

ژئوشیمی و خاستگاه ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در استان خوزستان

محمدحسین قبادی^{۱*}، بهروز رفیعی^۱، مجتبی حیدری^۱، ساجدالدین موسوی^۲ و موسی اسفندیاری^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۲- عضو هیات علمی دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

۳- کارشناس ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

نویسنده مسئول: *amirghobadi@yahoo.com

دریافت: ۹۲/۸/۲۰ پذیرش: ۹۳/۳/۷

چکیده

سازند آغاچاری شامل تناوبی از مارن، ماسه‌سنگ و لای‌سنگ همراه با رگه‌های ژئوپسی است که با سن میوسن-پلیوسن به‌طور گسترده در جنوب و جنوب‌غرب ایران رخنمون دارد. با این وجود، اطلاعات کمی در رابطه با نحوه‌ی تشکیل این سازند در دسترس می‌باشد. در این پژوهش، خصوصیات سنگ‌شناسی و آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های این سازند به منظور شناسایی خاستگاه و تکتونیک خاستگاه آن در استان خوزستان مد نظر قرار گرفته است. بررسی‌های سنگ‌شناسی ۲۹ نمونه ماسه‌سنگ مشخص کرد که این ماسه‌سنگ‌ها در رده کالک‌لیتایت و ولک‌آرنایت قرار دارند. بیش‌تر نمونه‌ها سیمان کلسیتی دارند؛ بقیه نمونه‌ها بدون سیمان یا سیمان ژئوپسی هستند. از سوی دیگر، دیاگرام‌های تفکیک خاستگاه نشان می‌دهند که این ماسه‌سنگ‌ها دارای خاستگاه رسوبی - کوارتزی هستند و از کوهزایی چرخه مجدد مشتق شده‌اند. آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی برای این ماسه‌سنگ‌ها بیانگر آن است که ترکیب شیمیایی آن‌ها لیت‌آرنایت، ماسه‌سنگ آهن‌دار و نیز گری‌وک می‌باشند. هم‌چنین، ترسیم داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی بر روی نمودارهای تفکیک جایگاه تکتونیک حوضه رسوبی، نشان دهنده تهنشینی این ماسه‌سنگ در یک حاشیه فعال قاره‌ای است.

واژه‌های کلیدی: ماسه‌سنگ، سازند آغاچاری، ژئوشیمی، خاستگاه تکتونیک، استان خوزستان

مقدمه

ژئوشیمی جهت مطالعه آن‌ها، نسبت به دیگر رسوبات آواری اولویت دارند. هم‌اکنون بررسی خاستگاه رسوبات آواری به روش‌های گوناگونی مانند مطالعات سنگ‌شناسی و ژئوشیمی انجام می‌شود. بررسی خرده سنگ‌ها و کانی‌های سنگین معمول‌ترین روش‌های سنگ‌شناسی می‌باشند [۲۴ و ۲۶]. از سوی دیگر، تفسیر خاستگاه و تکتونیک منشا را نیز می‌توان با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی انجام داد [۶، ۲۳، ۳۳ و ۳۴]. سازند آغاچاری یکی از گسترده‌ترین سازندهای رخنمون‌یافته در جنوب و جنوب‌غرب کشور به ویژه استان خوزستان می‌باشد. با این وجود، تاکنون بررسی جامعی در ارتباط با محیط رسوبی، ویژگی‌های ژئوشیمیایی و خاستگاه تکتونیک این سازند انجام نشده است. به همین منظور، در این پژوهش تلاش شده است تا بر پایه مطالعات سنگ‌شناسی و آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های این سازند، موقعیت

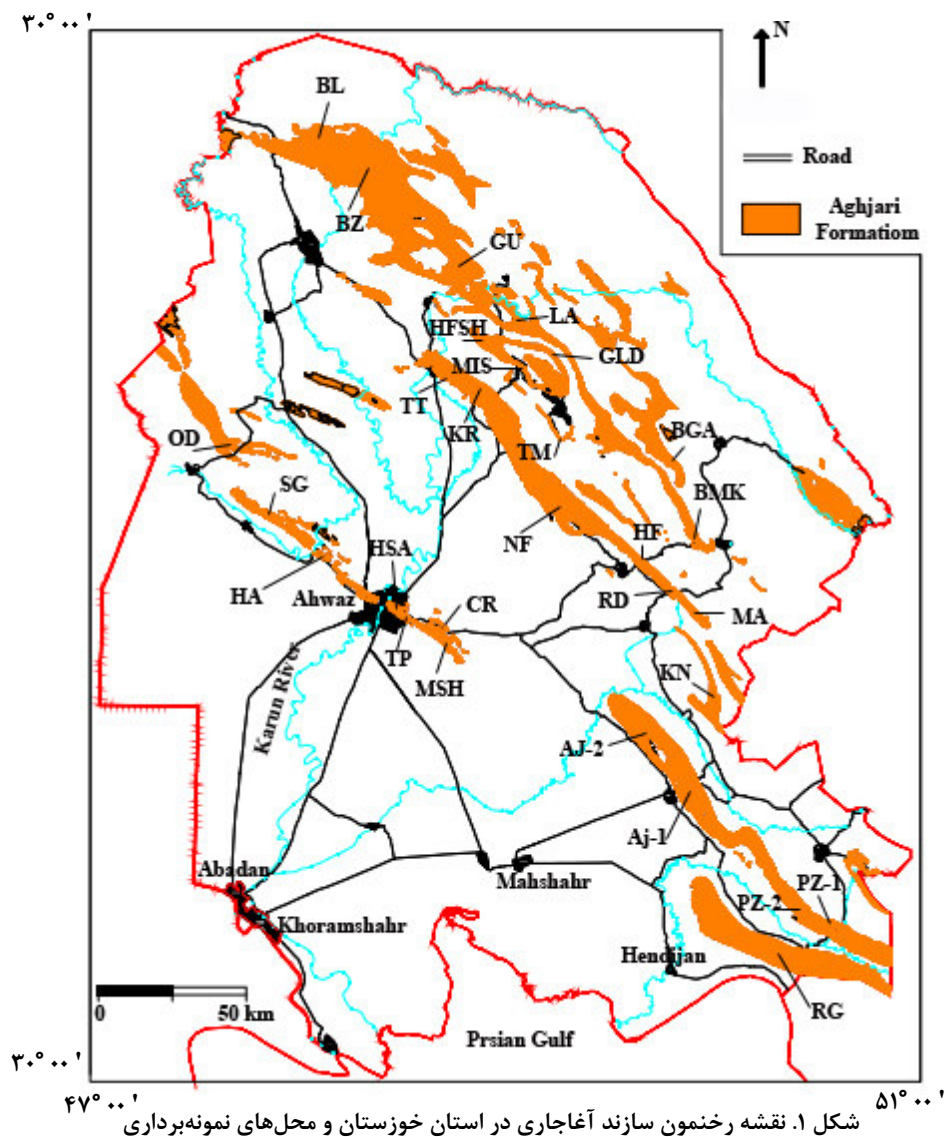
ماسه‌سنگ‌ها تقریباً یک چهارم سنگ‌های رسوبی سطح زمین را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها در تمام دوره‌های زمین‌شناسی وجود داشته‌اند. اما ترکیب کانی‌شناسی و ویژگی‌های بافتی آن‌ها از محلی به محل دیگر و از دوره‌ای به دوره دیگر متفاوت می‌باشد [۸]. هرچند هوازدگی، جابجایی و فرآیندهای رسوبگذاری بر ویژگی‌های بافتی ماسه‌سنگ‌ها تاثیرگذار بوده است، اما ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها تحت تاثیر ترکیب شیمیایی اولیه سنگ مادر و تکتونیک حوضه‌های رسوبی است [۲۱]. به همین دلیل ترکیب ماسه‌سنگ‌ها نشان‌دهنده خاستگاه و شرایط هوازدگی ناحیه منشا آن‌ها می‌باشد [۴، ۲۵ و ۳۱]. از سوی دیگر، آگاهی از خاستگاه این سنگ‌ها می‌تواند به شناخت نحوه تکامل جغرافیایی و تکتونیک دیرینه آن‌ها کمک نماید [۱۴]. در این شرایط ماسه‌سنگ‌ها به دلیل تنوع روش‌های مختلف پتروگرافی و

رسوبات مولاسی بوده که در آخرین فازهای کوهزایی در زاگرس تشکیل شده‌اند. چینه‌شناسی این سازند در برش نمونه اولین بار در میدان نفتی آغاچاری به ضخامت ۲۹۶۶ متر توسط جیمز و وایند [۲۰] مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). سازند آغاچاری شامل توالی‌های ریزشونده است. هر توالی معمولاً بین ۱۰ تا ۱۰۰ متر ضخامت دارد. به‌طور کلی، این سازند از ماسه‌سنگ‌های ریزدانه تا درشت‌دانه به رنگ قهوه‌ای تا خاکستری، مارن‌های رنگین و لای‌سنگ‌های قرمز همراه با رگه‌های ژیبسی تشکیل شده است [۱]. براساس آثار فسیلی سن سازند آغاچاری میوسن پایانی تا پلیوسن تعیین گردیده است [۲۰]. مرز زیرین و بالایی این سازند به ترتیب با سازند میشان و بخش لهبری به‌صورت تدریجی و هم‌شیب می‌باشد (شکل ۳).

تکتونیک حوضه در زمان رسوبگذاری سازند یادشده در استان خوزستان تعیین گردد.

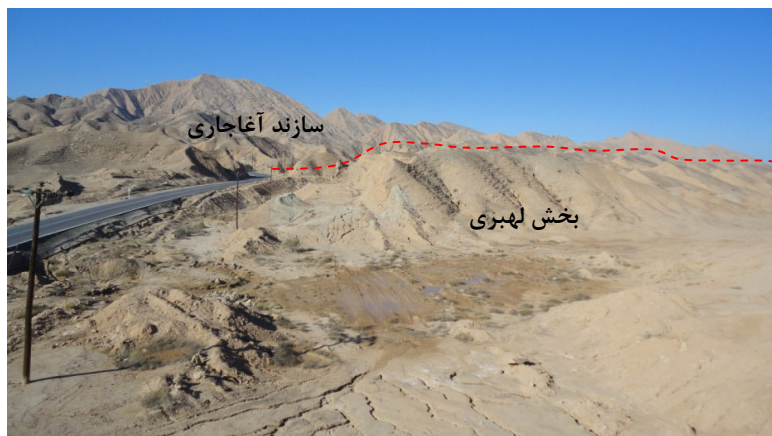
موقعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان خوزستان و در زون ساختاری زاگرس چین‌خورده قرار دارد (شکل ۱). این زون شامل مجموعه‌ای از چین‌خوردگی‌های نامتقارن با روند شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد. یال جنوب‌غربی تاقدیس‌ها در این پهنه، در مقایسه با یال شمال شرقی از شیب بیشتری برخوردار می‌باشد. سازند آغاچاری در محدوده مطالعاتی پوسته بسیاری از تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها را شکل داده است. رخنمون این سازند در استان خوزستان محدوده‌ای به وسعت ۵۰۲/۷۱ کیلومتر مربع را به‌خود اختصاص داده است. سازند آغاچاری





شکل ۲. نمایی از سازند آجاجاری منطقه امیدیه (AJ-1 و AJ-2 در شکل ۱) در برش الگو (دید به سمت شمال شرق)



شکل ۳. مرز بالایی سازند آجاجاری با بخش لهری در محل مقطع الگو در منطقه امیدیه (دید جنوب غرب)

روش مطالعه

به منظور انجام این پژوهش، ۲۹ نمونه از رخنمون‌های ماسه‌سنگ سازند آجاجاری در استان خوزستان تهیه شد (شکل ۴). ترکیب کانی‌شناسی و خصوصیات بافتی ماسه سنگ‌های سازند آجاجاری با استفاده از برش‌های نازک در زیر میکروسکوپ پلاریزان مطالعه گردید. مقادیر اجزا تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه با شمارش دانه‌های هر نمونه به روش زوفا [۳۵] مشخص گردید. همچنین، نمونه‌های ماسه‌سنگ یاد شده مطابق تقسیم‌بندی فولک [۱۶] نام‌گذاری شده‌اند. با توجه به یکنواختی نسبی ترکیب کانی‌شناسی این سنگ‌ها، جهت آنالیزهای ژئوشیمیایی درصد عناصر اصلی ۱۵ نمونه از این ماسه‌سنگ‌ها به روش آنالیز XRF تعیین شد. بدین منظور نمونه‌ها پس از پودر شدن از الک ۲۰۰ عبور داده شدند. نمونه‌های پودری تهیه شده توسط دستگاه XRF مدل Philips magic pro در مرکز تحقیقات فرآوری مواد

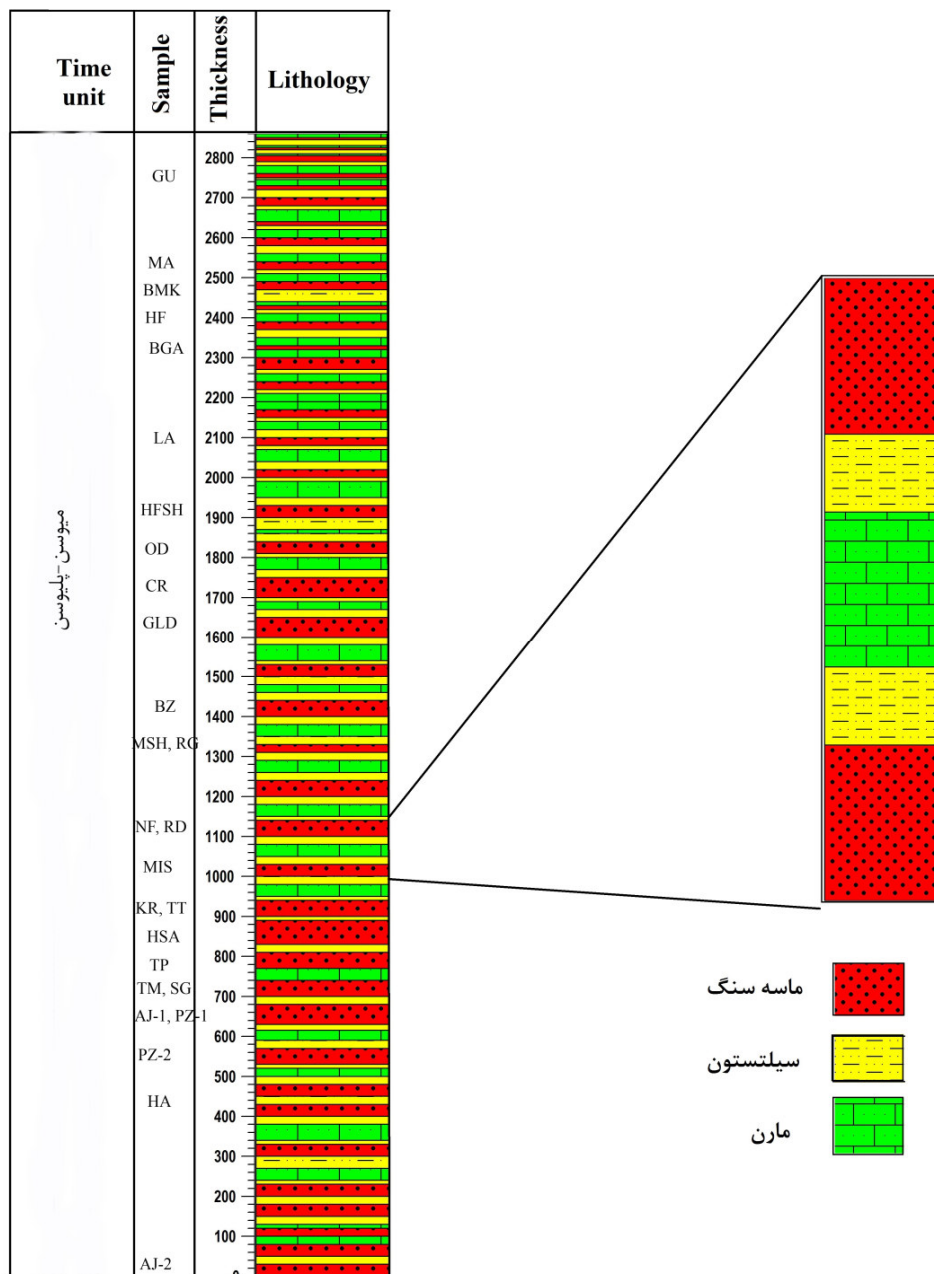
معدنی ایران مورد تجزیه کمی قرار گرفتند. در نهایت، نتایج تجزیه شیمیایی این سنگ‌ها جهت تفسیر خاستگاه ماسه‌سنگ‌های سازند آجاجاری در نمودارهای دیکینسون [۱۴]، باتیا و کروک [۷] و روسر و کورش [۲۸] مورد استفاده قرار گرفت.

ویژگی‌های سنگ‌شناسی

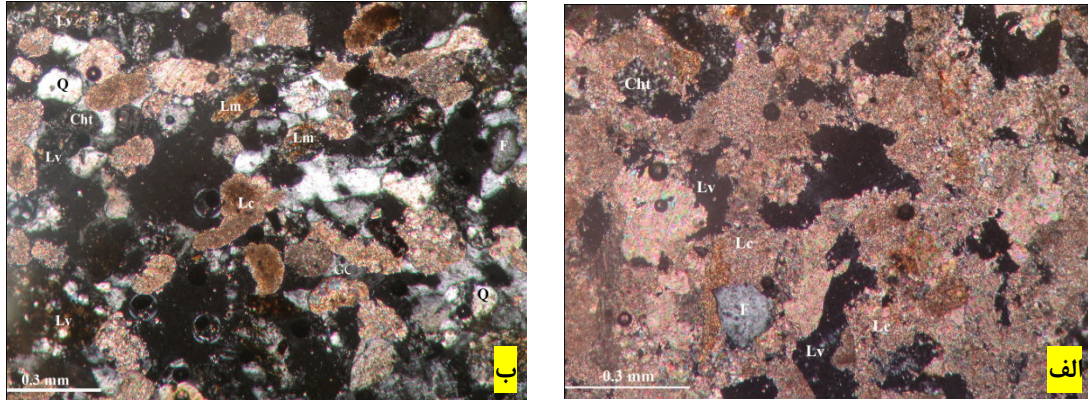
بررسی برش‌های نازک این ماسه‌سنگ‌ها مبین آن است که این سنگ‌ها از خرده‌سنگ‌های کربناته (۲۸-۷۶٪)، خرده‌سنگ‌های آتشفشانی (۰-۳۳٪)، خرده‌سنگ‌های دگرگونی (۰-۱۷٪)، کوارتز (۲-۲۰٪)، چرت (۱-۱۰٪)، کانی‌های تیره (۱-۱۰٪) و فلدسپات (۰-۹٪) تشکیل شده‌اند (شکل ۵ و جدول ۱). اجزای فرعی مانند میکا، خرده‌سنگ‌های گلی و ژیپس نیز در برخی از نمونه‌ها قابل مشاهده است. کوارتز در این سنگ‌ها به صورت تک بلوری و چند بلوری قابل مشاهده است. براساس

ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری نیمه گرد شده تا زوایه‌دار بوده و از جورشدگی متوسط تا بد برخوردار می‌باشند. میانگین اندازه ذرات ماسه‌سنگ‌های یادشده بین ۰/۱۸ تا ۰/۸۶ میلی‌متر متغیر است. هم‌چنین، نوع تماس‌های بین‌دانه‌ای در این سنگ‌ها تماسی، مضرسی، طولی، شناور و مقعر- محدب هستند (شکل ۷).

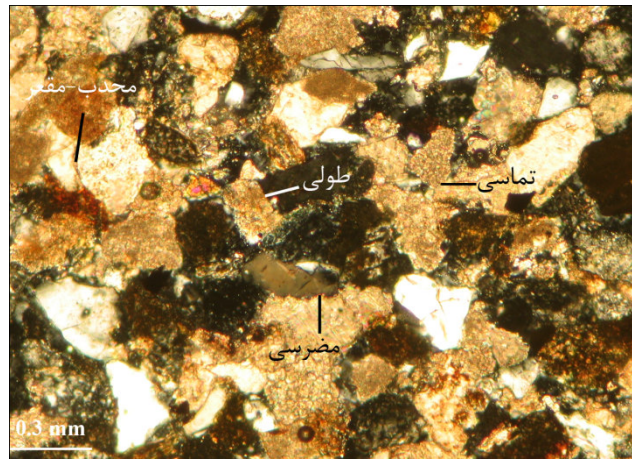
طبقه‌بندی فولک [۱۶] تمام ماسه‌سنگ‌های یادشده به جز ماسه‌سنگ سه راه تپه اهواز (TP) که ولک‌آرنایت است، از نوع کالک‌لیتارنایت می‌باشند (شکل ۶). نمونه‌های سه‌راه تپه، حصیرآباد، حمیدیه، سوسنگرد و ام‌الدبس دانه تکیه‌گاهی و بدون سیمان می‌باشند. سایر نمونه‌ها به جز نمونه رگ سفید (که دارای سیمان ژئپسی است)، دارای سیمان کلسیتی هستند. دانه‌های تشکیل‌دهنده



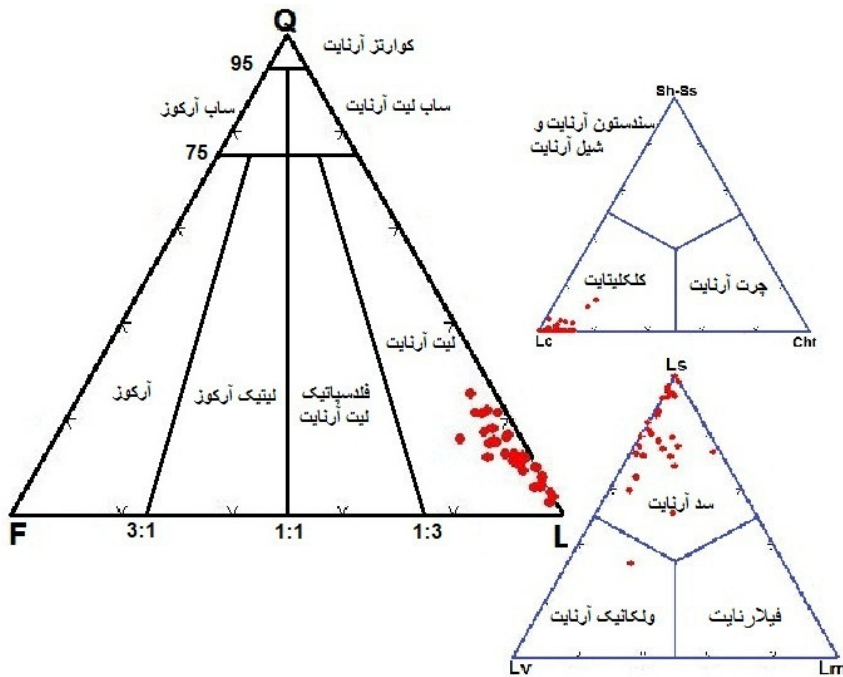
شکل ۴. ستون سنگ‌شناسی سازند آغاچاری در برش تیپ و محل شماتیک نمونه‌های برداشت شده



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی نمونه‌هایی از برش‌های نازک ماسه‌سنگ‌های آغاچاری. الف) نمونه Až-1 (مقطع تیپ) در امیدیه ب) نمونه RG در تاقدیس رگ سفید (Q): کوارتز، چرت، Cht: چرت، Lc: خرده‌سنگ کربناته، Lv: خرده‌سنگ آتشفشانی، Lm: خرده سنگ دگرگونی، F: فلدسپات، GC: سیمان ژپسی).



شکل ۶. نمونه‌ای از انواع مختلف تماس بین دانه‌های در ماسه‌سنگ ام‌الدیس (OD)



شکل ۷. دیاگرام مثلی تقسیم‌بندی ماسه‌سنگ‌ها [۱۶]. ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در این طبقه‌بندی در محدوده کالک‌لیتایت و ولکانیک لیت‌آرنایت قرار می‌گیرند.

جدول ۱. نتایج حاصل از بررسی پتروگرافی و نقطه شماری ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری

Sample	Lc	Lv	Lm	L1	Qp	Qt	Ch	F	L%	Qt%	F%	Gt%	Lv%	Ls%
RG	55	0	1	0	1	13	6	9	78	16.67	11.54	83.92	0.00	61.00
PZ-1	70	0	0	0	1	2	10	0	72	2.78	0.00	81.86	0.00	80.00
PZ-2	52	16	3	0	1	8	7	2	81	9.88	2.47	87.91	19.75	59.00
AJ-1	71	13	0	0	1	2	3	1	87	2.30	1.15	89.97	14.94	74.00
AJ-2	35	18	17	0	3	16	5	5	91	17.58	5.49	95.95	19.78	40.00
MSH	71	9	1	0	1	5	9	1	87	5.75	1.15	95.90	10.34	80.00
CR	62	13	7	0	2	5	2	2	89	5.62	2.25	90.98	14.61	64.00
TP	28	33	14	0	3	14	2	3	78	17.95	3.85	79.97	42.31	30.00
HAS	52	10	8	0	4	15	3	5	82	18.29	6.10	84.96	12.20	55.00
HA	76	3	0	4	1	5	1	1	89	5.62	1.12	89.99	3.37	81.49
SG	61	12	12	0	2	7	1	2	82	8.54	2.44	82.99	14.63	62.00
OD	51	7	8	0	4	20	3	5	83	24.10	6.02	85.96	8.43	54.00
KN	64	4	0	0	1	6	0	0	74	8.11	0.00	74.00	5.41	64.00
MA	54	15	1	1	2	10	3	2	82	12.20	2.44	84.96	18.29	58.22
RD	45	15	1	2	3	18	4	1	81	22.22	1.23	84.95	18.52	51.47
HF	56	15	0	2	2	10	7	1	84	11.90	1.19	90.92	17.86	65.38
NF	63	12	2	0	2	10	0	1	86	11.63	1.16	86.00	13.95	63.00
KR	50	9	1	9	2	11	10	7	86	12.79	8.14	95.88	10.47	70.47
TT	60	4	1	8	1	5	10	0	77	6.49	0.00	86.87	5.19	80.39
BMK	70	3	0	2	1	3	4	0	78	3.85	0.00	81.95	3.85	76.56
TM	63	4	1	3	4	15	4	2	87	17.24	2.30	90.95	4.60	70.45
BGA	70	3	1	1	2	10	2	3	87	11.49	3.45	88.98	3.45	73.15
MIS	47	8	3	0	3	15	4	2	72	20.83	2.78	75.94	11.11	51.00
GDL	55	11	1	0	2	13	5	4	83	15.66	4.82	87.94	13.25	60.00
HFSH	58	1	15	0	1	10	1	4	73	13.70	5.48	73.99	1.37	59.00
LA	34	16	3	0	2	18	5	3	71	25.35	4.23	75.93	22.54	39.00
GU	40	15	3	0	1	15	4	3	73	20.55	4.11	76.95	20.55	44.00
BZ	63	2	2	0	3	9	4	3	77	11.69	3.90	80.95	2.60	67.00
BL	53	6	5	0	1	10	3	1	70	14.29	1.43	72.96	8.57	56.00

Lc: خرده‌سنگ کربناته، Lv: خرده‌سنگ آتشفشانی، Lm: خرده‌سنگ دگرگونی، L1: خرده‌سنگ گلی، Ls: خرده‌سنگ رسوبی (Cht+L1+Lc)، Gt: فراوانی کل دانه‌ها، Lt: فراوانی کل خرده‌سنگ‌ها (Ls + Lm+Lv)، Qt: کل کوارتز (Qp+Qm)، F: انواع فلدسپات و Ch: چرت

ژئوشیمی

اکسید CaO (۲۹/۴۳ تا ۵۵/۰۴ درصد) بالایی را نشان می‌دهند. مقادیر SiO_2 و Al_2O_3 در این سنگ‌ها به ترتیب از ۴/۳۷ تا ۳۳/۱۴ و ۰/۷ تا ۷/۵۵ درصد متغیر است. مقادیر Na_2O و TiO_2 ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری کم و در برخی نمونه‌ها برابر با صفر است (جدول ۲). مقادیر اکسیدهای MgO ، K_2O و Fe_2O_3 نمونه‌ها به ترتیب بین صفر تا ۱/۵۹، ۰/۵۹ تا ۵/۸۷ و ۰/۷۱ تا ۴/۷۶ درصد تغییر نشان می‌دهند. هم‌چنین، تمام نمونه‌ها بدون اکسیدهای MnO_2 و FeO می‌باشند. مقدار بالای SO_3 (۳۸/۶۵ درصد) در نمونه رگ سفید نشان دهنده وجود

مطالعه شیمیایی عناصر اصلی اغلب شامل عناصر Al، Ca، P، Na، K، Mg، Mn، Fe، Ti و Si می‌باشد که به صورت اکسید بیان می‌گردند [۲۷]. از این میان اکسیدهای CaO ، MgO ، Na_2O و K_2O متحرک و اکسیدهای TiO_2 و Al_2O_3 غیرمتحرک می‌باشند [۵]. نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی انجام شده بر روی نمونه‌های ماسه‌سنگ سازند آغاچاری در جدول (۲) نشان داده شده است. بر این اساس، عمده نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد آزمایش به دلیل دارا بودن مقادیر زیاد خرده‌سنگ کربناته، درصد

مثبت برقرار است، به طوری که مقدار اکسید اغلب عناصر اصلی با ازدیاد مقادیر Al_2O_3 افزایش می‌یابد. نتایج آنالیزهای رگرسیون مبین آن است که بین درصد اکسیدهای Al_2O_3 و K_2O ماسه‌سنگ‌های سازند آجاجاری ارتباط معناداری با ضریب تعیین $0/83$ برقرار است (شکل ۸). این موضوع نشان دهنده آن است که تمرکز کانی‌های دارای پتاسیم تاثیر چشمگیری بر پراکندگی Al_2O_3 دارد. به نظر می‌رسد این امر ناشی از فراوانی این عنصر در ترکیبات رسی نمونه‌ها (خرده‌های گلی، شیلی و خرده‌سنگ دگرگونی درجه پایین) باشد [۲۱ و ۲۲].

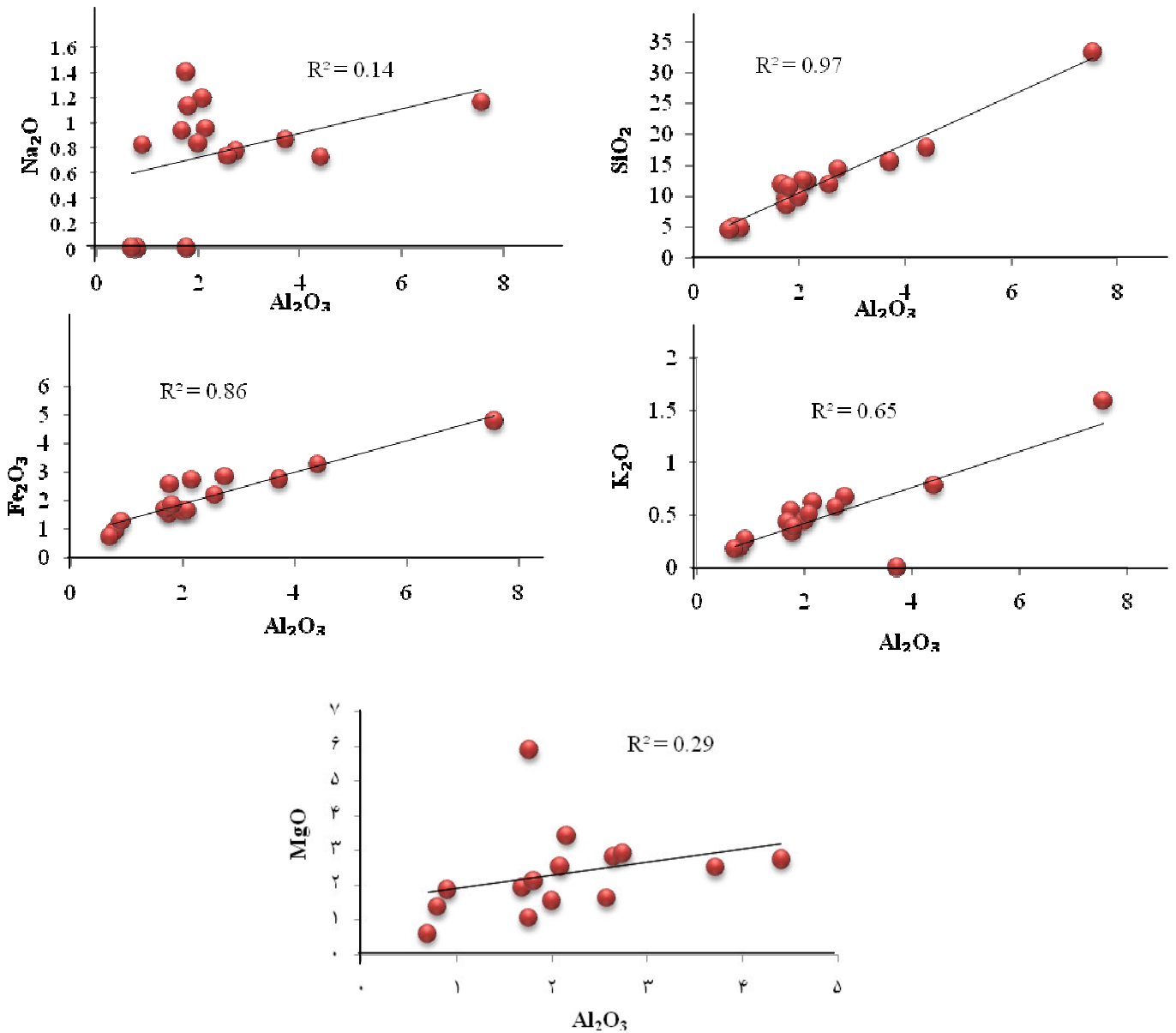
سیمان ژئوسی و ترکیبات سولفات در این ماسه‌سنگ می‌باشد. از آنجایی که اکسید Al_2O_3 در طی فرآیندهای هوازدگی، دیازنز و دگرگونی نسبتاً بدون تغییر باقی می‌ماند، این اکسید به عنوان شاخصی جهت مقایسه ترکیبات سنگ‌شناسی مختلف مورد توجه قرار گرفته است [۹]. بدین منظور تعیین رابطه هم‌بستگی بین اکسیدهای Al_2O_3 و SiO_2 با عناصر اصلی به منظور بررسی ارتباط عنصری نمونه‌ها انجام شد (شکل ۸). بر اساس شکل (۷) بین اکسید عناصر اصلی و Al_2O_3 هم‌بستگی مستقیم و

جدول ۲. داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های آجاجاری. مقادیر اکسیدهای اصلی بر حسب درصد است.

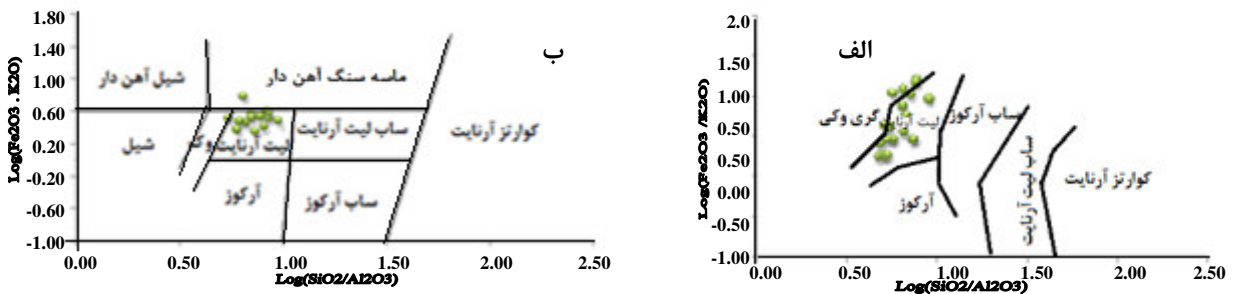
Sample	LOI	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	SrO
RG	18.37	1.40	1.05	1.76	9.56	0.00	38.65	0.54	45.04	0.00	1.54	0.00
Pz-1	39.02	0.00	1.36	0.80	4.89	0.06	0.12	0.18	52.56	0.00	0.93	0.09
Aj-1	38.53	0.82	1.85	0.91	5.87	0.00	0.1	0.26	50.4	0.00	1.25	0.00
MSH	32.22	0.95	3.41	2.16	12.25	0.00	0.13	0.62	45.03	0.53	2.71	0.00
MA	26.80	0.72	2.73	4.41	17.65	0.00	0	0.78	43.11	0.54	3.25	0.00
HF	31.47	0.93	1.92	1.69	12.86	0.00	0.11	0.43	48.80	0.00	1.68	0.00
TT	35.63	0.00	5.87	1.77	8.33	0.00	0	0.33	45.52	0.00	2.56	0.00
BMK	38.43	0.00	0.59	0.70	4.37	0.00	0	0.17	55.04	0.00	0.71	0.00
BGA	34.73	0.83	1.53	2.00	10.78	0.00	0.11	0.44	47.71	0.00	1.62	0.00
MIS	32.25	1.19	2.52	2.09	12.42	0.00	0.11	0.50	47.29	0.00	1.63	0.00
GLD	30.35	0.77	2.90	2.75	15.02	0.00	0	0.67	44.27	0.50	2.83	0.00
HFSH	18.40	1.16	3.21	7.55	33.14	0.00	0	1.59	29.43	0.77	4.76	0.00
GU	32.34	1.13	2.11	1.81	11.49	0.00	0	0.38	48.63	0.31	1.82	0.00
BZ	30.01	0.86	2.50	3.72	16.15	0.00	0	0.00	43.95	0.40	2.72	0.00
BL	32.11	0.73	1.61	2.58	11.68	0.00	0	0.57	48.98	0.00	2.18	0.00

گری‌وک قرار می‌گیرد (شکل ۹ ب). به نظر می‌رسد حضور اکسید آهن (هماتیت)، کانی‌های تیره و خرده‌های گلی و نیز خرده‌های دگرگونی درجه پایین در برخی نمونه‌ها موجب قرارگیری آن‌ها در محدوده ماسه‌سنگ‌های آهن‌دار و گری‌وک در نمودار هرون [۱۸] شده است. نتایج این نمودار نیز نشان می‌دهد، ماسه‌سنگ‌های سازند آجاجاری در استان خوزستان برخلاف ماسه‌سنگ‌های این سازند در منطقه سروستان [۳۰] فاقد ماسه‌سنگ‌های از نوع «ساب‌لیت‌آرنایت» می‌باشند.

هم‌چنین، با تصویر کردن داده‌های آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی این ماسه‌سنگ‌ها، بر روی نمودار طبقه‌بندی ژئوشیمیایی پتی‌جان و همکاران [۲۶] مشخص شد که، این سنگ‌ها در محدوده لیت‌آرنایت و گری‌وک قرار می‌گیرند (شکل ۹ الف). این موضوع با برخی نتایج پژوهش صحرائیان و بهرامی [۳۰] بر روی سازند آجاجاری در منطقه سروستان (استان فارس) هم‌خوانی ندارد. زیرا که در این منطقه برخی ماسه‌سنگ‌های سازند آجاجاری در رده ساب‌آرکوز و ساب‌لیت‌آرنایت قرار دارند. از سوی دیگر، براساس نمودار هرون [۱۸] ماسه‌سنگ‌های سازند آجاجاری در محدوده لیت‌آرنایت، ماسه‌سنگ آهن‌دار و



شکل ۸. همبستگی بین اکسید عناصر اصلی با اکسید آلومینیوم در ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری



شکل ۹. الف) در نمودار تقسیم‌بندی ژئوشیمیایی پتی‌جان و همکاران [۲۶]، ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در محدوده لیت‌آرنایت و گری‌وک قرار گرفته‌اند. ب) نمودار تقسیم‌بندی ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ و شیل هرون [۱۸]، ماسه‌سنگ‌های آغاچاری در محدوده لیت-آرنایت و ماسه‌سنگ آهن دار قرار گرفته است.

هوازگی خاستگاه

برای بررسی هوازگی ناحیه خاستگاه از نمودار ولتیج (۱۹۹۴) استفاده گردید. رسم نقاط به دست آمده از نقطه شماری کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ‌های ماسه‌سنگ سازند آجاجاری در نمودار یاد شده آشکار کرد که خاستگاه در محدوده صفر این نمودار واقع می‌شود (شکل ۱۰). این محدوده نشان‌دهنده توپوگرافی زیاد و کوهستانی خاستگاه با آب و هوای نیمه‌خشک و یا مدیترانه‌ای است. شواهد پتروگرافی موجود در این ماسه‌سنگ‌ها مانند جورشدگی متوسط تا بد، زاویه‌دار بودن دانه‌ها به‌ویژه کوارتز و فلدسپات‌ها و نیز عدم هوازگی فلدسپات‌ها تایید کننده این موضوع می‌باشند.

خاستگاه

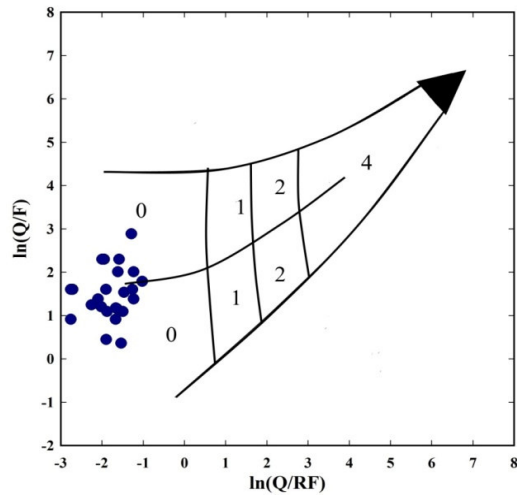
بسیاری از پژوهشگران از جمله کروک [۱۱]، دیکینسون و سوچک [۱۳]، دیکینسون و همکاران [۱۵]، کاوازا و اینگرسول [۱۰] و گرینی و همکاران [۱۷] چارچوب ترکیب آواری ماسه‌سنگ‌ها را برای تشخیص نوع خاستگاه و تکتونیک آن‌ها مورد استفاده قرار دادند. در این پژوهش، نتایج حاصل از بررسی‌های سنگ‌شناسی نمونه‌های ماسه‌سنگ سازند آجاجاری (جدول ۱) بر روی نمودارهای مثلثی QtFL، QmFLt و QpLvLs دیکینسون [۱۴] ترسیم شدند (شکل ۱۱). مطابق این نمودارها، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه به‌ترتیب در بخش کوهزایی با چرخه مجدد، کمربند کوهزایی و چرخه انتقالی مجدد قرار گرفتند.

در این نمودارها دانه‌های کربناته برون حوضه‌ای یا خرده‌های آهکی آواری و نیز دانه‌های کربناته درون حوضه‌ای (آلوکوم‌ها) به دلیل تغییرات زیاد ژئوشیمیایی در طی هوازگی، دیاژنز و فرسایش مدنظر قرار نمی‌گیرند [۱۴]. در این نمودارها کوهزایی با چرخه مجدد در بردارنده چینه‌های تغییرشکل یافته و بالآمده بخش بالایی پوسته، عمدتاً رسوبی و نیز به‌طور جزئی آتشفشانی است که در کمربندهای چین‌خورده-رورانده یا نواحی گوناگون کوهزایی رخمنون پیدا کرده‌اند. هم‌چنین، کوهزایی چرخه مجدد در موقعیت‌های تکتونیکی گوناگونی رخ می‌دهد که در آن‌ها سنگ‌های لایه‌ای دچار تغییرشکل، بالآمدگی و فرسایش می‌شوند [۱۴]. ماسه‌سنگ‌های مشتق شده از چین سنگ منسحابی

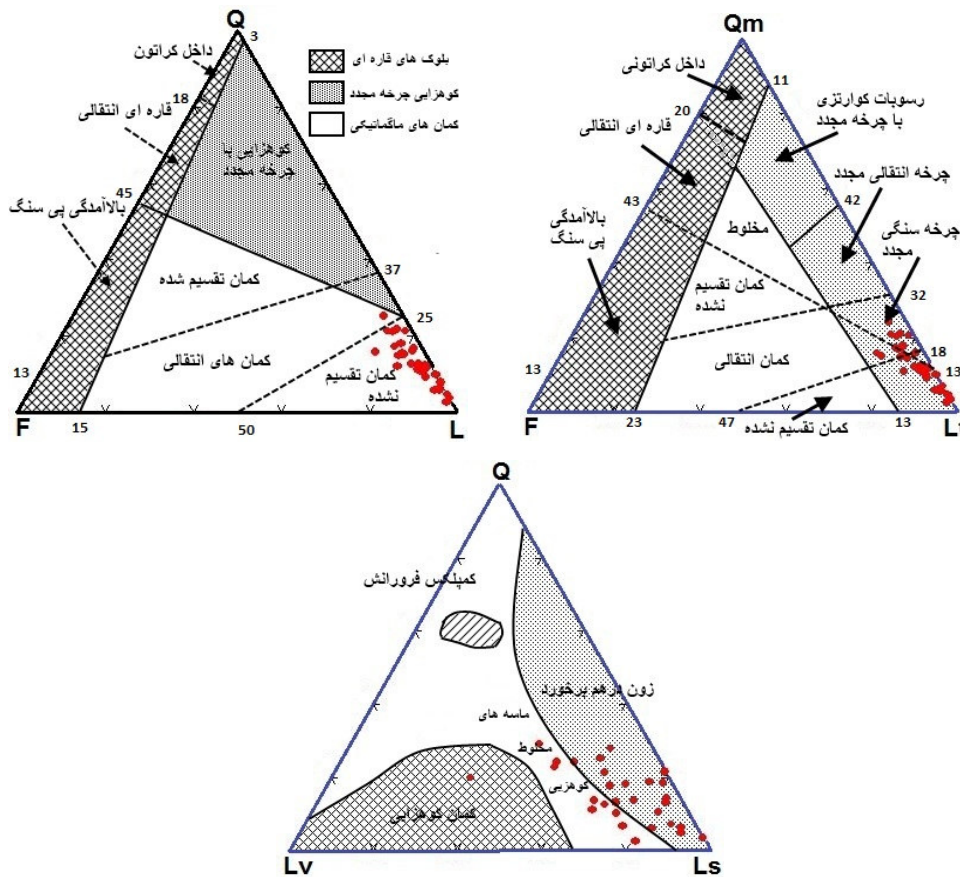
معمولاً فلدسپات کمی دارند، زیرا سنگ‌های آذرین منشا اصلی آن‌ها نمی‌باشند. در این محدوده سه بخش رسوبات کوارتزی با چرخه مجدد، چرخه مجدد سنگ و چرخه انتقالی مجدد قابل تفکیک می‌باشد. محدوده‌های کوارتزی با چرخه مجدد و چرخه سنگی مجدد، ماسه‌سنگ‌های با منشا کوهزایی بوده که از چرخه مجدد رسوبات کراتونی منشا گرفته‌اند. این دو محدوده به‌صورت تدریجی به یکدیگر تغییر پیدا می‌کند. چرخه مجدد ماسه‌سنگ‌های کوارتزی معمولاً در برگیرنده تغییر شکل و بالآمدگی توالی‌های میوژئوسنکلینالی می‌باشد. در مقابل، بسیاری از بخش‌های غنی از خرده‌سنگ‌های چرتی، از بخش‌های اقیانوسی کمربندهای ائوژئوسنکلینال بالآمده، منشا گرفته‌اند [۱۵].

در کمربندهای کوهزایی چرخه مجدد، خاستگاه رسوبات لایه‌های رسوبی، در برخی موارد سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های دگرگونی می‌باشند. این سنگ‌ها در اثر بالآمدگی کمربندهای چین‌خورده و تراستی رخمنون یافته و فرسایش یافته‌اند. ماسه‌سنگ‌های مشتق شده از چین سنگ منسحابی معمولاً فلدسپات کمی دارند، زیرا سنگ‌های آذرین منشا اصلی آن‌ها نمی‌باشند. در این محدوده سه بخش رسوبات کوارتزی با چرخه مجدد، چرخه مجدد سنگ و چرخه انتقالی مجدد قابل تفکیک می‌باشد. محدوده‌های کوارتزی با چرخه مجدد و چرخه سنگی مجدد، ماسه‌سنگ‌های با منشا کوهزایی بوده که از چرخه مجدد رسوبات کراتونی منشا گرفته‌اند. این دو محدوده به‌صورت تدریجی به یکدیگر تغییر پیدا می‌کند. چرخه مجدد ماسه‌سنگ‌های کوارتزی معمولاً در برگیرنده تغییرشکل و بالآمدگی توالی‌های میوژئوسنکلینالی می‌باشد. در مقابل، بسیاری از بخش‌های غنی از خرده‌سنگ‌های چرتی، از بخش‌های اقیانوسی کمربندهای ائوژئوسنکلینال بالآمده، منشا گرفته‌اند [۱۵]. در نمودار QLVLs دیکینسون [۱۴] ماسه‌سنگ‌های سازند آجاجاری در محدوده کمربندهای برخوردار قرار می‌گیرند. کمربندهای برخوردار از دیدگاه ساختاری از توالی‌های اقیانوسی و قاره‌ای تشکیل شده که خاستگاه رسوبات حوضه‌های پیش‌بوم و حوضه‌های بجا مانده پیرامون آن‌ها می‌باشند. که این امر با شرایط ساختاری حاکم بر پهنه زاگرس هم‌خوانی دارد.

Semi-quantitative Weathering Index ($W = c * r$) (Weltje, 1994)		Relief(r)		
Climate (c)		high mountains	moderate hills	low, plain
		(semi-) arid, mediterranean	0	0
temperate, sud-humid	1	0	1	2
tropical humid	2	0	2	4



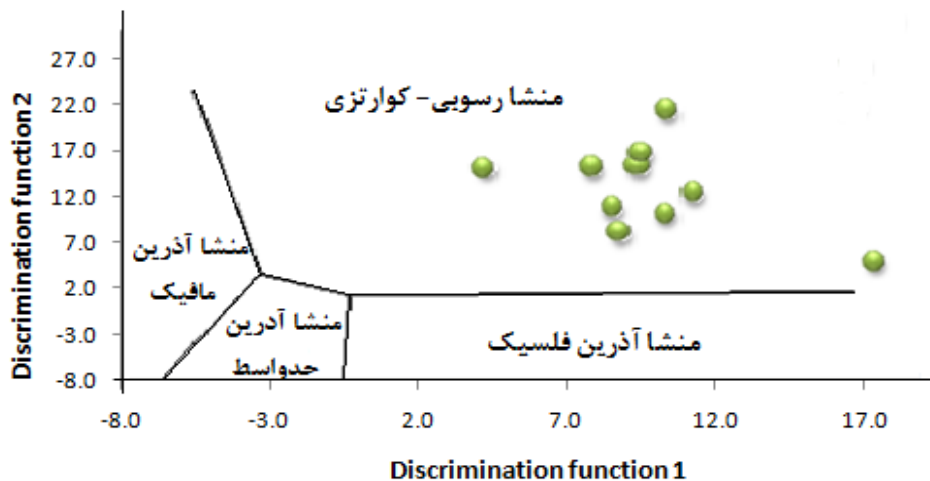
شکل ۱۰. نمودار لگاریتمی نسبت کوآرتز (Q) به فلدسپات (F) در برابر کوآرتز به خرده‌سنگ (RF) [۳۲]



شکل ۱۱. داده‌های سنگ‌شناسی در نمودارهای دیکینسون [۱۴] که نشان دهنده خاستگاه کوهزایی چرخه مجدد ماسه‌سنگ‌های آغاچاری است.

هم‌چنین روسر و کورش [۲۹] با هدف جلوگیری از تاثیر Si و Ca بیوژنیک، دیاگرام تفکیکی دیگری را بر اساس نسبت اکسیدهای K_2O , Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O , MgO به Al_2O_3 معرفی نموده‌اند. بر اساس این دیاگرام ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در استان خوزستان در ناحیه سنگ مادر کوآرتزی- رسوبی قرار می‌گیرند (شکل ۱۲).

از شواهد ژئوشیمیایی موجود در سنگ‌های آواری نیز می‌توان جهت شناسایی و مطالعه سنگ مادر استفاده نمود [۱۲]. با استفاده از دیاگرام تفکیکی روسر و کورش [۲۹] می‌توان سنگ مادر را بر پایه اکسیدهای اصلی، در نمونه‌های ماسه‌سنگی و گلسنگی تعیین نمود. این دیاگرام بر پایه اکسیدهای اصلی در ماسه‌سنگ‌ها و گلسنگ‌ها، برای چهارخاستگاه معرفی شده است.



شکل ۱۲. دیاگرام تمایزی روسر و کورش [۲۹]، ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در بخش خاستگاه رسوبی - کوارتزی قرار گرفته‌اند. در این نمودار

$$\text{Discrimination function 1} = 30.638 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12/541 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{t})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$$

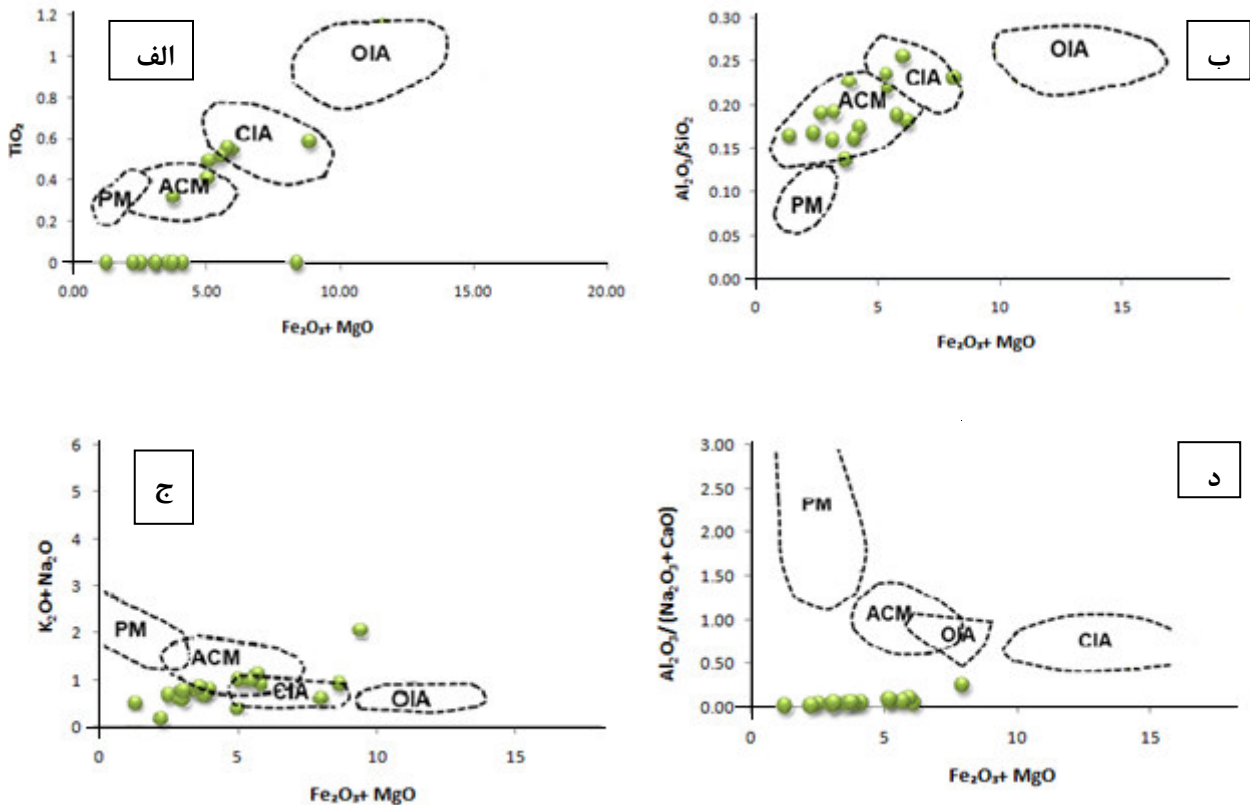
$$\text{Discrimination function 2} = 56.500 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{t})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$$

تعدادی از نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار TiO_2 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ خارج از محدوده‌های این نمودار قرار گرفته‌اند (شکل ۱۳-الف). این موضوع می‌تواند ناشی از تهی‌شدگی تیتانیوم در نمونه‌ها باشد. از آنجایی‌که تیتانیوم عمدتاً در سنگ‌های مافیکی ولکانیکی و پلوتونیک وجود دارد [۱۹]، مقدار کم این عنصر را می‌توان به منشا رسوبی این ماسه‌سنگ‌ها نسبت داد. در نمودار $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}) - \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ قرارگیری نمونه‌ها در خارج از محدوده حاشیه غیر فعال قاره‌ای به دلیل بالا بودن میزان اکسید کلسیم و فراوانی دانه‌های کربناته در این ماسه‌سنگ‌ها بوده است. بنابراین، تغییرشکل ناشی از برخورد زاگرس و ایران مرکزی که از اواسط ماستریشتین آغاز شد، منجر به تشکیل رشته کوه‌های مرتفعی گردید که منشا رسوبات ته‌نشین شده در زمان‌های پس از این رویداد در حوضه پیش‌بوم زاگرس بوده‌اند [۲]. از سوی دیگر، وقوع گسل‌های پی سنگی در این ناحیه موجب ارتفاع گرفتن این حوضه پیش‌بوم شده است. به‌طوری‌که در جلوی این ناحیه حوضه‌ای پیش‌گودالی تشکیل گردید که رسوبات آواری حاصل از فرسایش حوضه پیش‌بوم در آن ته‌نشین شده است (شکل ۱۴). هم‌چنین، وجود خرده‌های آتشفشانی و دگرگونی در ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری نشان‌دهنده فعالیت‌های آتشفشانی و دگرگونی در این زون برخوردی باشد.

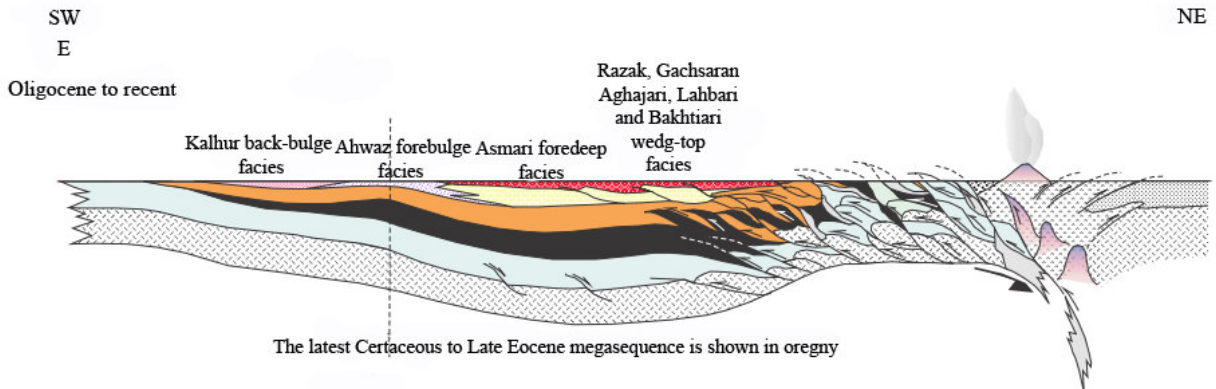
تکتونیک خاستگاه

ماسه‌سنگ‌های عهد حاضر که در محیط‌هایی مانند جزایر قوسی اقیانوسی و قاره‌ای و حاشیه‌های قاره‌ای غیر فعال و فعال نهشته شده‌اند، دارای ترکیب متفاوتی به‌ویژه از نظر $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O})$ و نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ و $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ و Na_2O می‌باشند. علیرغم مشکلات استفاده از ژئوشیمی در تفسیر موقعیت تکتونیک ماسه‌سنگ‌ها، در سال‌های اخیر از عناصر اصلی برای تعیین موقعیت تکتونیک این سنگ‌ها به‌طور گسترده استفاده شده است. به همین منظور داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، در دیاگرام‌های مثلثی و دیاگرام‌های پیشنهادی توسط باتیا [۶] تصویر گردید (شکل ۱۳). براساس شکل (۱۳) محیط تکتونیک ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در استان خوزستان در حاشیه فعال قاره‌ای و جزایر کمانی قاره‌ای بوده است. اما با توجه به فراوانی تعداد ماسه‌سنگ‌ها در محدوده ACM نمودارها، محیط تکتونیک حاشیه فعال قاره‌ای برای این ماسه‌سنگ پیشنهاد می‌شود.

حاشیه قاره‌ای فعال (ACM) دربردارنده حوضه‌های رسوبی حاشیه قاره‌ای از نوع آندی و انواع امتداد لغز هستند. این حوضه‌ها بر روی یا در مجاورت پوسته‌های قاره‌ای که دربردارنده سنگ‌های کمربندهای گسلی دیرینه بود، گسترش می‌یابند. رسوبات این ناحیه عمدتاً از پی سنگ بالا آمده مشتق می‌شوند [۶].



شکل ۱۳. دیاگرام‌های تمایزی محیط تکتونیکی برای ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری، الف: نمودار $TiO_2 - Fe_2O_3 + MgO$ ، ب: نمودار $Al_2O_3 / (Na_2O + CaO) - Fe_2O_3 + MgO$ ، ج: نمودار $K_2O + Na_2O - Fe_2O_3 + MgO$ ، د: نمودار $Al_2O_3 / SiO_2 - Fe_2O_3 + MgO$ ، PM: حاشیه غیر فعال، ACM: حاشیه فعال قاره‌ای، CIA: جزایر کمائی قاره‌ای، OIA: جزایر کمائی اقیانوسی



شکل ۱۴. نمایش شماتیک تکامل توالی‌های رسوبی در حوضه زاگرس در الیگوسن تا عهد حاضر [۲]

صحرائیان و بهرامی [۳۰] در منطقه سروستان می‌باشد. زیرا که نتایج دیاگرام‌های باتیا [۶] برای ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در این منطقه مبین محیط تکتونیکی حاشیه قاره‌ای غیرفعال برای برخی نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه توسط آن‌ها می‌باشد.

از سوی دیگر، گسترش این ماسه‌سنگ‌ها در فارس داخلی و ساحلی، لرستان و نیز گسترش آن در مجاورت کمربند چین‌خورده-رورانده زاگرس در کشورهای عراق و سوریه نشان‌دهنده منشا گرفتن این ماسه‌سنگ‌ها از کمربند چین‌خورده-رورانده زاگرس است [۳]. با این وجود، نتایج این تحقیق در تضاد با نتایج به دست آمده توسط

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌ها نقش مهمی در تعیین محیط رسوبی و تکتونیک خاستگاه آن‌ها ایفا می‌نماید. این ویژگی‌ها می‌توانند به شناخت تکامل حوضه رسوبی کمک نمایند. بررسی سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری نشان داد که ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها مطابق طبقه‌بندی فولک [۱۶] در رده کالک‌لیتایت و ولکانیک‌آرنایت قرار دارند. این ماسه‌سنگ‌ها را می‌توان براساس میزان سیمان‌شدگی به دو گروه دانه‌تکیه‌گاهی و دارای سیمان تفکیک نمود. سیمان نمونه‌های دارای سیمان‌شدگی به جز نمونه رگ سفید (ژپسی) کلسیتی می‌باشد. مطابق نمودار طبقه‌بندی ژئوشیمیایی پتی‌جان و همکاران [۲۶] ماسه‌سنگ‌های آغاچاری در استان خوزستان در رده لیت‌آرنایت و گریوک و در نمودار طبقه‌بندی هرون [۱۸] در رده لیت‌آرنایت، ماسه‌سنگ آهن‌دار و گریوک قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، استفاده از دیاگرام‌های تفکیک خاستگاه نشان‌دهنده خاستگاه رسوبی- کوارتزی و کوهزایی چرخه مجدد برای این سازند می‌باشد. هم‌چنین، ترسیم داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی بر روی نمودارهای تفکیک محیط تکتونیک، عمدتاً معرف محیط حاشیه فعال قاره‌ای برای این ماسه‌سنگ‌ها است.

منابع

- [۱] مطیعی، ه (۱۳۷۲) چینه‌شناسی زاگرس. طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- [2] Alavi, M (2004) Regional Stratigraphy of the Zagros fold- thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science* 304, 1–20.
- [3] Al-Juboury, A.I.A (2009) The upper Miocene Injana (upper Fars) formation of Iraq: insights on provenance history. *Arabian journal of geosciences* 2: 237-264.
- [4] Armstrong-Altrin, J. S (2009) Provenance of sands from Cazon, Acapulco, and Bahia Kino beaches, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas* 26 (3), 764–782.
- [5] Bauluz, B., Mayayo, M.J., Fernandez-Nieto, C., and 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.
- [6] Bhatia, M (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology* 91 (6), 611–627.
- [7] Bhatia, M.R., and 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.
- [8] Boggs, S (2009) *Petrology of sedimentary rocks*. Cambridge university press. London.
- [9] Cardenas, A., Girty, G.H., Hanson, A.D., and Lahren, M.M (1996) Assessing differences in composition between low metamorphic grade mudstones and high-grade schists using logratio techniques. *Journal of Geology* 104, 279-293.
- [10] Cavazza, W., Ingersoll, R (2005) Detrital modes of the Ionian forearc basin fill (Oligocene-Quaternary) reflect the tectonic evolution of the Calabria– Peloritani terrane (southern Italy). *J. Sed. Res.* 75, 268–279.
- [11] Crook, K.A.W (1974) Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variations in flysch arenites (graywackes). In: Dott, R.H. Jr., Shaver, R.H. (Eds.), *Modern and ancient geosynclinal sedimentation*, Society for Sedimentary Geology Special Publication. 19, 304–310.
- [12] 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.
- [13] Dickinson, W. R., Suczek, C. A (1979) Plate tectonics and sandstone compositions; *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 63, 2164–2182.
- [14] Dickinson, W. R (1985) Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones; In: *Provenance of Arenites* (ed.) Zuffa G G (New York: D. Reidel Publ. Co.), 333–361.
- [15] Dickinson, W. R, Beard, L. S., Brakenridge, G.R., Erjavee, J.R., Ferguson, R.C., Inman, K.F (1983) Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to plate tectonic setting; *Geol. Soc. Amer. Bull.* 94, 222–235.
- [16] Folk, R.L (1974) *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing, Austin, Texas.
- [17] Greene, T.J., Carroll, A.R., Wartes, M., Graham, S.A., Wooden, J.L (2005) Integrated provenance analysis of a complex orogenic terrane: Mesozoic uplift of the Bogda Shan and Inception of the Turpan-Hami Basin, NW China. *J. Sed. Res.* 75, 251–267.
- [18] Herron, M.M (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology* 58 (5), 820–829.

- [31] Tijani, M.N., Nton, M.E., Kitagawa, R (2010) Textural and geochemical characteristics of the Ajali Sandstone. Anabra Basin, SE Nigeria: Implication for its provenance. *Comptes Rendus Geosci* 342: 136–150.
- [32] 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 modeling techniques. Ph.D. thesis, *Geologica Ultraiectina*
- [33] Zaid, S.M (2012) Provenance, diagenesis, tectonic setting and geochemistry of Rudies sandstone (Lower Miocene), Warda Field, Gulf of Suez, Egypt. *J Afr Earth Sci* 66–67: 56–71.
- [34] Zhu, B., Kidd, W. S. F., Rowley, D. B., Currie, B. S., Shafique, N (2005) Age of initiation of the Indiana-Asia collision in the east-central Himalaya. *Journal of Geology* 113, 265-285.
- [35] Zuffa, G.G (1985) Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results. In: Zuffa, G.G. (Ed.), *Provenance of Arenites*. Reidel, Dordrecht, 165–189.
- [19] Ishiga, H., Dozen, K. and Sampei, Y (1999) Geochemical constraints on marine invasion and provenance change related to the opening of the Japan Sea: an example from the Lower Miocene shales in the Hoda section, Shimane Peninsula, SW Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*. 17, 443-457.
- [20] James, G.A., Wynd, J.G (1965) Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area. *Bulletin of American association of petroleum geology*. 49(12): 2182-2245.
- [21] 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.
- [22] McLennan, S.M., Taylor, S.R., Eriksson, K.A (1983) Geochemistry of Archean shales from Pilbara Supergroup, Western Australia; *Geochim. Cosmochim. Acta* 74, 1211–1222.
- [23] McLennan, S.M., Taylor, S.R., McCulloch, M.T., Maynard, J.B (1990) Geochemical and Nd–Sr isotopic composition of deepsea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54, 2015–2050.
- [24] Morton, A.C (1985) Heavy minerals in provenance studies. In: Zuffa, G.G. (Ed.), *Provenance of Arenites*. Reidel Publishing Company 407, 249-277.
- [25] Ohta, T (2004) Geochemistry of Jurassic to Earliest Cretaceous deposits in the Nagato Basin, SW Japan: implication of factor analysis to sorting effects and provenance signatures. *Sediment Geol*, 171:159–180.
- [26] Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R (1987) *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, Berlin, 553 p.
- [27] Rollinson, H.R (1993) *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman, 352 p.
- [28] Roser, B.P., Korsch, R.J (1986) Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology* 94 (5), 635–650.
- [29] 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.
- [30] Sahraeyan, M., Bahrami, M (2012) Geochemistry of Sandstones from the Aghajari Formation, Folded Zagros Zone, Southwestern Iran: Implication for Paleoweathering condition, Provenance, and Tectonic Setting. *Int J Basic & App Sci* 1 (4): 390-407