

ژئوشیمی، پتروگرافی و خاستگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های دونین فوقانی

سازند ایلانقره، شمال غرب ایران

عادل نجف‌زاده^۱، محمد حسین آدابی^۲، مهدی جعفرزاده^۳، خسرو خسرو تهرانی^۴

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی تهران، دانشکده علوم زمین

۳- دانشجوی دکتری رسوب‌شناسی و سنگ رسوبی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

نهشته‌های سیلیسی-آواری سازند ایلانقره در برش ایلانلو در آذربایجان با سن دونین بالایی (فامنین) از ماسه‌سنگ‌های با رنگ‌های متنوع و شیل‌های تیره رنگ به صورت میان‌لایه تشکیل شده‌اند. اکثر نمونه‌های ماسه‌سنگی در برش ایلانلو از نظر مطالعات پتروگرافی از نوع کوارتز آرنایت تشخیص داده شده‌اند. مطالعه ژئوشیمیایی این ماسه‌سنگ‌ها نیز ترکیب کوارتز آرنایتی آنها را تأیید می‌کند. در این مطالعه، خاستگاه، جایگاه تکتونیکی و اندیس هوازدگی این ماسه‌سنگ‌ها با تمرکز بر روش‌های ژئوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است. تفسیر نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی و استفاده از دیاگرام‌های مختلف نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های موجود در برش ایلانلو از یک منشأ کراتونی همراه با چرخه مجدد رسوبی و تحت تأثیر اقلیم گرم و مرطوب حاکم بر آن زمان، حاصل و در نهایت در یک حاشیه غیر فعال قاره‌ای رسوب‌گذاری نموده‌اند. با توجه به موقعیت پالئوژئوگرافی ایران در زمان دونین (شمال ابر قاره گندوانا) و قرارگیری منطقه آذربایجان در پیشانی‌ترین ساحل جنوبی پالئوتتیس، می‌توان فرضیه ورود رسوب از سمت مناطق جنوبی‌تر گندوانا و نواحی خاورمیانه نظیر سپر عربستان و سپر نوین در شرق آفریقا و رسوب‌گذاری نهایی در حاشیه غیر فعال قاره‌ای اقیانوس پالئوتتیس را برای این نهشته‌ها در نظر گرفت.

واژگان کلیدی: ژئوشیمی، ایلانلو، خاستگاه، حاشیه غیر فعال.

مقدمه

در مناطق منشأ [16] را ارائه می‌دهند. کاربرد ژئوشیمی عنصری در شناخت سنگ‌های منشأ برای سنگ‌های رسوبی بر پایه عدم تحرک نسبی یکسری عناصر خاص (مثل Th و Sc و Co) در محیط‌های سطحی

مطالعات ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی در سنگ‌های رسوبی تخریبی، اطلاعات بسیاری در زمینه‌هایی همچون تعیین ترکیب سنگ‌شناسی [11] تعیین جایگاه‌های تکتونیکی [5، 17] و هوازدگی شیمیایی

شناسایی شده است. در منطقه آذربایجان نهشته‌های دونین فوقانی در مقاطع ایلانقره و ایلانلو و پیر اسحاق شناخته شده است [20] که در این مطالعه به بررسی رسوبات ماسه‌سنگی در برش ایلانلو به منظور پی بردن به خاستگاه و جایگاه تکتونیکی این نهشته‌ها در زمان دونین فوقانی پرداخته می‌شود.

برش ایلانلو در شمال غرب آذربایجان در مختصات جغرافیائی $39^{\circ} 2' 70''$ تا $39^{\circ} 2' 91''$ شمالی و $31^{\circ} 17' 17''$ تا $45^{\circ} 17' 81''$ شرقی در جنوب غرب روستای ایلانلو از توابع سد ارس (شکل ۱) قرار گرفته است.

بهترین راه دسترسی به این برش از مسیر آسفالته سد ارس به قره ضیاءالدین می‌باشد که در نهایت از روستای بیگ‌جان با فاصله ۴ کیلومتری می‌توان به روستای ایلانلو دسترسی پیدا کرد.

در این ناحیه ۵۷۰ متر از رسوبات دونین پسین شامل واحدهای دولومیتی، آهک‌های استروماتولیتی، آهک‌های پر از فسیل‌های براکیوپود، تانتا کولیتس، مرجان و کرینئید و همچنین میان‌لایه‌های تخریبی شامل ماسه‌سنگ‌های کوارتزی با رنگ روشن (مجموعاً به ضخامت ۷۰ متر) و شیل‌های تیره‌رنگ مشاهده می‌شود (شکل ۲).

بررسی‌های صورت گرفته بر روی موقعیت پالئوژئوگرافی در زمان دونین میانی تا فوقانی [19]، سایر مطالعات در مناطق مختلف زون‌های ساختاری ایران و بر روی نهشته‌های دونین [۱] نشان می‌دهد که سرزمین ایران و منطقه آذربایجان، خشکی واحدی را در زمان دونین فوقانی در حاشیه شمالی ابر قاره گندوانا و در ساحل جنوبی اقیانوس پالئوتتیس تشکیل می‌داده‌اند [2].

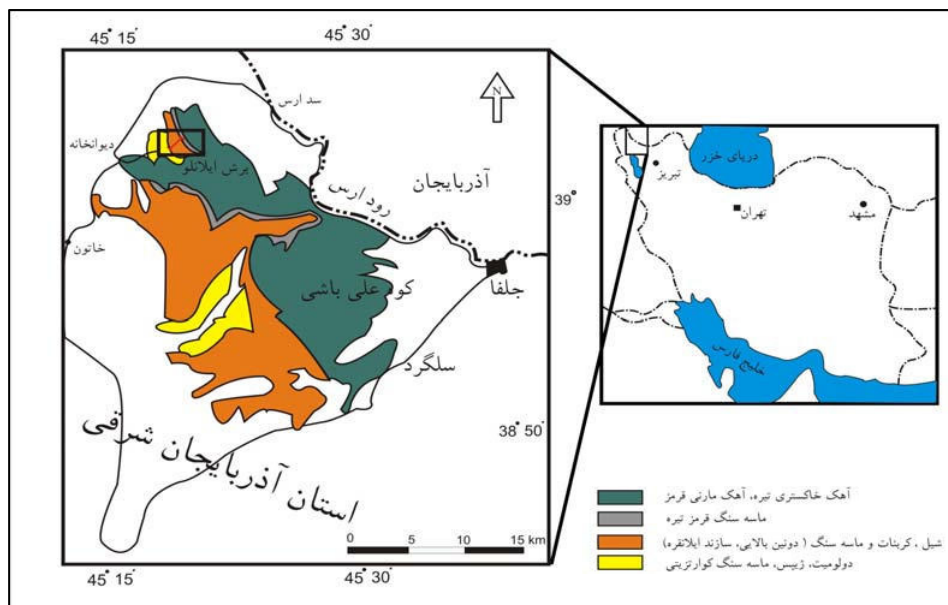
می‌باشد، بنابراین تمرکز و نسبت این عناصر بیشتر منعکس کننده ترکیب منشأ هستند. معیارهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی برای تفکیک جایگاه‌های تکتونیک صفحه‌ای حوضه‌های رسوبی، بر اساس مطالعات باتیا [5] و از روی مکان‌های ماسه‌سنگی شناخته شده، بدست آمده است. بر این اساس جایگاه‌های تکتونیکی حوضه‌های رسوبی به چهار نوع اصلی تقسیم شده‌اند: جزایر قوسی اقیانوسی (Island Arc Oceanic)، جزایر قوسی قاره‌ای (Island Arc Continental)، حواشی فعال قاره‌ای (Continental Margin Active) و حواشی غیرفعال (Passive Margin). ماسه‌سنگ‌های منشأ گرفته از هر کدام از این جایگاه‌های تکتونیکی می‌توانند توسط غنی‌شدگی یا تخلیه نسبی از عناصر متحرک و غیر متحرک مشخص شوند [10].

مطالعات ژئوشیمیایی به منظور تعیین خاستگاه و جایگاه تکتونیکی بر روی ماسه‌سنگ‌ها در ایران، قدمت زیادی ندارد. یکی از اولین مطالعه صورت گرفته در این زمینه، در جنوب غرب ایران (میدان نفتی اهواز) بر روی ماسه‌سنگ‌های اهواز از سازند آسماری (الیگو میوسن) صورت گرفته است [14] که بر این اساس جایگاه حاشیه قاره‌ای غیر فعال را برای منطقه مورد مطالعه مشخص نموده‌اند.

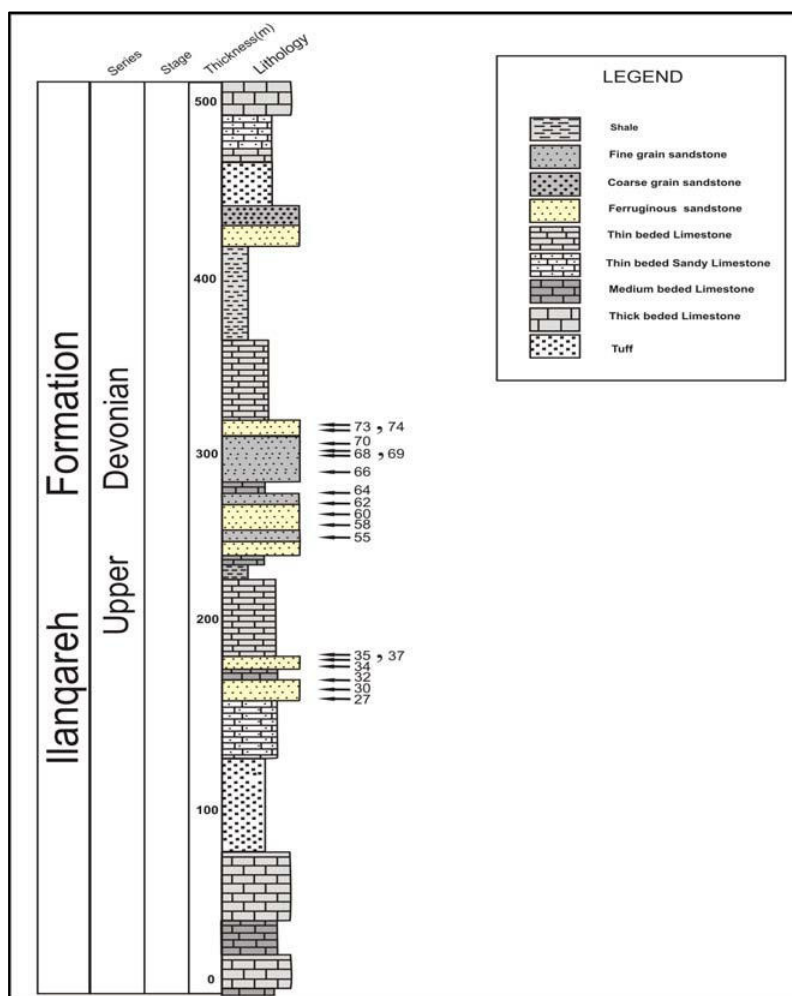
در این مطالعه با تمرکز بیشتر بر مطالعات ژئوشیمیایی، سعی می‌شود تا حدودی به وضعیت جایگاه تکتونیکی منطقه در دونین فوقانی و نوع حاشیه قاره‌ای در آن زمان پی برد.

زمین‌شناسی عمومی و پالئوژئوگرافی

رخنمون‌های رسوبات دونین در اغلب زون‌های ساختاری ایران شامل البرز غربی، آذربایجان، البرز میانی، البرز شرقی، کپه داغ، ایران مرکزی و زاگرس



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- ستون سنگ- چینه‌ای نهشته‌های دونین میانی- فوقانی سازند ایلانقره در برش ایلانل

روش مطالعه

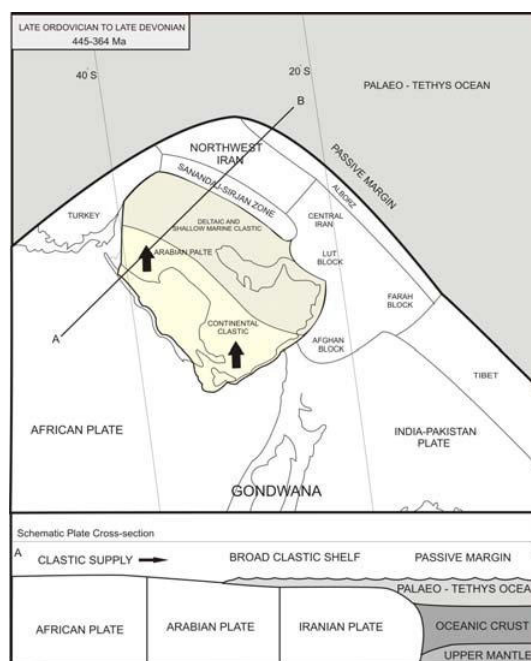
در این پژوهش تعداد ۱۷ مقطع نازک میکروسکوپی از نمونه‌های ماسه‌سنگی مناسب (ماسه‌سنگ‌های دانه متوسط تا دانه ریز) برش ایلانلو تهیه و به وسیله میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شده است. اجزای تخریبی ماسه‌سنگ‌ها توسط روش نقطه شماری گزی- دیکینسون که توسط اینگرسول توصیف شده است [13]، شمارش شدند. در هر مقطع حدود ۳۰۰ نقطه شمارش شده و سپس نتایج برای به دست آوردن اجزای اصلی ماسه‌سنگی (کوارتز، فلدسپار و خرده سنگ) به درصد رسیده اند (جدول ۱).

Sample NO.	Q%	F%	R%
73	97.66	2.34	0.00
27	100.00	0.00	0.00
70	96.06	3.94	0.00
35	97.75	2.25	0.00
68	96.44	3.56	0.00
69	98.44	1.56	0.00
72	98.75	1.25	0.00
60	97.33	2.67	0.00
32	97.15	2.85	0.00
64	97.01	2.99	0.00
62	97.07	2.93	0.00
57	93.31	1.57	5.12
37	96.68	3.32	0.00
30	95.73	2.14	2.14
34	96.89	3.11	0.00
66	96.19	3.81	0.00
74	96.57	3.43	0.00

جدول ۱- اجزای تخریبی اصلی دوباره محاسبه شده (به درصد رسانده شده) حاصل از مطالعات میکروسکوپی و نقطه شماری.

همچنین به منظور انجام آنالیزهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی، تعداد ۱۸ نمونه از این ماسه‌سنگ‌ها (ماسه‌سنگ‌های ریز دانه‌تر) انتخاب شده و به وسیله دستگاه‌های (ICP-EMS) و اسپکترو فتومتر جاذب اتمی (AAS) در آزمایشگاه مرکزی سازمان زمین‌شناسی کشور مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته است.

همچنین بیشتر مطالعاتی که تا کنون انجام گرفته است رسوب‌گذاری در دریا‌های کم عمق ساحلی و در جایگاه حاشیه غیرفعال قاره‌ای (Passive-margin) را برای رسوبات پالئوژئوئیک ایران نشان داده است [4]. بررسی‌های اخیر در خصوص پالئوژئوگرافی رسوبات اواخر دونین در خاورمیانه، نیز نشان می‌دهد که ساحل آذربایجان تحت تأثیر ورودی‌های رسوبات سیلیسی آواری قرار داشته و جهت عمومی جریان‌های رودخانه‌ای در این زمان از سمت مناطق جنوبی‌تر گندوانا (سپر عربستان و خاورمیانه) به سمت مناطق شمال‌غرب ایران و آذربایجان بوده است و حاشیه جنوبی اقیانوس پالئوتتیس در محل منطقه مورد مطالعه یک حاشیه غیرفعال قاره‌ای بوده است [2,3]، (شکل ۳).



شکل ۳- جایگاه جغرافیای قدیمه رسوبات اواخر اردوئیسین تا اواخر دونین در خاور میانه [2]. چنانچه در شکل نیز مشهود است جهت جریان‌های رودخانه‌ای و ورودی رسوبات سیلیسی آواری (فلش‌های سیاه رنگ) تا اواخر دونین از بخش جنوبی گندوانا (سپر عربستان) به سمت شمال این ابرقاره (که منطقه ایران مرکزی و آذربایجان را نیز شامل می‌شود) بوده است.

داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌ها پس از محاسبه درصد اکسیدها برای عناصر اصلی و فرعی برای تعبیر و تفسیرهای ژئوشیمیایی استفاده گردیده‌اند (جدول ۲ و ۳).

جدول ۲- مقادیر محاسبه شده اکسید عناصر اصلی (مقادیر بر حسب درصد)

Sample	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃ *	CIA
173	1.16	92.4	0.05	1.13	0.11	0.05	0.03	0.007	0.02	0.14	0.507	0.619	83.796
127	5.48	80.5	0.04	3.04	0.65	0.07	0.03	0.007	0.04	0.86	1.368	1.672	87.413
170	1.27	94.0	0.06	1.17	0.13	0.02	0.03	0.007	0.02	0.55	0.527	0.644	85.127
135	6.44	72.4	0.18	0.85	1.01	0.08	0.03	0.003	0.03	0.74	0.383	0.468	84.577
168	1.73	92.4	0.03	1.10	0.14	0.02	0.03	0.002	0.05	0.26	0.495	0.605	87.949
169	1.38	92.5	0.03	1.29	0.16	0.02	0.03	0.005	0.01	0.07	0.581	0.710	84.102
172	1.86	96.4	0.03	0.83	0.35	0.02	0.03	0.004	0.03	0.54	0.374	0.457	79.797
160	0.57	88.8	0.10	1.15	0.10	0.02	0.03	0.006	0.01	0.08	0.518	0.633	74.844
132	1.78	95.2	0.03	0.74	0.29	0.03	0.04	0.004	0.04	0.78	0.333	0.407	80.540
164	1.67	93.0	0.03	0.86	0.11	0.02	0.03	0.004	0.01	0.07	0.387	0.473	89.138
162	3.91	90.6	0.04	1.16	0.10	0.04	0.03	0.013	0.04	0.33	0.522	0.638	95.354
155	3.50	90.2	0.04	1.48	0.54	0.04	0.03	0.013	0.03	0.03	0.666	0.814	83.976
137	2.45	90.5	0.03	1.19	0.43	0.05	0.03	0.004	0.03	0.56	0.536	0.655	81.464
130	1.71	93.6	0.05	0.89	0.24	0.02	0.03	0.004	0.02	0.11	0.401	0.490	83.244
158	2.91	88.4	0.07	1.23	0.62	0.05	0.03	0.007	0.05	0.28	0.554	0.677	79.272
134	1.24	92.0	0.03	0.93	0.23	0.04	0.03	0.003	0.02	0.75	0.416	0.509	79.029
166	1.81	87.8	0.17	0.84	0.18	0.02	0.03	0.012	0.03	0.46	0.378	0.462	86.723
174	1.98	92.6	0.03	0.94	0.15	0.02	0.03	0.004	0.01	0.17	0.422	0.516	88.961

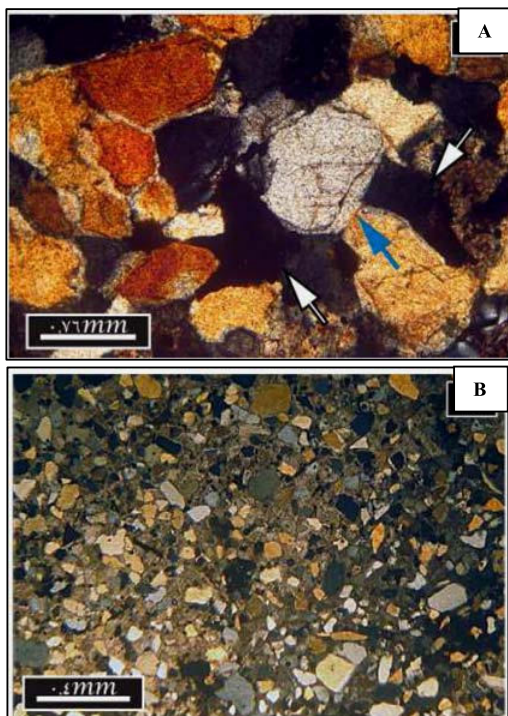
جدول ۳- مقادیر حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی برای عناصر فرعی (مقادیر بر حسب ppm)

Sample	Ti	Ba	Rb	Zr	Nb	Co	Cr	La	Y	Th	Yb	Hf	Sc	Ni	V
173	845	22	24.99	226.08	2.21	1.7	372.59	20.11	3.33	3.11	0.48	11.95	1.85	59.76	8.7
127	5198	70	36.57	1136.96	7.3	1.76	238.41	35.2	14.78	11.09	1.52	16.67	4.75	6.60	28.2
170	1315	91	18.65	743.65	6.42	1.01	417.18	32.33	7.26	5.93	0.93	19.16	2.61	41.73	14.1
135	4466	54	33.89	862.03	9.72	0.75	242.03	33.53	6.92	5.02	0.86	14.00	2.42	10.48	30.9
168	1562	19	6.23	444.96	3.57	1.68	282.57	57.07	5.47	4.59	0.71	12.65	1.15	31.32	10.2
169	459	14	24.37	273.55	1.01	0.75	358.33	10.39	3.59	3.45	0.41	12.59	1.06	4.34	8.9
172	3277	19	14.01	885.47	6.86	1.81	328.49	31.67	7.46	6.92	0.86	13.78	2.57	66.02	17.2
160	487	56	8.79	183.7	1.16	0.75	335.06	12.71	7.38	2.31	0.42	10.56	0.9	3.41	6.1
132	4700	53	7.9	732	9.41	0.75	441.92	59.03	9.89	7.79	0.90	14.24	2.24	11.51	17.3
164	464	15	16.54	207.39	1.49	0.75	449.27	46.31	4.8	1.93	0.44	13.35	0.8	116.95	9.4
162	1983	107	25.87	468.23	5.24	4.12	282.37	17.08	7.06	6.2	0.63	8.79	2.73	12.38	15.9
155	1774	95	36.74	388.12	4.08	5.86	269.41	41.49	6.18	4.97	0.59	12.65	2.37	37.82	14.8
137	3361	39	19.17	819.25	4.17	2.85	392.69	29.08	8.82	5.73	0.88	18.98	1.98	50.28	15.3
130	681	26	22.77	234.89	1.67	1.26	374.23	18.43	4.36	3.22	0.45	8.38	1.23	43.46	13.3
158	1681	32	36.03	325.52	4.48	1.45	337.83	32.02	5.57	5.14	0.48	10.30	1.41	13.01	14.4
134	4550	83	19.98	909.57	4.69	2.91	226.09	23.58	11.31	7.29	1.05	11.64	2.73	11.04	13.5
166	2803	25	3.47	720.7	4.88	3.41	327.16	57.76	7.47	9.74	0.86	13.68	1.79	118.95	15.4
174	1021	19	5.9	426.63	2.23	1.7	372.63	11.78	3.88	5.31	0.47	8.23	1.42	167.42	11.3

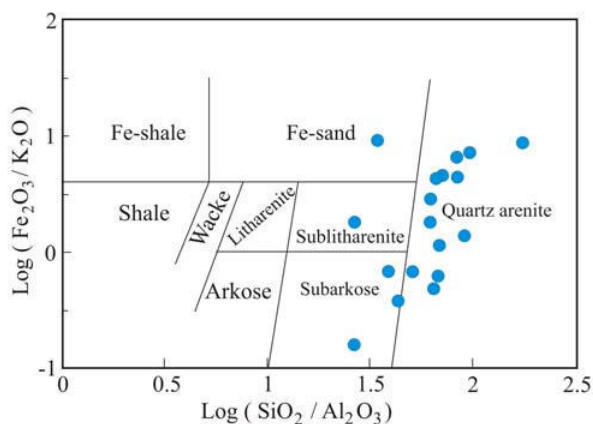
پetroگرافی

ترسیم درصد اجزاء اصلی سازنده ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو در دیاگرام فولک [9]، (شکل ۴) به منظور تعیین ترکیب سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها نشان می‌دهد که اکثر ماسه‌سنگ‌های موجود در برش ایلانلو از نوع کوارتز آرنایت بوده (شکل ۵) و در نمونه‌های محدودی بین ساب‌لایت تا ساب‌آرکوز در تغییر است.

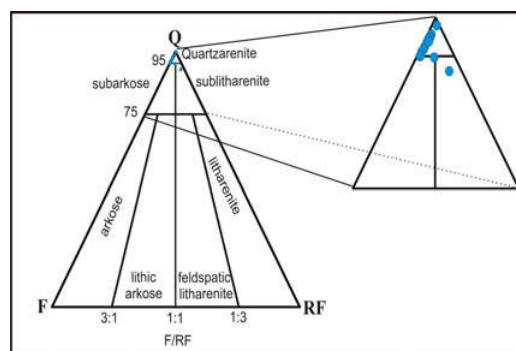
بررسی ترکیب سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ‌های انتخاب شده از برش ایلانلو از نقطه نظر ژئوشیمیایی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی بر روی دیاگرام هرون [11] ترسیم شد. این نمودار نیز ترکیب کوارتز آرنایتی را برای اکثر این ماسه‌سنگ‌ها مشخص نموده است (شکل ۶)، که با نتایج حاصل از مطالعات پetroگرافی این ماسه‌سنگ‌ها به وسیله دیاگرام فولک [9] همخوانی دارد.



شکل ۵- نمونه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های کوارتز آرنایتی در برش ایلانلو با سیمان‌های سیلیسی و کربناته. در قسمت A فلش سفید و آبی، انواع کوارتزها و همچنین فلش آبی رنگ سیمان رورشدی فرسایش یافته را در نمونه‌ای از کوارتزهای ماسه‌سنگ‌های ایلانقره نشان می‌دهد.



شکل ۶- طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌ها اقتباس از هرون [11]. در این نمودار نیز داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو، اکثراً در محدوده کوارتز آرنایت قرار می‌گیرند.



شکل ۴- طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها بر اساس دیاگرام فولک [9] در این نمودار داده‌های حاصل از ۳۰ نمونه ماسه‌سنگ در برش ایلانلو، اکثراً در محدوده کوارتز آرنایت تا مرز بین ساب‌لیتارنایت و ساب‌آرکوز قرار می‌گیرند.

بررسی هوازگی اولیه در منطقه منشأ

برای تعیین درجه هوازگی رسوبات، اندیس‌های متفاوتی بر پایه نسبت‌های ملکولی اکسیدهای عناصر متحرک (K_2O , Na_2O , CaO , MgO) نسبت به اکسیدهای عناصر غیر متحرک مثل Al_2O_3 و ZrO_2 و TiO_2 پیشنهاد شده است [7].

درجه هوازگی در سنگ‌های رسوبی سیلیسی-آواری، به وسیله استفاده از اندیس شیمیایی هوازگی (CIA)، به شرح زیر تعیین می‌شود: [16]

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO * + Na_2O + K_2O) \times 100]$$

CIA ممکن است پایین (زیر ۵۰)، متوسط (۵۰-۷۵) و یا بالا (بالتر از ۷۵) باشد. افزایش CIA از مقدار پایین به بالا مرتبط با افزایش میزان فرایندهای هوازگی می‌باشد.

مقدار متوسط CIA در نمونه‌های ماسه‌سنگی برش ایلانلو ۸۴ بدست آمد که نشان دهنده شدت فرآیند هوازگی در منطقه منشأ می‌باشد. این مقدار بالای CIA همچنین می‌تواند نشان دهنده حمل و نقل و چرخه‌های مجدد رسوب از منشأهایی دورتر از حوضه رسوبی این ماسه‌سنگ‌ها باشد [16].

ژئوشیمی عناصر اصلی برای تعیین خاستگاه

با ترسیم نمودن داده‌های اکسیدهای ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو بر روی دیاگرام روسر و کورش [18]، نمونه‌ها در محدوده خاستگاه رسوبی کوارتزی قرار می‌گیرند (شکل ۷). این محدوده در واقع در محدوده منشأ قاره‌ای چرخه مجدد همراه با حاشیه غیرفعال قاره‌ای، حوضه‌های رسوبی درون کراتونی و ایالت‌های با چرخه مجدد قرار می‌گیرد [8].

در این نمودار دو تابع تشخیصی ۱ و ۲ به ترتیب در محورهای X و Y قرار می‌گیرند. روش محاسبه این توابع در زیر آورده شده است.

نمودار ۱ (بر اساس داده‌های خام اکسیدها):

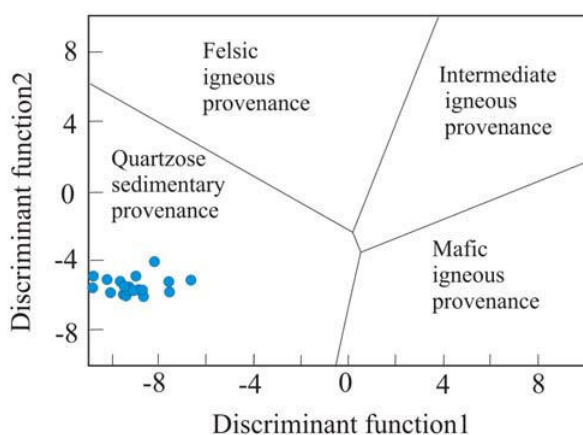
تابع تفکیکی شماره ۱

$$-1.733TiO_2 + 0.607Al_2O_3 + 0.76Fe_2O_3(t) - 0.509Na_2O - 1.224K_2O - 9.09 \quad 1.5MgO + 0.616CaO$$

تابع تفکیکی شماره ۲

$$0.445TiO_2 + 0.07Al_2O_3 - 0.25Fe_2O_3(t) - 1.142MgO + 0.438 CaO + 1.475 Na_2O + 1.426 K_2O - 6.861$$

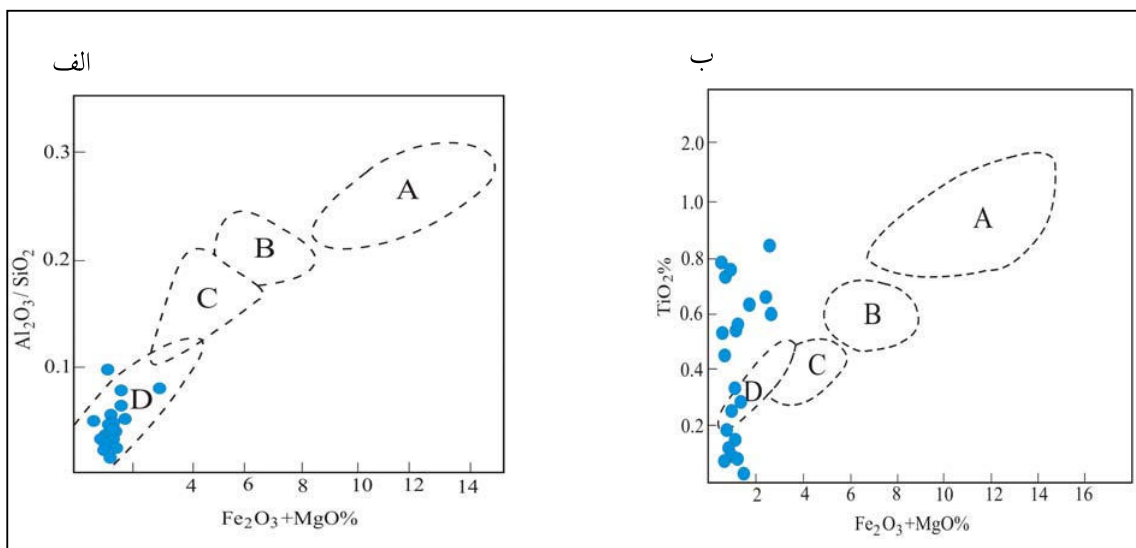
رسوبات کوارتزی حاصل از خاستگاه‌های قاره‌ای بالغ، توسط ماسه‌سنگ‌های غنی از کوارتز و فقیر از فلدسپات و خرده سنگ مشخص می‌شوند [18].



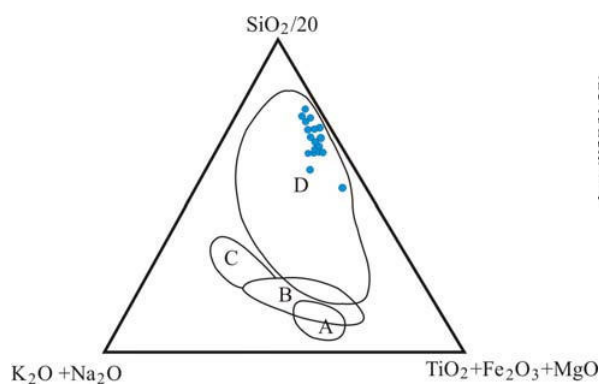
شکل ۷- نمودار متمایز کننده خاستگاه‌های مختلف [18]. ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو در محدوده خاستگاه رسوبی کوارتزی قرار گرفته‌اند.

ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو بر روی دیاگرام‌های تفکیکی باتیا [5] اکثریت نمونه‌ها در محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای قرار گرفتند (شکل ۸ قسمت الف و ب). با ترسیم نمودن داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو در دیاگرام روسر و کورش [17]، مشاهده می‌شود که در این نمودار نیز تمام نمونه‌ها در محدوده حاشیه‌های غیرفعال قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۹) و بدین ترتیب تأییدی بر نتایج دیاگرام‌های باتیا [5] و روسر و کورش [18] توسط این نمودار نیز بدست می‌آید.

ژئوشیمی عناصر اصلی برای تعیین جایگاه تکتونیکی باتیا [5] معیارهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی را برای تفکیک جایگاه‌های تکتونیک صفحه‌ای (حاشیه فعال قاره‌ای، حاشیه غیرفعال قاره‌ای، جزایر قوسی قاره‌ای، جزایر قوسی اقیانوسی) حوضه‌های رسوبی از روی مکان‌های ماسه‌سنگی شناخته شده بدست آورد. در این مطالعه از دیاگرام‌های باتیا [5]، روسر و کورش [17] و کرونینرگ [15] برای تعیین جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو استفاده شده است. با ترسیم نمودن داده‌های حاصل از آنالیز



شکل ۸ - ترسیم‌های دوبعدی نمونه‌ها با استفاده از اکسیدهای اصلی [5] - در این نمودار چهار محدوده زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیر فعال (D)، جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره‌ای (B)، و حاشیه‌های قاره‌ای فعال (C)، مشخص شده است. با دقت در این نمودارها می‌توان دریافت که نمونه‌های ماسه سنگ برش ایلانلو در محدوده حاشیه غیر فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند، (الف). علت جابجایی مکانی نمونه‌ها در دیاگرام (الف و ب) به علت فراوانی اکسید آلومینیوم و تیتانیوم در نمونه‌های برش ایلانلو می‌باشد که با توجه به اندیس CIA بالای این ماسه سنگها (۸۰) می‌تواند ناشی از شدت فرایند هوازدگی شیمیایی در این ماسه سنگها و فراوانی این نوع عناصر غیر متحرک در آنها بوده باشد [16].

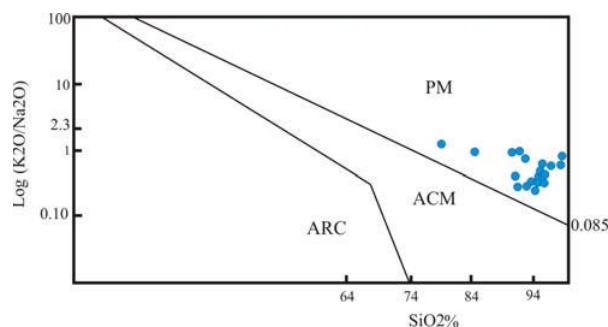


شکل ۱۰- دیاگرام مثلثی کروونبرگ [15]، داده‌های اکسیدهای اصلی ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو در محدوده حاشیه غیر فعال قاره‌ها قرار گرفته‌اند. چهار محدوده زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیرفعال (D)، جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره‌ای (B)، و حاشیه‌های قاره‌ای فعال (C)، مشخص شده است.

محدوده‌های مشخصی برای چهار محیط (جزایر قوسی اقیانوسی، جزایر قوسی قاره‌ای، حواشی فعال قاره‌ای و حواشی غیرفعال قاره‌ای) در نمودارهای سه‌تایی (مثلثی) La-Th-Sc و Th-Sc-Zr/10 و Th-Co-Zr/10 معرفی شده‌اند. داده‌های عناصر فرعی حاصل از آنالیز نمونه‌های مورد مطالعه ماسه‌سنگ برش ایلانلو (جدول ۳) در دیاگرام‌های مثلثی فوق قرار داده شدند تا بدین وسیله جایگاه‌های تکتونیکی نمونه‌های مورد مطالعه بوسیله عناصر فرعی نیز مشخص شوند.

شکل (a - ۱۱) دیاگرام سه‌تایی La, Th و Sc را نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود نمونه‌های ماسه سنگ برش ایلانلو در محدوده حاشیه غیر فعال قاره‌ای و تعدادی نیز در نزدیکی این محدوده قرار گرفته‌اند.

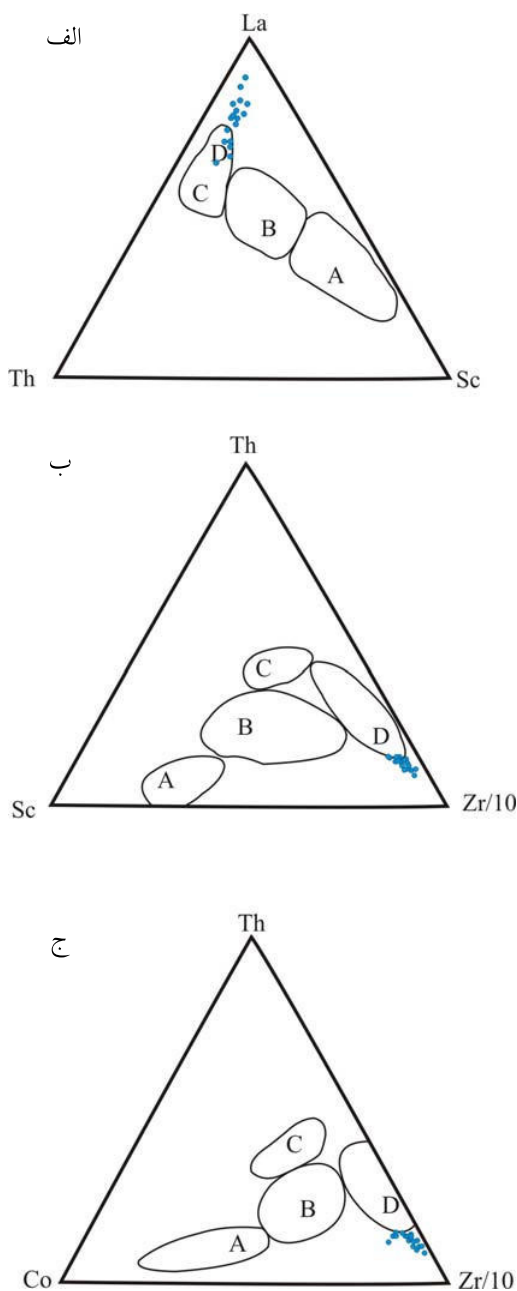
قرار دادن نمونه‌های مورد مطالعه در شکل (b - ۱۱) دیاگرام سه‌تایی Sc, Th و Zr/10، نیز حاکی از این واقعیت است که نمونه‌ها در نزدیکی محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند، همچنین ترسیم مقادیر



شکل ۹- با ترسیم نمودن داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ برش ایلانلو، تمام نمونه‌ها در محدوده حاشیه‌های غیر فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند [17]. سه محدوده زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیر فعال (PM)، جزایر قوسی (ARC) و حاشیه‌های قاره‌ای فعال (ACM)، مشخص شده است.

کروونبرگ [15] نیز در دیاگرامی مثلثی محدوده‌هایی برای ۴ جایگاه تکتونیکی تعیین نمود. در رئوس این مثلث از اکسیدهایی همچون K_2O , Na_2O , TiO_2 با SiO_2 و Fe_2O_3 , MgO استفاده شده است. با ترسیم داده‌ها در این نمودار نیز نمونه‌ها تماماً در محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای قرار گرفتند که تاییدی بر نتایج قبلی می‌باشد (شکل ۱۰)، بنابراین بررسی آنالیزهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی با استفاده از دیاگرام‌های مختلف نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو از یک خاستگاه رسوبی کوارتزی (کراتون) ایجاد و در یک حاشیه غیرفعال قاره‌ای رسوب‌گذاری نموده است.

ژئوشیمی عناصر فرعی برای تعیین جایگاه تکتونیکی
عناصر فرعی مثل Sc, Co و Th در سنگ‌های سیلیسی- آواری در شرایط هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی درجه پایین عموماً بدون تغییر باقی می‌مانند [6] و ممکن است ویژگی‌های شیمیایی سنگ منشأ را نشان بدهند. بنابراین به نظر می‌رسد که عناصر فرعی، خاستگاه و منشأ دقیق‌تری را نسبت به عناصر اصلی نشان می‌دهند [15].



شکل ۱۱ - ترسیم عناصر فرعی ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو در دیاگرام‌های متمایز کننده جایگاه‌های تکنوتیکی باتیا و کروک [6]. در هر سه دیاگرام (الف، ب و ج) نمونه‌ها در محدوده حاشیه غیر فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند که نتایج حاصل از عناصر اصلی را تأیید می‌کند. چهار محدوده زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیرفعال (D)، جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره‌ای (B) و حاشیه‌های قاره‌ای فعال (C) مشخص شده است.

عناصر فرعی در دیاگرام سه‌تایی Co, Th و Zr/10 و شکل (c - 11) نیز نتایجی شبیه به دیاگرام‌های قبلی را نشان می‌دهد، بنابراین ژئوشیمی عناصر فرعی و استفاده از دیاگرام‌های مرتبط نیز نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو در یک حاشیه غیر فعال قاره‌ای رسوب‌گذاری کرده‌اند، به عبارتی تمامی یافته‌های حاصل از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی جایگاه تکنوتیکی حاشیه غیر فعال را برای این ماسه‌سنگ‌ها تأیید می‌کنند.

انطباق نتایج حاصل از دیاگرام‌های ژئوشیمیایی بدست آمده در این پژوهش با یافته‌های پالئوژئوگرافی منطقه آذربایجان در زمان دونین فوقانی موید این موضوع است که منشأ رسوبات ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو می‌تواند حوضه‌های درون کراتونی بوده باشد و این رسوبات پس از تحمل چرخه‌های مجدد حمل در نهایت در یک حاشیه غیر فعال قاره‌ای ته‌نشست یافته‌اند.

با توجه به موقعیت پالئوژئوگرافی ایران در زمان دونین فوقانی و جایگاه منطقه آذربایجان در آن زمان (شکل ۳) که در پیشانی‌ترین ساحل جنوبی اقیانوس پالئوتتیس و بخش شمالی ابرقاره گندوانا قرار گرفته بوده است و از طرفی با توجه به مطالعات صورت گرفته در نواحی با سن مشابه در البرز شمالی و خاورمیانه که منشأ رسوبات آن مناطق را نیز به مناطق شرق آفریقا و کراتون عربستان نسبت داده‌اند [12] و همچنین مطالعات اخیر [2] می‌توان فرضیه ورود رسوب از سمت مناطق جنوبی و نواحی خاورمیانه (از آن جمله سپر عربستان و سپر نوین در شرق آفریقا) و همچنین چرخه‌های مجدد حمل رسوب را برای ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو پیشنهاد نمود، که در نهایت در جایگاه تکنوتیکی حاشیه غیرفعال قاره‌ای اقیانوس پالئوتتیس ته‌نشست یافته‌اند.

نتیجه‌گیری

- داده‌های حاصل از مطالعات پتروگرافی براساس دیاگرام فولک [9] و ترسیم نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو در دیاگرام هرون [11]، ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها را کوارتز آرنایت نشان می‌دهد.

- استفاده از دیاگرام روسر و کورش [18] (به منظور تفکیک خاستگاه ماسه‌سنگ‌ها) خاستگاه رسوبی کوارتزی و چرخه مجدد را برای محل منشأ ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو ارائه می‌نماید.

- محاسبه میزان اندیس هوازدگی ماسه‌سنگ‌ها عدد ۸۴ را برای ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو نشان می‌دهد که بر اساس اعداد ارائه شده توسط نسبیت و یانگ [16]، میزان هوازدگی شدید و محیطی گرم و مرطوب را برای منشأ این ماسه‌سنگ‌ها بازگو می‌نماید.

- استفاده از نمودارهای باتیا [5]، روسر و کورش [18] و کرومبرگ [15] (به منظور تفکیک جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌ها)، نیز جایگاه تکتونیکی حاشیه غیرفعال قاره‌ای را برای ماسه‌سنگ‌های برش ایلانلو ارائه می‌نماید. نتایج حاصل از داده‌های عناصر فرعی نیز اکثر نتایج داده‌های حاصل از عناصر اصلی را تایید می‌نماید.

- مطالعات ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی در ماسه‌سنگ‌های سازند ایلانقره با سن دونین فوقانی برش ایلانلو می‌تواند نشان دهنده این باشد که این ماسه‌سنگ‌ها از یک منشأ کراتونی ایجاد و در نهایت در جایگاه تکتونیکی حاشیه غیرفعال قاره‌ای رسوب‌گذاری نموده‌اند.

منابع

- ۱- جعفری زاده، ح، (۱۳۷۶)، بیواستراتیگرافی آکریتارشها در سازندهای مولی و ایلانقره واقع در شمال شرقی ماکو (کوه آق بابا)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گرایش چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، دانشگاه شیراز، ۲۵۴ ص.
- 2- Al-Juboury, A.I. Alhadidy, A.H., (2009). Petrology and depositional evolution of the Paleozoic rocks of Iraq: Marine and Petroleum Geology 26, 208–231 p.
- 3- Alsharhan, A.S., Nairn, A.E.M., (1997), Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East: Amsterdam, Elsevier, p 843.
- 4- Berberian, M., King, G.C.P., (1981). Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences 18, 210–265 p.
- 5- Bhatia, M.R., (1983). Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. Journal of Geology 91, 611–627 p.
- 6- 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 p.
- 7- Chittleborough, D.J., (1991), Indices of weathering for soils and palaeosols formed on silicate rocks: Australian Journal of Earth Sciences 38, 115–120 p.
- 8- 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. Journal of Asian Earth Science 26, 649-668 p.
- 9- Folk, R.L., (1974), Petrology of Sedimentary Rocks: Austin, TX, Hemphill Press, second edition, p 182.
- 10- Getaneh, W., (2002). Geochemistry provenance and depositional tectonic setting of the Adigrat Sandstone northern Ethiopia. Journal of African Earth Sciences 35, 185-198 p
- 11- Herron, M.M., (1988). Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. Journal of Sedimentary Petrology 58, 820–829 p.

- 12- Horton, B.K., Hassanzadeh, J., Stockli, D.F., Axen, G.H., Gillis, R.J., Guest, B., Amini, A., Fakhari, M., Zamanzadeh, S.M., Grove, M., (2008). Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: Implications for chronostratigraphy and collisional tectonics. *Tectonophysics* 451, 97–122 p.
- 13- Ingersoll, R.V., Bulard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.P., Sares, S.W., (1984). The effect of grain size on detrital modes: a text of the Gazzi-Dickinson Point Counting method: *Journal of Sedimentary Petrology* 54, 103-116 p.
- 14- 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, 247–260 p.
- 15- Kroonenberg, S.B., (1994). Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments. *Proceedings of the 29th International Geological Congress, Part A*, 69-81 p.
- 16- Nesbitt, H.W., Young, G.M., (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715–717 p.
- 17- 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, 635–650 p.
- 18- Roser, B.P., Korsch, R.J., (1988). Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology* 67, 119–139 p.
- 19- Stampfli, G.M., Borel, G.D., (2003). A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters* 196, 17–33 p.
- 20- Wendt, J., Kauffman, B., Belka, Z., Farsan, N., Bavandpour, A. K., (2005). Devonian/ Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran Part II. Northern and central Iran *Acta Geologica Polonica* 55, No. 1, 31-97 p.