی شده در این ماسه سنگها بوده و شامل انواع

می‌باشد. نتایج حاصل از این آنالیز به همراه میانگین عناصر اصلی موجود در ماسه سنگها و شیلیهای سازند زاگون در برش مورد بررسی در جدول 3 آمده است.

بحث

پتروگرافی

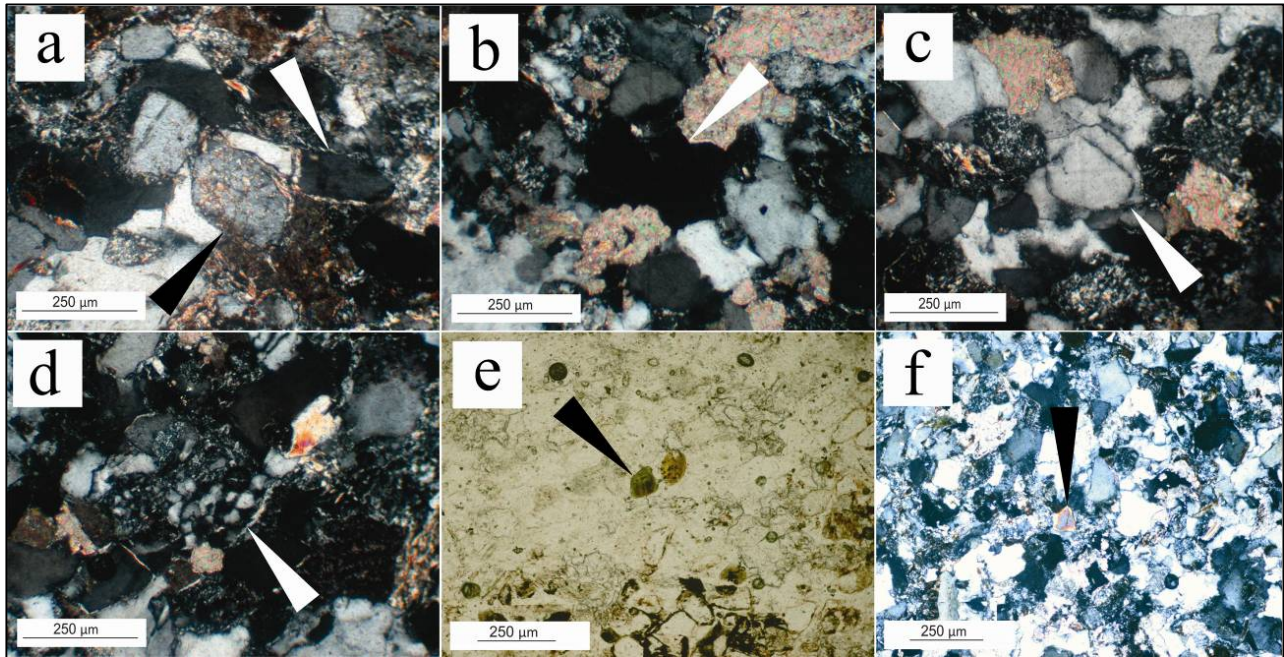
بررسیهای پتروگرافی مقاطع نازک ماسه‌سنگی سازند زاگون توسط میکروسکپ پلاریزان نشان می‌دهد نمونه‌های ماسه‌سنگی اغلب متوسط تا درشت دانه با کرویت بالا، نیمه زاویه‌دار تا نیمه گردشده و خوب جورشده هستند. دانه‌ها دارای تماسهای نقطه‌ای، طولی، محدب، مقعر و مضرس می‌باشند. میزان رس در این ماسه‌سنگها کم و از نظر بلوغ بافتی، رسیده‌اند (Folk, 1974). بر اساس بررسیهای پتروگرافی صورت گرفته، ماسه سنگهای مورد بررسی، غنی از فلدسپات و کوارتز و فقیر از خرده سنگ می‌باشند. کانی فلدسپات با میانگین فراوانی 47% فراوانترین جزو این ماسه سنگها بوده که به دو صورت تازه و هوازده حضور دارند (شکل 3a) و خود به ترتیب فراوانی شامل

جدول 3- نتایج حاصل از نقطه شماری به روش Dickinson (1988)

Sample	Qm Un	Qm Non	Qp >3	Qp <3	K	P	Mic	Lsm	Ls	Chr	Acc	Cem+ Max	Sum	Qpq	Qm	Qp	Qt	Q	F	L	Lt	RF	Sum
1	18	29	0	0	70	0	2	4	4	2	0	23	152	0	47	0	47	47	70	10	10	12	243
2	20	68	0	0	34	3	7	2	5	0	18	8	165	0	88	0	88	88	37	7	7	7	322
3	19	51	2	0	46	0	1	1	6	0	4	18	148	2	70	2	70	70	46	7	9	7	283
4	21	58	3	0	33	0	6	0	10	0	22	0	155	3	79	3	79	79	33	33	36	33	345
5	16	54	6	1	40	0	0	1	1	1	4	26	150	7	70	8	70	70	40	3	11	4	283
6	52	31	4	0	52	2	0	4	5	0	0	2	152	4	83	4	83	83	54	9	13	9	342
7	21	47	3	1	59	1	0	0	3	0	1	17	153	4	68	0	68	68	60	4	4	4	280
8	14	35	6	0	62	0	0	0	8	3	3	27	158	6	49	9	39	39	62	16	25	19	264
9	12	32	4	0	78	0	0	0	6	0	0	22	154	4	44	4	44	44	78	8	12	8	245
10	13	36	5	0	56	1	0	1	13	4	1	22	152	5	49	9	49	49	57	20	29	24	291
11	10	36	1	1	52	1	3	1	9	0	16	11	141	2	46	2	46	46	53	10	12	10	227
12	20	47	5	0	45	2	2	0	45	0	12	5	183	5	67	5	67	67	47	15	20	15	308
13	19	27	2	0	62	0	1	0	4	1	17	14	147	2	46	3	46	46	62	5	8	6	224
14	38	27	0	1	34	2	1	3	4	2	21	21	154	1	65	3	65	65	36	9	12	11	267
15	18	28	2	1	67	1	0	3	5	2	3	37	167	3	46	5	46	46	68	10	15	12	251
16	28	34	1	0	36	0	4	2	5	2	5	29	146	1	62	3	61	61	38	9	12	11	256
17	29	34	3	3	44	2	0	1	4	5	10	17	152	6	63	11	63	63	46	10	21	15	298
18	17	68	8	0	88	1	0	2	13	3	5	14	219	8	85	11	25	25	89	18	29	21	311
19	10	34	3	0	54	2	0	3	6	5	0	18	135	3	44	8	44	44	56	14	22	19	254
20	14	31	9	1	58	0	1	2	2	5	1	15	139	10	45	15	45	45	58	9	24	14	256
21	15	46	4	0	32	1	2	3	10	1	14	13	144	4	64	5	64	64	33	14	19	15	282
22	14	48	7	0	53	4	0	3	3	3	0	7	142	7	62	10	62	62	57	9	19	12	300
23	9	23	1	0	71	1	2	1	0	2	3	20	133	1	32	3	32	32	72	3	6	5	186
24	24	20	0	0	53	8	2	0	1	0	12	17	137	0	44	0	44	44	61	1	1	1	196
25	24	42	2	0	58	1	4	2	2	1	10	22	168	2	66	3	68	68	59	5	8	5	284
26	12	28	1	0	64	0	4	4	14	0	18	27	172	1	40	1	40	40	64	18	19	18	241
27	12	48	3	0	84	0	6	3	1	1	17	4	179	3	60	4	60	60	84	5	9	6	291
28	14	20	4	0	80	3	1	6	6	1	2	20	157	4	34	5	40	40	83	13	18	14	251
29	14	40	4	0	56	1	0	0	6	3	8	35	167	4	54	7	54	54	57	9	16	12	267
30	21	28	3	0	83	1	2	3	4	2	11	9	167	3	49	5	50	50	84	9	14	11	275
31	17	51	1	0	36	4	2	1	1	1	5	46	165	1	68	2	69	69	40	3	5	4	261
32	19	55	1	0	50	0	3	4	0	3	4	21	160	1	74	4	75	75	50	7	11	10	307
33	26	28	2	0	57	1	0	0	1	3	2	20	140	2	54	5	54	54	58	4	9	7	247
Average	19	39	3	0.2	55.9	1	1.6	1.8	6.2	1.6	7.5	18.4	156.15	3.3	58	4.8	56	56.2	57.2	9.8	14.6	11.5	271.1

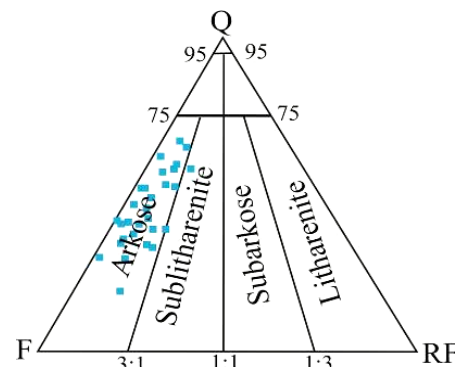
آهن، کانیهای فرعی موجود در این ماسه سنگها به حساب می آیند. بر اساس درصد فراوانی دانه های تشکیل دهنده، ماسه سنگهای سازند زاگون در تقسیم بندی Folk (1974) آرکوز نام گذاری می شوند (شکل 4).

خرده سنگهای رسوبی (ماسه سنگی، چرتی و شیلی) (شکل 3d) و به ندرت دگرگونی (اسلیت، فلیت و شیست) هستند. همچنین میکاها، کانیهای سنگین با فراوانی اندک، تورمالین و زیرکن گردشده (شکلهای 3e و 3f) و اکسید



شکل 3: (a) پیکان سیاه فلدسپات در حال دگرسانی و پیکان سفید فلدسپات آلتزه نشده؛ (b) کوارتز تک بلور با خاموشی مستقیم؛ (c) کوارتز با سیمان رورشدی گردشده؛ (d) خرده سنگ رسوبی از نوع ماسه سنگ؛ (e) تورمالین گردشده؛ (f) زیرکن گردشده.

به این معنا که زمین ساخت منطقه منشأ غالباً از نوع پی سنگ بالا آمده بوده که با اندک ورودی از مناطق پشت آن، فرسایش طی چرخه مجدد و فرسایش کراتون (حدواسط قاره ای) را نیز شامل می شده است. لازم به ذکر است که سه نمونه از نمونه های بررسی شده در محدوده کمان فرسایش یافته نیز قرار گرفته است. همچنین در نمودار ارایه شده توسط Taylor (1985)، تعدادی از نمونه ها در محدوده جایگاه زمین ساختی حاشیه قاره ای غیرفعال (TE) و تعدادی دیگر در نزدیکی این محدوده قرار می گیرند (شکل 5b). از طرف دیگر، در نمودار (Ls و Lv، Lm) که به تعیین جایگاههای زمین ساختی ماسه سنگها بر اساس خرده سنگها کمک می کند، ماسه سنگهای سازند زاگون در حاشیه قاره ای ریفتی واقع می شوند (شکل 5c).



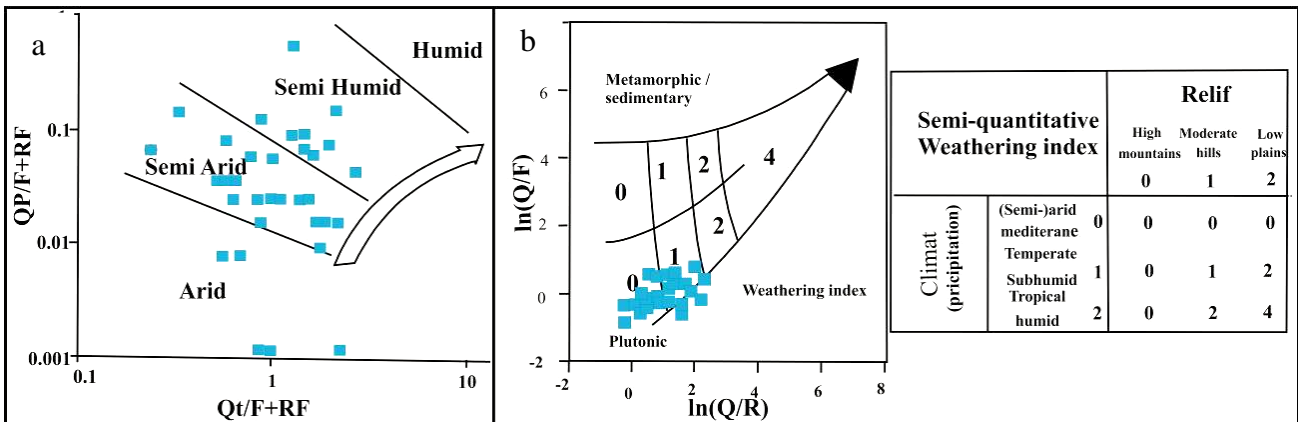
شکل 4: ترکیب سنگ شناسی ماسه سنگهای سازند زاگون بر اساس نمودار Folk (1974).

آنالیز مودال

مکان یابی داده های حاصل از نقطه شماری ماسه سنگهای سازند زاگون بر روی نمودارهای (L₉ و F₄₇، Qt₄₄) (Dickinson, 1988) با تأکید بر جورشدگی، گویای آن است که این ماسه سنگها دارای خاستگاه زمین ساختی پی سنگ بالا آمده تا حدواسط قاره ای می باشند (شکل 5a)؛

با برجستگی زیاد تا متوسط و آب و هوای نیمه خشک (مدیترانه‌ای) تا نیمه مرطوب (برای تعداد 33 نمونه) است (شکل 7b).

نمودار ارایه شده توسط Weltje (1994)، داده‌های حاصل از نقطه شماری بر روی این نمودار در محدوده صفر و یک قرار می‌گیرند که بیانگر ناحیه منشأ پلوتونیک، توپوگرافی



شکل 7: (a) نمودار (Suttner & Dutta, 1986) نمونه‌ها در محدوده آب و هوای خشک تا نیمه مرطوب قرار می‌گیرند. (b) نمودار Weltje (1994) نمونه‌ها در محدوده صفر و یک قرار می‌گیرند که بیانگر ناحیه منشأ پلوتونیک، توپوگرافی با برجستگی زیاد تا متوسط و آب و هوای نیمه خشک (مدیترانه‌ای) تا نیمه مرطوب است.

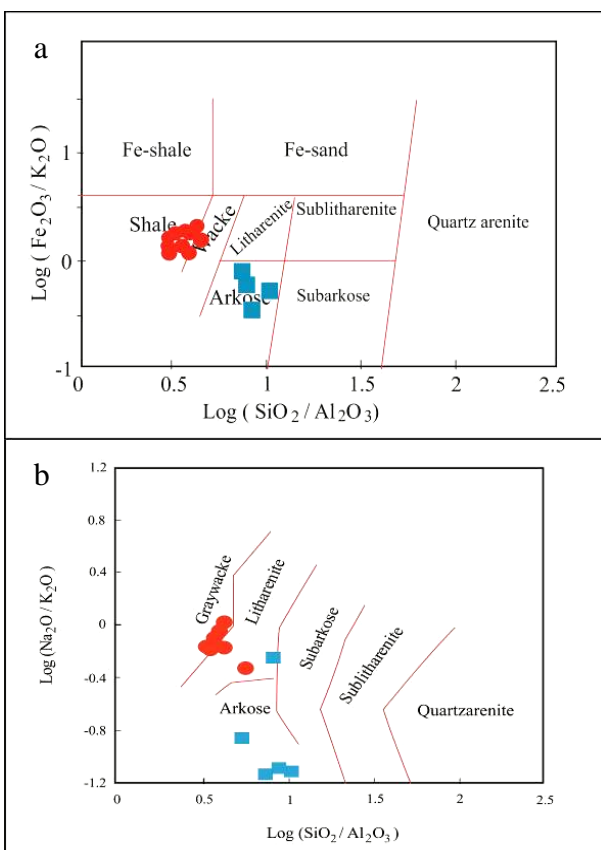
ژئوشیمی

طبقه بندی ژئوشیمیایی ماسه سنگها و شیلها

وارد نمودن نتایج حاصل از آنالیز ژئوشیمی عناصر اصلی نمونه‌های سازند زاگون در برش سرپندان در نمودار ارائه شده توسط Herron (1988)، ماسه سنگها را با ترکیب آرکوز و غالب نمونه‌های شیلی را شیل بدون آهن معرفی می‌کند (شکل 8a). همچنین، در نمودار ارایه شده توسط Pettijohn *et al.* (1987)، اکثر نمونه‌های ماسه سنگی دارای ترکیب آرکوز و غالب نمونه‌های شیلی دارای ترکیب گری وک هستند که نشان از حضور بالای کانیهای رسی در این نمونه‌هاست (شکل 8b). این نتایج با نتایج حاصل از داده‌های پتروگرافی و نقطه شماری این نمونه‌ها همخوانی دارد.

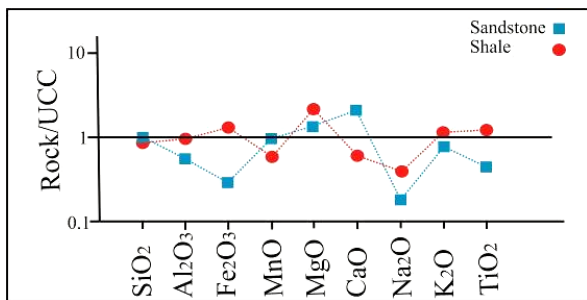
توزیع عناصر اصلی

مطابق با جدول 1 میانگین SiO_2 در ماسه سنگها بیشتر از شیلهاست که می‌تواند به دلیل فراوانی دانه‌های کوارتزی و چرتی در نمونه‌ها باشد. میانگین سایر عناصر در شیلها نسبت به ماسه سنگها بیشتر است. شیلها از نظر K_2O و TiO_2 نسبت به ماسه سنگها غنی تر می‌باشند که می‌تواند به دلیل حضور



شکل 8: (a) طبقه بندی ژئوشیمیایی ماسه سنگها و شیلهای سازند زاگون بر روی نمودار Herron (1988)، نمونه‌های ماسه سنگی (مربع) در محدوده آرکوز و نمونه‌های شیلی (دایره) در محدوده شیل بدون آهن قرار می‌گیرند. (b) طبقه بندی ژئوشیمیایی ماسه سنگها و شیلهای سازند زاگون بر روی نمودار Pettijohn (1987)، نمونه‌های ماسه سنگی (مربع) در محدوده آرکوز و نمونه‌های شیلی (دایره) در محدوده گری وک قرار می‌گیرند.

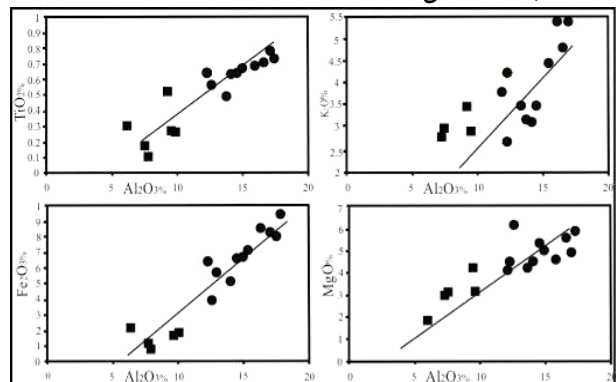
با استفاده از نمودارهای بهنجارسازی می‌توان مشخص کرد که رسوب تا چه اندازه با ترکیب پوسته قاره‌ای همخوانی دارد یا به عبارت دیگر چقدر از این ترکیب دور شده است. با این روش می‌توان غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی نامحسوس برخی از اکسیدهای خاص (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2), TiO_2 و K_2O , Na_2O , CaO , MgO , MnO) را نشان داد (Rollinson, 1993). پرکاربردترین مقادیر بهنجارسازی در سنگهای رسوبی مربوط به میانگین پوسته قاره‌ای بالایی (UCC: Upper Continental Crust) می‌باشد (Rollinson, 1993). بهنجارسازی نمونه‌های مورد بررسی نسبت به میانگین قسمت بالایی پوسته قاره‌ای (Taylor & McLennan, 1985) در شکل 10 نشان داده شده است.



شکل 10: نتایج بهنجارسازی عناصر اصلی نمونه‌ها، نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی (UCC: Upper Continental Crust). جهت آگاهی از تفسیر شکل، به مبحث توزیع عناصر اصلی در متن مراجعه شود.

بر اساس این مقایسه، در نمونه‌های ماسه سنگی تخلیه شدیدی در Fe_2O_3 و Na_2O ، و همچنین در نمونه‌های شیلی تخلیه شدیدی در Na_2O مشاهده می‌شود. این تخلیه شدیدی Na_2O می‌تواند با توجه به پتروگرافی نمونه‌ها به علت فراوانی کم آلپیت یا تحرک زیاد این عناصر طی هوازدگی شیمیایی، فرآیندهای دیاژنتیکی و آلتراسیون ثانویه باشد (Mclennan, 2001؛ Das et al., 2006). از سوی دیگر ماسه سنگهای مورد بررسی در CaO و MgO و شیل‌های مورد بررسی در MgO دارای غنی‌شدگی می‌باشند. این مورد احتمالاً با حضور سیمانهای دیاژنتیکی دولومیتی مرتبط است (جافری، 1391). در ضمن شیل‌های مورد بررسی در TiO_2 و Fe_2O_3 در مقایسه با ماسه سنگهای

بالای کانیهای رسی (به خصوص ایلیت) و میکا در آنها باشد (Lopez et al., 2005؛ Bauluz et al., 2000). نمونه‌های ماسه سنگی و شیلی دارای مقدار بسیار کمی Na_2O هستند که این امر می‌تواند با توجه به نتایج پتروگرافی، احتمالاً حاصل حضور بسیار ناچیز پلاژیوکلاز سدیک مثل آلپیت باشد. همچنین، نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ یک اندیس مورد استفاده برای تعیین بلوغ رسوبی است (Potter, 1978). این میزان طی هوازدگی، جابه‌جایی و چرخه مجدد در نتیجه افزایش کوارتز نسبت به اجزای ناپایدار مثل فلدسپات و خرده سنگ، افزایش می‌یابد. نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ بیشتر از 6 تا 5 در سنگهای رسوبی، نشان دهنده مچوریتی رسوبی بالاست (Roser et al., 1996). میانگین این کسر در نمونه‌های مورد بررسی 5/24 می‌باشد که نشان دهنده بلوغ رسوبی متوسط نمونه‌ها در برش مورد بررسی می‌باشد. همچنین ارتباط مثبت بین Al_2O_3 و TiO_2 ، بررسی می‌شود. همچنین ارتباط مثبت بین Al_2O_3 و TiO_2 بیانگر همراهی این عنصر با فیلوسیلیکات‌ها و به طور خاص ایلیت (Dabard, 1990)، در K_2O نشان دهنده تأثیر کانیهای غنی از پتاسیم بر توزیع آلومینیم توسط فاز غنی از آلومینیم پتاسیم‌دار مانند ایلیت، فلدسپات و میکا (Mclennan, 1983؛ Lee, 2002؛ Jin, 2006) و نیز در Fe_2O_3 و MgO به دلیل فراوانی حضور سیمانهای دیاژنتیکی دولومیتی و هماتیتی (Fedot et al., 1996) و همچنین حضور کانی رسی کلریت (جافری، 1391) باشد (شکل 9).



شکل 9: بررسی تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی نسبت به Al_2O_3 در شیل‌ها و ماسه سنگهای سازند زاگون.

محدوده اندیس CIA از 50 تا 100 متغیر است. هواز دگی با عددهای پایین تر بیانگر کاهش و یا نبود هواز دگی شیمیایی و شرایط اقلیمی سرد و خشک بوده و عددهای بالاتر بیانگر هواز دگی شیمیایی شدیدتر و انتقال کاتیونهای متحرک (K^+ ، Na^+ و Ca^{2+}) و باقی ماندن اجزای با تحرک کمتر (Al^{3+} و Ti^+) است (Nesbitt & Young, 1982). در نمونه‌های مورد بررسی، این اندیس در شیلها 66/68 و در ماسه سنگها 57/99 می‌باشد که نشان دهنده هواز دگی متوسط تا کم در ناحیه منشأ است. برای تعیین روند هواز دگی، همچنین می‌توان با نسبتهای مولی عناصر، از مثلث A-CN-K (Al_2O_3 ، $CaO+Na_2O$ ، K_2O) استفاده کرد. در حالت کلی، در این مثلث مراحل آغازین هواز دگی، روندی موازی با ضلع A-CN خواهند داشت زیرا در طول مراحل اولیه هواز دگی، یونهای سدیم و پتاسیم با تخریب فلدسپاتها (پلاژیو کلازها) برداشته می‌شوند. با ادامه روند هواز دگی، فلدسپاتهای پتاسیم دار و یونهای پتاسیم آن نیز کاهش می‌یابد و روند هواز دگی به سمت ترکیب Al_2O_3 تغییر مکان می‌دهد (Paikaray *et al.*, 2008). رسم داده‌های نمونه‌های شیلی و ماسه سنگی در شکل 11a نشان می‌دهد که تعداد کمی از نمونه‌های ماسه سنگی و شیلی وارد محدوده ایلیت و اسمکتیت شده و مابقی نمونه‌ها در خارج از این محدوده قرار دارند که بیانگر هواز دگی شیمیایی از نوع متوسط می‌باشد. همچنین در

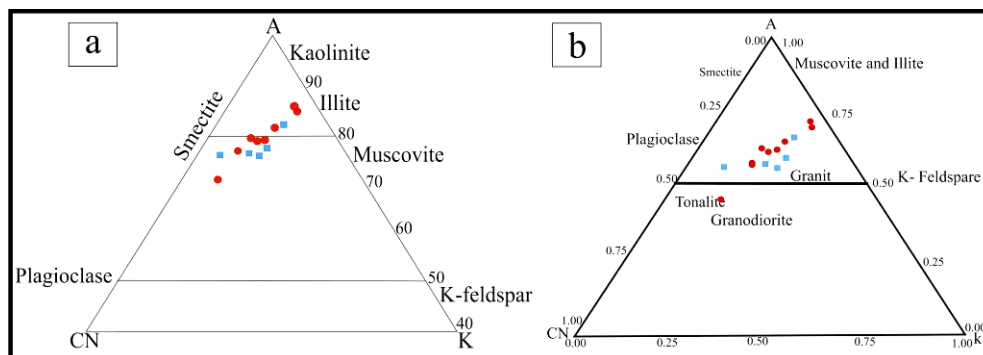
هم سن خود غنی تر می‌باشند که می‌تواند به علت میزان بالای کانیهای رسی آنها باشد (Lopez *et al.*, 2005; Bauluz *et al.*, 2000). سایر عناصر تقریباً در محدوده UCC قرار می‌گیرند.

هواز دگی دیرینه (Paleo - Weathering)

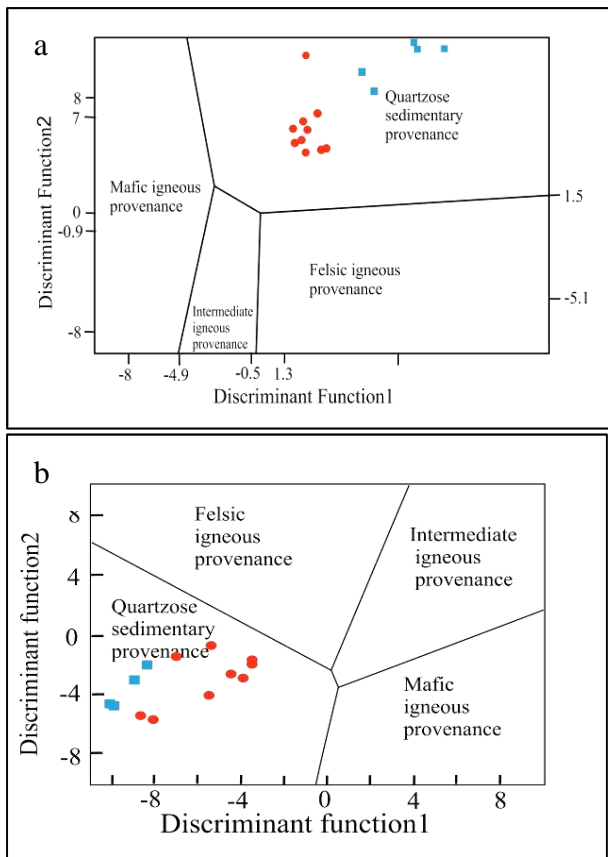
شرایط هواز دگی ممکن است رد پای خود را در رسوب حاصل بر جای گذارد و مطالعه عناصر اصلی سنگهای رسوبی نشان می‌دهد که گاه، شرایط هواز دگی پیشین را می‌توان از شیمی رسوبها تشخیص داد. Nesbitt & Young (1982)، اندیس شیمیایی دگرسانی (Chemical Index of Alteration) را به اختصار (CIA) ارایه کرده اند. CIA مقیاس مناسبی جهت تشخیص میزان هواز دگی شیمیایی سنگ‌های رسوبی می‌باشد. این اندیس از رابطه زیر به دست می‌آید و اکسیدها در آن به صورت نسبت مولی در می‌آیند.

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)]$$

CaO موجود در این رابطه مربوط به اجزای سیلیکاته سنگ است و در نمونه‌هایی که دارای سیمانهای دیاژنتیکی می‌باشند باید تصحیح صورت گیرد. بنابراین به منظور تعیین دقیق CIA و حذف تأثیر سیمانهای دیاژنتیکی بر روی مقدار CaO، نمونه‌های با CaO بیشتر از 5% در نظر گرفته نمی‌شوند (Garcia *et al.*, 2004).



شکل 11: (a) نمودار مثلثی روند هواز دگی (Nesbitt & Young, 1982)، تعداد کمی از نمونه‌های ماسه سنگی (مربع) و شیلی (دایره) سازند زاگون وارد محدوده ایلیت و اسمکتیت شده‌اند و بقیه نمونه‌ها در خارج از این محدوده قرار دارند که بیانگر هواز دگی شیمیایی غالب متوسط و به ندرت شدید می‌باشد. (b) نمودار مثلثی روند هواز دگی نسبت به خط واصل فلدسپات، نمونه‌های ماسه سنگی (مربع) و شیلی (دایره) سازند زاگون نسبت به خط واصل فلدسپات تا حدودی دارای پخش شدگی هستند که نشان دهنده هواز دگی شیمیایی متوسط در رسوبات تخریبی سازند زاگون می‌باشد.

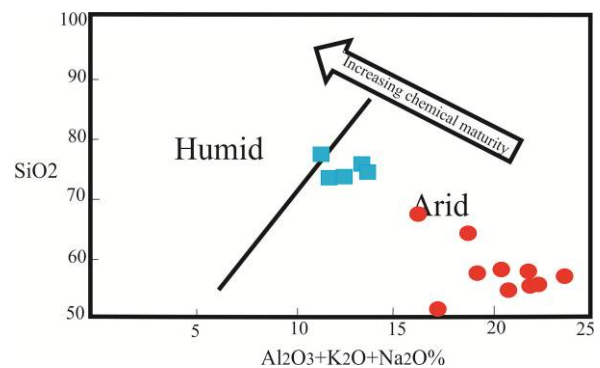


شکل 13: نمونه‌های شیلی (دایره) و ماسه سنگی (مربع)، در نمودارهای تفکیک کننده تابعی بر اساس اکسیدهای اصلی (Roser & Korsch, 1988) (شکل‌های a و b) نمونه‌های سازند زاگون در محدوده منشأ رسوبی کوارتزی قرار می‌گیرند.

a) $Discrimination\ function\ 1 = 1.773TiO_2 + 0.607Al_2O_3 + 0.76Fe_2O_3 + 1.5MgO + 0.616CaO + 0.509Na_2O + 1.224K_2O - 0.909$
 $Discrimination\ function\ 2 = 0.445TiO_2 + 0.07Al_2O_3 + 0.25Fe_2O_3 + 1.142MgO + 0.438CaO + 1.475Na_2O + 1.426K_2O - 6.861$
 b) $Discrimination\ function\ 1 = 30.638TiO_2 / Al_2O_3 + 12.541Fe_2O_3 / Al_2O_3 + 7.329MgO / Al_2O_3 + 12.031Na_2O / Al_2O_3 + 35.402K_2O / Al_2O_3 - 6.382$
 $Discrimination\ function\ 2 = 56.500TiO_2 / Al_2O_3 - 10.879Fe_2O_3 / Al_2O_3 + 30.875MgO / Al_2O_3 + 5.404Na_2O / Al_2O_3 + 11.112K_2O / Al_2O_3 - 3.89$

حضور تورمالین و زیرکن گردشده همراه کوارتز با سیمان رورشدی گردشده با فراوانی اندک که نشان دهنده سازوکار فرعی چرخه مجدد رسوبی می‌باشند و نیز دانه‌های کوارتز تک بلوری با درونگیرهایی از کانیهای سوزنی و واکوئل که نشان دهنده منشأ پلوتونیک این دانه‌ها می‌باشند، همگی منشأ قاره‌ای چرخه مجدد همراه با حاشیه غیرفعال قاره‌ای و کراتونی این رسوبات را تایید می‌کنند. از سوی دیگر، بر اساس بررسیهای آنالیز مودال و ژئوشیمی، جایگاه زمین ساختی سازند زاگون حاشیه قاره‌ای غیرفعال می‌باشد

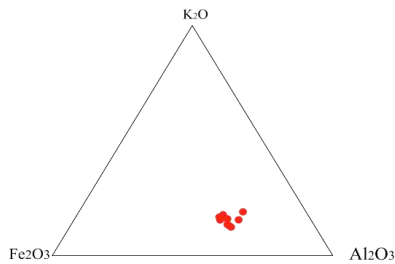
شکل 11b نمونه‌های ماسه سنگی و شیلی نسبت به خط واصل فلدسپات تا حدودی دچار پخش شدگی هستند که باز هم نشان دهنده هوازدگی شیمیایی متوسط در رسوبات تخریبی سازند زاگون است. با توجه با این که رسیدگی شیمیایی ماسه سنگها تابعی از آب و هواست، برای بررسی شرایط آب و هوایی دیرینه طی جابه‌جایی قبل از رسوب گذاری رسوبات ناحیه منشأ، از نمودار SiO_2 در برابر استفاده (Suttner & Dutta., 1986) $Al_2O_3 + K_2O + Na_2O$ می‌شود. داده‌های مربوط به نمونه‌های بررسی شده بر روی نمودار مربوطه (شکل 12)، شرایط آب و هوایی دیرینه خشک تا نیمه مرطوب را برای ناحیه منشأ پیشنهاد می‌کنند که با نتایج آنالیز مودال نمونه‌های این سازند همخوانی دارد.



شکل 12: نمودار آب و هوایی Suttner & Dutta (1986). بیانگر شرایط آب و هوایی قدیمه خشک تا نیمه مرطوب برای ناحیه منشأ شیلیها (دایره) و ماسه سنگهای (مربع) سازند زاگون می‌باشد.

ترکیب ناحیه منشأ

با استفاده از داده‌های ژئوشیمی می‌توان ترکیب ناحیه منشأ رسوبات سیلیسی آواری را مشخص کرد. بر اساس نمودار تفکیکی Roser & Korsch (1988)، اغلب نمونه‌های مورد بررسی از کوارتز رسوبی نتیجه شده‌اند (شکل 13a). معمولاً منظور از کوارتز رسوبی، سنگهای رسوبی غنی از کوارتز و یا سنگهای پلوتونیک و دگرگونی قاره‌ای است (Roser & Korsch, 1988). در واقع این محدوده بیانگر منشأ قاره‌ای چرخه مجدد همراه با حاشیه غیرفعال قاره‌ای و کراتونی است (Das et al., 2006). در بررسیهای پتروگرافی،



شکل 15: نمودار مثلثی تعیین ترکیب شیل (Condie, 1993). نمونه‌های شیلی به علت داشتن درصد بالایی Al_2O_3 در نزدیک به رأس Al_2O_3 قرار می‌گیرند.

عنوان نشانگر خوبی برای تشخیص ترکیب شیل‌های دیرینه استفاده کرد (Lee, 2002). در واقع نسبت بالای K_2O/Al_2O_3 (بیشتر از 0/3) در شیل‌ها نشان دهنده منشأ گرانیته برای شیل‌هاست (Lee & Sheen, 1998). با توجه به نتایج آنالیز مودال که سنگ منشأ رسوبات سازند زاگون را پلوتونیک با خاستگاه پی سنگ بالا آمده معرفی می‌کند، نتایج ژئوشیمی و همچنین موقعیت جغرافیای ایران در زمان پالئوژئیک پیشین واقع در شمال شرق گندوانا (درویش زاده، 1370؛ Horton et al., 2008)، می‌توان منشأ گرانیته مذکور را در ارتباط با پی سنگ بالا آمده قاره گندوانا دانست. با توجه به قرارگیری داده‌های مورد مطالعه در نزدیکی خط 0/3 کانیهای رسی از فلدسپات‌ها، می‌توان سنگ منشأ شیل‌های سازند زاگون را یک سنگ حدواسط تا گرانیته معرفی نمود. نسبت K_2O/Al_2O_3 در کانیهای رسی و فلدسپات‌ها با هم متفاوت بوده (Young, 2002) و در کانیهای رسی دارای محدوده صفر تا 0/3 و در فلدسپات‌ها در محدوده 0/3 تا 0/9 قرار می‌گیرد (Cox et al., 1995). محدوده ترکیب ایلیت نزدیک خط جدا کننده ترکیب کانیهای رسی و فلدسپات‌ها است (Potter, 1978). ترکیب اکثر نمونه‌های شیلی در نمودار K_2O/Al_2O_3 در محدوده ترکیب ایلیت قرار می‌گیرد (شکل 16)

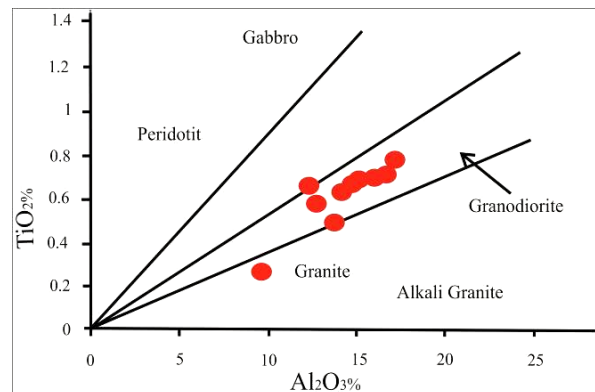
جایگاه زمین ساختی

مطالعات ژئوشیمیایی ماسه سنگ‌ها نشان داده است که ترکیب این سنگ‌ها ارتباط نزدیکی با خاستگاه و نیز موقعیت

که شاهد دیگری بر تأیید نتایج فوق است (جایگاه زمین ساختی سازند زاگون براساس داده‌های ژئوشیمی در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت). همچنین، Roser & Korsch (1988) جهت حذف داده‌های مربوط به CaO و SiO_2 بیوژنیک نمودار دیگری را برای تعیین ترکیب منشأ مجموعه‌های ماسه سنگی و گل سنگی ارائه کرده‌اند. داده‌های سازند زاگون در این نمودار نیز در محدوده کوارتز رسوبی قرار می‌گیرند (شکل 13b).

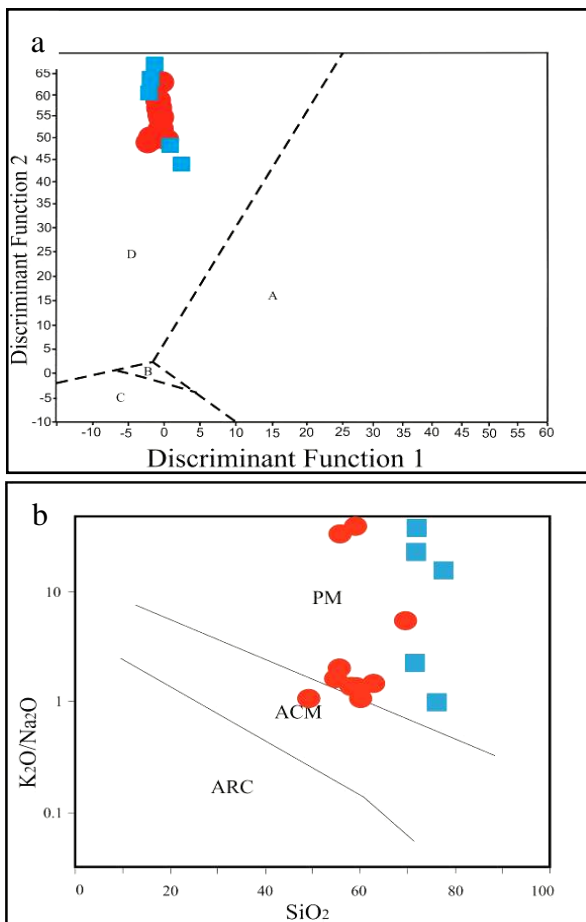
سنگ مادر شیل‌های سازند زاگون

نسبت Al_2O_3/TiO_2 در شیل‌ها نشانگر خوبی برای تفسیر سنگ منشأ شیل‌ها در مقایسه با دیگر عناصر اصلی است (Schieber, 1992؛ Hayashi et al., 1997؛ Paikaray et al., 2008). رسم نسبت Al_2O_3/TiO_2 برای نمونه‌های بررسی شده از سازند زاگون، سنگ منشأ حدواسط تا گرانیته را برای آنها نشان می‌دهد (شکل 14).



شکل 14: نسبت اکسیدهای Al_2O_3/TiO_2 (Schieber, 1992). ترکیب شیل‌های سازند زاگون نزدیک به سنگ منشأ حدواسط تا گرانیته است.

در نمودار سه تایی Condie (1993) (شکل 15)، نمونه‌های شیلی به علت داشتن درصد بالایی Al_2O_3 در نزدیک به رأس Al_2O_3 قرار می‌گیرند. از آن جا که کانیهای رسی از اجزای اصلی تشکیل دهنده شیل‌ها می‌باشند، این حضور بالای Al_2O_3 می‌تواند بیانگر آن باشد که کانیهای رسی در شیل‌ها فراوانی این عنصر را کنترل می‌کنند (Wronkiewicz & Condie, 1987). از نسبت K_2O/Al_2O_3 ، می‌توان به



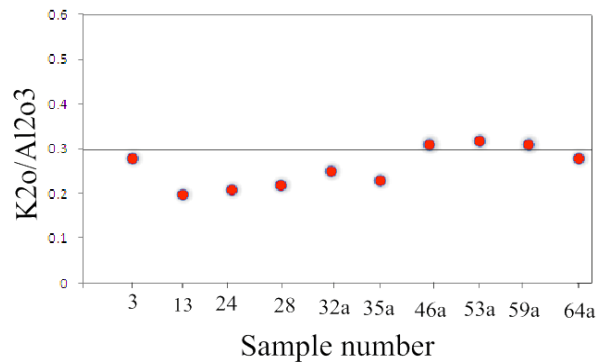
شکل 17: نمونه‌های ماسه سنگی (مربع) و نمونه‌های شیلی (دایره): (a) نمودار تفکیکی Bhatia (1983) با استفاده از اکسید عناصر اصلی. در این نمودارها چهار جایگاه زمین ساختی A (جزایر کمائی قوسی)، B (جزایر کمائی قاره‌ای)، C (حاشیه قاره‌ای فعال)، D (حاشیه قاره‌ای غیرفعال) مشخص شده است. نمونه‌های سازند زاگون در محدوده حاشیه قاره‌ای غیرفعال قرار می‌گیرند.

Discrimination Function 1: $-0.0447\text{SiO}_2 - 0.972\text{TiO}_2 + 0.008\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.267\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0.208\text{FeO} - 3.082\text{MnO} + 0.140\text{MgO} + 0.195\text{CaO} + 0.719\text{Na}_2\text{O} - 0.032\text{K}_2\text{O} + 7.510\text{P}_2\text{O}_5 + 0.303$
 Discrimination Function 2: $-0.421\text{SiO}_2 + 1.988\text{TiO}_2 - 0.526\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.551\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1.610\text{FeO} + 2.720\text{MnO} + 0.881\text{MgO} - 0.907\text{CaO} - 0.177\text{Na}_2\text{O} - 1.840\text{K}_2\text{O} + 7.244\text{P}_2\text{O}_5 + 43.57$

(b) نمودار Roser & Korsch (1988) با استفاده از اکسید عناصر اصلی؛ در این نمودارها چهار جایگاه زمین ساختی حاشیه قاره‌ای غیرفعال (PM)، حاشیه قاره‌ای فعال (ACM)، جزایر کمائی قوسی (OIA) و جزایر کمائی قاره‌ای (CIA) مشخص شده است. نمونه‌های سازند زاگون در محدوده حاشیه

مقایسه نتایج پتروگرافی، آنالیز مودال و ژئوشیمی در برش سربندان با برش الگو

جوادی‌نیا (1390) طی بررسیهایی که بر روی سازند زاگون در برش الگو انجام داده است مرز پایین و بالای این سازند را همانند برش سربندان به ترتیب سازندهای باروت و لالون معرفی می‌کند. وی ضخامت سازند زاگون در برش الگو را



شکل 16: نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Lee, 2002). ترکیب اکثر نمونه‌های شیلی در محدوده ترکیب ایلیت قرار می‌گیرد.

زمین ساختی حوضه دارد. با توجه به نمودارهای ارایه شده توسط Bhatia (1983) (شکل 17a) می‌توان بیان نمود جایگاه زمین ساختی سازند زاگون، حاشیه قاره‌ای غیرفعال است. به عقیده Crook (1974) رسوبات نهشته شده حاشیه قاره‌ای غیرفعال دارای رسیدگی بالایی بوده و در حوضه‌های درون صفحه‌ای (Plate interiors)، اینتراکراتون (Intracratonic) و یا در حاشیه قاره‌ای پایدار (Stable continental margin) نهشته می‌شوند. در نمودار ارایه شده توسط Roser & Korsch (1988) (شکل 17b) نمونه‌ها در محدوده حاشیه قاره‌ای غیرفعال با تمایل به سمت حاشیه فعال قرار گرفته‌اند که گذر از مرحله ریفت به پس از ریفت را می‌توانند نشان دهند. شواهد پتروگرافی سازند زاگون، از جمله فراوانی فلدسپاتها نشان از خاستگاه حاشیه غیرفعال داشته و از طرف دیگر فراوانی کوارتزهای تک بلورین با خاموشی مستقیم و گردشدگی خوب، سیمان رورشدی گردشده (با تعداد اندک)، نبود پلاژیوکلاز و کانیهای فرومیزین، حضور فلدسپاتهای دگرسان شده، حضور دانه‌های تورمالین و زیرکن گردشده (با تعداد اندک) و غالب بودن خرده سنگهای رسوبی نسبت به سایر خرده سنگها، نشانگر اشتقاق بخشی از این رسوبات از بخشهای کراتون طی چرخه دوباره رسوبی و نهشته شدن آنها در مناطق حاشیه قاره‌ای غیرفعال است.

برش الگو مشاهده می‌شود، به این صورت که رخساره کوارتزوفلدسپاتیک که تنها رخساره تشکیل شده در برش سربندان می‌باشد، در برش الگو به دو گروه رخساره‌ای کوارتزوفلدسپاتیک مربوط به ماسه سنگ در بخش میانی و کوارتزولیتیک مربوط به ماسه سنگ در بخش بالایی سازند زاگون تغییر می‌یابد. از سوی دیگر سنگ شناسی سازند زاگون در برش سربندان آركوز می‌باشد در حالی که در بخش میانی برش الگو، آركوز و در بخش بالایی آن فلدسپاتیک لیتارنایت است. با توجه به این که ضخامت سازند زاگون در برش سربندان نسبت به برش الگو کمتر است (192 متر در برش سربندان و 453 متر در برش الگو) و همچنین مرز بالایی سازند زاگون با سازند لالون در هر دو برش تدریجی و پیوسته می‌باشد، فقدان رخساره کوارتزولیتیک در برش سربندان می‌تواند به دلیل وجود تفاوتی در سنگ منشأ و نرخ رسوب گذاری باشد. بررسیهای صورت گرفته بر روی سنگ منشأ برش الگو اندکی تفاوت را تأیید می‌کند به طوری که سنگ منشأ سازند زاگون در برش الگو پلوتونیک و دگرگونی درجه پایین و در سربندان پلوتونیک و دگرگونی درجه بالا تا متوسط است. جوادی‌نیا (1390) ضمن بررسیهای پتروگرافی که بر روی سازند زاگون در برش الگو انجام داده است، خاستگاه ماسه سنگهای تشکیل دهنده بخش میانی این سازند را که معادل همین سازند در برش سربندان می‌باشد، پی‌سنگ بالا آمده و خاستگاه بخش بالایی این سازند را که در برش سربندان وجود ندارد، کوه‌زایی با چرخه مجدد بیان می‌کند. با توجه به کلیه مطالب بالا می‌توان به این نتیجه رسید که سازند زاگون در برش سربندان با بخش میانی برش الگو شرایط مشابهی داشته است. با توجه به نوع سنگ منشأ سازند زاگون در هر دو برش اشاره شده و موقعیت جغرافیای ایران در زمانهای پرکامبرین پسین و کامبرین پیشین (درویش زاده، 1370؛ Horton et al., 2008)، می‌توان اظهار داشت رسوبات

453 متر اندازه‌گیری نموده است که این ضخامت در برش سربندان به 192 متر کاهش می‌یابد. بررسیهای انجام شده روی مجموعه‌های رخساره‌ایی تشکیل دهنده سازند زاگون در دو برش مذکور گویای آن است که، مجموعه‌های رخساره‌ایی برش سربندان تنها شامل پهنه گلی و پهنه مخلوط از یک پهنه جزرومدی می‌باشند (جعفری و همکاران، 1390؛ جعفری، 1391) در حالی که در برش الگو، علاوه بر دو مجموعه رخساره‌ای بالا، پهنه ماسه‌ای نیز در بخش بالایی این سازند وجود دارد (جوادی‌نیا، 1390). وجود پهنه ماسه‌ای در بخش بالای برش الگو و فقدان آن در برش سربندان باعث ایجاد تفاوتی در نتایج پتروگرافی، آنالیز مودال و ژئوشیمی این دو برش نسبت به یکدیگر شده است که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم. مشاهدات پتروگرافی صورت گرفته بر روی سازند زاگون در برش سربندان و برش الگو واقع در غرب برش سربندان و نزدیکی روستای زاگون (جوادی‌نیا و حسینی برزی، 1390) نشان می‌دهد هر دو برش ویژگیهای بافتی نسبتاً یکسانی دارند. گردشگی و کرویت دانه‌ها در برش سربندان اندکی بیشتر از برش الگو است. بلوغ ترکیبی در هر دو نسبتاً پایین و بلوغ بافتی در برش سربندان رسیده و در برش الگو نیمه رسیده تا رسیده است. شواهد پتروگرافی مقاطع نازک و نتایج حاصل از وارد نمودن داده‌های آنالیز مودال نمونه‌های ماسه سنگی سازند زاگون در برش سربندان بر روی نمودارهای مربوطه گویای آن است که این ماسه سنگها در گروه رخساره‌ای کوارتزوفلدسپاتیک قرار می‌گیرند و دارای خاستگاه زمین ساختی پی‌سنگ بالا آمده با سنگ منشأ پلوتونیک و دگرگونی درجه بالا تا متوسط تحت تأثیر آب و هوای خشک تا نیمه مرطوب می‌باشند. مقایسه نتایج بالا با بررسیهای صورت گرفته بر روی سازند زاگون در برش الگو (جوادی‌نیا، 1389) نشان می‌دهد که علی‌رغم شرایط آب و هوایی یکسان در هر دو برش، تغییراتی در رخساره و سنگ منشأ از برش سربندان به

بررسیهای آنالیز مودال ماسه سنگهای سازند زاگون و شواهد پتروگرافی آنها مبنی بر فراوانی فلدسپات و نیز فراوانی کوارتزهای تک بلورین با خاموشی مستقیم، نبود پلاژیوکلاز و کانیهای فرومنیزین، حضور دانه‌های زیرکن و تورمالین و غالب بودن خرده سنگهای رسوبی نسبت به سایر خرده سنگها، حاکی از وجود خاستگاه پی سنگ بالاآمده تا قاره‌ای حد واسط با سنگ منشأ پلوتونیک و دگرگونی درجه بالا تا متوسط و آب و هوای خشک تا نیمه مرطوب برای این ماسه سنگها می‌باشد که در جایگاه زمین ساختی از نوع حاشیه قاره‌ای غیرفعال نهشته شده‌اند. داده‌های ژئوشیمیایی نیز همانند داده‌های حاصل از تجزیه مودال، خاستگاه رسوبات سازند زاگون در برش سرپندان را کوارتزهای رسوبی با جایگاه زمین ساختی حاشیه قاره‌ای غیرفعال نشان می‌دهد که هوازگی متوسط را در آب و هوای خشک تا نیمه مرطوب متحمل شده‌اند. مقایسه کلیه نتایج پتروگرافی و ژئوشیمی سازند زاگون در برش سرپندان با بررسیهای مشابه در برش الگو گویای آن است که سازند زاگون در برش الگو نیز دارای خاستگاه، جایگاه زمین ساختی و آب و هوای دیرینه مشابه با سازند زاگون در برش سرپندان می‌باشد و تفاوت‌های موجود مربوط به رخساره کوارتزولیتیک و گروه سنگی فلدسپاتیک لیتارنایت در بخش بالایی برش الگو است که در برش سرپندان وجود ندارد. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران در در شمال شرق گندوانا در پالئوزوئیک پیشین، می‌توان چنین اظهار داشت که رسوبات سازند زاگون از فرسایش پی سنگ بالاآمده گندوانا حاصل شده‌اند که در منطقه برش الگو با پذیرش بیشتر رسوب از پشت شانه‌های برآمده ریفت شامل بخش بیشتری از نهشته‌های حاصل از چرخه مجدد رسوبی نیز می‌باشد. بر این اساس به نظر می‌رسد که سازند زاگون، سازندی نهشته شده در حوضه‌ایی در حال گذر از مرحله ریفت به پس از ریفت است.

سازند زاگون از فرسایش پی سنگ بالاآمده گندوانا حاصل شده‌اند که در منطقه برش الگو با پذیرش سهم بیشتری رسوب از پشت شانه‌های برآمده ریفت شامل چرخه مجدد رسوبی نیز همراه می‌باشد. در واقع توده اصلی فرسوده شده در البرز مرکزی طی نهشت سازند زاگون، توده آذرین اسیدی است که تا حد ناچیزی حاوی سنگهای دگرگونی درجه پایین نیز می‌باشد و در مواردی بیرون زدگی رسوبات چرخه مجدد نیز دخالت داشته‌اند.

مقایسه بررسیهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی در برش سرپندان و برش الگو (جوادی‌نیا، 1389) نشان می‌دهد هر دو برش دارای جایگاه زمین ساختی حاشیه قاره‌ای غیرفعال و خاستگاه رسوبی - کوارتزی هستند، اما موقعیت نمونه‌ها بر روی نمودارهای تفکیکی تابعی در برش الگو نسبت به برش سرپندان، در محدوده پایین تری قرار می‌گیرند که این تفاوت جزئی می‌تواند به دلیل تأثیر عوامل محلی و همچنین سرشاخه‌های متفاوت باشد. همچنین بررسیهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی نیز نشان می‌دهد که در هر دو برش، شرایط هوازگی دیرینه مشابه می‌باشد و دو برش، هوازگی کم تا متوسطی را تحت شرایط آب و هوایی خشک تا نیمه مرطوب متحمل شده‌اند. کلیه شواهد بالا گویای آن است که بالادست و حوضه طی نهشت سازند زاگون در البرز مرکزی شرایط نسبتاً یکنواختی داشته‌اند و تفاوت‌های جزئی موجود به دلیل تأثیر عوامل محلی می‌باشد. این نتایج با موقعیت جغرافیایی دیرینه البرز مرکزی در پالئوزوئیک پیشین واقع در شمال شرق گندوانا و عرضهای جغرافیایی میانی انطباق دارد (درویش زاده، 1370؛ Horton et al., 2008).

نتیجه گیری

ماسه سنگهای سازند زاگون در برش سرپندان از نظر پتروگرافی از نوع آركوز هستند و در گروه رخساره‌ای کوارتزولیتیک قرار می‌گیرند. این رخساره به همراه

منابع

- آقائباتی، ع.، 1383. زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، 586ص.
- جعفری، م.، حسینی برزی، م.، صادقی، ع.، 1390. پتروگرافی، دیاژنز و خاستگاه سازند زاگون، برش سربندان، البرز مرکزی. سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جعفری، م.، 1391. محیط رسوبی و دیاژنز سازند زاگون در برش سربندان، البرز مرکزی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، 200ص.
- جوادی‌نیا، ص.، 1390. محیط رسوبی و دیاژنز نهشته‌های سازند زاگون در برش تپ - روستای زاگون - البرز مرکزی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، 149ص.
- جوادی‌نیا، ص.، حسینی برزی، م.، 1389. ژئوشیمی عناصر اصلی سازند زاگون در برش تپ - روستای زاگون - البرز مرکزی. بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حمدی، ب.، 1374. زمین شناسی ایران: سنگهای رسوبی پرکامبرین - کامبرین در ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، 353ص.
- درویش زاده، ع.، 1370. زمین شناسی ایران. انتشارات امیرکبیر، 908ص.
- Allenbach, P., & Steiger, R., 1997. Quadrangle geological map of Damavand, Scale: 1/100000. *Geological Survey of Iran*.
- Alsharhan, A.S., & Nairn, A.E.M., 1977. Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Elsevier, Amsterdam, 843 p.
- Assereto, R., 1963. The Paleozoic formations in Central Alborz Iran. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 69: 503-543.
- Basu, A., Young, S.W., Suttner, L.J., James, W.C., & Mack, G.H., 1975. Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*. 45: 873-882.
- Bauluz, B., Mayayo, M.J., Fernandez-Nieto, C., & Lopez, J.M.G., 2000. Geochemistry of Precambrian Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance and tectonic setting. *Chemical Geology*, 168: 135-150.
- Bhatia, M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*, 91: 611-627.
- Bhatia, M.R., & Crook, K.A.W., 1986. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92: 181-193.
- Bhatia, M.R., Taylor, S.R., 1981. Trace-element geochemistry and sedimentary provinces: a study from the Tasman geosyncline, Australia. *Chemical Geology*, 33: 115-125.
- Condie K.C., & Wronkiewicz D.S., 1990. The Ce/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of cratonic evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 97: 256-267.
- Condie, K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, 104: 1-37.
- Cox, R., Low, D.R., & Cullers, R.L., 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 2919-2940.
- Cullers, R.L., 1994. The chemical signature of source rocks in size fractions of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the Wet Mountains region, USA. *Chemical Geology*, 113: 327-343.
- Cullers, R.L., 2000. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 51: 181-203.
- Cullers, R.L., 2002. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chemical geology*, 191 (4): 305-327.

- Dabard, M. P., 1990. Lower Brioverian Formations (Upper Proterozoic) of the Armorican Massif (France): Geodynamic evolution of source areas revealed by sandstone petrography and geochemistry. *Sediment. Geology*, 69: 45–58.
- Das, B.K., AL-Mikhlaifi, A.S., & Kaur, P., 2006. Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Asian Earth Science*, 26: 649–668.
- Dickinson, W.R., 1988. Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins. In: Kleinspehn, K.L., & Poala, C., (Eds.), *New Perspective in Basin Analysis*. Springer, New York, 3–25.
- Etemad-Saeed, N., & Hosseini-Barzi, M., 2011, Petrography and geochemistry of clastic sedimentary rocks as evidences for provenance of the Lower Cambrian Lalun Formation, Posht-e-badam block, Central Iran. *African Earth Sciences*, 61: 142-159.
- Fedo, C.M., Eriksson, K.A., & Krogstad, E.J., 1996. Geochemistry of shales from the Archean (3.0 Ga) Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: implications of provenance and source-area weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60: 1751–1763.
- Floyd, P.A., Winchester, J.A., & Park, R.G., 1989. Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the early Proterozoic Loch Maree group of Gairloch, NW Scotland. *Precambrian Research*, 45: 203-214.
- Folk, R.L., 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. *Hemphill*, Austin, Texas, 159.
- Garcia, D., Ravenne, C., Marechal, B., & Moutte, J., 2004. Geochemical variability induced by entrainment sorting: quantified signals for provenance analysis. *Sedimentary Geology*, 171: 113-128.
- Gu, X.X., Liu, J.M., Zheng, M.H., Tang, J.X., & Qi, L., 2002. Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, south China: Geochemical evidence. *Journal of Sedimentary Research*, 72: 393-407.
- Hayashi, K., Fujisawa, H., Holland, H.D. & Ohmoto, H., 1997. Geochemistry of 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61: 4115-4138.
- Herron, M.M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*. 58: 820–829.
- Horton, B.K., Hassanzadeh, J., Stockli, D.F., Axen, G.J., Gillis, R.J., Guest, B., Amini, A., Fakhari, M.D., Zamanzadeh, S.M., & Grove, M., 2008. Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: Implications for chronostratigraphy and collisional tectonics. *Journal of Tectonophysics* 451: 97–122.
- Moujahed Al-Husseini, 1989. Tectonic & Deposition Model of Late Precambrian-Cambrian Arabian and Adjoining Plates. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 73 (9): 1117-1129.
- Jafarzadeh, M., & Hosseini-Barzi, M., 2008. Petrography and geochemistry of Ahwaz Sandstone Member of Asmari Formation, Zagros, Iran: implications on provenance and tectonic setting. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25 (2): 247-260.
- Jin, Z., Li, F., Cao, J., Wang, S., & Yu, J., 2006. Geochemistry of Daihai Lake sediments, Inner Mongolia, north China: Implications for provenance, sedimentary sorting and catchment weathering. *Geomorphology*, 80: 147–163.
- Krynine, P.D., 1950. Petrology, stratigraphy, and origin of the Triassic sedimentary rocks of Connecticut. *Conn. Geol. Nat. History Survey Bull.* 73: 239 p.
- Lee, Y.I., & Sheen, D.H., 1998. Detrital modes of the Pyeongan Supergroup (Late Carboniferous –Early Triassic) sandstones in the Samcheog coalfield, Korea: implication for provenance and tectonic setting. *Sediment. Geology*, 119: 219–238.
- Lee, Y.I., 2002. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic–early Mesozoic mudrocks of the Pyeongan Supergroup, Korea. *Sedimentary Geology*, 149: 219– 235.
- Lopez, J.M.G., Bauluz, B., Nieto, C.F., & Oliete, A.Y., 2005. Factors controlling the trace-element distribution in fine-grained rocks: the Albian Kaolinite-rich deposits of the Oliete Basin (NE Spain). *Chemical Geology*, 214: 1-19.
- Maynard, J.B., Valloni, R., & Yu, H., 1982. Composition of modern deep sea sands from arc-related basins. *Geological Society of London, Special Publication*, 10: 551-561.
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., & Eriksson, K.A., 1983. Geochemistry of Archean shales from the Pilbara Supergroup, Western Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47: 1211–1222.

- McLennan, S.M., & Taylor, S.R., 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution: Tectonic setting and secular trends. *Journal of Geology*, 799: 1-21.
- McLennan, S.M., 2001. Relationship between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2 (4): 1-24.
- Nesbitt, H.W. & Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climate and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. 299: 715–717.
- Paikaray, S., Banerjee, S., & Mukherji, S., 2008. Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications on provenance, tectonics and paleoweathering. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 34–48.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., & Siever, R., 1987. Sand and Sandstone, 2nd Ed. *Springer*, New York. 553 p.
- Potter, P.E., 1978. Petrology and chemistry of modern Big River sands. *J. Geol.*, 86: 423–449.
- Rollinson, H.R., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. *Longman Scientific and Technical*, New York. 352 pp.
- Roser, B.P., & Korsch, R.J., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Geology*, 94: 635–650.
- Roser, B.P. & Korsch., R.J., 1988. Provenance signature of sandstone-mudstone suite determined using discriminate function analysis of major element data. *Chemical Geology*, 67: 119–139.
- Roser, B.P., Cooper, R.A., Nathan, S., & Tulloch, A.J., 1996. Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 39 (1): 1-16
- Schieber, J., 1992. A combined petrographical-geochemical provenance study of the Newland formation, Mid-Proterozoic of Montana. *Geological Magazine*, 129: 223–237.
- Shadan, M., & Hosseini-Barzi, M., 2007. Local tectonic controls on deposition of Permian mixed siliciclastic-carbonate deposits of Khan Formation along Kalmard fault, Central Iran. 5th *Swiss Geoscience Meeting*, Geneva.
- Shadan, M., & Hosseini-Barzi, M., 2013. Petrography and geochemistry of the Ab-e-Haji Formation in central Iran: implications for provenance and tectonic setting in the southern part of the Tabas block. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30 (1): 80-95.
- Suttner, L.J., Basu, A., & Mack, G.M., 1981. Climate and the origin of quartz arenites. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 1235–1246.
- Suttner, L.J., & Dutta, P., 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 329-345.
- Suttner, L.J., & Dutta, P., 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 329-345.
- Taylor, S.R., & McLennan, S.M., 1985. The Continental Crust: its Composition and Evolution. *Blackwell*, Oxford, 312 p.
- Tortosa, A., Palomares, M., & Arribas, J., 1991. Quartz grain types in Holocene deposits from Spanish Central System: some problems in provenance analysis. In: Morton A.C., Todd, S.P., & Haughton, P.D.W., (Eds.), *Developments in Sedimentary Provenance Studies. Special Publication Geological Society*, 57: 47-54.
- Tucker, M.E., 2001, *Sedimentary Petrology*, 3rd Edition. *Blackwell*, Oxford, 260p.
- Weltje, G.J., 1994. Provenance and dispersal of sand-sized sediments: Reconstruction of dispersal patterns and sources of sand-sized sediments by means of inverse modelling techniques. *Faculteit Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht*. 121: 1-208.
- Wronkiewicz, D.J., & Condie, K.C., 1987. Geochemistry of Archaean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance. *Geochimica. Cosmochimica. Acta*, 51: 2401-2416.
- Young, G.M., 2002. Stratigraphic and tectonic settings of Proterozoic glaciogenic rocks and banded iron-formations: relevance to the snowball Earth debate. *Journal of African Earth Sciences*, 35: 451–466.

Provenance of Zaygun Formation, based on petrography, modal analysis and geochemistry in Sarbandan section, central Alborz

Jaferi Salor, M.¹, Hosseini-Barzi, M.^{2*}, Sadeghi, A.³

1- M.Sc. in Sedimentology, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

*E-mail: m_hosseini@sbu.ac.ir

Abstract

Petrography, modal analysis of sandstones and major elements geochemistry of shales of Early Cambrian Zagun Formation in Sarbandan section, Central Alborz, are used to identify their provenance (including parent rocks, tectonic setting and paleo-weathering). Petrography of the sandstones and plotting their point counting data on Qt44, F47, L9 and Qm44, F45, Lt11 diagrams imply that they are arkose, with mainly a plutonic and high- to medium-grade metamorphic source rock in a basement uplift under a dry to sub-humid climate which were deposited in a transition from rift to passive margin tectonic setting. However, the major elements geochemical data show that these sandstones are dominantly arkose and the shales are dominantly iron-free. These results refer to erosion from a quartzose-sedimentary provenance (old quartz grains from rocks such as granite and acidic gneiss) and deposition in a passive continental margin tectonic setting with moderate chemical weathering under dry to sub-humid climatic condition. However, there is a discernible consistency among all different approaches (petrography, modal analysis and geochemistry) in Sarbandan section as well as the similar studied in Zagun Type section. Consequently, the results imply a uniform condition of the hinterland and the basin for deposition of the Zagun Formation in central Alborz during Early Cambrian.

Keywords: Zagun; geochemistry; modal analysis; provenance; paleo weathering.