

تعیین برخاستگاه زمین‌ساختی و هوازگی سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌های سازند داهو (کامبرین پیشین) به روش‌های پتروگرافی و ژئوشیمی عناصر اصلی در برش ابیانه غرب نطنز

ندا رضایی^۱، خلیل رضایی^{۲*} و فرج‌الله فیاضی^۳

۱، ۲ - دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران

نویسنده مسئول: khalil.rezaei@khu.ac.ir

دریافت: ۹۴/۱۲/۱ پذیرش: ۹۵/۳/۱۲

چکیده

در این پژوهش، ویژگی‌های سنگ‌ساختی و ژئوشیمیایی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های سازند داهو با سن کامبرین پیشین، به‌منظور مشخص کردن خاستگاه، جایگاه زمین‌ساختی و شرایط هوازگی پیشین، در برش ابیانه واقع در غرب نطنز، در پهنه ایران مرکزی، بررسی شدند. بر اساس مطالعات پتروگرافی، ماسه‌سنگ‌های منطقه، دانه‌ریز تا دانه‌درشت با جورشدگی متوسط تا خوب هستند. ترکیب کلی این ماسه‌سنگ‌ها از نوع لیت‌آرنایت، کوارتز‌آرنایت و تعداد کمی از آن‌ها ساب‌لیت‌آرنایت و فلدسپاتیک لیت‌آرنایت تشخیص داده شد. مقایسه عناصر اصلی با میانگین پوسته قاره‌ای بالایی مشخص کرد که تقریباً تمام عناصر (به‌جز CaO و MnO) نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی به میزان قابل‌توجهی تهی شده‌اند. داده‌های ژئوشیمیایی در دیگرام‌های تفکیک‌کننده محیط‌های زمین‌ساختی بیانگر رسوب‌گذاری ماسه‌سنگ‌ها در بخش حاشیه قاره‌ای فعال است. ضریب بالای هوازگی شیمیایی (CWI=93)، شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب را در منطقه منشأ نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: خاستگاه، ژئوشیمی، ماسه‌سنگ، سنگ مادر، سازند داهو، ابیانه

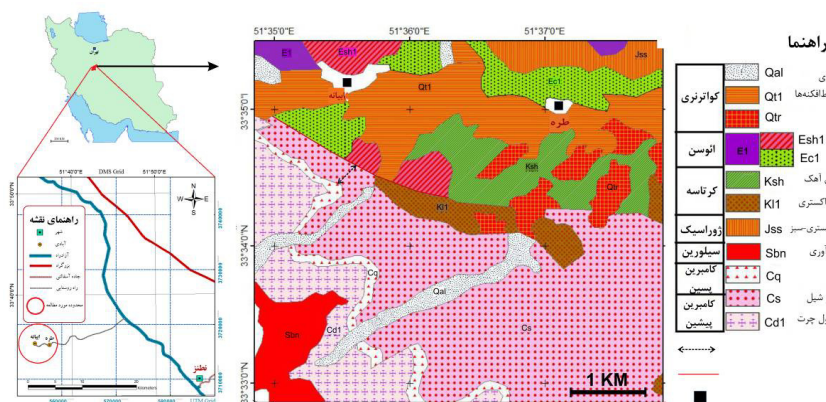
مقدمه

جایگاه زمین‌ساختی، سنگ منشأ، شدت فرایندهای هوازگی شیمیایی در منطقه منشأ و برخاستگاه آن‌ها را مشخص نمود [۹، ۱۵، ۱۹، ۲۴، ۳۵، ۴۵]. از جمله روش‌های متداول پتروگرافی، می‌توان به مطالعات میکروسکوپی دقیق بر روی دانه‌های کوارتز [۷]، انواع فلدسپارها [۳۲]، خرده‌سنگ‌ها [۳۳] و کانی‌های سنگین [۳۰] اشاره نمود.

سازند داهو، برای اولین بار توسط هوکریده و همکاران [۲۱] تحت عنوان سری داهو معرفی شده و آن را معادل سازند لالون در شمال ایران در نظر گرفته‌اند [۳۶]. با توجه به موقعیت چین‌شناسی، برای سازند داهو سن کامبرین پیشین در نظر گرفته شده است [۳]. این رسوبات دارای گسترش فوق‌العاده زیادی در ایران و کشورهای هم‌جوار هستند. هدف از این مطالعه، شناسایی نوع سنگ مادر احتمالی، جایگاه زمین‌ساختی و بررسی آب‌وهوای دیرین، شرایط هوازگی پیشین ماسه‌سنگ‌های سازند داهو در ایران مرکزی منطقه ابیانه کاشان با استفاده از شواهد ژئوشیمیایی مربوط به عناصر اصلی و

ترکیب سنگ‌های سیلیسی آواری متأثر از عوامل حمل‌ونقل، نرخ هوازگی، ویژگی‌های سنگ منشأ، پستی‌وبلندی، اقلیم، فعالیت‌های تکتونیکی و اثرات دیاژنزی است [۲۷، ۴۲، ۴۴]. موقعیت تکتونیکی حوضه رسوبی و منطقه منشأ، عامل اصلی در کنترل ترکیب رسوبات آواری محسوب می‌شود [۱۵]. ژئوشیمی سنگ‌های رسوبی تابع پیچیده‌ای از متغیرهایی مانند ترکیب سنگ مادر، هوازگی، حمل، جورشدگی فیزیکی، تمرکز کانی‌های سنگین و دیاژنز است، پس می‌توان از ترکیب شیمیایی کلی سنگ‌های رسوبی آواری به‌عنوان ابزاری مؤثر جهت شناخت فاکتورهایی که خواص رسوبات را در طی رسوب‌گذاری و بعد از آن کنترل می‌کنند، استفاده نمود [۱۰، ۲۸]. مطالعات ژئوشیمیایی اغلب مکمل خوبی برای مطالعات سنگ‌شناسی محسوب می‌شوند، به‌ویژه زمانی که فرایندهای زمین‌شناسی، کانی اولیه را تخریب کرده باشند [۱۱، ۱۲]. بنابراین با استفاده از داده‌های پتروگرافی (ترکیب مودال) و داده‌های ژئوشیمیایی (ترکیب عناصر اصلی)، می‌توان تیپ سنگی،

این منطقه انجام نشده و این مطالعه گامی در جهت ۴۵ ثانیه و هم‌چنین بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه، ۳۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۳۵ دقیقه واقع شده و بخشی از ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نطنز است. راه دسترسی به منطقه اشاره شده در غرب آزادراه کاشان - نطنز و ۴۰ کیلومتری جاده آسفالت نطنز - ایبانه قرار دارد (شکل ۱). کوه ریزنده که برش جنوب ایبانه در آن واقع شده‌اند یکی از ارتفاعات کوهستان کرکس به شمار می‌رود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه [۴]

روش مطالعه

بررسی ماسه‌سنگ‌های سازند داهو در برش مورد مطالعه در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. بخش صحرایی آن شامل بررسی وضعیت زمین‌شناسی منطقه، شیب لایه‌ها، شناسایی رخساره‌ها و نمونه‌برداری از ماسه‌سنگ‌های منطقه بوده است. در بخش آزمایشگاهی نیز ابتدا به بررسی ویژگی‌های بافتی و تفسیر خصوصیات سنگ‌نگاری ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از تهیه و مطالعه تعداد ۱۰۰ عدد مقطع نازک مبادرت شده است. پس از آن تعداد ۱۲ نمونه غیر هوازده (۸ نمونه ماسه‌سنگی و ۲ نمونه از ماسه‌سنگ سفید رأسی و ۲ نمونه شیلی) به نمایندگی از کل سازند از بین مقاطع انتخاب و جهت انجام آنالیز XRF به آزمایشگاه کانساران بینالود ارسال گردید. هم‌چنین شمارش نقطه‌ای برای ۳۰ مقطع نازک، به روش گزی-دیکینسون، انجام شد [۲۲] و در هر مقطع نازک نیز تعداد ۲۰۰ تا ۵۰۰ دانه شمارش گردید. وجود اختلاف زیاد در تعداد نقاط شمارش شده، به دلیل دانه‌ریز بودن برخی مقاطع و وجود زمینه و

مطالعات پتروگرافی است. چنین مطالعه‌ای تا کنون در بازسازی جغرافیای دیرینه این سازند در ایران مرکزی خواهد بود.

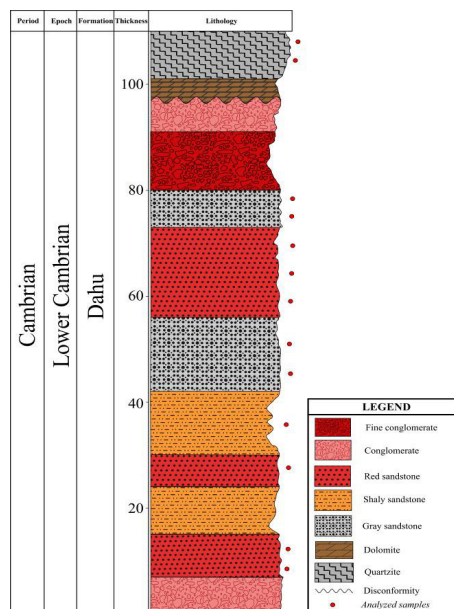
موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه

برش مورد مطالعه، در استان اصفهان، ۴۰ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان نطنز، و در مجاورت روستای ایبانه قرار دارد. این مقطع از نظر جغرافیایی بین طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه، ۳۵ دقیقه تا ۵۱ درجه، ۳۶ دقیقه و

بر اساس تقسیم‌بندی که توسط محققین مختلف برای جداسازی ایران به حوضه‌های رسوبی ساختاری جداگانه انجام شده، منطقه مورد مطالعه بخشی از ایران مرکزی محسوب می‌شود که در بردارنده‌ی قسمتی از کمان ماگمایی ارومیه - دختر است [۱]. ایران مرکزی یکی از واحدهای اصلی و عمده‌ای است که به شکل مثلثی در مرکز ایران قرار دارد و بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین واحد زمین‌شناسی ایران به شمار می‌آید. در این واحد، سنگ‌های پرکامبرین پسین تا کواترنر را به‌طور گسترده می‌توان مشاهده نمود. در منطقه نطنز نیز سنگ‌های رسوبی تا سنگ‌های آذرین با سن پرکامبرین - کواترنری برون‌زد دارند (شکل ۱). در این تحقیق برشی از سنگ‌های مربوط به رسوبات آواری کامبرین پیشین با ضخامت حدود ۱۳۰ متر، که شامل توالی از کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون و دولومیت مربوط به سازند داهو در برش ایبانه است، مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۲).

آنالیز عناصر اصلی به همراه مقادیر LOI به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ آورده شده است.

سیمان زیاد و در نتیجه نبودن نقطه کافی برای شمارش بوده است. نتایج حاصل از نقطه‌شماری و نتایج مربوط به



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی محدوده مورد مطالعه

جدول ۱. پارامترهای نقطه‌شماری سازند داهو [۲۳]

Q _{m non}	Non-undulose monocrystalline quartz
Q _{m un}	Undulose monocrystalline quartz
Q _{pq}	Polycrystalline quartz
Q _{pq2-3}	Q _{pq2-3} crystal units per grain
Q _{pq>3}	Q _{pq>3} crystal units per grain
Cht	Chert
Qp	Polycrystalline quartzose (or calcedonic) lithic fragments (Q _{pq} + Cht)
Q _t	Total quartzose grains (Q _m + Q _p)
Q	Total (Q _{m non} + Q _{m un} (and Q _{pq} used for classification (Q _m + Q _{pq}) (Folk, 1974)
P	plagioclase feldspar
K	potassium feldspar
F	Total feldspar grains (P + K)
Lv	Volcanic-metavolcanic rock fragments
Ls	Sedimentary rock fragments
Lsm	Metasedimentary rock fragments
Lc	Carbonate (reworked fossils and limeclasts include mudstone) rock fragments
L	Unstable (siliciclastic) lithic fragments (Lv + Ls + Lsm)
Lt	Total siliciclastic lithic fragments (L + Qp)
RF	Total unstable rock fragments and chert (L + Cht) (Folk, 1974 classification)
M	Micrite
Cem	Cements
Acc	Accessory minerals
Lvm	Lv + xLm [where x ranges from 0 to 1 (operationally, usually 0)]

جدول ۲. داده‌های حاصل از دانه شماری ۳۰ نمونه مقطع نازک از نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند داهو به روش گزی و دیکینسون [۲۳]. (نمونه‌های A025، T059 و T060 مربوط به ماسه‌سنگ‌های سفید رأسی می‌باشند).

Sample	Qm non	Qm un	Qp>3	Qp2-3	K	P	Lv	Lsm	Ls	Cl	Acc	Cem	M	Sum	Qpq	Qm	Qp	Qt	F	L	Lu	Q	Rf	Lvm	Lm
A003	181	103	27	32	7	1	8	7	4	62	4	87	11	534	59	284	121	405	8	19	140	343	81	8	3
A020	137	51	9	13	3	0	0	9	3	54	7	56	2	344	22	188	76	264	3	12	88	210	66	0	6
A019	56	44	7	13	2	1	0	4	2	27	0	60	0	216	20	100	47	147	3	6	53	120	33	0	2
A017	51	42	17	21	1	0	4	8	3	11	0	43	44	245	38	93	49	142	1	15	64	131	26	4	5
A015	63	52	11	17	6	2	6	7	3	26	6	76	10	285	28	115	54	169	8	16	70	143	42	6	4
A004	33	17	6	10	3	1	5	7	5	7	0	82	13	189	16	50	23	73	4	17	40	66	24	5	2
A002	65	47	11	19	2	0	1	4	3	17	1	37	2	209	30	112	47	159	2	8	55	142	25	1	1
A001	93	62	13	21	11	0	0	9	2	43	2	73	0	329	34	155	77	232	11	11	88	189	54	0	7
A023	103	92	6	24	5	1	2	7	3	31	0	42	2	318	30	195	61	256	6	12	73	225	43	2	4
T035	54	49	8	14	6	3	13	21	19	47	0	81	132	447	22	103	69	172	9	53	122	125	100	13	2
T032	112	98	11	18	13	2	27	18	12	19	0	77	113	520	29	210	48	258	15	57	105	239	76	27	6
T025	45	37	16	21	9	0	2	11	7	8	1	36	36	229	37	82	45	127	9	20	65	119	28	2	4
T017	32	28	17	19	4	0	20	15	9	12	0	46	41	243	36	60	48	108	4	44	92	96	56	20	6
T031	37	26	12	14	5	0	11	16	13	19	1	57	38	249	26	63	45	108	5	40	85	89	59	11	3
T034	36	31	3	6	2	0	20	23	11	14	0	62	55	263	9	67	23	90	2	54	77	76	68	20	12
T016	41	29	4	7	1	0	7	8	5	10	0	53	18	183	11	70	21	91	1	20	41	81	30	7	3
T028	43	26	18	11	3	0	3	1	0	15	1	28	15	164	29	69	44	113	3	4	48	98	19	3	1
T039	41	32	7	9	5	1	21	17	12	16	0	25	0	186	16	73	32	105	6	50	82	89	66	21	5
T033	67	51	13	19	1	0	48	19	10	26	1	81	98	434	32	118	58	176	1	77	135	150	103	48	9
T036	31	27	9	13	6	3	31	13	10	17	0	59	21	240	22	58	39	97	9	54	93	80	71	31	3
T050	101	91	28	34	3	0	1	2	0	23	0	0	0	283	62	192	85	277	3	3	88	254	26	1	2
T026	58	41	10	13	4	0	60	17	11	17	0	20	67	318	23	99	40	139	4	88	128	122	105	60	6
T015	126	52	5	11	7	1	5	32	13	96	1	24	12	385	16	178	112	290	8	50	162	194	146	5	19
T050	131	48	11	14	9	1	0	16	8	43	0	39	2	322	25	179	68	247	10	24	92	204	67	0	8
T059	151	129	37	49	11	0	0	0	0	28	1	27	0	433	86	280	114	394	11	0	114	366	28	0	0
T060	163	134	21	32	17	3	0	0	0	37	0	19	0	426	53	297	90	387	20	0	90	350	37	0	0
A025	148	130	18	25	14	2	0	0	0	29	1	16	0	383	43	278	72	350	16	0	72	321	29	0	0
T020	35	24	11	17	4	0	3	34	18	22	1	21	9	199	28	59	50	109	4	55	105	87	77	3	16
T021	57	33	2	7	5	1	10	49	28	17	2	15	2	228	9	90	26	116	6	87	113	99	104	10	21
T042	87	61	2	4	13	1	3	10	6	28	1	17	11	244	6	148	34	182	14	19	53	154	47	3	4
Min	31	17	2	4	1	0	0	0	0	7	0	0	0	164	6	50	21	73	1	0	40	66	19	0	0
Max	181	134	37	49	17	3	60	49	28	96	7	87	132	534	86	297	121	405	20	88	162	366	146	60	21
Avg.	79	56	12	18	6	1	10	13	7	27	1	45	25	302	30	136	57	193	7	31	88	165	58	10	5
S.D	44	33	8	9	4	1	14	11	7	19	2	24	35	101	17	75	26	97	5	26	30	87	31	14	5

جدول ۳. نتایج آنالیز عناصر اکسیدهای اصلی XRF به همراه مقادیر LOI از نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند داهو (نمونه‌های Q1 و Q2 مربوط به ماسه‌سنگ‌های سفید رأسی و T46 و T56 مربوط به شیل‌های ارغوانی می‌باشند).

Elements	A7	A22	A11	A24	T5	T46	T17	T8	T56	T30	Q1	Q2
SiO2	44.86	49.06	46.78	20.16	44.52	4.89	38.12	49.96	4.55	45.16	96.38	95.80
TiO2	0.39	0.23	0.41	0.12	0.23	0.04	0.20	0.20	0.23	0.28	0.40	0.42
Al2O3	7.36	4.15	8.26	2.45	3.74	1.36	4.44	4.03	1.26	6.46	3.14	1.18
Fe2O3(t)	3.42	10.71	3.47	2.36	1.41	0.58	2.84	1.51	0.74	2.79	0.19	0.24
MnO	0.11	0.04	0.10	0.14	0.12	0.00	0.16	0.13	0.01	0.13	0.01	0.01
MgO	0.81	0.38	1.02	10.86	0.76	0.08	0.86	0.53	2.11	0.95	0.14	0.08
CaO	19.12	18.26	18.02	28.33	25.19	50.86	27.49	22.23	49.15	22.29	0.02	0.01
Na2O	0.62	0.12	0.86	0.09	0.09	0.06	0.36	0.41	0.02	0.47	0.37	0.39
K2O	1.21	0.76	1.32	0.41	0.63	0.32	0.59	0.54	0.19	1.02	0.86	0.64
P2O5	0.10	0.07	0.12	0.09	0.10	0.16	0.11	0.10	0.13	0.10	0.03	0.03
LOI	21.80	15.95	19.30	34.60	23.00	40.60	24.50	20.10	41.40	20.10	0.58	1.11

سنگ‌نگاری و ترکیب کانی‌شناسی

مطالعات سنگ‌نگاری منجر به تقسیم‌بندی این نهشته‌ها به سه دسته کنگلومرای، ماسه‌سنگی و گل‌سنگی شده است. کنگلومراها که تنها در قاعده و رأس سازند داهو مشاهده می‌شوند، بر اساس طبقه‌بندی پتی‌جان [۳۲] برای رودایت‌ها، کنگلومراهای از نوع خارج حوضه‌ای می‌باشند و از لحاظ ترکیب، عمدتاً از نوع چند منشأیی یا پلی‌میکتیک^۱ و برخی محدود از نوع تک منشأیی یا الیگومیکتیک^۲ هستند که پیل‌های انواع پلی‌میکتیک خرده‌های سنگی آتشفشانی، دگرگونی و پیل‌های چرتی، و در نوع الیگومیکتیک، پیل‌ها عمدتاً چرت می‌باشند. بر اساس فابریک رسوبی نیز، نمونه‌های مطالعه شده از نوع ارتوکنگلومرا می‌باشند و عمدتاً از دانه تشکیل شده‌اند. این کنگلومراها طبق طبقه‌بندی فولک [۱۶] از نوع کنگلومرای ماسه‌ای‌اند که در آن‌ها درصد گراول بیش از ۳۰ درصد است. طبق مطالعات اولیه صورت گرفته بر روی ۱۰۰ مقطع نازک ماسه‌سنگی توسط میکروسکوپ نوری، کانی‌های تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های برش مورد مطالعه به ترتیب فراوانی به‌صورت زیر می‌باشند:

کانی کوارتز از نوع کوارتزهای تک‌بلور پلوتونیک با خاموشی مستقیم تا موجی شدید به مقدار بیش‌تر و همین‌طور کوارتزهای چند بلور متامورفیک [۱۶] و کوارتزهای رسوبی انتقال مجدد یافته با سیمان کوارتز رورشدی فرسایشی به میزان کمتر، فراوان‌ترین جزء آواری مشاهده شده در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه می‌باشند که با نزدیک شدن به بخش‌های رأسی سازند بر میزان آن‌ها افزوده می‌شود. جزء آواری دیگری که در این سازند از فراوانی بسیار بالایی برخوردار است قطعات سنگی است که به ترتیب فراوانی شامل قطعات سنگی رسوبی از نوع چرت، ماسه‌سنگ، سیلتستون و قطعات شیلی و قطعات دگرگونی بیش‌تر از نوع قطعات سنگی دگرگون‌شده مانند شیل‌های دگرگون‌شده، اسلیت و شیست و همین‌طور قطعات سنگی رسوبی-دگرگونی و در نهایت قطعات ولکانیکی هستند. فلدسپارها نیز که به میزان بسیار کمی در برش مورد مطالعه حضور دارند و خود شامل ارتوکلاز و کمی سانیدین هستند و به میزان خیلی کمتری پلاژیوکلاز نیز در آن‌ها یافت می‌شود. از

کانی‌های فرعی در این ماسه‌سنگ‌ها نیز می‌توان به گلوکونیت و کلریت و کانی‌های سنگین اپک اشاره نمود. ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها نیز بیش‌تر از نوع لیت‌آرنایت (چرت‌آرنایت)، ساب لیت‌آرنایت و به میزان کمتر فلدسپاتیک لیت‌آرنایت و هم‌چنین در بخش ماسه‌سنگ‌های سفیدرنگ رأسی از نوع کوارتز‌آرنایت می‌باشند. این ماسه‌سنگ‌های لیت‌آرنایتی همراه با کنگلومرای پلی‌میکتیک می‌توانند منشاء رودخانه مئاندری با پیچش زیاد داشته باشند. هم‌چنین از نظر بلوغ بافتی (تعیین میزان رس، جورشدگی و گردش‌گی)، این ماسه‌سنگ‌ها بلوغ بافتی خوب تا متوسط دارند و از نظر بلوغ ترکیبی نیز ماسه‌سنگ‌های سازند داهو دارای بلوغ ترکیبی نسبتاً خوب تا متوسط هستند، البته نهشته‌های ماسه‌سنگ‌های سفید رنگ رأسی این سازند از بلوغ بافتی و ترکیبی بسیار بالایی برخوردار می‌باشند (شکل ۳). اجزای اصلی تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگی در دیاگرام مثلثی (QFL) فولک [۱۶] که بر اساس نتایج نقطه شماری ترسیم شده است، عموماً در ناحیه لیت‌آرنایت و ساب لیت‌آرنایت و کوارتز‌آرنایت قرار می‌گیرند (شکل ۴).

فرایندهای دیاژنتیکی

از جمله مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتیکی که ماسه‌سنگ‌های این منطقه را تحت تأثیر قرار داده است، می‌توان به تراکم فیزیکی و شیمیایی، سیمانی شدن، شکستگی و رگه‌های پرشده و خوردگی دانه‌ها توسط کلسیت اشاره نمود (شکل ۵ A,B,F). تراکم فیزیکی یکی از عوامل اصلی کاهش فضاهای خالی سنگ به حساب می‌آید و میزان تراکم فیزیکی و شیمیایی به‌شدت وابسته به ژرفای دفن‌شدگی هستند [۴۰]. فشردگی فیزیکی سبب خروج آب و چرخش و خرد شدن دانه‌ها و آرایش متراکم دانه‌ها گردیده که به‌صورت تماس‌های نقطه‌ای و طولی قابل مشاهده است [۲۹]. از طرف دیگر فشردگی موجب خورده شدن حاشیه دانه‌ها نیز می‌شود و به‌صورت دندانه‌ای در می‌آیند. آثار فشردگی شیمیایی را در ماسه‌سنگ‌های سازند داهو در مقطع مورد مطالعه، به‌صورت تماس‌های محدب-مقعر و به‌ندرت مضرس، می‌توان مشاهده نمود استیلولیتی شدن نیز از فرایندهای شیمیایی دیاژنز است که بر اثر فشردگی و پس از انحلال

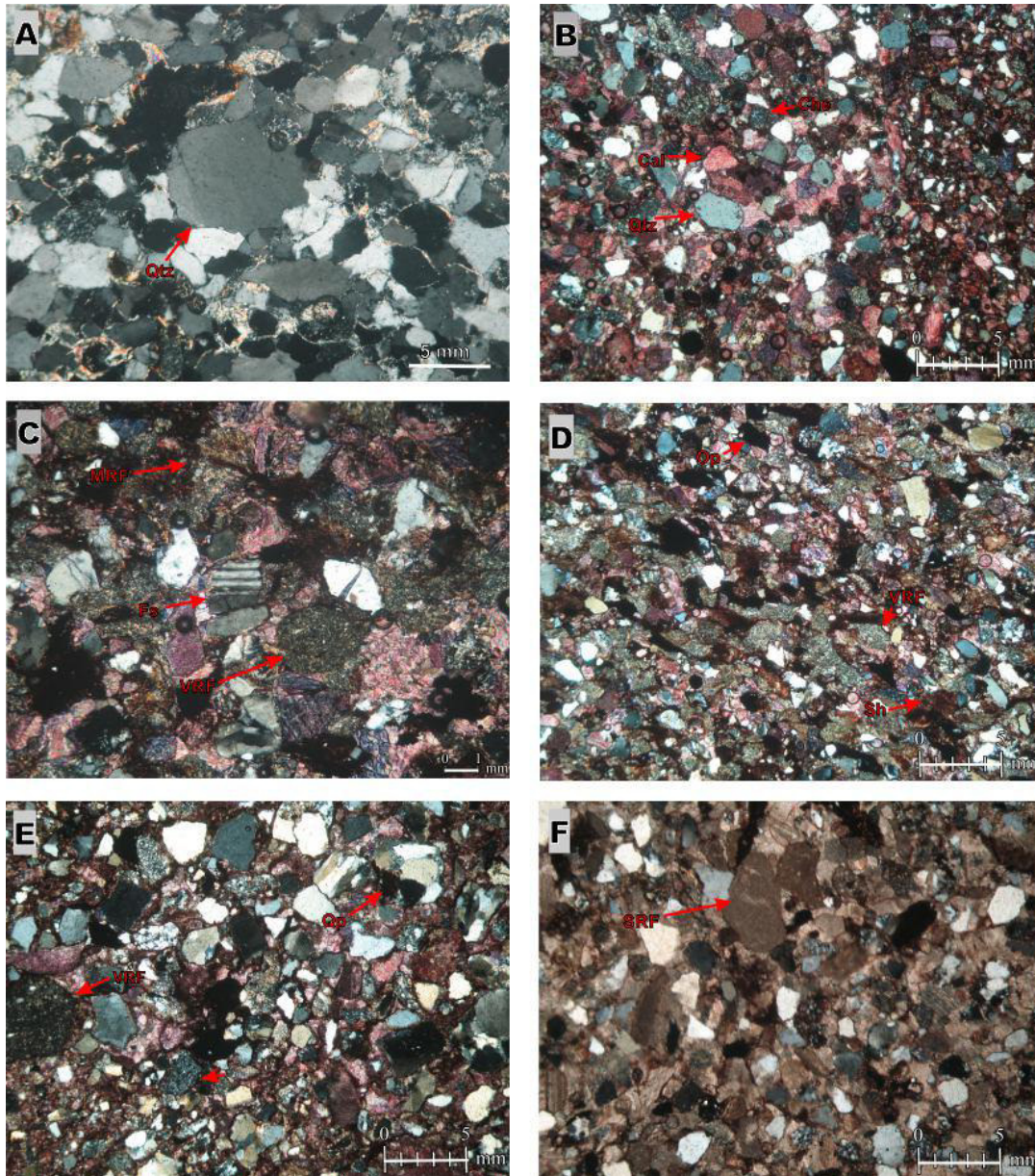
¹ Polymictic conglomerate

² Oligomictic

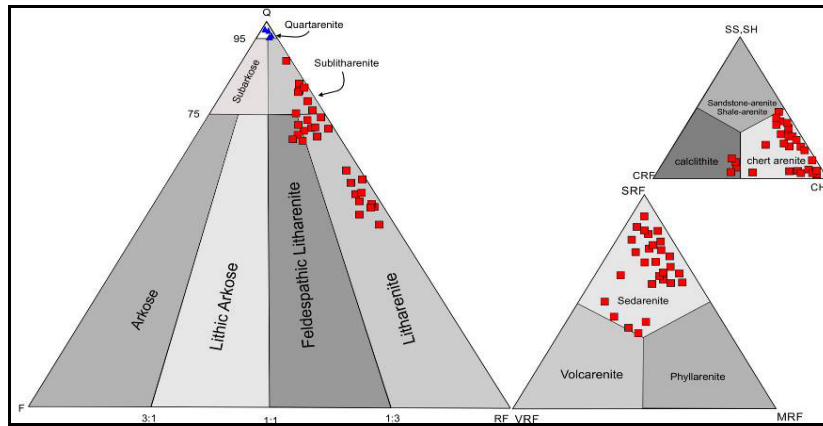
آن به ترتیب فراوانی سیمان‌های اکسید آهن و سیلیسی و در موارد بسیار کمی سیمان رسی به چشم می‌خورند. سیمان سیلیسی نیز خود به دو صورت پرکننده بین دانه‌ها و هم‌چنین به صورت سیمان رورشدی دیده می‌شود (شکل ۵ C, D).

فشارشی حاصل می‌شود [۶]. استیلولیت‌ها در مقطع مورد مطالعه، بیش‌تر توسط اکسیدهای آهن پر شده‌اند (شکل ۵ E).

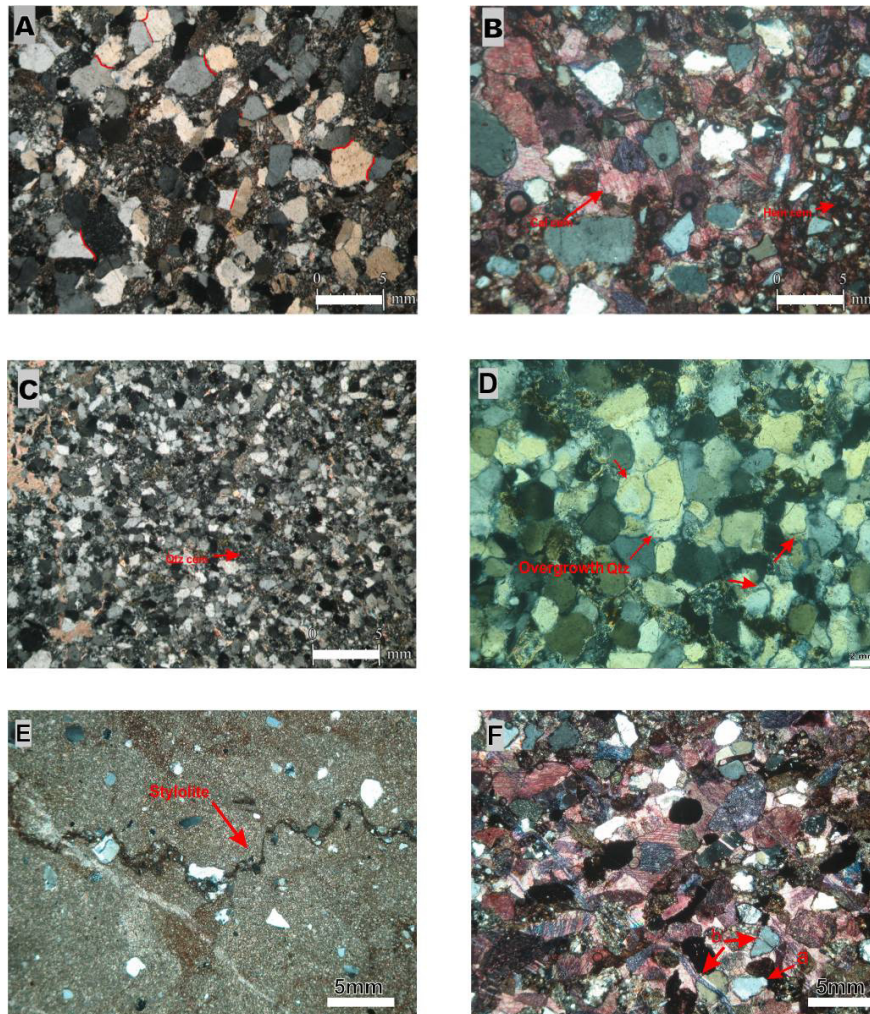
مهم‌ترین و فراوان‌ترین سیمانی که در ماسه‌سنگ‌های این سازند به چشم می‌خورد سیمان کلسیتی است و پس از



شکل ۳. انواع دانه‌های تشکیل‌دهنده نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند داهو در برش مورد مطالعه. (A) نمونه دانه کوارتز در یک نمونه ماسه‌سنگ کوارتز آرنایتی. (B) دانه‌های چرت، کوارتز و کلسیت در یک نمونه ماسه‌سنگ لیت آرنایتی. (C) انواع دانه‌های پلاژیوکلاز، خرده‌سنگ ولکانیکی و دگرگونی در یک ماسه‌سنگ لیت آرنایتی. (D) دانه‌های اپک، شیل و خرده‌سنگ ولکانیکی در ماسه‌سنگ لیت آرنایتی با جورشدگی متوسط. (E) کوارتز پلی کریستالین و خرده‌سنگ ولکانیکی و چرتی در ماسه‌سنگی با جورشدگی نسبتاً ضعیف. (F) خرده‌سنگ رسوبی در یک نمونه ماسه‌سنگی با سیمان کربناته.



شکل ۴. ترکیب سنگ‌شناسی به دست آمده برای ماسه‌سنگ‌های داهو بر اساس فولک [۱۶]، که نشان‌دهنده ترکیب لیت‌آرنایت، ساب‌لیت‌آرنایت و کوارتز‌آرنایت برای این ماسه‌سنگ‌ها می‌باشد و لیت‌آرنایت‌ها نیز سد‌آرنایت و از نوع چرت‌آرنایت و تعداد کمی نیز کلسی‌لیت‌آرنایت بودند.

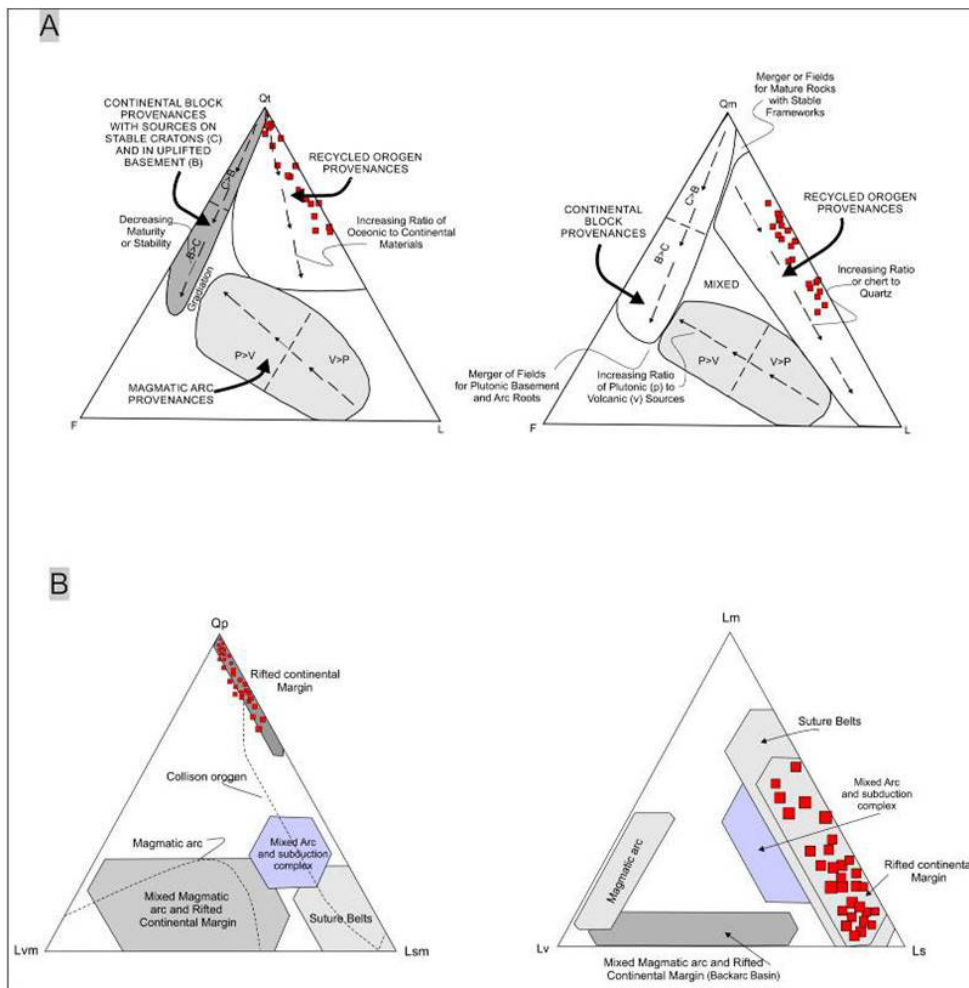


شکل ۵. فرایندهای دیاژنتیکی سازند داهو در برش مورد مطالعه. (A) انواع تماس‌های نقطه‌ای، طولی، محدب-مقعر و مخرسی بین دانه‌ها در اثر فشردگی فیزیکی و شیمیایی. (B) سیمان هماتیتی و کلسیتی پرکننده بین دانه‌ها. (C) سیمان سیلیسی پرکننده بین دانه‌ها. (D) سیمان سیلیسی از نوع کوارتز رورشدی. (E) استیلولیت که با اکسید آهن پر شده است. (F) خوردگی دانه کوارتز توسط کلسیت و شکستگی و رگه‌های پر شده با کلسیت

آنالیز مودال ذرات آواری

بر اساس آنالیز مودال ماسه‌سنگ، درصد انواع مختلف دانه‌ها بر روی دیاگرام‌های مثلثی ترسیم می‌گردد، و از این اطلاعات برای تفکیک منشأهای مختلف استفاده می‌شود [۱۵]. به این منظور نتایج حاصل از نقطه‌شماری را در نمودارهای استاندارد قرار می‌دهیم. وارد کردن داده‌های حاصل از نقطه‌شماری نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند داهو در مثلث‌های مذکور (شکل ۶ A) نشان

می‌دهد که این ماسه‌سنگ‌ها با جورشدگی ترکیبی متوسط تا نسبتاً بالا، در قسمت ماسه‌سنگ‌های سفید رنگ رأسی، دارای خاستگاه زمین‌ساختی کوهزایی چرخه مجدد هستند. علاوه بر این‌ها در مثلث‌های Qp Lvm و Lsm و Lv Lm Ls (شکل ۶ B) که بر قطعات سنگی تأکید دارد، نمونه‌های نقطه‌شماری شده در دو قسمت حاشیه‌ی قاره‌ای ریفتی و کوهزایی چرخه مجدد قرار می‌گیرند.



شکل ۶. وارد کردن داده‌های حاصل از نقطه‌شماری در مثلث‌های A: Qt F L و Qm F L [۱۵]، این ماسه‌سنگ‌ها دارای خاستگاه زمین‌ساختی کوهزایی چرخه مجدد هستند. B: Qp Lvm Lsm و Lv Lm Ls [۲۳]، تمام نمونه‌های نقطه‌شماری شده در قسمت حاشیه‌ی قاره‌ای ریفتی قرار می‌گیرند.

در این معادله، c نرخ و سرعت هوازدگی (آب‌وهوا) و r مدت‌زمان اقامت رسوبات در شرایط هوازدگی (برجستگی) است. در سیستم‌های رسوبی قدیمه میزان c و r بر پایه نمودار ارائه شده توسط ولتر [۴۳] محاسبه می‌شود. در این روش داده‌های نقطه‌شماری به‌صورت استاندارد در

ترکیب ماسه‌سنگ‌ها به‌طور نسبی، می‌تواند بیانگر تأثیرات آب‌وهوایی باشد [۴۱]. گرانتام و ولبل [۱۸] ضریب هوازدگی را به‌صورت زیر تعریف کرده‌اند:

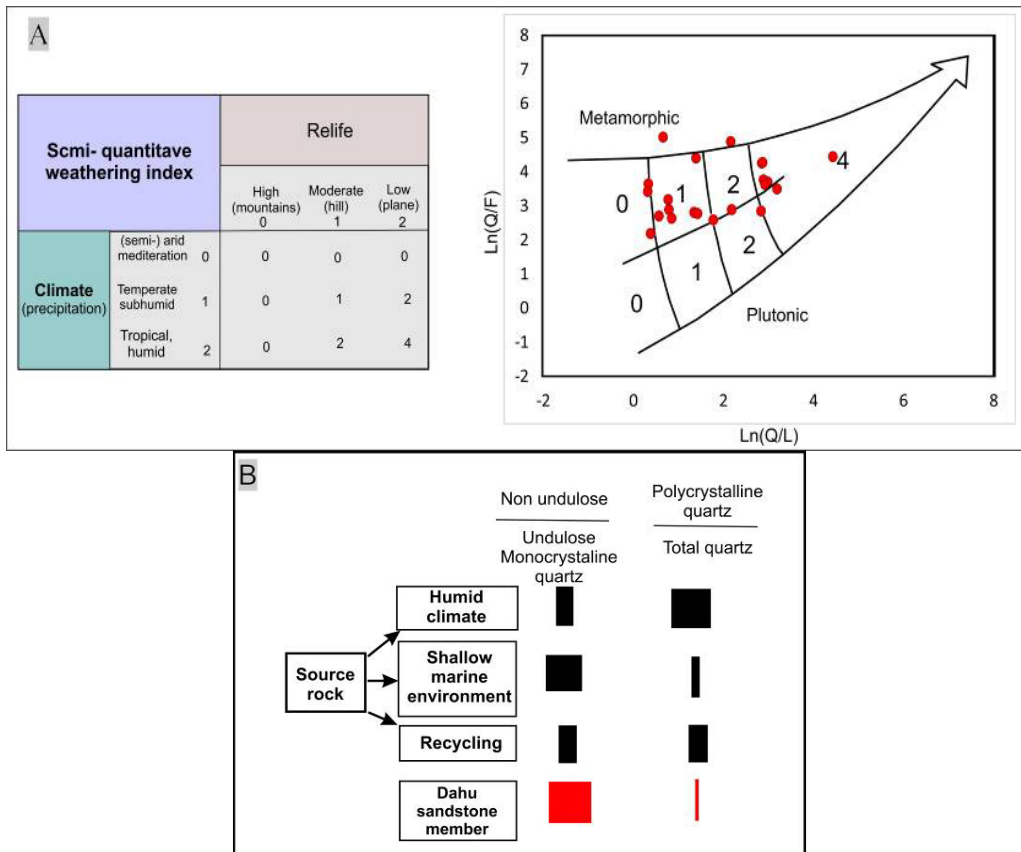
$$Wi = c \cdot r$$

افزایش میزان کوارتز در این داده‌ها بیش‌تر حاصل محیط رسوبی بانرژی بالاست تا تأثیر آب‌وهوا و چرخه‌ی مجدد رسوبی، البته به‌سادگی نیز نمی‌توان از کنار این نکته گذشت که آب‌وهوا از دیگر عوامل مهم کنترل‌کننده‌ی ترکیب ماسه‌سنگ‌ها است [۳۷].

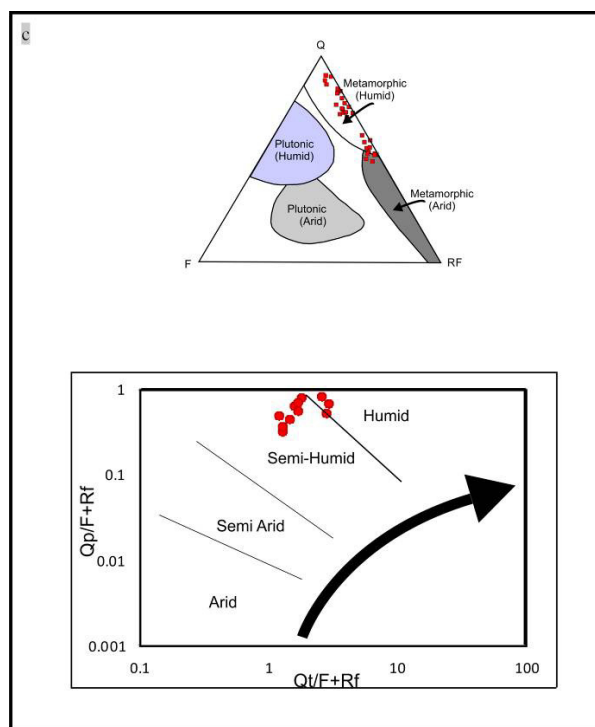
علاوه بر موارد فوق، در این تحقیق به‌منظور بررسی آب‌وهوا، بار دیگر داده‌های حاصل از نقطه‌ی شماری را بر روی نمودارهایی که توسط ساتنر و همکاران [۳۷] و ساتنر و دوتا [۳۸] ارائه شده بود، وارد شده است (شکل ۷). با این مطالعات وجود یک سنگ منشأ دگرگونی که بیش‌تر تحت تأثیر آب‌وهوای مرطوب و نیمه‌مرطوب بوده و تعداد کمی از نمونه‌ها نیز در آب‌وهوای نیمه‌خشک قرار می‌گرفتند، مشخص شد.

نمودار (LnQ/F) در مقابل (LnQ/L) قرار می‌گیرند، وارد نمودن داده‌های حاصل از نقطه‌ی شماری در این نمودار (شکل ۷ A) نشان می‌دهد که بیش‌تر ماسه‌سنگ‌های داهو در محدوده‌ی ضریب هوازدگی ۱ و در مواردی ۲ قرار می‌گیرند، که نشان‌دهنده‌ی ناحیه منشأ دگرگونی و در مواردی پلوتونیک (با غلبه منشأ دگرگونی)، برجستگی کم تا متوسط و آب‌وهوای نیمه‌مرطوب و به میزان کمتر مرطوب است.

هرچند استفاده از نمودار ارائه‌شده توسط مک [۲۶] (شکل ۷ B) بر پایه‌ی دو نسبت از انواع دانه‌های کوارتز، اهمیت تأثیر محیط رسوبی دریایی کم‌عمق در تعیین ترکیب ماسه‌سنگ‌های سازند داهو را بیش‌تر از آب‌وهوا و چرخه‌ی مجدد رسوبی نشان می‌دهد (به این مفهوم که



شکل ۷. A: وارد کردن داده‌های حاصل از نقطه‌ی شماری ماسه‌سنگ‌های سازند داهو در نمودار ارائه‌شده توسط ولتر [۴۳] اندیس هوازدگی حدوداً نزدیک ۱ و گاهی ۲ را نشان می‌دهد که مشخصه آب‌وهوای نیمه مرطوب و مرطوب، برجستگی متوسط تا کم و منشأ دگرگونی تا حدود کمی پلوتونیک است. B: با وارد کردن داده‌های حاصل از نقطه‌ی شماری در نمودار مک [۲۶]، و تطابق با آن، اهمیت محیط رسوبی دریایی کم عمق در تعیین ترکیب ماسه‌سنگ‌های داهو را بیش‌تر از آب‌وهوا و چرخه‌ی مجدد رسوبی نشان داد.



ادامه شکل ۷. C: داده‌های بدست آمده از نقطه‌شماری در دیگرام ساتنر و همکاران [۳۷] و نمودار ساتنر و دوتا [۳۸]. نمونه‌های ماسه‌سنگی داهو در قسمت عمده‌ای از برش مورد مطالعه در آب‌وهوای مرطوب تا نیمه مرطوب و نمونه‌های مربوط به کوارتزآرنایت رأسی در بخش مرطوب بر جای گذاشته شده‌اند. نمودار ساتنر و همکاران [۳۷] نیز منشأ تمام ماسه‌سنگ‌های داهو را دگرگونی نشان می‌دهد.

ژئوشیمی

طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها

داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های سازند داهو بر روی نمودار پتی‌جان و همکاران [۳۳] تقریباً در تمامی محدوده‌های لیت‌آرنایت، ساب لیت‌آرنایت، کوارتزآرنایت، ساب‌آرکوز و گری‌وک با فراوانی‌های متفاوت پراکنده‌اند (شکل ۸) که با نتایج پتروگرافی منطبق است.

اکسید عناصر اصلی و Al_2O_3

اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)، معمولاً به‌عنوان فاکتوری برای مقایسه میان سنگ‌شناسی‌های مختلف به‌کاربرده می‌شود. به این دلیل که Al_2O_3 در طی هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی نسبتاً بدون تغییر است. این در حالی است که CaO و K_2O ، Na_2O به‌عنوان بیش‌ترین فازهای متغیر در ماسه‌سنگ‌ها شناخته می‌شوند [۱۷].

در نمونه‌های ماسه‌سنگی بررسی‌شده Al_2O_3 در برابر دیگر اکسیدها قرار گرفته است، بر اساس شکل ۹، SiO_2 با Al_2O_3 ، CaO ، Na_2O ، P_2O_5 ، MgO و MnO روند به‌خصوصی را نشان نمی‌دهند. مقادیر Fe_2O_3 ، TiO_2

K_2O ، نیز انطباق مثبتی را با Al_2O_3 نشان می‌دهند. تبعیت این اکسیدها از روند Al_2O_3 ، نشان‌دهنده وجود کانی‌های رسی در این سنگ‌ها است چرا که این عنصر به‌طور خاص در آلومینوسیلیکات‌ها حضور دارد [۱۴]، [۳۳]. بالا بودن میزان Fe_2O_3 ، CaO و MgO در نمونه‌ها می‌تواند به دلیل حضور سیمان‌های دیاژنتیکی کلسیتی و هماتیته باشد [۱۴]. فرآیندهای پس از رسوب‌گذاری و یا فقدان سنگ‌های منشأ حاوی پلاژیوکلاز سدیم‌دار، باعث تخلیه نسبی اکسید سدیم و کاهش اندیس آلتراسیون پلاژیوکلاز در پوسته قاره‌ای بالایی می‌شود [۲].

خاستگاه و جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های

سازند داهو

ترکیب شیمیایی سنگ‌های آواری تابع فرایندهای پیچیده‌ای است. اگر تأثیر این فرایندها کم و فاصله‌ی حمل کوتاه باشد، ترکیب ژئوشیمیایی سنگ‌های تخریبی منعکس‌کننده‌ی لیتولوژی منشأ آن‌ها است [۲۵]. در این بخش با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی به تفسیر خاستگاه می‌پردازیم.

دیاگرام تابع تفکیک‌کننده

روزر و کورچ [۳۵] نمودار دو تابع تمایزی را برای شناسایی رسوبات با منشأ آذرین مافیک، حدواسط، فلسیک و رسوبی کوارتزی ارائه کردند. این نمودار بر اساس اکسیدهای Ti ، Al ، Ca ، Mg ، Fe ، Na و K چهار منشأ مذکور را از یکدیگر جدا می‌سازد. داده‌های اکسیدی نمونه‌های مورد مطالعه در دیاگرام تابع تمایزی، در ناحیه با منشأ آذرین حدواسط/مافیک و نمونه‌های ماسه‌سنگ سفید رأسی در منشأ رسوبی کوارتزی قرار می‌گیرند (شکل ۱۱). روزر و کورچ [۳۵] جهت حذف داده‌های مربوط به CaO و SiO_2 بیوژنیک از نسبت اکسیدهای اصلی به‌منظور تعیین منشأ ماسه‌سنگ‌های ماسه‌سنگی - گلسنگی استفاده کردند. نمونه‌های ماسه‌سنگی - شیلی مورد مطالعه (به‌استثنای یک نمونه ماسه‌سنگی) همگی در محدوده منشأ آذرین حدواسط و کوارتزی رسوبی قرار می‌گیرند (شکل ۱۲).

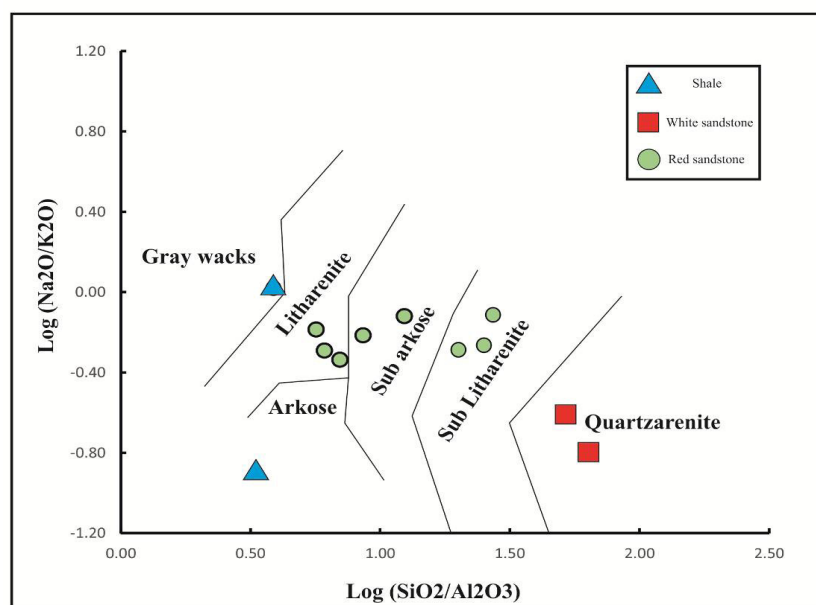
دیاگرام SiO_2 در مقابل $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$

بر اساس دیاگرام روزر و کورچ [۳۴] مقادیر SiO_2 در برابر نسبت $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$ محیط حاشیه فعال قاره‌ای و تنها در یک مورد کوارتزی راسی جایگاه غیر فعال را نشان داد (شکل ۱۰ A).

دیاگرام‌های TiO_2 در مقابل $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ و

$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ در مقابل $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$

در دیاگرام $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ در مقابل $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ [۸] نمونه‌ها در دو محدوده حاشیه فعال قاره‌ای می‌گیرند (شکل ۱۱ B). مقادیر عنصری نمونه‌های مورد مطالعه در دیاگرام TiO_2 در مقابل $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ [۸] اکثراً (بجز نمونه‌های کوارتزی راسی) در محدوده حاشیه فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰ C).



شکل ۸. داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های سازند داهو بر روی نمودار پتی جان و همکاران [۳۳].

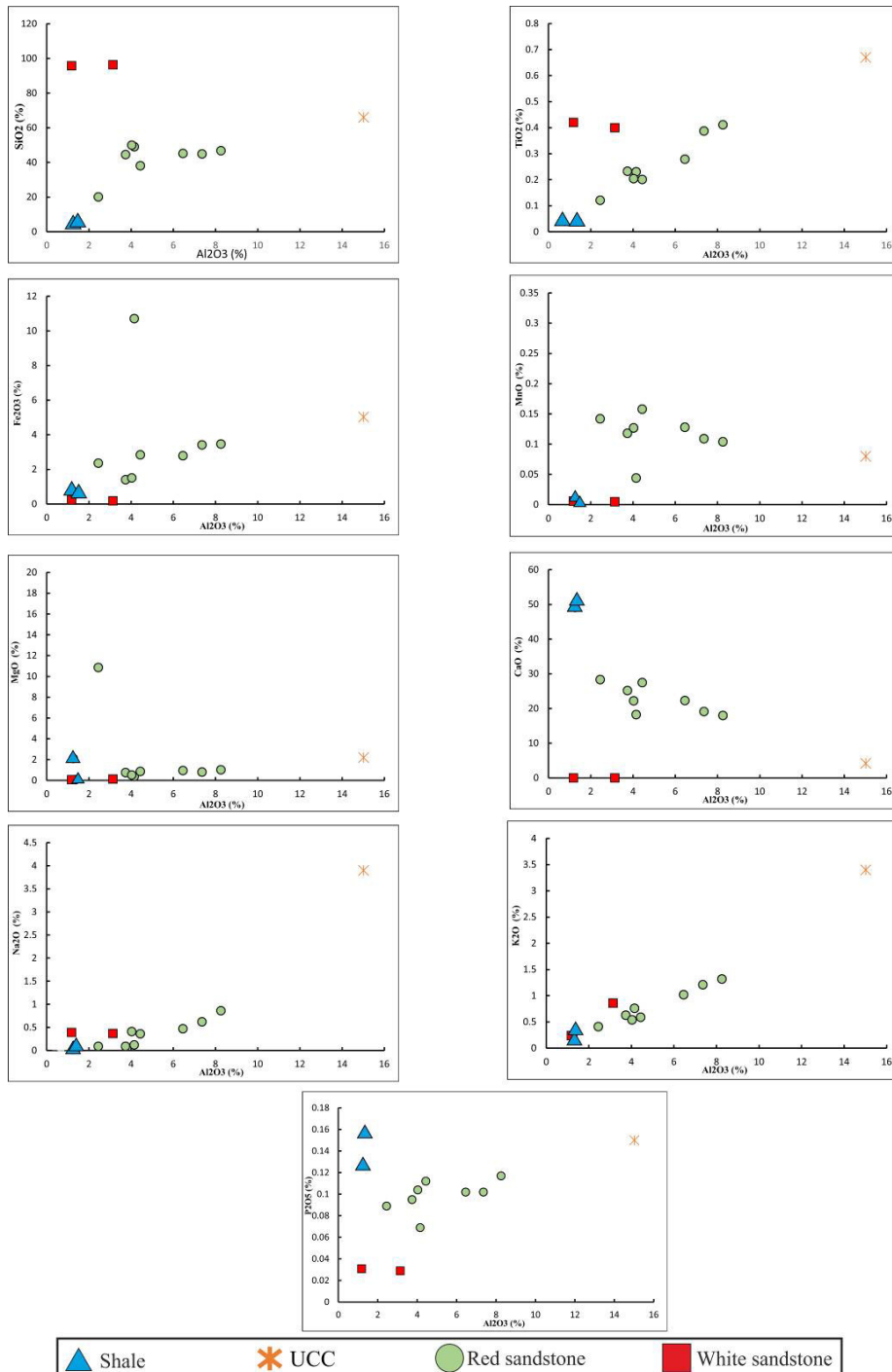
اشاره داشت. نکته قابل‌توجه در محاسبه اندیس هوازدگی، قرارگیری تنها مقادیر CaO موجود در کانی‌های سیلیکاتی در این فرمول‌ها است. با توجه به حضور چشم‌گیر سیمان‌های کربناتی در نمونه‌های مورد مطالعه و میزان CaO بسیار متغیر، مقادیر حاصله از CIA و دارای خطای زیادی می‌گردند، بنابراین برای

هوازدگی سنگ منشأ

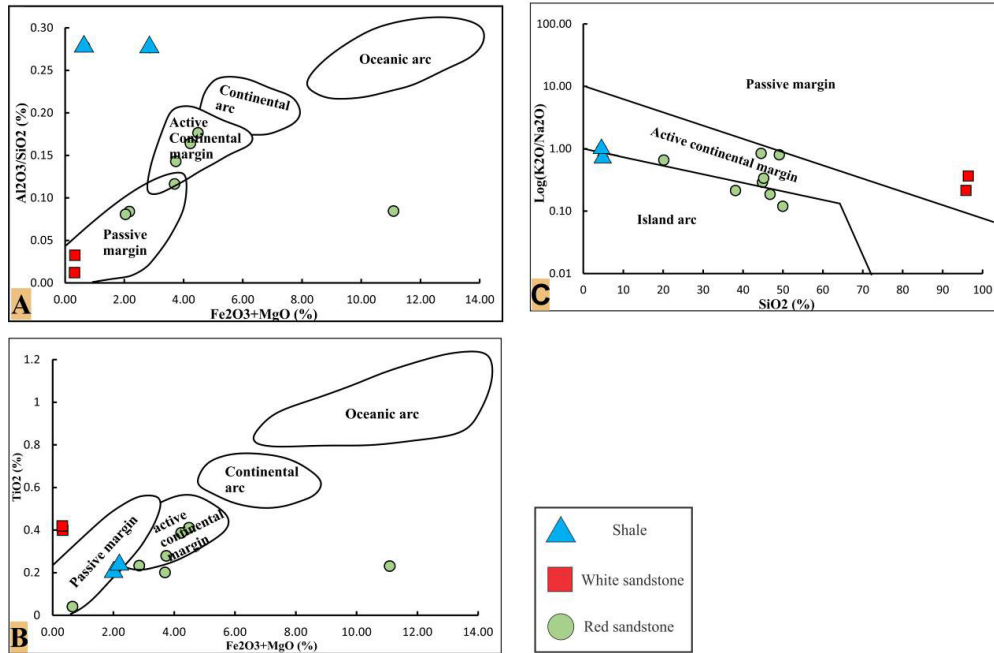
تعیین میزان هوازدگی در سنگ‌های رسوبی از طریق داده‌های ژئوشیمیایی، از ارتباط بین عناصر قلیایی با قلیایی خاکی انجام می‌گیرد [۳۱]. از اندیس‌های معمول هوازدگی می‌توان به اندیس هوازدگی نزبیت و یانگ [۳۱] $\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}] \cdot 100$ و یا هارنویز [۲۰] $\text{CIW} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}] \cdot 100$

شیمیایی بالای سنگ منشأ رسوبی است. این میزان هوازدهی با مشاهدات پتروگرافی مینی بر حذف دانه‌های پلاژیوکلاز و کمی دانه‌های K فلدسپار و قطعات سنگی مطابقت دارد [۵].

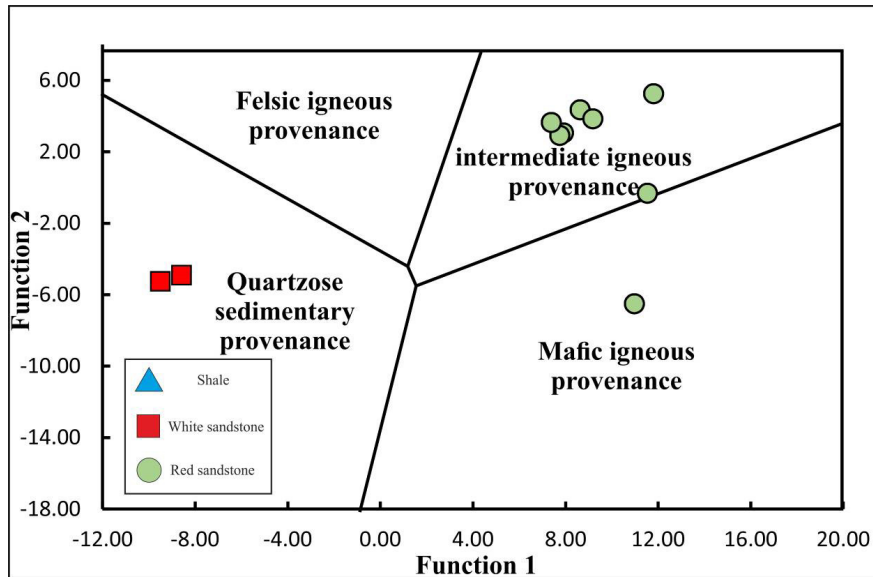
حذف اثر نامطلوب سیمان کربناتی، در محاسبه اندیس هوازدهی از فرمول کالرز [۱۳] استفاده گردیده است:
 $CWI = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O)] \cdot 100$
 مقدار عددی بالای به‌دست‌آمده (CWI=93) از محاسبه درجه هوازدهی در نمونه‌های ماسه‌سنگی بیانگر هوازدهی



شکل ۹. بررسی تغییرات اکسیدهای اصلی نسبت به Al_2O_3 داده‌های UCC مربوط به پوسته قاره‌ای بالایی می‌باشند [۳۹]. همانطور که مشاهده می‌شود، نمونه‌ها در بیش‌تر عناصر اختلاف زیادی با UCC نشان می‌دهند.



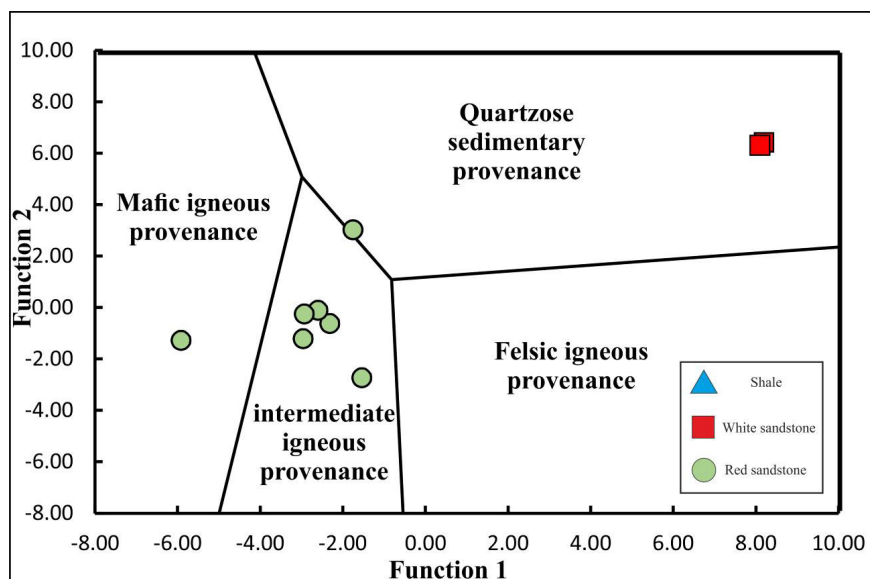
شکل ۱۰. A) در مقابل K_2O / Na_2O روزر و کورش [۳۴]. نمونه‌های ماسه‌سنگی با مقادیر بالایی از SiO_2 و K_2O / Na_2O در فیلد حاشیه قاره‌ای فعال قرار گرفته‌اند. B) در مقابل Al_2O_3/SiO_2 در مقابل Fe_2O_3+MgO باتیا [۸]. نمونه‌ها در فیلد مربوط به حاشیه قاره‌ای فعال جای گرفته‌اند. C) در مقابل Ti_2O باتیا [۸]. نمونه‌ها در نزدیکی فیلد حاشیه قاره‌ای فعال قرار دارند.



شکل ۱۱. دیاگرام تفکیک‌کننده تابعی با استفاده از مقادیر اکسیدی عناصر اصلی [۳۵]. نمونه‌های ماسه‌سنگی اکثراً در بخش آذرین حدواسط قرار گرفته و نمونه‌های ماسه‌سنگ سفید در بخش خاستگاه رسوبی کوارتزی قرار گرفته‌اند تنها دو نمونه در قسمت آذرین مافیک حدواسط قرار دارند.

$$\text{Discrimination function 1} = -1.773TiO_2 + 0.607Al_2O_3 + 0.76Fe_2O_3 (t) - 1.5MgO + 0.616CaO + 0.509Na_2O - 1.224K_2O - 9.09$$

$$\text{Discrimination function 2} = 0.445TiO_2 + 0.07Al_2O_3 - 0.25Fe_2O_3 (t) - 1.142MgO + 0.438CaO + 1.475Na_2O + 1.426K_2O - 6.861$$



شکل ۱۲. دیاگرام تفکیک‌کننده تابعی با استفاده از مقادیر اکسیدی عناصر اصلی [۳۵]. نمونه‌های ماسه‌سنگی اکثراً در بخش آذرین حدواسط و یکی از آن‌ها در بخش رسوبی کوارتزی قرار گرفته و نمونه‌های ماسه‌سنگ سفید در بخش خاستگاه رسوبی کوارتزی قرار گرفته‌اند تنها یک نمونه در قسمت آذرین مافیک حدواسط قرار دارند.

$$\text{Discrimination function 1} = 30.638 \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541 \text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{t})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$$

$$\text{Discrimination function 2} = 56.500 \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{t})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$$

لیت‌آرنایتی (بیش‌تر از نوع چرت‌آرنایت)، و به میزان کمتری فلدسپاتیک لیت‌آرنایت با بلوغ بافتی و ترکیبی متوسط تا بالا است. این ماسه‌سنگ‌ها به طرف رأس مقطع مورد مطالعه به گروه دوم که شامل ماسه‌سنگ‌های کوارتزآرنایتی (تا ساب لیت‌آرنایت) متوسط دانه با بلوغ بافتی و ترکیبی بسیار بالا هستند، تبدیل می‌شوند. مهم‌ترین فرایند دیاژنتیکی مؤثر بر این ماسه‌سنگ‌ها شامل تراکم فیزیکی و شیمیایی و تشکیل سیمان‌های سیلیسی، کربناته و اکسید آهنی و در برخی موارد سیمان رسی است.

حضور کانی فرعی کلریت، قطعات سنگی دگرگونی و کوارتزهای دگرگونی، از شواهد منشأ دگرگونی درجه متوسط تا بالا؛ حضور کوارتزهای تک بلور پلوتونیک و قطعات سنگی ولکانیکی از شواهد منشأ آذرین اسیدی؛ حضور قطعات سنگی رسوبی و کوارتزهای تک بلور با سیمان رشد اضافی فرسایش یافته، از شواهد منشأ رسوبی؛ نشان می‌دهند که این ماسه‌سنگ‌ها از منشأهای مختلف مشتق شده‌اند. چرت‌ها نیز منشأ شیمیایی داشته و از هوازدگی سنگ‌های ولکانیکی حاصل

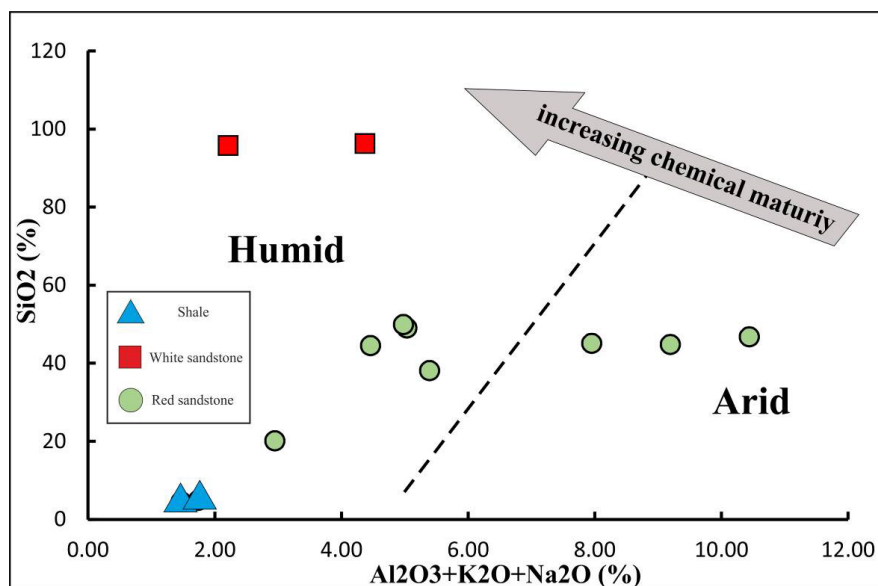
با توجه به نمودار ژئوشیمیایی ساتنر و دوتا [۳۸]، از اکسیدهای اصلی جهت تعیین آب‌وهوا نیز استفاده می‌شود که بیش‌تر نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند داهو در ناحیه آب‌وهوای مرطوب و تعداد کمی از آن‌ها در قسمت آب‌وهوای خشک قرار گرفتند، که این نتیجه با نتیجه به‌دست‌آمده از طریق نقطه‌شماری نیز هم‌خوانی دارد (شکل ۱۳). بنابراین، در این ماسه‌سنگ‌ها، بطور نسبی درجه هوازدگی و مقادیر اندیس شیمیایی آلتراسیون متوسط تا شدید بوده و حاکی از آب و هوای نیمه خشک تا مرطوب در زمان نهشت این رسوبات است. هم‌چنین احتمالاً رسوبات از سیکل اول رسوبی و یا فرآیند چرخه مجدد با تنوع ترکیبی ناچیز نتیجه شده‌اند.

نتیجه‌گیری

مطالعات صورت گرفته بر روی ترکیب سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ‌های سازند داهو بر اساس مطالعات میکروسکوپی (نقطه‌شماری) نشان‌دهنده وجود دو گروه عمده ماسه‌سنگ با خصوصیات متفاوت است: اولین و بیش‌ترین گروه مربوط به ماسه‌سنگ‌های سرخ

چرخه مجدد را برای محل منشأ آن‌ها ارائه می‌کند. مطالعات بر روی اکسیدهای عناصر اصلی این ماسه‌سنگ‌ها (به منظور تفکیک جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌ها)، رسوب‌گذاری در یک محیط رسوبی وابسته به حوضه حاشیه فعال را تأیید می‌کند.

شده‌اند. ضریب هوازدگی بالای به‌دست‌آمده از نمونه‌های مورد مطالعه (CWI=93) نشان از هوازدگی شدید سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها است که ناشی از شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب در منطقه است. نتایج XRF با استفاده از دیگرام‌ها (به منظور تفکیک جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها) نیز جایگاه قاره‌ای فعال و کوهزایی همراه با



شکل ۱۳. دیگرام آب‌وهوایی ساتنر و دوتا [۳۸] تمامی نمونه‌ها به جز ۳ نمونه در محدوده آب‌وهوای مرطوب قرار می‌گیرند.

- [7] Basu, A., Young, S. W., Suttner, L. J., James, W. C., and Mack, G. H (1975) Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Research*, 45(4).
- [8] Bhatia, M. R (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 611-627.
- [9] Bhatia, M. R., and Crook, K. A (1986) Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to mineralogy and petrology*, 92(2), 181-193.
- [10] Condie, K. C., Dengate, J., and Cullers, R. L (1995) Behavior of rare earth elements in a paleoweathering profile on granodiorite in the Front Range, Colorado, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(2), 279-294.
- [11] 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, Colorado, USA. *Chemical Geology*, 113(3), 327-343.
- [12] Cullers, R. L (1995) The controls on the major-and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to

منابع

- [۱] آقاباتی، ع (۱۳۸۹) زمین‌شناسی ایران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- [۲] اعتماد سعید، ن، حسینی‌برزی، م (۱۳۸۸) ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های سازند لالون در مقطع باهمو، ایران مرکزی: با نگرشی بر سنگ مادر، شرایط هوازدگی قدیمه و جایگاه زمین‌ساختی. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره نهم، بهار ۱۳۸۸، صفحات ۶۵-۵۳.
- [۳] حمدی، ب (۱۳۷۴) سنگ‌های رسوبی پرکامبرین، کامبرین در ایران. تهران.
- [۴] خلعتبری‌جعفری و علایی‌مه‌بادی (۱۳۷۵) نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نطنز.
- [5] Amireh, B. S (1991) Mineral composition of the Cambrian-Cretaceous Nubian series of Jordan: provenance, tectonic setting and climatological implications. *Sedimentary Geology*, 71(1-2), 99-119.
- [6] Baron, M., and Parnell, J (2007) Relationships between stylolites and cementation in sandstone reservoirs: Examples from the North Sea, UK and East Greenland. *Sedimentary Geology*, 194(1), 17-35.

- tectonic setting. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(2), 247-260.
- [25] Lacassie, J. P., Roser, B., Del Solar, J. R., and Hervé, F (2004) Discovering geochemical patterns using self-organizing neural networks: a new perspective for sedimentary provenance analysis. *Sedimentary Geology*, 165(1), 175-191.
- [26] Mack, G. H (1978) The survivability of labile light-mineral grains in fluvial, aeolian and littoral marine environments: the Permian Cutler and Cedar Mesa Formations, Moab, Utah. *Sedimentology*, 25(5), 587-604.
- [27] McBride, E. F (1985) Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone Provenance of arenites (pp. 95-113): Springer.
- [28] McLennan, S., Taylor, S., McCulloch, M., and Maynard, J (1990) Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(7), 2015-2050.
- [29] Mörk, M. B. E., and Moen, K (2007) Compaction microstructures in quartz grains and quartz cement in deeply buried reservoir sandstones using combined petrography and EBSD analysis. *Journal of Structural Geology*, 29(11), 1843-1854.
- [30] Morton, A. C (1985) Heavy minerals in provenance studies Provenance of arenites (pp. 249-277): Springer.
- [31] Nesbitt, H., and Young, G (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299 (5885), 715-717.
- [32] Pettijohn, F (1975) *Sedimentary Rocks*. Harper and Row Publishers. New York.
- [33] Pettijohn, F. J., Potter, P. E., and Siever, R (1987) *Sand and sandstone*: Springer Science & Business Media.
- [34] Roser, B., and Korsch, R (1986) Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using content and ratio. *The Journal of Geology*, 635-650.
- [35] Roser, B., and Korsch, R (1988) Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, 67(1), 119-139.
- [36] Stöcklin, J., and Setudehnia, A (1971) *Stratigraphic Lexicon of Iran*. Ministry of Industry and Mines (pp. 376).
- [37] Suttner, L. J., Basu, A., and Mack, G. H (1981) Climate and the origin of quartz arenites. *Journal of Sedimentary Research*, 51(4).
- [38] Suttner, L. J., and Dutta, P. K (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, USA. *Chemical Geology*, 123(1), 107-131.
- [13] 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(3), 181-203.
- [14] Das, A., Krishnaswami, S., and Kumar, A (2006) Sr and 87Sr/86Sr in rivers draining the Deccan Traps (India): Implications to weathering, Sr fluxes, and the marine 87Sr/86Sr record around K/T. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7(6).
- [15] Dickinson, W. R (1985) Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones Provenance of arenites (pp. 333-361): Springer.
- [16] Folk, R (1980) *Petrography of sedimentary rocks*: Hemphill Publishing Company.
- [17] Getaneh, W (2002) Geochemistry provenance and depositional tectonic setting of the Adigrat Sandstone northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 35(2), 185-198.
- [18] Grantham, J. H., and Velbel, M. A (1988) The influence of climate and topography on rock-fragment abundance in modern fluvial sands of the southern Blue Ridge Mountains, North Carolina. *Journal of Sedimentary Research*, 58(2).
- [19] Guo, Q., Xiao, W., Windley, B. F., Mao, Q., Han, C., Qu, J., Yong, Y (2012) Provenance and tectonic settings of Permian turbidites from the Beishan Mountains, NW China: implications for the Late Paleozoic accretionary tectonics of the southern Altai. *Journal of Asian Earth Sciences*, 49, 54-68.
- [20] Harnois, L (1988) The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology*, 55(3), 319-322.
- [21] Huckriede, R., Kursten, M., Venzlaff, H., and für Bodenforschung, B (1962) Zur Geologie des Gebietes zwischen Kerman und Sagand (Iran): Vertrieb durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung.
- [22] Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., Pickle, J. D., and Sares, S. W (1984) The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Research*, 54(1), 103-116.
- [23] Ingersoll, R. V., and Suczek, C. A (1979) Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 218. *Journal of Sedimentary Research*, 49(4).
- [24] Jafarzadeh, M., and Hosseini-Barzi, M (2008) Petrography and geochemistry of Ahwaz Sandstone Member of Asmari Formation, Zagros, Iran: implications on provenance and

- Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Research*, 56(3).
- [39] Taylor, S. R., and McLennan, S. M (1985) The continental crust: its composition and evolution.
- [40] Tucker, M. E (2001) *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. London: Scientific Publication.
- [41] Velbel, M. A., and Saad, M. K (1991) Palaeoweathering or diagenesis as the principal modifier of sandstone framework composition? A case study from some Triassic rift-valley redbeds of eastern North America. *Geological Society, London, Special Publications*, 57(1), 91-99.
- [42] von Eynatten, H (2004) Statistical modelling of compositional trends in sediments. *Sedimentary Geology*, 171(1), 79-89.
- [43] 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 (Vol. 121): Utrecht University.
- [44] Whitmore, G. P., Crook, K. A., and Johnson, D. P (2004) Grain size control of mineralogy and geochemistry in modern river sediment, New Guinea collision, Papua New Guinea. *Sedimentary Geology*, 171(1), 129-157.
- [45] Yang, S., Wang, Z., Guo, Y., Li, C., and Cai, J (2009) Heavy mineral compositions of the Changjiang (Yangtze River) sediments and their provenance-tracing implication. *Journal of Asian Earth Sciences*, 35(1), 56-65.