

## سن سنجی سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌عمیق شمال شهرکرد با روش $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ رهیافتی نو پیرامون زمان وقوع و دوام پدیده آتشفشانی ژوراسیک در پهنه سنندج-سیرجان

سید نعیم امامی<sup>۱</sup>\* و محمود خلیلی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران  
<sup>۲</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

### چکیده

مجموعه آتشفشانی-آذرآواری شمال شهرکرد به صورت کمربندی با راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق با امتداد N50W در مساحتی بالغ بر ۳۹۶ کیلومتر مربع به موازات پهنه ساختاری و گسل زاگرس و در بخش مرکزی پهنه سنندج-سیرجان استقرار یافته است. سنگ‌های آتشفشانی منطقه دارای سرشت بازیک و حدواسط است. سنگ‌های نیمه‌عمیق میکرودیوریتی به فرم استوک‌های کوچک رخمون یافته‌اند. سنگ‌های آذرآواری شامل انواع توف، لاپیلی توف، آگلومرا، برش آتشفشانی و توفیت است. به منظور تعیین سن سنگ‌های آتشفشانی یاد شده، با توجه به وفور سنگ‌های حدواسط و وجود بلورهای سالم آمفیبول، روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  بر روی آمفیبول‌های سنگ‌های آندزیت و نیز سنگ‌های نیمه‌عمیق با ترکیب دیوریتی انتخاب شد. سن سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌عمیق منطقه با روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  از ۱۴۸ تا ۱۶۹ میلیون سال پیش، حد فاصل اشکوب‌های کالوین (دوگر فوقانی) تا تیتونین (مالم فوقانی) تعیین شده است. این سن منطبق با نتایج سن سنجی بر روی توده‌های نفوذی در امتداد پهنه سنندج سیرجان، همچون: توده‌های گرانیتوئیدی الیگودرز و الوند است. تشکیل ماگمای مولد این توده‌ها به فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه ایران مرکزی نسبت داده شده است. بدین ترتیب، پدیده ولکانیسم منطقه به فاز کوهزایی سیمین میانی تعلق دارد که برای نخستین بار در این بخش از پهنه سنندج-سیرجان و درمورد سنگ‌های آتشفشانی گزارش می‌شود.

واژه‌های کلیدی: روش آرگون-آرگون، سن سنجی، ولکانیسم، سیمین میانی، شهرکرد، سنندج-سیرجان

### مقدمه

پهنه ساختاری سنندج-سیرجان، متناسب به ژوراسیک واقع در شمال شهرکرد، مرکز استان چهارمحال و بختیاری در مساحتی بالغ بر ۳۹۶

در جریان پژوهش‌های پترولوژیکی بر روی مجموعه سنگ‌های آتشفشانی-آذرآواری بخشی از

و بختیاری قرار گرفته است. این محدوده بین  $50^{\circ}40'10''$  تا  $51^{\circ}06'1''$  طول شرقی و  $32^{\circ}25'44''$  تا  $32^{\circ}39'51''$  عرض شمالی واقع است و بخش‌هایی از شمال استان چهارمحال و بختیاری و باختر استان اصفهان را در بر می‌گیرد (شکل ۱).

### زمین‌شناسی منطقه

منطقه بررسی شده در فاصله تقریبی ۳۸ کیلومتری شرق و شمال شرق گسل زاگرس و در پهنه ساختاری سنندج-سیرجان قرار گرفته است. این ناحیه در واقع ما بین دو گسل بن و دالان در جنوب و شمال محصور شده و گسل شیدا از مرکز منطقه با امتدادی موازی دو گسل پیش گفته یعنی شمال‌باختر-جنوب‌خاور عبور می‌کند. هر سه گسل از نوع معکوس بوده که به جز گسل شیدا بقیه آنها به سمت شمال‌خاور شیب دارد. این پهنه در واقع بخشی از کمربند کوهزایی زاگرس ایران است (Emami, 2008; Ghasemi, 2006). قلمرو تحت پژوهش در بخش میانی و شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهار گوش شهرکرد (Zahedi, 1996) است. این ناحیه همچنین، نیمه جنوبی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چادگان را به خود اختصاص می‌دهد (Ghasemi et al., 2009). در شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه ارایه شده است.

بررسی‌های انجام شده در کوه شیراز واقع در غرب منطقه نشانگر آن است که نهشته‌های آتشفشانی-آذرآواری ژوراسیک با یک ناپیوستگی آذرین پی (Nonconformity) در زیر سنگ‌های آهکی ضخیم‌لایه تا توده‌ای کرتاسه قرار گرفته‌اند (Emami, 2008).

به طور خلاصه، می‌توان گفت که برونزدهای سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری در شمال

کیلومتر مربع، برای نخستین بار سن مطلق سنگ‌های یاد شده با روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  بر روی سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌عمیق حدواسط تعیین شد.

تعیین سن مطلق این سنگ‌ها از آن رو با اهمیت است که تعیین ویژگی‌های ژئودینامیکی و تاریخچه زمین‌شناسی کشور که بنیاد کاوش‌های زمین‌ساخت و زمین‌شناسی اقتصادی است بدون اطلاع از سن دقیق فرآیندهایی همچون: سنگ‌زایشی میسر نخواهد بود. این امر به ویژه در مورد پهنه زمین‌ساختی سنندج-سیرجان اهمیتی دو چندان می‌یابد. زیرا تحقیقات کمتری نسبت به سایر نواحی ساختاری کشور انجام شده و پژوهش‌هایی از این دست در این پهنه، کم نظیر و چه بسا بی‌نظیر است. برای تحقق این امر با توجه به ماهیت بازیک و حدواسط سنگ‌ها و وجود کانی‌هایی همچون: پیروکسن، آمفیبول و فلدسپار، روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  بر روی آمفیبول‌های سنگ‌های آندزیتی و نیز سنگ‌های نیمه‌عمیق با ترکیب دیوریتی در نظر گرفته شد. برای انجام سن‌سنجی با روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ، یک نمونه از هورنبلندهای سنگ‌های آتشفشانی حدواسط و دو نمونه از هورنبلندهای سنگ‌های نیمه‌عمیق میکرودیوریتی به دانشگاه اورگون آمریکا ارسال شد. مختصات محل‌های برداشت این نمونه‌ها به شرح جدول ۱ است.

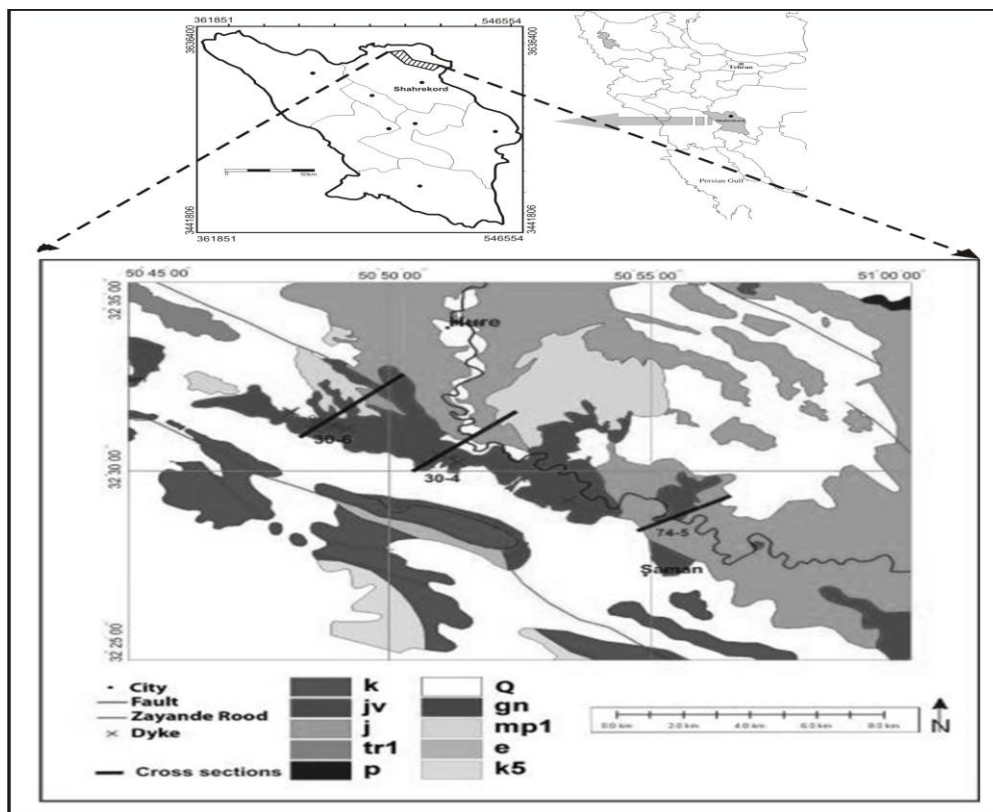
جدول ۱- مختصات جغرافیایی محل برداشت نمونه سنگ‌های آمفیبول‌دار

No.	code	Sample type	Latitude	Longitude
1	74-5	Andesite	3593660	492987
2	30-4	Microdiorite	3597594	482981
3	30-6	Microdiorite	3598025	482043

منطقه به صورت کمربندی با راستای شمال‌باختری-جنوب‌خاوری، در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال شهرکرد، مرکز استان چهارمحال

چادگان بخشی از سنگ‌های آتشفشانی در کوه لاتان و شیخ‌شبان و همچنین، شمال لارک به مرز تریاس و ژوراسیک نسبت داده شده است؛ در صورتی که در بررسی‌های پیشین، تمامی مجموعه‌های آتشفشانی به ژوراسیک میانی تا فوقانی نسبت داده شده بود (Zahedi, 1996; Emami, 2008).

شهرکرد در کوه‌های شیراز، لاتان و شیخ‌شبان، شمال لارک و جنوب شیدا و در محور و اطراف رودخانه زاینده‌رود حد فاصل روستای هوره تا روستای چم‌یوسف‌علی قابل مطالعه است. در نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ موجود، این مجموعه‌ها دارای واحدهای مختلف و سنین متفاوتی گزارش شده‌اند. در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه بررسی شده در شمال شهرکرد

راهنمای نقشه: P= آهک‌های متوسط‌لایه پرمین؛ tr1= آهک‌های تفکیک نشده تریاس؛ z= ماسه‌سنگ و سیلت‌سنگ‌های ژوراسیک تحتانی تا میانی؛ jz= واحدهای آتشفشانی مورد پژوهش به سن ژوراسیک میانی تا فوقانی؛ k= آهک‌های خاکستری رنگ ضخیم‌لایه کرتاسه؛ k5= آهک‌های رسی کرتاسه؛ e= کنگلومرای معادل کشکان به سن پالئوسن-ائوسن؛ mp1= تناوب آهک و مارن ژیبس‌دار میوسن؛ gn= گنایس گرانیتهی قبل از ژوراسیک میانی؟، Q= رسوبات کواترنر

### بررسی‌های صحرایی

پیمایش در راستای عمود بر امتداد کمربند آتشفشانی و سه مقطع در امتداد رخنمون‌های یاد شده انجام شد. بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های همزمان صحرایی و میکروسکوپی بر روی بیش از دویست مقطع نازک، مجموعه سنگ‌های

به منظور انتخاب و جداسازی نمونه‌های مناسب سن‌سنجی، ابتدا واحدهای آتشفشانی و آذرآوری در منطقه شمال شهرکرد شناسایی شد. به این منظور، عملیات صحرایی با انجام ده

### روش انجام پژوهش

همان طور که در مقدمه اشاره شد، پس از انجام عملیات صحرایی و پیمایش‌های مورد نیاز، نمونه سنگ‌های سالم جداسازی و انتخاب شد. باتوجه به وجود آمفیبول‌های کلسیک سالم (هورنبلند تا هستنگزیت) در سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌عمیق میکرودیوریتی، سه نمونه سنگ سالم برای جدایش کانی‌ها و انجام تجزیه به دانشگاه ایالت اورگون آمریکا ارسال شد. روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  روشی قابل اعتناء در نمونه‌های سنگی مشتق از گوشته و دارای کانی‌هایی از جمله: فلوگوپیت و آمفیبول است (Pokhilenko *et al.*, 2013). قبل از آزمایش سن‌سنجی ابتدا با روش دستگاه تجزیه ریزکاو الکترونی (EMPA) ترکیب کانی‌شناسی آمفیبول‌ها تعیین شد. این آزمایشات به وسیله دستگاه SX 50 Cameca در دانشگاه اوکلاهاماسیتی (نورمن) آمریکا انجام شد. برای انجام آزمایش از پنج طیف‌سنج پراش با طول موج‌های متفاوت و شناساگر پراش X مدل PGT PRISM 2000 استفاده شد.

اصول روش سن‌سنجی  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  به وسیله Dallmeyer و Lanphere (۱۹۷۴)، Dalrymple و Lanphere (۱۹۷۵ و ۱۹۸۲) و (۲۰۰۰) ارائه شده است. روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  مبتنی بر تشکیل  $^{39}\text{Ar}$  به وسیله پرتودهی نمونه‌های پتاسیم‌دار با نوترون‌های سریع و پرحرارت در یک رآکتور هسته‌ای است (Merrihue *et al.*, 2002). (Ivanov *et al.*, 2002) پیشنهاد نمود که نسبت  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  را می‌توان توسط طیف‌سنجی جرمی اندازه‌گیری کرد (Faur and Mensing, 2005). Turner (۱۹۷۲) این روش را تشریح کرده و سنینی را برای چندین متئوریت سنگی مشتق از گوشته گزارش کرده است که انطباق مناسبی با تاریخ‌های تعیین شده به روش K-Ar بر روی همین متئوریت داشت.

آذرین منطقه شمال شهرکرد به سه واحد لیتولوژی مشتمل بر سنگ‌های ماگمایی شامل: سنگ‌های بازالتی، بازالت آندزیتی و آندزیت و سنگ‌های نیمه‌عمیق دولریتی و میکرودیوریتی و سنگ‌های آذرآواری همچون: توف، آگلومرا، برش آتشفشانی و توفیت تفکیک شد. با توجه به این که روش سن‌سنجی مورد استفاده در این پژوهش مبتنی بر حضور آمفیبول‌های سالم در سنگ است، نمونه‌های از آمفیبول آندزیت و دو نمونه از آمفیبول‌های میکرودیوریت‌ها انتخاب و بلورهای آنها جداسازی شد. در زیر نیز فقط به شرح ویژگی‌های این دو گروه پرداخته می‌شود.

**میکرودیوریت‌ها:** استوک‌های بررسی شده در مرکز و شمال محدوده که در داخل سنگ‌های آتشفشانی بازیگ نفوذ نموده‌اند، واجد سنگ‌شناسی متفاوتی است (شکل ۲). این سنگ‌ها به دلیل آن که درجات ضعیف دگرگونی را متحمل شده‌اند ظاهری سبز رنگ به خود گرفته‌اند که در واقع ناشی از حضور گسترده بلورهای کلریت است. کانی‌های همراه این سنگ‌های نیمه‌عمیق علاوه بر پلاژیوکلاز شامل: آپاتیت، اسفن لوکوکسن و ایلمینت است.

**آندزیت‌ها:** این گروه از سنگ‌ها به صورت گنبد‌های کم وسعت (Dome) در بین مجموعه‌های بازالتی و بازالت آندزیتی مشاهده می‌شود و در برخی نقاط دایک‌های دولریتی این گنبد‌ها را قطع نموده‌اند. بررسی‌های میکروسکوپی و نیز ژئوشیمیایی نشانگر دو نوع از سنگ‌های یاد شده شامل: پیروکسن آندزیت و هورنبلند آندزیت در منطقه است. در نیمه شرقی محدوده چند گنبد سبز رنگ در شمال شرق پل چلوان در کنار جاده اصلی شهرکرد-نجف‌آباد رخنمون دارد که لیتولوژی غالب آنها را هورنبلند آندزیت تشکیل می‌دهد (شکل ۳).

## پتروگرافی

بخش عمده‌ای از سنگ‌شناسی منطقه به سنگ‌های آندزیتی و میکرودیوریتی (با ساخت نیمه‌عمیق) اختصاص داشته و به این لحاظ در این مبحث به پتروگرافی این سنگ‌ها پرداخته می‌شود.

**آندزیت:** در این سنگ‌ها، بلورهای درشت آمفیبول (کشیده و تیره رنگ) و فلدسپار (میکروولیت‌های سفید رنگ) با چشم غیر مسلح قابل تشخیص است. بررسی‌های میکروسکوپی نشان‌دهنده بافت پورفیری با زمینه فلسیتیک بوده که از درشت‌بلورهای آمفیبول و ریزبلور کوارتز و پلاژیوکلاز تشکیل شده است (شکل ۴-A و B). این گروه از سنگ‌ها را می‌توان جزو سالم‌ترین سنگ‌های منطقه برشمرد. به گونه‌ای که در کانی‌های اصلی و نیز کانی‌های زمینه سنگ اثری از دگرسانی مشاهده نمی‌شود. به ویژه، آمفیبول‌ها تقریباً به طور کامل سالم مانده‌اند.

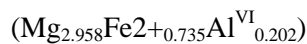
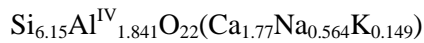
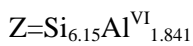
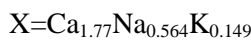
**میکرودیوریت:** سنگ‌های نیمه‌عمیق با ترکیب دیوریتی به صورت استوک‌های کم وسعت در داخل مجموعه‌های آتشفشانی نفوذ یافته‌اند. بافت این سنگ‌ها اینترگرانولار و افیتیک است (شکل ۴-C). کانی اصلی این سنگ‌ها آمفیبول‌های سالم و درشت‌بلور در کنار پلاژیوکلازها است (شکل ۴-D). کانی‌های همراه این سنگ‌های نیمه‌عمیق شامل: آپاتیت، اسفن لوکوکسن و ایلمینت است.

## شیمی کانی

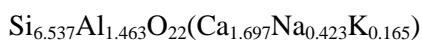
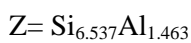
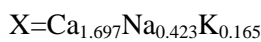
همه آمفیبول‌های هورنبلند آندزیت‌های منطقه کلسیک بوده و در محدوده کرسوتیت قرار می‌گیرد (شکل ۴-D). در هیچ نمونه‌ای، این کانی‌ها پدیده زونینگ نشان نمی‌دهند. TSi بین ۶/۲ a.p.f.u تا ۶/۵ متغیر است و بنابراین، ترکیب آمفیبول‌ها به ادنیت نمی‌رسد. از جمله کانی‌های فرعی برخی از هورنبلند آندزیت‌ها می‌توان به اسفن با اشکال

کشیده و سوزنی و از کانی‌های کدر به مگنتیت با فرم‌های مربعی و هگزاگونال اشاره کرد. در جدول ۲ نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی بر روی سه نمونه آمفیبول ارائه شده است.

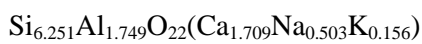
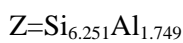
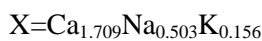
فرمول محاسبه شده برای این آمفیبول‌ها به صورت زیر بوده و طبقه‌بندی آنها در شکل‌های ۵ و ۶ درج شده است. آمفیبول‌ها در قلمرو کرسوتیت قرار می‌گیرد. فرمول مربوط به نمونه ۶-۳۰:



فرمول محاسبه شده برای نمونه آمفیبول ۵-۷۴:



نمونه آمفیبول ۴-۳۰:



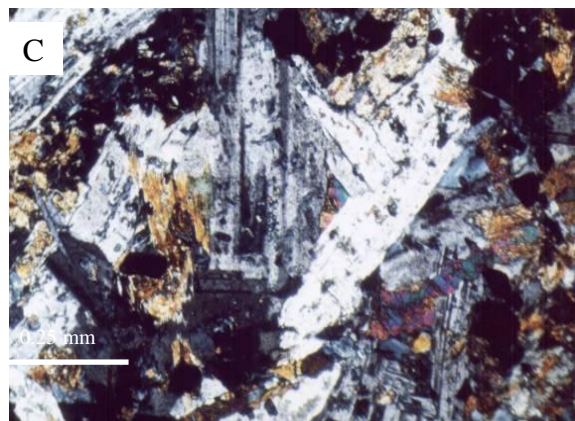
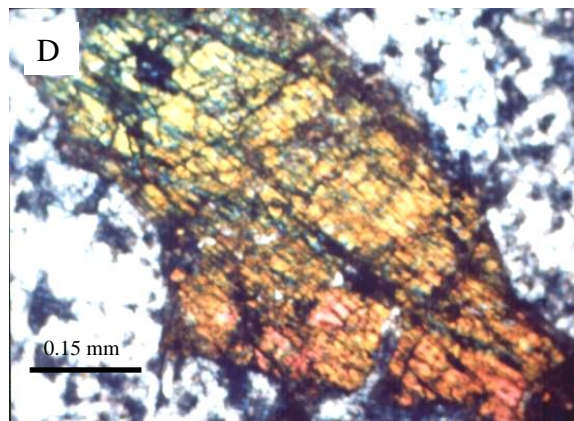
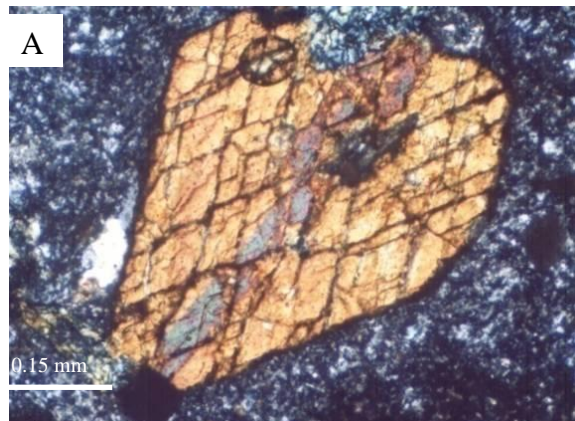
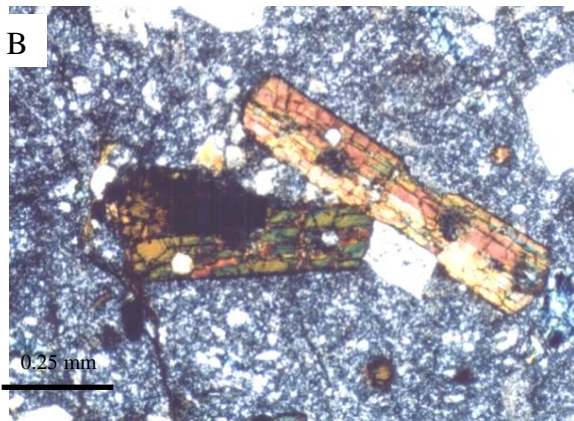
برای تعیین نام و فرمول آمفیبول‌ها، محاسبات مبتنی بر روش Hawthorn (۱۹۸۱) بوده و نمودارها از Leake (۱۹۹۷) اقتباس شده است. با توجه به نمودار Bna - Bca + Bna، نمونه‌های بررسی شده در محدوده آمفیبول‌های کلسیک قرار می‌گیرد. نام دقیق این کانی‌ها نیز کرسوتیت است.



شکل ۳- گنبد آندزیتی سبز رنگ و نفوذ دایک‌های دولریتی درون آن در شرق منطقه (نگاه به سمت شمال غرب)



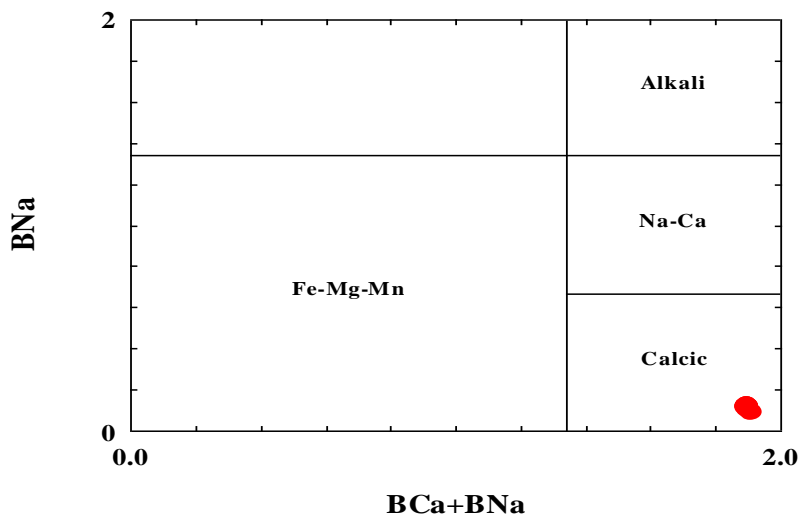
شکل ۲- استوک میکرودیوریتی در نیمه چپ و آتشفشانی‌های سبز رنگ (در نیمه راست تصویر) در غرب منطقه ( نگاه به سمت شمال شرق)



شکل ۴- (A) مقطع عرضی از بلور آمفیبول؛ (B) مقطع طولی بلورهای آمفیبول در زمینه کوارتزفلدسپاری در یک هورنبلندآندزیت؛ (C) بافت اینترگرانولار در یک سنگ نیمه‌عمیق (میکرودیوریت)؛ (D) تک بلور درشت آمفیبول در مقطع طولی در یک میکرودیوریت

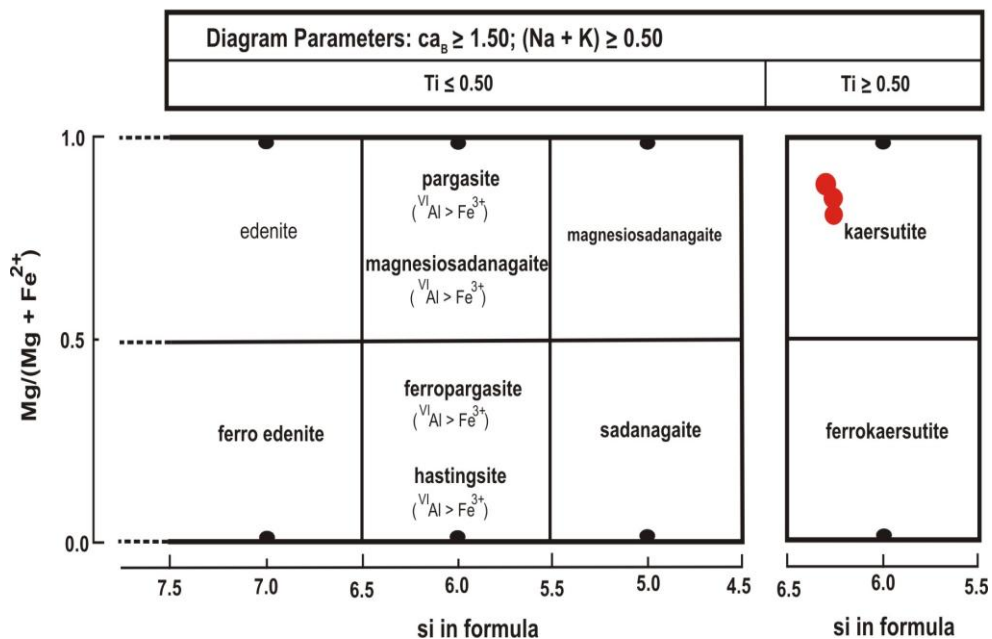
جدول ۲- نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی آمفیبول‌های منتخب شمال شهرکرد

Sample	74-5			30-4			30-6
	Mean	Rim	Core	Mean	Rim	Core	Mean
Rock type	Andesite			Microdiorite			Micro diorite
SiO <sub>2</sub>	44.34	42.24	43.29	45.91	42.94	44.42	42.9
TiO <sub>2</sub>	1.72	2.02	1.87	1.14	1.95	1.545	2.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.21	12.12	10.66	8.77	11.14	9.755	11.30
FeO <sup>+</sup>	16.90	12.93	14.91	16.81	15.03	15.92	12.49
MgO	11.43	13.21	12.32	12.19	12.70	12.44	13.64
MnO	0.62	0.22	0.42	0.67	0.31	0.35	0.23
CaO	10.74	11.32	11.03	10.47	10.96	10.71	11.3
Na <sub>2</sub> O	1.48	1.94	1.71	1.44	1.78	1.61	1.88
K <sub>2</sub> O	0.85	0.93	0.89	0.59	0.84	0.715	0.86
F	0.12	0.01	0.065	0.12	0.13	0.125	0.06
Cl	0.13	0.03	0.08	0.12	0.16	0.09	0.04
H <sub>2</sub> O	2.46	3.03	2.745	2.17	2.36	0.906	3.07
Sum	100	100	99.99	100	100.3	98.58	100
Calculated at the base of 23 oxygen and FeO as total Fe.							
Si	6.604	6.236	6.42	6.758	6.313	6.535	6.32
Al <sup>IV</sup>	1.396	1.764	1.58	1.424	1.687	1.464	1.68
(Sum) T site	8	8	8	8	8	8	8
Al <sup>IV</sup>	0.22	0.343	0.281	0.210	0.242	0.226	0.287
Fe <sup>2+</sup>	1.506	1.047	1.276	1.321	1.101	1.211	1.004
Mg	2.538	2.907	2.722	2.675	2.784	2.729	2.997
Fe <sup>3+</sup>	0.505	0.465	0.485	0.627	0.628	0.632	0.442
Ti	0.193	0.224	0.208	0.126	0.216	0.188	0.247
Mn	0.039	0.014	0.026	0.041	0.019	0.03	0.0147
(Sum) M1,M2,M3	5	5	5	5	5	5	5
Mn	0.040	0.014	0.027	0.042	0.019	0.030	0.014
Fe <sup>2+</sup>	0.095	0.084	0.089	0.122	0.109	0.115	0.086
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	1.714	1.790	1.752	1.651	1.727	1.689	1.78
Na	0.152	0.111	0.131	0.185	0.145	0.165	0.115
(Sum) M4	2	2	2	2	2	2	2
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.276	0.444	0.36	0.226	0.362	0.294	0.421
K	0.162	0.175	0.168	0.111	0.158	0.134	0.110
A site	0.438	0.619	0.528	0.337	0.520	0.428	0.531
Sum of Cationes	15.438	15.62	15.528	15.337	15.52	15.428	15.53
Altotal	1.61	2.107	1.853	1.452	1.929	1.690	1.967
Fet/(Fet+Mg)	0.453	0.354	0.403	0.436	0.398	0.417	0.338



شکل ۵- نمایش موقعیت بلورهای آمفیبول بر روی نمودار طبقه‌بندی آمفیبول‌ها (Leake, 1997)

### calcic amphiboles



شکل ۶- نمایش موقعیت بلورهای آمفیبول بر روی نمودار طبقه‌بندی آمفیبول‌های کلسیک (Leake, 1997)

### بحث

برجستگی یاد شده، گدازه‌های بازیگ همراه با رسوب‌های بیشتر آواری، در امتداد گسل سامان-فریدونشهر که منطبق با گسل شیدا در نقشه ارایه شده در این پژوهش است، شکل گرفته‌اند و همین سنگ‌های آتشفشانی است که بر روی سنگ‌های قدیمی‌تر قرار دارد و گاهی نیز سنگ‌های پرمین را

بر اساس نظر Zahedi (۱۹۹۶) در پهنه سنندج-سیرجان ناحیه شهرکرد به لحاظ وجود فرازمین برجسته و کهن شهرکرد، سنگ‌های تریاس بالا (بخش پائینی گروه شمشک) رسوب نکرده‌اند اما در آغاز ژوراسیک با شکسته شدن



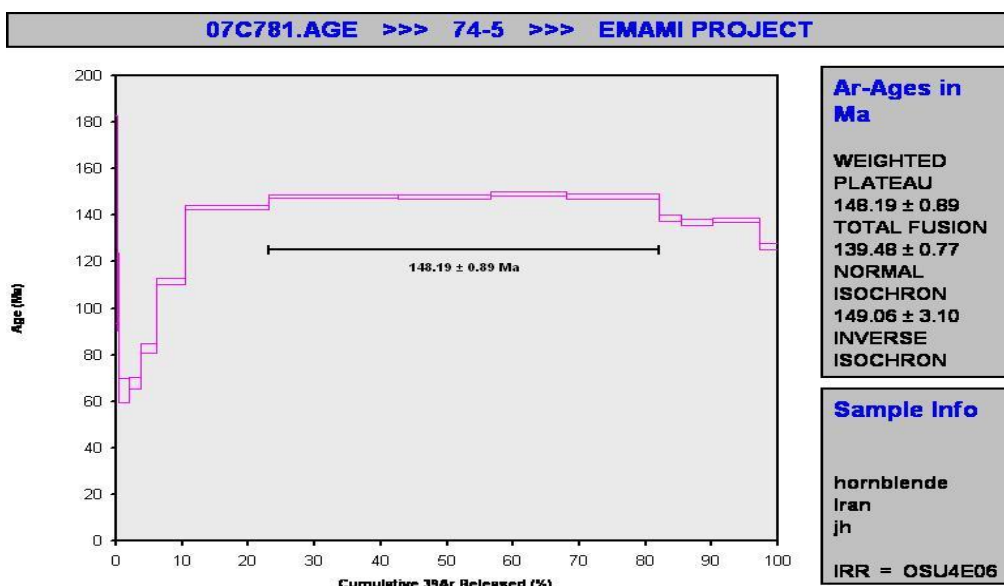
شده است. با توجه به فقدان کانی مافیک دیرگدازتر از آمفیبول در سنگ یاد شده، می‌توان این کانی را اولین جزو متبلور شده در سنگ تلقی نمود و سن یاد شده را به عنوان سن قطعی سنگ آندزیتی بررسی شده پذیرفت. در جدول چینه‌شناسی ایران، این سن مربوط به اشکوب تیتونین (Tithonian) در ژوراسیک فوقانی (مالم فوقانی) است. در جدول ۴ و شکل ۸ نتایج سن‌سنجی بر روی نمونه آمفیبول موجود در نمونه سنگ نیمه‌عمیق میکرودیوریتی ارایه شده است. بر این اساس، سن مطلق این کانی معادل  $160/12 \pm 0/88$  محاسبه شده است. این عدد معرف اشکوب آکسفوردین (Axfordian) متعلق به ژوراسیک فوقانی (مالم تحتانی) است. همین آزمایش بر روی آمفیبول در نمونه میکرودیوریتی دیگری نیز انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه یاد شده که در جدول ۵ و شکل ۹ ارایه شده است، سن مطلق این کانی معادل  $169/91 \pm 0/97$  است. در ستون چینه‌شناسی این عدد معادل مرز اشکوب‌های باتونین-کالوین از ژوراسیک میانی (دوگر فوقانی) است.

بریده‌اند. Ghasemi و همکاران (۲۰۰۹) در شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهار گوش چادگان، توالی چینه‌شناسی از مرز تریاس-ژوراسیک تا ژوراسیک-کرتاسه در ناحیه شمال شهرکرد را به ۹ واحد (بخش) تقسیم‌بندی کرده‌اند. اولین واحد شامل: مجموعه سنگ‌های آذرین بیرونی تریاس-ژوراسیک بوده که با ضخامت بیش از ۱۰۰۰ متر بر روی واحد تخریبی-کربناته تریاس و در زیر طبقات آهکی کرتاسه زیرین قرار گرفته است. همان گونه که ملاحظه می‌شود در مطالعات و تحقیقات پیشین سن دقیقی برای رویداد آتشفشانی و سایر سنگ‌های وابسته ارایه نشده و در مواردی سنینی متناقض از تریاس تا ژوراسیک پیشنهاد شده است. در پژوهش حاضر با تکیه بر روش کمی تعیین سن، ابعاد مهمی از این ماگماتیسم شناسایی و سن مطلق سنگ‌شناسی غالب منطقه تعیین شده است.

در جدول ۳ نتایج واپاشی و سن تعیین شده بر روی آمفیبول کرسوتیت نمونه سنگ آندزیتی ارایه شده است. با توجه به نمودار شکل ۷ سن آمفیبول یاد شده  $148/19 \pm 0/89$  میلیون سال تعیین

جدول ۳- نتایج سن‌سنجی با روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  بر روی نمونه آندزیتی (نمونه ۵-۷۴)

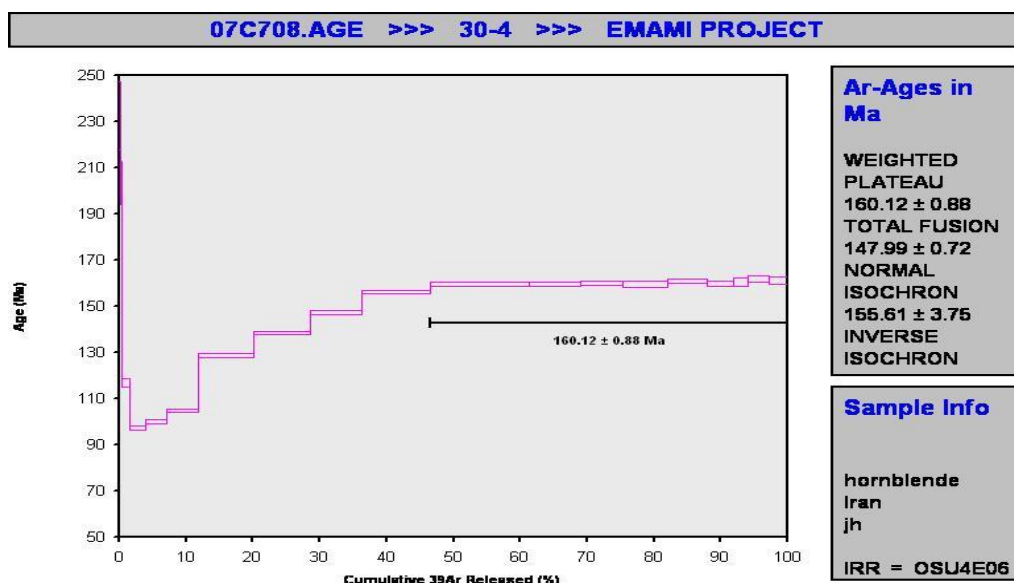
Results	40(Ar)/39(k)	$\pm 2\sigma$	Age		MSWD	39Ar(k) (%.n)	K/Ca	$\pm 2\sigma$
				(Ma)				
Weighted Plateau	55.0804	$\pm 0.1923$	148.19	$\pm 0.89$	1.35	59.16	0.064	$\pm 0.004$
		$\pm 0.35\%$		$\pm 0.60\%$				
		External Error		$\pm 2.52$				
	Analytical Error	$\pm 0.50$		1.1626		Error Magnification		
Total Fusion Age	51.7157	$\pm 0.1292$	139.48	$\pm 0.77$		15	0.002	$\pm 0.000$
		$\pm 0.25\%$		$\pm 0.56\%$				
		External Error		$\pm 2.35$				
	Analytical Error	$\pm 0.34$						



شکل ۷- سن مطلق هورنبلند سبز در نمونه آندزیت (نمونه ۵-۷۴)

جدول ۴- نتایج سن سنجی با روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  بر روی نمونه نیمه عمیق میکرودیوریتی (نمونه ۴-۳۰)

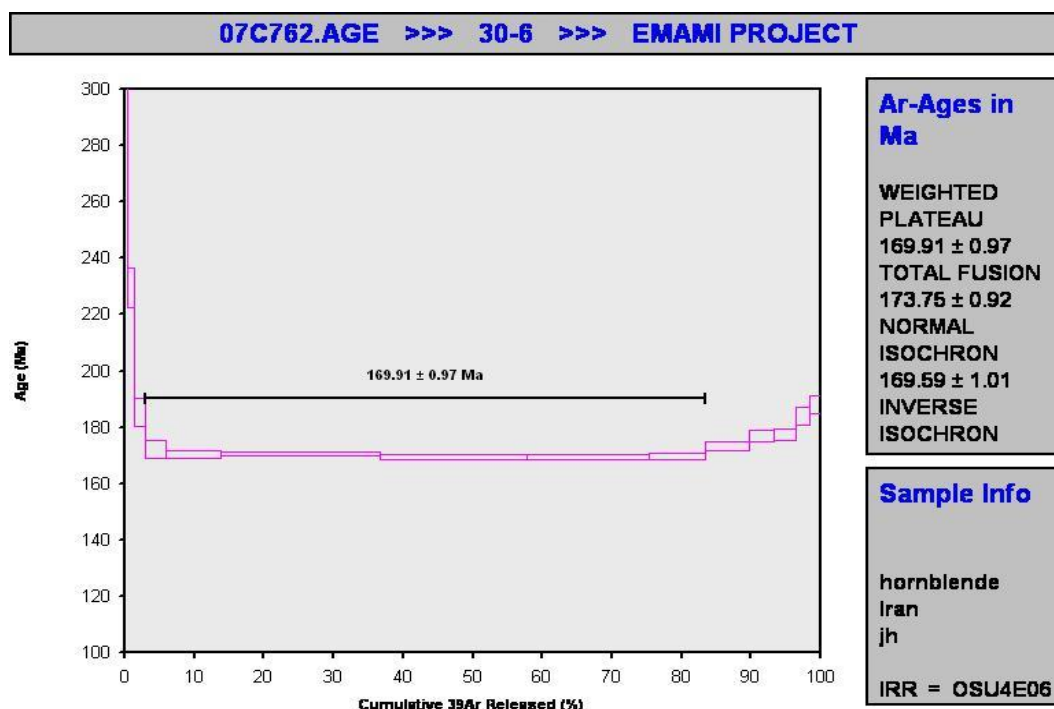
Results	40(r)/39(k)	$\pm 2\sigma$	Age (Ma)	$\pm 2\sigma$	MSWD	$^{39}\text{Ar}(k)$ (%)	K/Ca	$\pm 2\sigma$
Weighted Plateau	59.2334	$\pm 0.1862$ $\pm 0.31\%$	160.12	$\pm 0.88$ $\pm 0.55\%$	1.76	53.36 9	0.087	$\pm 0.001$
	External Error			$\pm 2.69$	2.31	Statistical T Ratio		
	Analytical Error			$\pm 0.48$	1.3260	Error Magnification		
Total Fusion Age	54.5579	$\pm 0.0940$ $\pm 0.17\%$	147.99	$\pm 0.72$ $\pm 0.49\%$		19	0.003	$\pm 0.000$
	External Error			$\pm 2.46$				
	Analytical Error			$\pm 0.24$				



شکل ۸- سن مطلق هورنبلند سبز در نمونه میکرودیوریتی (نمونه ۴-۳۰)

جدول ۵- نتایج سن‌سنجی با روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  بر روی نمونه میکرودیوریتی (نمونه ۶-۳۰)

Results	40(r)/39(k)	$\pm 2\sigma$	Age		MSWD	39Ar(k) (%,n)	K/Ca	$\pm 2\sigma$		
			(Ma)							
Weighted Plateau	63.2838	$\pm 0.2064$	169.91	$\pm 0.97$	1.53	80.42 6	0.050	$\pm 0.009$		
	External Error			$\pm 2.87$					2.57	Statistical T Ratio
	Analytical Error			$\pm 0.53$					1.2377	Error Magnification
Total Fusion Age	64.7825	$\pm 0.1605$	173.75	$\pm 0.92$		15	0.001	$\pm 0.000$		
	External Error			$\pm 2.91$						
	Analytical Error			$\pm 0.41$						



شکل ۸- سن مطلق هورنبلند سبز در نمونه میکرودیوریت (نمونه ۶-۳۰)

### نتیجه‌گیری

محسوب می‌شود، در مقطع زمانی اشکوب تیتونین در ژوراسیک فوقانی (مالم فوقانی) به وجود آمده‌اند. به منظور استنتاج صحیح از سنین مطلق تعیین شده برای ولکانیسم در کمر بند سنگ‌های آتشفشانی شمال شهرکرد، بررسی شواهد و استناد به یافته‌های ذیل راه‌گشا خواهد بود:

الف) بر اساس مشاهدات صحرائی که در جریان این پژوهش انجام شده، سنگ‌های بازالتی و بازالت

آن گونه که از نتایج آزمایشات سن‌سنجی با روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  مشخص شد، سنگ‌های نیمه‌عمیق با ترکیب دیوریتی در حفاصل زمانی اشکوب‌های باتونین-کالوین از ژوراسیک میانی (دوگر فوقانی) تا آکسفوردین متعلق به ژوراسیک فوقانی (مالم تحتانی) تشکیل شده و سنگ‌های آندزیتی که شاید معادل بیرونی سنگ‌های نیمه‌عمیق دیوریتی

آندزیتی در قاعده تمام واحدهای سنگ‌شناسی شامل: سنگ‌های آتشفشانی، نیمه‌عمیق و آذرآواری قرار گرفته و بنابراین، قدیمی‌ترین واحد سنگ‌شناسی در منطقه است. نفوذ استوک‌های میکرودیوریتی درون مجموعه بازیگ نشان‌دهنده جوان‌تر بودن این سنگ‌ها است. آندزیت‌ها با فاصله حدود ۵ کیلومتری شرق مجموعه‌های بازیگ و استوک‌های میکرودیوریتی در شرق ناحیه رخنمون یافته‌اند و دایک‌های دولریتی درون آنها نفوذ کرده‌اند. بنابراین، دولریت‌ها جوان‌تر از آندزیت‌ها هستند. بنابراین، از نظر توالی سنی و از قدیم به جدید به ترتیب سنگ‌های بازیگ، میکرودیوریت‌ها، آندزیت‌ها و در نهایت دولریت‌ها تشکیل شده‌اند.

(ب) آندزیت‌ها به صورت گنبدهایی در شرق منطقه و عدسی‌های کم وسعت در مرکز رخنمون‌های بازالتی قابل مشاهده‌اند. روابط ژنتیکی و عملکرد تفریق از مایع لرزولیتی-اکلوژیتهی به اثبات رسیده و بدین ترتیب، بازالت‌ها و آندزیت‌ها در جریان یک تفریق ماگمایی هم منشأ حاصل آمده‌اند (Emami, 2008). بدین ترتیب، سن بازالت‌ها قطعاً از آندزیت‌ها قدیمی‌تر بوده اما بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی سرعت فوران سریع تشخیص داده شده است. بنابراین، نمی‌توان اختلاف زمان قابل ملاحظه‌ای بین تبلور کامل سنگ‌های مافیک (بازالتی) و حدواسط (آندزیتی) در نظر گرفت.

(ج) سنگ‌های نیمه‌عمیق دیوریتی با کانی‌شناسی کاملاً مشابه آندزیت‌ها، به لحاظ آن که بافتی حدواسط سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی را نشان می‌دهد، از سویی واجد قرابت ژنتیکی با آندزیت‌ها بوده و از سویی به لحاظ توقف بیشتر در مجاری و شکستگی‌های مسیر (که بیشتر متشکل از بازالت‌های سرد شده قبلی است)، بافتی متفاوت از آنها را نشان می‌دهد. به لحاظ آن که سن به دست آمده برای این گروه از سنگ‌ها بیش از

آندزیت‌هاست، می‌توان آنها را سنگ‌های نیمه‌عمیق (یا معادل نفوذی) آندزیت‌های منطقه دانست. با توجه به شواهد بالا و در نظر گرفتن نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی و مدل ژئودینامیکی و تکتونوماگمایی به دست آمده توسط Emami (۲۰۰۸) می‌توان سن ولکانیسم منطقه را ژوراسیک میانی (دوگر فوقانی) تا مرز ژوراسیک-کرتاسه (مالم فوقانی) در نظر گرفت که معادل با اشکوب‌های کالوین تا تیتونین است. بنابراین، فعالیت آتشفشانی در دو مقطع زمانی به فاصله بیست و یک میلیون سال انجام شده است. Aghanabati (۲۰۰۶) برای نخستین بار از رخداد سیمین میانی یاد کرده است. بررسی چینه‌شناسی، ماگماتیسم و دگرگونی ژوراسیک ایران گویای آن است که رویداد سیمین میانی رویدادی کوهزاد است که با چین‌خوردگی، تکاپوی آتشفشانی، جایگیری توده‌های نفوذی و حتی دگرگونی همراه است. همین یافته‌ها گویای آن است که بسیاری از نشانه‌های منسوب به رویداد سیمین پسین، در واقع از پیامدهای سیمین میانی است و به احتمال زیاد، بر خلاف برداشت‌های پیشین، سیمین پسین تنها خشکی‌زا بوده است. بدین ترتیب، می‌توان ولکانیسم ژوراسیک میانی تا فوقانی شمال شهرکرد را به فاز کوهزایی سیمین میانی نسبت داد. Esnaashari و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه گرانیوتئوئیدهای الیگودرز در پهنه سنندج-سیرجان این سنگ‌ها را حاصل تشکیل ماگما در یک محیط کمان قاره‌ای دانسته‌اند که بر اساس شواهد می‌تواند به فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته ایران مرکزی نسبت داده شود. با توجه به این که سن این توده‌های گرانیوتئوئیدی و توده‌های مشابه در پهنه سنندج-سیرجان با استفاده از سن‌سنجی با روش اورانیوم-سرب بر روی زیرکن حدود ۱۶۵ تا ۱۶۹ میلیون سال اندازه‌گیری شده (Mahmoudi et al., 2011؛ Esnaashari et al.,

آندزیتی در قاعده تمام واحدهای سنگ‌شناسی شامل: سنگ‌های آتشفشانی، نیمه‌عمیق و آذرآواری قرار گرفته و بنابراین، قدیمی‌ترین واحد سنگ‌شناسی در منطقه است. نفوذ استوک‌های میکرودیوریتی درون مجموعه بازیگ نشان‌دهنده جوان‌تر بودن این سنگ‌ها است. آندزیت‌ها با فاصله حدود ۵ کیلومتری شرق مجموعه‌های بازیگ و استوک‌های میکرودیوریتی در شرق ناحیه رخنمون یافته‌اند و دایک‌های دولریتی درون آنها نفوذ کرده‌اند. بنابراین، دولریت‌ها جوان‌تر از آندزیت‌ها هستند. بنابراین، از نظر توالی سنی و از قدیم به جدید به ترتیب سنگ‌های بازیگ، میکرودیوریت‌ها، آندزیت‌ها و در نهایت دولریت‌ها تشکیل شده‌اند.

(ب) آندزیت‌ها به صورت گنبدهایی در شرق منطقه و عدسی‌های کم وسعت در مرکز رخنمون‌های بازالتی قابل مشاهده‌اند. روابط ژنتیکی و عملکرد تفریق از مایع لرزولیتی-اکلوژیتهی به اثبات رسیده و بدین ترتیب، بازالت‌ها و آندزیت‌ها در جریان یک تفریق ماگمایی هم منشأ حاصل آمده‌اند (Emami, 2008). بدین ترتیب، سن بازالت‌ها قطعاً از آندزیت‌ها قدیمی‌تر بوده اما بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی سرعت فوران سریع تشخیص داده شده است. بنابراین، نمی‌توان اختلاف زمان قابل ملاحظه‌ای بین تبلور کامل سنگ‌های مافیک (بازالتی) و حدواسط (آندزیتی) در نظر گرفت.

(ج) سنگ‌های نیمه‌عمیق دیوریتی با کانی‌شناسی کاملاً مشابه آندزیت‌ها، به لحاظ آن که بافتی حدواسط سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی را نشان می‌دهد، از سویی واجد قرابت ژنتیکی با آندزیت‌ها بوده و از سویی به لحاظ توقف بیشتر در مجاری و شکستگی‌های مسیر (که بیشتر متشکل از بازالت‌های سرد شده قبلی است)، بافتی متفاوت از آنها را نشان می‌دهد. به لحاظ آن که سن به دست آمده برای این گروه از سنگ‌ها بیش از

آتشفشانی منطقه در نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰۰ شهرکرد و ۱/۱۰۰۰۰۰ چادگان عنوان شده صحیح نبوده و لازم است در چاپ‌های جدید این نقشه‌ها اصلاحات لازم در مورد سن واحدهای آذرین انجام شود.

### سیاسگزاری

در راستای انجام این پژوهش، نگارندگان از دانشگاه ایالت اورگون و دانشگاه اکلاهاماسیتی (نورمن) آمریکا به سبب انجام آزمایش‌های سن‌سنجی و تجزیه ریزکاو الکترونی تشکر می‌نمایند. همچنین، از زحمات سرکار خانم مهندس الیاسی که ویرایش علمی و ادبی مقاله را به انجام رساندند سپاس و امتنان به عمل می‌آورند.

می‌توان سنگ‌های آتشفشانی شمال شهرکرد را واجد سرشتی مشابه توده‌های گرانیتوئیدی یاد شده در نظر گرفت که به لحاظ انطباق زمانی، تکتونیک مشابهی را متحمل شده‌اند. به علاوه Shahbazi و همکاران (۲۰۱۰) سن مجموعه نفوذی الوند را نیز با روش پیش گفته بین ۱۵۳ میلیون سال در سنگ‌های اسید تا ۱۶۶/۵ میلیون سال در سنگ‌های بازیک تعیین نموده‌اند که نشان‌دهنده قرابت سنی و ژئوتکتونیک با سنگ‌های آتشفشانی بررسی شده در شمال شهرکرد است. بدین ترتیب، پدیده ولکانیسم منطقه در فاز کوهزایی سیمرین میانی برای نخستین بار در بخش میانی پهنه سنندج سیرجان گزارش می‌شود. بنابراین، سن تریاس و ژوراسیک آغازین که برای مجموعه سنگ‌های

### منابع

- Aghanabati, A. (2006) Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Dallmeyer, R. D. (1975)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of biotite and hornblende from a progressively remetamorphosed basement terrain: their bearing on interpretation of release spectra. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 39: 1655-1669.
- Dallmeyer, R. D. (1982)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages from the Narragansett basin and southern Rhode island basement terrain: their bearing on the extent and timing of Alleghenian tectonothermal events in New England. *Geological society bulletin* 93(11): 1118-1130.
- Dalrymple, G. B. and Lanphere, M. A. (1974)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age spectra of some undisturbed terrestrial samples. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38: 716-738.
- Emami, S. N. (2008) petrological investigation with emphasize on the alteration zones and evaluation of their environmental effects in the volcanic terrain of the north of Shahrekord. PhD thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian).
- Esnaashari, A., Tiepolo, M., Valizadeh, M., Hassanzadeh, J. and Sepahi, A. (2012) Geochemistry and zircon U-Pb geochronology of Aligoodarz granitoid complex, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 43(1): 11-22.
- Esnaashari, A., Valizadeh, M., Soltani, A. and Sepahi, A. (2011) Petrology and geochemistry of Aligoodarz, western Iran: implications for petrogenetic relation with Boroujerd and Dehno granitoides. *Journal of Geopetrology* 1(2): 67-86.
- Faur, G. and Mensing, T. M. (2005) *Isotopes: principles and applications*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Ghasemi, A. and Talbot, C. J. (2006) A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 26 (6): 683-693.

- Ghasemi, A., Haj Hoseini, A. and Hoseini, M. (2009) Geological Map of Chadegan 1:100000, No. 6155, Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Hawthorn, F. C. (1981) Crystal chemistry of the amphiboles. Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy 9A(1): 102-112.
- Ivanov, A. V., Boven, A. A., Brandt, S. B., Brandt, I. S. and Rasskazov, S. V. (2002) Achievements and limitation of the K-Ar and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  methods: what's in it for dating the Quaternary sedimentary deposits? International symposium-speciation in Ancient lake, SIAL III-Irkutsk, Berlin, Germany.
- Lanphere, M. A. and Dalrymple, G. B. (2000) First-principles calibration of  $^{38}\text{Ar}$  tracers, implications for the ages of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  fluence monitors. United States Geological Survey, Professional Paper 1621.
- Leake, B. E. (1997) Nomenclature of amphiboles of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names. European Journal of mineralogy 9: 623-651.
- Mahmoudi, Sh., Masoudi, F., Mehrabi, B. and Mohajjel, M. (2011) U-Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj-Sirjan zone, Iran. Journal of Asian Earth Sciences 41(3): 238-249.
- Merrihue, C. (1965) Trace-element determinations and potassium-argon dating by mass spectroscopy of neutron-irradiated samples. Journal of American Geophysics (Abstract) 46: 125.
- Pokhilenko, L. N., Alifirova, T. A. and Yudin, D. S. (2013)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -dating of phlogopite from mantle xenoliths: evidence for deep ancient metasomatism of the Siberian craton lithosphere. Doklady Earth Sciences 449(1): 309-312
- Shahbazi, H., Siebel, W., Pourmoafee, M., Ghorbani, M., Sepahi, A., Shang, C. K. and Vousoughi Abedini, M. (2010) Geochemistry and U-Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj-Sirjan zone (Iran): new evidence for Jurassic magmatism. Journal of Asian Earth Sciences. 39(6): 668-683.
- Turner, G. (1972)  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age and cosmic ray irradiation history of the Apollo 15 anorthosite, 15415. Earth and Planetary Science Letters 14(2): 169-175.
- Zahedi, M. (1996) Explanatory text of Shahrekord, Geological Quadrangle Map 1:250000, No. E8, Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).

## Volcanic and subvolcanic rocks dating in the north of Shahrekord by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method, a new approach regarding the occurrence and duration of the Jurassic volcanism in the Sanandaj-Sirjan zone

Sayed Naeim Emami <sup>1\*</sup> and Mahmoud Khalili <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Natural Resources and Agriculture Research Center of Chaharmahal and Bakhtiari, Shahrekord, Iran

<sup>2</sup> Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

### Abstract

The volcano - sedimentary complex in the north of Shahrekord as a belt with NW-SW trend and 396 km<sup>2</sup> area is parallel to the Zagros structural zone within the central part of the Sanandaj- Sirjan Zone. The volcanic rocks have mafic and intermediate affinity. The subvolcanic microdiorite rocks were exposed as small stocks. The pyroclastic rocks are composed of tuffs, lapilli tuffs, agglomerates, volcanic breccias and tuffites. To determine the age of the aforementioned volcanic rocks, due to the presence of fresh amphibole crystals in the andesitic and microdioritic rocks,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating method was applied. On the base of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  data, the studied volcanic and subvolcanic rocks have formed between 145 to 169 Ma corresponding to Callovian to Titonian stages (upper Dogger to upper Malm of Jurassic period). The dating results are well consistent with the other geochronological studies performed on some of the intrusive bodies in the Sanandaj-Sirjan Zone (i.e. Aligoodarz and Alvand intrusives) which are related to the subduction of Neothethyan Oceanic Lithosphere below the Central Iran Plate. Nevertheless, the aforesaid volcanism, belonging to middle Kimmerian orogenic phases in this part of the Sanandaj-Sirjan Zone, is reported for the first time.

**Key words:**  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating method, Volcanism, Middle Kimmerian, Shahrekord, Sanandaj-Sirjan zone