

## Mineralogical studies of metasomatic minerals within volcanic rocks of High Zagros salt domes

S. Taghipour<sup>1\*</sup>, B. Taghipour<sup>2</sup>

1. School of Geology, University-College of science, University of Tehran.

2. Department of earth sciences, faculty of sciences, Shiraz University

(Received: 7/12/2008, in revised form: 17/7/2009)

**Abstract:** Kaj-Rostam Abad, Dashtak and Do Ab salt domes are located around Ardal and Farsoun village. This area is situated in High Zagros range (Chaharmahal and Bakhtiary Province). The study area is composed of Lower Cambrian volcano sedimentary complex including basalt, basaltic andesite, andesite, trachyte, pyroclastics, evaporite rocks and Precambrian sedimentary units. According to the mineralogical and petrographic studies of High Zagros igneous rocks and related salt domes, they have complex mineralogical composition. The mineral assemblages in these rocks are formed during three stages, 1- Magmatic stage (plagioclase, clinopyroxene, and apatite), 2- Late magmatic stage (amphibole, biotite, quartz, albite, calcite and sphene) and 3- Vein mineralization stage (quartz, albite, epidote, amphibole, calcite and garnet). Based on amphibole crystal chemistry, actinolite ( $Si = 7.87-7.93$ ,  $CaB > 1.5$ ,  $CaA < 0.5$ ,  $(Na + K)A < 0.5$ ) have been distinguished, which is stable in wide range of temperature (320-520°C) and total pressure 2 k bar. Studies of fluid inclusions in quartz veinlet, from altered volcanic rocks, were shown the high salinity of hydrothermal fluids. Fluid inclusions studies show three phases included liquid, vapour and solid. Also quartz crystals have a lot of inclusion of actinolite needles. The thermal range, 310 to 330 °C in 42.93% salinity is distinguished for the formation of these quartz veins. The composition of chlorite, epidote and garnet are determined picrochlorite; pistazite and grossular-andradite respected and also the composition of plagioclases are mainly albite. On the base of thermometric studies, those metasomatic mineral are stable in thermal range of 300-500°C.

**Keywords:** Mineralogy, vein mineralization stage, fluid inclusion, salt domes, High Zagros range.

---

\*Corresponding author, Telefax: +98 (021) 66491623, Email: taghipour.sedigheh@gmail.com



## کانی‌شناسی کانی‌های دگرنهادی در سنگ‌های آتشفشانی گنبد‌های نمکی زاگرس بلند

صدیقه تقی‌پور<sup>۱\*</sup>، بتول تقی‌پور<sup>۲</sup>

۱- دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

۲- بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

(دریافت مقاله: ۸۷/۹/۱۷، نسخه نهایی: ۸۸/۳/۲۲)

**چکیده:** گنبد‌های نمکی کاج-رستم آباد، دشتک و دو آب در نزدیکی روستای اردل و دهکده فارسون قرار دارد. این منطقه در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران در بلندی‌های زاگرس بلند (استان چهار محال و بختیاری) قرار دارد. منطقه مورد بررسی از مجموعه‌های آذرین-تبخیری با ترکیب بازالت، آندزیت بازالتی، تراکیت، قطعات پیروکلاستیک، سنگ‌های تبخیری و واحدهای تهنشستی به سن کامبرین زیرین تشکیل شده است. سنگ‌های آذرین به صورت آتشفشانی و نیمه عمیق با ترکیب کانی‌شناسی پیچیده رخنمون دارند. بر پایه بررسی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناختی سنگ‌های آذرین گنبد‌های نمکی زاگرس بلند ترکیب کانی‌شناسی پیچیده‌ای دارند. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها به ترتیب در سه مرحله زیر تشکیل شده‌اند: ۱- مرحله ماگمایی (پلاژیوکلاز، کلینوپیرکسن، آپاتیت و کرسوتیت)، ۲- مرحله تاخیری (اکتینولیت، بیوتیت، کوارتز، آلبیت، کلسیت و اسفن) و ۳- مرحله کانی‌زایی رگچه‌ای (اکتینولیت، کوارتز، آلبیت، کلسیت و گارنت). آمفیبول در سنگ‌های یادشده با ویژگی‌های  $CaA < 0.5$ ,  $(Na + K)A < 0.5$ ,  $CaB > 1.5$ ,  $Si = 7.87-7.93$ ، از نوع اکتینولیت است. کانی یادشده در گستره دمایی  $(320^{\circ}C - 520^{\circ}C)$  و در فشار کل ۲ کیلو بار پایدار است. بررسی‌های شاره‌های درگیر بر روی رگچه‌های کوارتز گرمایی گنبد‌های نمکی حاکی از شوری بالای شاره-هاست. بلورهای کوارتز دارای نفوذی‌های از سوزنی‌های اکتینولیت است، و نفوذی‌های شاره آن دارای سه فاز جامد (هالیت)، آبگون و گازند. بر پایه بررسی‌های ریز دماسنجی انجام شده، این کانی در گستره دمایی  $330^{\circ}C - 310^{\circ}C$  و در شوری ۴۲/۹۳٪ تشکیل شده است. کلریت‌های مورد بررسی از نوع پیکنوکلریت، اپیدوت‌ها از نوع پیستازیت، گارنت‌ها دارای ترکیب گروسولار-آندرادیت و ترکیب غالب پلاژیوکلازها از نوع آلبیت است. بر پایه دماسنجی‌های انجام شده بر روی کانی‌های دگرنهاد، این کانی‌ها در گستره دمایی  $300^{\circ}C - 500^{\circ}C$  پایدارند.

**واژه‌های کلیدی:** زاگرس بلند، کانی‌های دگرنهاد، دماسنجی، کانی‌زایی رگچه‌ای، گنبد نمکی.

### مقدمه

بر تاثیر یک فاز گرمایی پس از انجماد سنگ‌های آذرین سازند

هرمز بوده‌اند، که مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته

از مدت‌ها پیش پیدایش کانی‌هایی نظیر آلبیت، اژیرین،

هدنبرژیت، آمفیبول‌های آبی، اپیدوت، کلریت و کوارتز، شاهدهی

\* نویسنده مسئول، تلفن-نمبر: ۶۶۴۹۱۶۲۳ (۰۲۱) ۹۸+ پست الکترونیکی: taghipour.sedigheh@gmail.com

است [۱-۵]. آثار دگرنهادی در سنگ‌های پرکامبرین ایران و عربستان به صورت رگه‌های آپاتیت، آلبیت، آهن، فلوگوپیت و ریبیکیت و ایجاد کانسارهای اورانیوم، قلع و عناصر نادر خاکی مشاهده می‌شوند [۱، ۲]. در رابطه با دگرنهادی و ایجاد کانی‌های غنی از عناصر قلیایی نظیر آلبیت، اوژیت - اژیرین و ریبیکیت توسط پژوهشگران مختلف بررسی‌های در سنگ‌های آذرین گنبد‌های نمکی زاگرس بلند صورت گرفته است [۳-۵]. برخی از پژوهشگران ضمن نامگذاری و اثبات وجود منیزوریبیکیت در گنبد‌های جنوب ایران معتقداند، که خاستگاه منیزوریبیکیت و اژیرین در اثر دگرگونی گرمایی حاصل از فاز ماگماتیسیم غنی از NaCl تشکیل شده است [۳، ۵]. آزیست ریبیکیت به صورت گسترده در شکاف‌ها و شکستگی‌های بازالت‌ها به ویژه دیابازها و نیز به مقدار کمتر در توفیت‌ها و حتی در ماسه سنگ‌ها و دولومیت‌ها [۳] و گابروها تشکیل شده‌اند [۵]. در این مقاله سعی شده است تا با بررسی شیمی کانی‌های دگرنهادی در مناطق مختلف گنبد‌های نمکی زاگرس بلندی، ترکیب دقیق و شرایط تشکیل آن‌ها برای اولین بار تعیین شود. بدین منظور نمونه‌های مورد بررسی از سه گنبد کاج، دشتک و گنجان (دوآب) انتخاب شدند. این مناطق در گستره‌ای به طول جغرافیایی  $31^{\circ} 40' 00''$  و عرض جغرافیایی  $50^{\circ} 50' 00''$  شمالی قرار گرفته‌اند.

### روش کار

در نخست بررسی‌های صحرایی گسترده و نمونه برداری سیستماتیک انجام گرفت. ضمن بررسی‌های میکروسکوپی بر روی نمونه‌ها، در راستای تعیین دقیق ترکیب کانی‌های دگرنهادی در دانشگاه اکلاهاماسیتی (نورمن) آمریکا بررسی‌های ریز پردازش الکترونی (EMPA) روی کانی‌های آمفیبول، کلریت، گارنت، پلاژیوکلاز و اپیدوت با دستگاه مدل SX-50 انجام شد. ضمناً بررسی‌های روی اثر نفوذی‌های شاره‌ای بر کانی کوارتز در آزمایشگاه شاره‌های درگیر دانشگاه اصفهان صورت گرفته است.

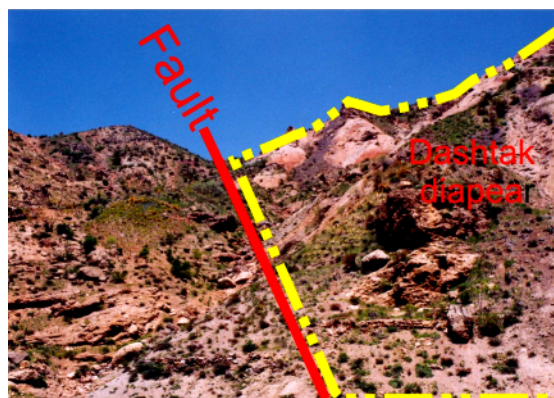
### بررسی‌های زمین‌شناسی و صحرایی

دوران پرکامبرین در شمال کرمان، شمال طبس و زاگرس بلند به طور جانبی به تشکیلات نمک دیابیری ختم می‌شود، که تصور می‌شود با تشکیلات سری هرمز در جنوب ایران و گستره

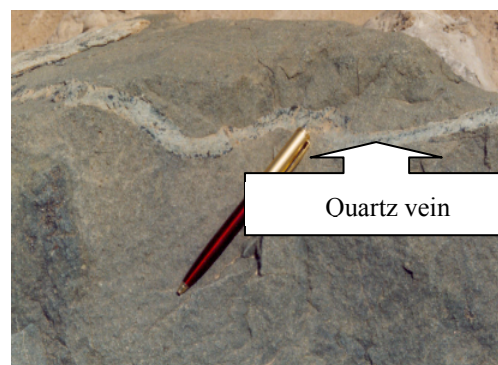
نمکدار پنجاب پاکستان (Salt Range) و نمک جنوب عمان هم ارز باشد [۶، ۷]. آنچه به نام سازند هرمز خوانده می‌شود، ته نشست‌هایی به ضخامت ۱۵۰۰ متر شامل شیل‌های سرخ - قهوه‌ای، دولومیت، مقداری گچ و نمک و مقدار کمتر سنگ‌های آذرینند که با اندازه‌های مختلف روی گنبد‌های نمکی و گاه درون آن‌ها دیده می‌شوند [۸]. سنگ‌های آذرین یادشده متنوع بوده و شامل بازالت، دولریت، ریولیت، کراتوفیر، تراکیت، ایگنمریت، توف‌های اسید و کمتر اسپیلیت است [۹، ۱۰]. سازند هرمز در منطقه مورد بررسی با رخنمون ۱۶ گنبد نمکی برونزد دارد، تمامی این گنبد‌ها در تماس مستقیم با گسل‌های مهم منطقه هستند (شکل ۱).

مهم‌ترین سنگ‌های آذرین سازند هرمز در گنبد‌های کاج-رستم آباد، دشتک و گنجان را گدازه‌ها تشکیل می‌دهند که با توده‌های نفوذی کوچک و نیمه عمیق نظیر دایک‌ها و سیل‌ها همراه می‌باشند. همچنین سنگ‌های آذرآواری که در واحدهای هرمز ۲ و ۴ در تناوب با دیگر سازه‌های آن واحدها قرار دارند. بررسی صحرایی گنبد‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که فعالیت آتشفشانی در یک محیط در حال ته نشینی رخ داده است.

در واقع سازند هرمز را باید یک سازند ته‌نشینی - آتشفشانی دانست که حرکت گنبدگونه مجموعه یاد شده پس از زمان تشکیل موجب بهم ریختگی کمابیش شدید دنباله‌های آذرین-ته‌نشستی شده است. پیدایش کانی‌های غنی از سدیم نظیر آلبیت، منیزوریبیکیت، اژیرین همراه با کوارتز، اپیدوت و الیزیت در میان درز و شکاف‌های دیابازها و تمامی سنگ‌های سازند هرمز نشان دهنده تأثیر فازهای تاخیری هستند [۴، ۵]. سنگ‌های دگرنهادی در گنبد‌های نمکی به صورت گسترده رخنمون دارند. آثار این پدیده با حضور رگچه‌های آمفیبول‌های آبی رنگ، کوارتز، کلریت و دانه‌های گارنت حنایی، اکسید آهن ورقه‌ای، آلبیت رگه‌ای، اپیدوت و قطعاتی از برونوم‌های آهکی سیلیکاتی درون توف‌های آتشفشانی مشخص می‌شود. رگچه‌های کوارتز و کلریت به طول بیش از ۵۰ cm و عرض ۱۰ cm در بسیاری از سنگ‌های آتشفشانی این منطقه رخنمون دارند (شکل ۲).



شکل ۱ نمای عمومی گنبد نمکی دشتک که در اثر گسل از گستره جنوبی جدا شده است.



شکل ۲ رگچه‌های کوارتز و کلریت به طول بیش از ۵۰ cm و عرض ۱۰ cm درون سنگ‌های آتشفشانی منطقه تشکیل شده‌اند.

اشاره می‌شود.

### آمفیبول‌های آزبستی

بلورهای سوزنی و آبی رنگ آمفیبول‌های آزبستی به فراوانی در سنگ‌های دگرنهادی گنبد‌های نمکی یافت می‌شوند. از دیدگاه میکروسکوپیکی این کانی ویژگی انواع قلیایی (ریبکیت) را نشان می‌دهد (شکل ۴-الف) سوزنی‌های اکتینولیت عمود بر دیواره رگه‌ها رشد کرده است و گواه بر وجود تنش کششی در محیط تشکیل این کانی است (شکل ۴-ب). برخی از پژوهشگران نیز در بررسی‌های خود بوجود ریبکیت در سنگ‌های آذرین این منطقه اشاره کرده‌اند [۴، ۶]. از آنجا که برای نامگذاری آمفیبول‌ها بهترین روش استفاده از شیمی کانی است، لذا برای تعیین دقیق ترکیب شیمیایی این کانی از داده‌های ریز پردازشی شیمیایی استفاده شده است. بر اساس آنالیزهای یادشده (جدول ۱) و با توجه به مقدار کم  $\text{Na}_2\text{O}$  و فراوانی  $\text{CaO}$ ، به کار بردن واژه ریبکیت برای این کانی درست نیست [۱۱].

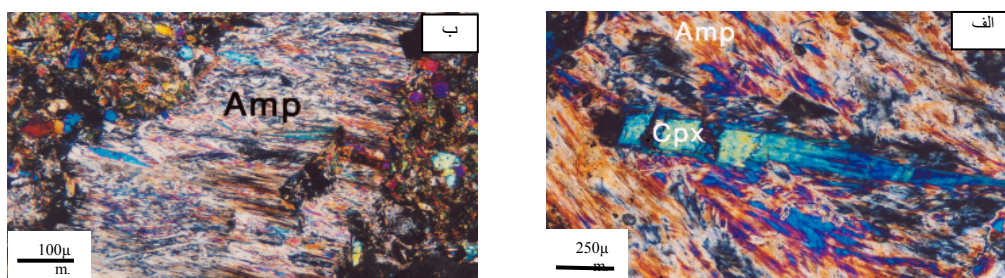
### بحث

بررسی‌های سنگ شناختی سنگ‌های آذرین سازند هرمز در منطقه زاگرس بلند مرتفع نشان می‌دهد، که این سنگ‌ها دارای بافت‌های ریزدانه‌ای، میان دانه‌ای، پورفیری، هیالوپورفیری، جریان‌ی و بادامکی هستند. درشت بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول، کلینوپیروکسن و میکروولیت‌های سازنده زمینه اصلی این سنگ‌ها هستند. بیوتیت به صورت اولیه و ثانویه مشاهده می‌شوند (تشکیل بیوتیت‌های ثانویه شاهدهی بر هجوم آبگون‌های سرشار از پتاسیم تاخیری است). کانی‌های کلسیت، کلریت، کوارتز و کدر پرکننده‌های اصلی حفرها هستند. آمفیبول به صورت اولیه و ثانویه در نمونه‌های مورد بررسی مشاهده می‌شود. آمفیبول‌های اولیه به صورت میکروفنوکریست و کانی زمینه ظاهر می‌شوند و کاملاً سالم‌اند و به ندرت از حاشیه به کلریت، آمفیبول و اپیدوت مبدل شده‌اند (شکل ۳) که در زیر به شرح هر یک از کانی‌های تشکیل شده طی دگر نهادی سنگ‌های آتشفشانی

| کانی ها          | Magmatic Stage (I) | Late Magmatic Stage(II) | Vein Mineralization (III) |
|------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| پلاژیوکلاز       | _____              |                         |                           |
| کلینوپیروکسن     | _____              |                         |                           |
| کرسوتیت          | _____              |                         |                           |
| بیوتیت           |                    | _____                   |                           |
| کوارتز           |                    | _____                   |                           |
| کلریت            |                    | _____                   |                           |
| آپاتیت           | _____              |                         |                           |
| آلیت             |                    | _____                   |                           |
| کلسیت            |                    | _____                   |                           |
| سفن              | -----              | _____                   |                           |
| گارت             |                    | _____                   |                           |
| پیدوت            |                    | _____                   |                           |
| پاک (پیریت و...) | _____              |                         |                           |
| ژیپس*            |                    |                         | _____                     |
| اکتینولیت        |                    | _____                   |                           |

\* ژپس از فرآورده های دگرسانی پیریت (اکسایشی) است.

شکل ۳ روابط پاراژنتیکی کانی‌ها در سنگ‌های آذرین گنبدیهای نمکی زاگرس بلند.



شکل ۴ الف اکتینولیت (Amp) به بهای کلینوپیروکسن (Cpx) در گابروهای پیروکسن‌دار تشکیل شده است، ب- سوزنی‌های اکتینولیت عمود بر دیواره رگه‌ها رشد کرده‌اند.

جدول ۱ آنالیز ریز پردازشی آمفیبول‌های آزبستی گنبدیهای نمکی زاگرس بلند.

| Label | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO*  | MnO   | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | Total |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|
| ۱     | ۵۴.۳۴            | ۰                | ۰.۹۳۷                          | ۱۳.۳۸ | ۰.۲۱۷ | ۱۵.۷  | ۱۱.۸۹ | ۰.۵۷۵             | ۰.۰۷۲            | ۹۷.۲۲ |
| ۲     | ۵۵.۶۹            | ۰                | ۰.۹۴۱                          | ۱۳.۸۳ | ۰.۲۵  | ۱۵.۲۱ | ۱۲.۰۶ | ۰.۵۳۶             | ۰.۰۴۴            | ۹۸.۷۸ |
| ۳     | ۵۴.۴             | ۰.۰۰۲            | ۰.۹۳۷                          | ۱۴.۶۲ | ۰.۳۲۷ | ۱۴.۹۸ | ۱۱.۷۶ | ۰.۵۹              | ۰.۰۵۲            | ۹۷.۷  |
| ۴     | ۵۴.۳۹            | ۰                | ۰.۹۴۹                          | ۱۴.۶۲ | ۰.۲۸۷ | ۱۵.۲۸ | ۱۱.۷۷ | ۰.۶۳۷             | ۰.۰۵۶            | ۹۸.۰۳ |
| ۵     | ۵۳.۷۲            | ۰.۰۰۳            | ۱.۱۹۱                          | ۱۴.۸۳ | ۰.۱۹۵ | ۱۴.۷۹ | ۱۲.۴  | ۰.۲۰۶             | ۰.۰۲۸            | ۹۷.۳۸ |
| ۶     | ۵۴.۳۷            | ۰.۰۲۵            | ۱.۰۸۴                          | ۱۳.۰۵ | ۰.۲۵۷ | ۱۵.۷۶ | ۱۲.۰۴ | ۰.۴۱۳             | ۰.۰۵۷            | ۹۷.۰۸ |
| ۷     | ۵۵.۸۱            | ۰.۰۳۶            | ۰.۷۴۱                          | ۱۱.۰۶ | ۰.۱۷۷ | ۱۷.۶۹ | ۱۲.۳۴ | ۰.۳۱۷             | ۰.۰۴۹            | ۹۸.۲۴ |
| ۸     | ۵۵.۲۴            | ۰                | ۱.۰۵۱                          | ۱۳.۲۳ | ۰.۲۸  | ۱۵.۶۷ | ۱۲.۰۳ | ۰.۷۴۱             | ۰.۰۷۳            | ۹۸.۰۶ |
| ۹     | ۵۵.۵۱            | ۰                | ۰.۹۸۷                          | ۱۱.۹۸ | ۰.۲۳۲ | ۱۶.۴۴ | ۱۲.۰۴ | ۰.۴۸۲             | ۰.۰۵۴            | ۹۷.۷۶ |
| ۱۰    | ۵۴.۸۷            | ۰.۰۵۹            | ۱.۲۰۶                          | ۱۲.۸۵ | ۰.۲۱۱ | ۱۶.۱۱ | ۱۲.۰۱ | ۰.۵۱۷             | ۰.۰۵۸            | ۹۷.۸۹ |
| ۱۱    | ۵۵.۶۵            | ۰.۰۱۳            | ۰.۹۴۴                          | ۱۱.۸۲ | ۰.۲۱۹ | ۱۶.۹۵ | ۱۲.۱  | ۰.۴۲۴             | ۰.۰۴۷            | ۹۸.۱۸ |
| ۱۲    | ۵۴.۴۴            | ۰.۰۱۱            | ۱                              | ۱۲.۹  | ۰.۲۶۳ | ۱۵.۶۳ | ۱۲.۰۵ | ۰.۴۴۲             | ۰.۰۵             | ۹۶.۷۹ |
| ۱۳    | ۵۴.۴۵            | ۰.۰۳۷            | ۱.۳۷۲                          | ۱۲.۵۶ | ۰.۲۱۱ | ۱۶.۱۴ | ۱۱.۴۸ | ۰.۹۳۸             | ۰.۰۹۷            | ۹۷.۴۹ |
| ۱۴    | ۵۴.۷۳            | ۰.۰۲۷            | ۱.۱۸۹                          | ۱۲.۸۸ | ۰.۲۲۸ | ۱۵.۹۲ | ۱۱.۴۷ | ۰.۸۹۶             | ۰.۰۹۶            | ۹۷.۶  |
| ۱۵    | ۵۴.۴۶            | ۰.۰۲۸            | ۱.۱۳۶                          | ۱۱.۸۲ | ۰.۲۰۵ | ۱۶.۵۸ | ۱۱.۷۷ | ۰.۸۱              | ۰.۰۸۵            | ۹۷.۱۸ |
| ۱۶    | ۵۴.۲۹            | ۰.۰۵             | ۱.۴۷۹                          | ۱۲.۵۶ | ۰.۲۱۸ | ۱۵.۸۶ | ۱۱.۳  | ۱.۰۳۱             | ۰.۱۳             | ۹۷.۱۱ |
| ۱۷    | ۸۵.۵۳            | ۰.۰۵۳            | ۱.۵۷۱                          | ۱۲.۶۵ | ۰.۲۱۲ | ۱۶.۰۴ | ۱۱.۵۸ | ۰.۸۷۹             | ۰.۱۲۱            | ۹۷.۱۸ |
| ۱۸    | ۵۵               | ۰.۰۵۴            | ۰.۸۵۶                          | ۱۱.۴۶ | ۰.۲۱۲ | ۱۷.۱۷ | ۱۱.۷۲ | ۰.۸۰۳             | ۰.۰۷۲            | ۹۷.۵  |
| ۱۹    | ۵۴.۴۸            | ۰.۰۱۷            | ۲.۱۸۶                          | ۱۳.۲۳ | ۰.۱۸۹ | ۱۵.۱۲ | ۱۱.۲۶ | ۱.۳۹۲             | ۰.۱۵۴            | ۹۸.۱  |
| ۲۰    | ۵۵.۹             | ۰.۰۲۴            | ۰.۵۵۷                          | ۹.۹۵۱ | ۰.۱۸۳ | ۱۷.۵۹ | ۱۱.۸۶ | ۰.۸۱۷             | ۰.۰۶             | ۹۷.۰۱ |

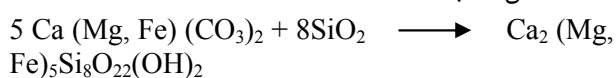
$(\text{Si}, \text{Al}^{4+})_8 (\text{Fe}^{3+}, \text{Al}^{6+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ti}, \text{Mg}, \text{Mn})_{5.08} (\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})_{1.999} (\text{OH}, \text{F})_2$

آمفیبول‌های ثانویه در سنگ‌های بزی به‌صورت زیر تشکیل شده‌اند:

۱- در هورنبلند گابروها، اکتینولیت به‌بهای هورنبلندهای قهوه‌ای تشکیل می‌شود.

۲- در گابروهای پیروکسن‌دار، اکتینولیت به‌بهای کلینوپروکسن‌ها و همراه با بیوتیت، گارنت و کدر تشکیل شده است (شکل ۴-الف).

۳- اکتینولیت به‌صورت سوزنی‌های عمود بر دیواره‌ی رگه‌ها رشد کرده است، که گواه بر تشکیل این کانی به دنبال دگرتهادی است (شکل ۴-ب).



۴- سوزنی‌های اکتینولیت همراه با دولومیت، کلسیت در زنوکریست‌های آهکی-سیلیکاتی یافت می‌شوند.

۵- تشکیل رگچه‌هایی از آمفیبول، آلبیت، کلسیت و کوارتز مبین تاثیر آبگون‌های غنی از عناصر قلیایی است. در اثر این فرایند اکتینولیت به کلسیت تبدیل شده است، حتی در برخی موارد آمفیبول‌های آزیستی به طور کامل کربناتی شده، منجر به ایجاد رگه کلسیتی شده‌اند.

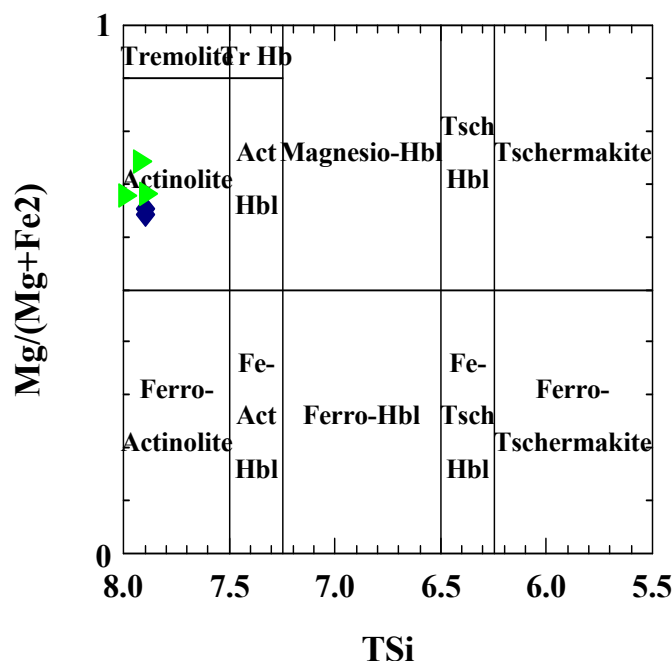
در ادامه از نمودار شکل ۵ [۱۲] برای نامگذاری آمفیبول‌ها استفاده شد. چنانکه ملاحظه می‌شود، آمفیبول‌ها از نوع اکتینولیت‌اند (شکل ۵). کانی‌های مورد بررسی در سیستم Fe-Ca-Si-CaO-H<sub>2</sub>O قرار می‌گیرند. لذا از نمودار شکل ۶ استفاده شده است. با توجه به بافت سنگ آذرین، درونی و نیمه عمیق بودن آن‌ها به‌نظر می‌رسد که فشار 2kb برای تشکیل آمفیبول‌ها ضروری است. در شرایط T-XCO<sub>2</sub> برگشت هدبرژیت به اکتینولیت، کلسیت و کوارتز [۱۳] نیز دیده می‌شود. بر اساس این نمودار، اکتینولیت در گستره‌ی دمایی (۳۲۰°C-۵۲۰°C) و در فشار کل ۲ کیلو بار پایدار است. لذا دمای بیشینه‌ی تشکیل این کانی در سنگ‌های منطقه زیر ۵۲۰°C است (شکل ۶).

فرمول عمومی آمفیبول‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها به‌صورت زیر است [۱۴]:

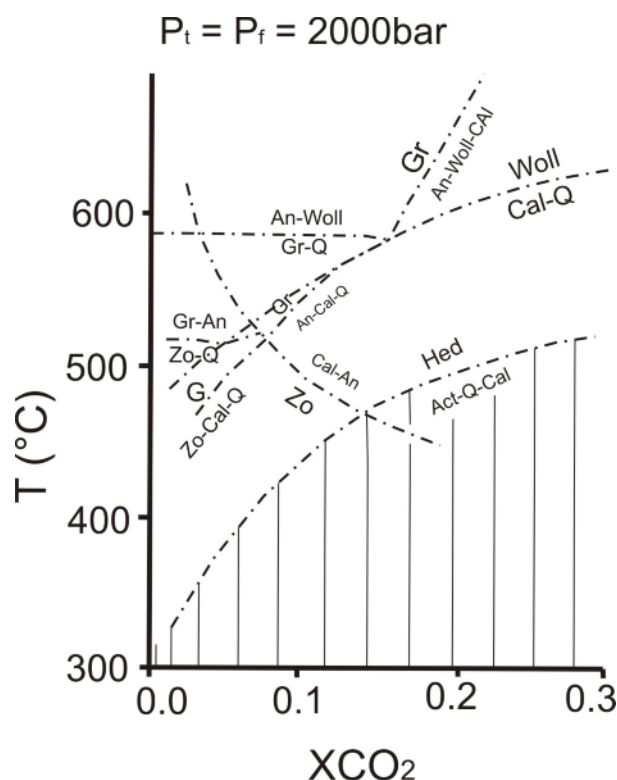


محاسبه‌ی فرمول ساختاری رگچه‌های آبی آمفیبول گنبدی‌های نمکی زاگرس بلند به‌صورت زیر است:

$$\begin{aligned} & (\text{Fe}^{2+}, \text{Al}^{6+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}, \text{Mg}, \text{Mn}) (\text{Ca}, \text{Na}, \text{K}) (\text{Si}, \text{Al}^{4+}) \text{O}_{22} (\text{OH}, \text{F})_2 \\ & \text{Si} + \text{Al} = 8.075 \longrightarrow (\text{Al}^{4+}, \text{Si}) = 7.906 + 0.94 = 8 \\ & \left\{ \begin{array}{l} \text{Al}^{4+} = 0.094 \\ \text{Al}^{6+} = 0.075 \end{array} \right. \end{aligned}$$



شکل ۵ بر اساس این نمودار آمفیبول‌های آبی در گستره‌ی اکتینولیت قرار گرفته است [۱۲].

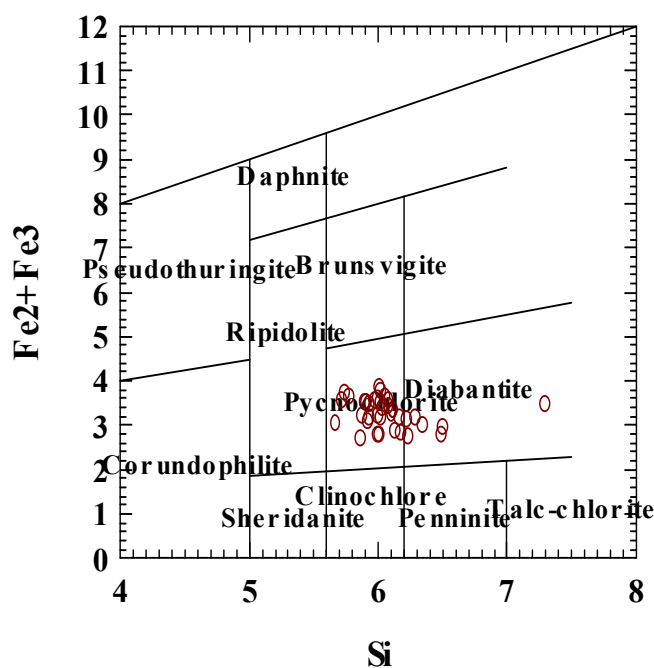


شکل ۶ با توجه به نمودار مقابل اکتینولیت در گستره دمائی (۳۲۰-۵۲۰ °C) و در فشار کل ۲ کیلو بار پایدار است [۱۳].

#### رگچه‌های کلریتی

تداخلی سری خاکستری است. بررسی شیمی کانی کلریت (جدول ۲ و شکل ۷) نشان می‌دهد که کلریت از نوع پیکنوکلریت است.

کلریت یکی دیگر از کانی‌های دگرنهادی است. از دیدگاه میکروسکوپی این کانی دارای برجستگی پائین و رنگ



شکل ۷ کلریت‌های مورد بررسی روی نمودار تقسیم بندی کلریت‌ها در گستره پیکنوکلریت قرار گرفته‌اند [۱۵].

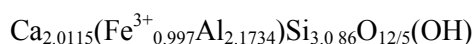
جدول ۲ آنالیز ریز پردازشی کلریت های رگه های گنبد های نمکی زاگرس بلند.

| Label | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO* | MnO  | MgO  | K <sub>2</sub> O | F    | Total |
|-------|------------------|--------------------------------|------|------|------|------------------|------|-------|
| ۱     | ۳۰/۱             | ۱۶/۷                           | ۱۸/۷ | ۰/۲۶ | ۲۱/۳ | ۰/۰۲             | ۰/۲۴ | ۸۷/۳  |
| ۲     | ۲۹/۶             | ۱۷                             | ۱۹/۵ | ۰/۲۲ | ۲۱   | ۰/۰۲             | ۰/۱۱ | ۸۷/۵  |
| ۳     | ۳۰               | ۱۷/۴                           | ۱۸/۶ | ۰/۲۱ | ۲۲   | ۰/۰۳             | ۰/۲۴ | ۸۸/۴  |
| ۴     | ۲۹               | ۱۷/۷                           | ۱۹/۷ | ۰/۳۶ | ۲۰/۳ | ۰                | ۰/۱۲ | ۸۷/۲  |
| ۵     | ۲۸/۵             | ۱۷/۷                           | ۱۹/۸ | ۰/۳۷ | ۲۰/۴ | ۰                | ۰/۲۶ | ۸۷/۱  |
| ۶     | ۲۸/۲             | ۱۸/۹                           | ۲۱/۳ | ۰/۴۶ | ۱۹/۴ | ۰                | ۰    | ۸۳/۳  |
| ۷     | ۲۸/۱             | ۱۸/۸                           | ۲۰/۴ | ۰/۳۸ | ۲۰/۳ | ۰                | ۰/۰۲ | ۸۸/۱  |
| ۸     | ۲۸/۱             | ۱۸/۳                           | ۲۰/۸ | ۰/۳۹ | ۱۹/۷ | ۰/۰۱             | ۰/۲۱ | ۸۷/۶  |
| ۹     | ۳۱/۱             | ۱۶/۴                           | ۱۸/۲ | ۰/۳۲ | ۲۰/۸ | ۰/۱۱             | ۰/۳۵ | ۸۷/۳  |
| ۱۰    | ۳۰/۸             | ۱۷                             | ۱۸/۳ | ۰/۳۴ | ۲۱/۳ | ۰/۱              | ۰/۳۸ | ۸۸/۴  |
| ۱۱    | ۲۹/۷             | ۱۶/۶                           | ۱۸/۹ | ۰/۳۳ | ۲۰/۴ | ۰/۰۸             | ۰/۵۷ | ۸۶/۵  |
| ۱۲    | ۳۰/۷             | ۱۶/۴                           | ۱۸   | ۰/۳  | ۲۱/۲ | ۰/۱۳             | ۰/۵  | ۸۷/۳  |
| ۱۳    | ۳۶/۱             | ۱۴/۷                           | ۲۰/۱ | ۰/۲۷ | ۱۱/۵ | ۷/۸۷             | ۰/۸۲ | ۹۵/۷  |
| ۱۴    | ۳۰               | ۱۶/۱                           | ۲۰/۲ | ۰/۲۸ | ۲۰/۹ | ۰/۰۱             | ۰/۱۱ | ۸۷/۵  |
| ۱۵    | ۲۹/۶             | ۱۶/۸                           | ۲۰/۷ | ۰/۳۱ | ۲۰/۸ | ۰/۰۱             | ۰/۰۹ | ۸۸/۳  |

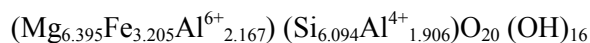
### اپیدوت

این کانی با رنگ تداخلی بالا به فراوانی در کنار کانی های دگرنهادی یافت می شود. تشکیل گستره این کانی در درز و شکاف سنگ های آذرین مبین تاثیر فاز گرمایی غنی از CaO و O<sub>2</sub> بر سنگ های این منطقه است. به نحوی که برخی نمونه ها کاملاً تحت تاثیر دگرنهادی قرار گرفته است و سنگی به نام اپیدوزیت تشکیل شده است. سنگ های آذرین این منطقه در رخساره شیست سبز دگرگون شده اند [۴]. فراوانی اپیدوت از نوع پیستازیت (جدول ۴) به عنوان یکی از کانی های سیلیکاتی آبدار نمایانگر فوگاسیته بالای اکسیژن گرمایی ها در محیط زمین شناسی است (شکل ۸-الف). آنگونه که در نمودار شکل ۸-الف دیده می شود، میدان پایداری اپیدوت به سوی دماهای پائین با افزایش فوگاسیته اکسیژن افزوده می شود. در فوگاسیته کم اکسیژن مجموعه کوارتز + اپیدوت جانشین مجموعه آنورتیت + هیدبرژیت می شود [۲۰، ۲۱]. روابط پاراژنتیکی مجموعه اپیدوت دار را می توان روی نمودار (شکل ۸-ب) نشان داد. مجموعه کلسیت + گارنت + کلریت + اپیدوت منجر به پیدایش رخساره شیست سبز شده است.

فرمول ساختاری اپیدوت های دگرنهادی گنبد های نمکی زاگرس بلند به صورت زیر است:



محاسبه فرمول ساختاری کلریت های رگه های گنبد های نمکی زاگرس بلند به صورت زیر است:



با استفاده از معادله ارائه شده توسط برخی پژوهشگران [۱۶-۱۸] می توان دمای دگرسانی را به دست آورد. معادلات پیشنهاد شده به شرح زیرند [۱۹].

$$(1) T (^{\circ}\text{C}) = 319\text{AlIV}-69$$

$$\text{AlIV} = \text{AlIV} + 0.1(\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}))$$

دمای به دست آمده بر اساس این معادله در  $420^{\circ}\text{C}$  آورده شده است [۱۶]. بر اساس معادله زیر نیز نتایج تقریباً مشابهی به دست آمده است. معادله به صورت زیر است [۱۷].

$$(2) T (^{\circ}\text{C}) = -61.92 + 321.98\text{AlIV}$$

دمای به دست آمده از این معادله  $535^{\circ}\text{C}$  است [۱۷]. از طرف دیگر بر پایه معادله ۳، دمای  $620^{\circ}\text{C}$  محاسبه شده است [۱۸].

$$(3) T (^{\circ}\text{C}) = 213.3\text{AlIV} + 17.5$$

با استفاده از نتایج دماسنجی کلریت ها (جدول ۳) و با استفاده از ۳ معادله یاد شده، این نتیجه به دست می آید که دمای گرمایی هایی که بر سنگ اثر گذاشته اند و باعث ایجاد کلریت های نوع پیکنوکلریت (کلریت های ناشی از تجزیه آمفیبول و بیوتیت) شده اند، در گستره  $420^{\circ}\text{C} - 520^{\circ}\text{C}$  تغییر می کند.

## پلاژیوکلاز

در سنگ‌های دگرنهاد پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از میکرولیت، کانی‌های کدر، کلسیت و شیشه قرار گرفته است. درشت بلورهای پلاژیوکلاز وابسته به دو نسل هستند که دلیلی بر نقش دگرنهدی در تشکیل آلبیت‌های نو ظهور است. از طرف دیگر

پیدایش آلبیت‌های رگچه‌ای گواه بر ازدیاد عناصر قلیایی در فاز

تاخیری است (جدول ۵، شکل ۹).

فرمول ساختاری آلبیت‌های رگه‌ای گنبدیهای نمکی زاگرس

بلند به صورت زیر آورده شده است:

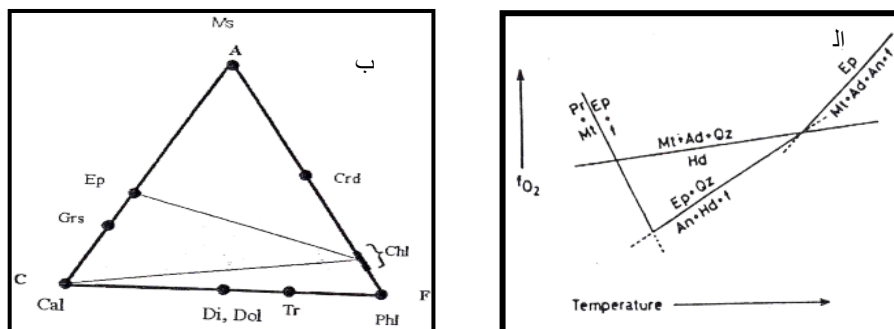


جدول ۳ دمای حاصل از دماسنجی کلریت‌های رگچه‌ای سازند هرمز در زاگرس بلند.

| Sample | T1      | T2      | T3      |
|--------|---------|---------|---------|
| ۱      | ۱۶/۱۵۷  | ۵۳۹/۸۶۰ | ۶۰۶/۷۵۱ |
| ۲      | ۴۳۳/۲۲۱ | ۵۶۵/۶۱۹ | ۶۳۲/۶۵۲ |
| ۳      | ۴۱۳/۳۸۴ | ۵۳۵/۶۷۵ | ۶۰۲/۹۸۲ |
| ۴      | ۴۱۳/۳۸۴ | ۵۳۵/۶۷۵ | ۶۰۲/۹۸۲ |
| ۵      | ۳۹۲/۲۶۸ | ۵۰۳/۷۹۹ | ۵۷۰/۷۷۳ |
| ۶      | ۱۶۲/۷۵۷ | ۱۵۷/۳۴۹ | ۲۳۳/۰۳۴ |
| ۷      | ۴۲۱/۲۷۶ | ۵۴۷/۵۸۸ | ۶۱۵/۰۷۹ |
| ۸      | ۴۳۹/۶۲۰ | ۵۷۵/۲۷۸ | ۶۴۲/۷۱۴ |
| ۹      | ۴۲۷/۲۴۹ | ۵۵۶/۶۰۳ | ۶۲۴/۵۰۴ |
| ۱۰     | ۴۳۷/۷۰۱ | ۵۷۲/۳۸۰ | ۶۴۰/۶۵۰ |
| ۱۱     | ۴۳۳/۸۶۱ | ۵۶۶/۵۸۵ | ۶۳۴/۶۶۱ |
| ۱۲     | ۴۴۳/۲۴۷ | ۵۸۰/۷۵۲ | ۶۴۸/۳۱۰ |
| ۱۳     | ۴۳۸/۵۵۴ | ۵۷۳/۶۶۸ | ۶۳۹/۹۴۹ |
| ۱۴     | ۴۵۹/۲۴۴ | ۶۰۴/۹۰۰ | ۶۷۱/۹۱۷ |
| ۱۵     | ۴۶۰/۹۵۰ | ۶۰۷/۴۷۶ | ۶۷۴/۴۲۵ |

جدول ۴ نتایج آنالیز ریز پردازشی اپیدوت‌های گرمایی گنبدیهای نمکی زاگرس بلند.

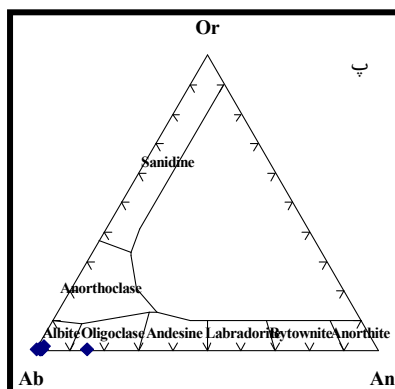
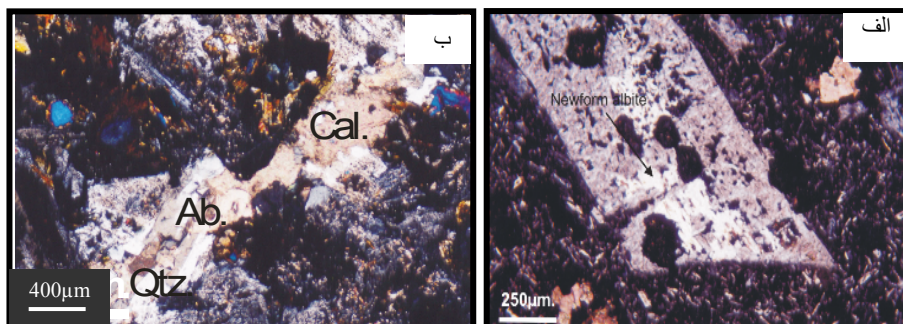
| Label | SiO2  | TiO2  | Al2O3 | FeO*  | CaO   | Total |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ۱     | ۳۶/۸۲ | ۰     | ۲۱/۰۲ | ۱۶/۱۱ | ۲۲/۹۵ | ۹۷/۱۶ |
| ۲     | ۳۷/۱۸ | ۰/۰۲۴ | ۲۲/۴۳ | ۱۴/۶۷ | ۲۲/۷۹ | ۹۷/۷۴ |
| ۳     | ۳۷/۴۲ | ۰/۰۱۷ | ۲۳/۹۷ | ۱۲/۵۶ | ۲۲/۹۲ | ۹۷/۵۲ |
| ۴     | ۳۶/۹  | ۰/۰۰۷ | ۲۱/۸۳ | ۱۵/۱۶ | ۲۲/۶۲ | ۹۷/۱۱ |
| ۵     | ۳۷/۰۲ | ۰/۰۰۸ | ۲۲/۸۱ | ۱۴/۱۶ | ۲۳/۱۳ | ۹۷/۴  |
| ۶     | ۳۷/۱۱ | ۰/۰۴۴ | ۲۳/۸۲ | ۱۲/۸۸ | ۲۲/۵۳ | ۹۷/۷۳ |
| ۷     | ۳۶/۸۴ | ۰/۰۱۱ | ۲۲/۲۹ | ۱۴/۶  | ۲۲/۳۲ | ۹۶/۹۱ |
| ۸     | ۳۷/۱۷ | ۰/۰۱۱ | ۱۳/۲۵ | ۱۰/۹۵ | ۲۳/۰۴ | ۹۷    |
| ۹     | ۳۶/۷۷ | ۰     | ۱۹/۵۷ | ۱۷/۱۴ | ۲۱/۹۴ | ۹۶/۸۸ |
| ۱۰    | ۳۷/۰۹ | ۰/۰۲۴ | ۲۰/۴۵ | ۱۶/۵۶ | ۲۲/۴۷ | ۹۷/۲۶ |
| ۱۱    | ۳۶/۷۹ | ۰     | ۱۹/۹۳ | ۱۶/۸  | ۲۲/۲۴ | ۹۷/۰۹ |
| ۱۲    | ۳۶/۹۴ | ۰/۰۳۱ | ۲۰/۳۵ | ۱۶/۳۲ | ۲۲/۱۲ | ۹۶/۸۶ |
| ۱۳    | ۳۷/۵۸ | ۰     | ۲۵/۳۴ | ۱۰/۳۸ | ۲۲/۶۴ | ۹۷/۵۵ |
| ۱۴    | ۳۸/۰۵ | ۰/۰۱۵ | ۲۵/۰۹ | ۱۰/۶۱ | ۲۲/۲۷ | ۹۷/۸۱ |
| ۱۵    | ۳۷/۲۰ | ۰/۰۲۵ | ۲۴/۸۵ | ۱۱/۱۲ | ۲۲/۳۴ | ۹۷/۲۲ |



شکل ۸ الف. نمودار نمادین T-fO<sub>2</sub> برای اپیدوت [۲۰، ۲۱]، ب. نمودار ترکیب-پاراژنز برای مجموعه Chl + Ep + Gr + Cal.

جدول ۵ نتایج آنالیز ریز پردازشی آل‌بیت‌های رگه‌های گنبد‌های نمکی زاگرس بلند.

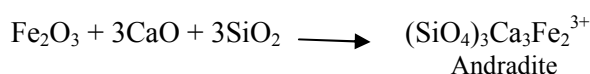
| Label | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | Na <sub>2</sub> O | Total   |
|-------|------------------|--------------------------------|-------|-------------------|---------|
| ۱     | ۶۸٫۸۶            | ۲۰٫۲۳                          | ۰٫۲۷۵ | ۱۱٫۹۷             | ۱۰۱٫۶۵  |
| ۲     | ۶۸٫۳۹            | ۲۰٫۰۳                          | ۰٫۲۴۷ | ۱۱٫۹۶۰            | ۱۰۱٫۱۶  |
| ۳     | ۶۸٫۱۸            | ۱۹٫۸۴                          | ۰٫۲۴۹ | ۱۲٫۰۶             | ۱۰۰٫۹   |
| ۴     | ۶۷٫۸۴            | ۲۰٫۴۷                          | ۰٫۳۸  | ۱۱٫۵۰             | ۱۰۰٫۹۲  |
| ۵     | ۶۸٫۷۸            | ۲۰٫۱۱                          | ۰٫۳۲۵ | ۱۲٫۰۸             | ۱۰۱٫۶۰  |
| ۶     | ۶۴٫۴۲            | ۲۱٫۶۵                          | ۳٫۵۰  | ۱۰٫۹۹             | ۱۰۱٫۶۶۱ |
| ۷     | ۶۸٫۸۷            | ۲۰٫۰۲                          | ۰٫۰۷۵ | ۱۲٫۱۵             | ۱۰۱٫۵۰  |
| ۸     | ۶۶٫۶۹            | ۱۹٫۷۹                          | ۰٫۳۹  | ۱۱٫۷۶             | ۹۹٫۰۳۵  |



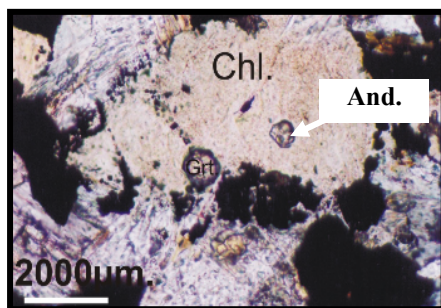
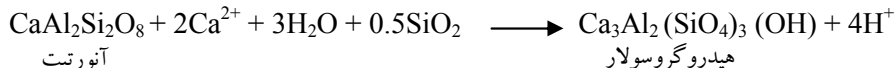
شکل ۹ الف. آل‌بیت‌های نوظهور در اثر دگرته‌ای نمک در سنگ‌های آتشفشانی گنبد نمکی دوآب تشکیل شده است، ب. تشکیل رگچه‌های کوارتز، کلسیت و آل‌بیت در سنگ‌های آتشفشانی گواه بر تاثیر دگرته‌ای در مراحل پایانی تبلور ماگماست (نور قطبیده)، پ. اغلب فلدسپات‌های مورد بررسی روی نمودار تقسیم‌بندی فلدسپات‌ها در گستره آل‌بیت قرار گرفته‌اند.

## گارفنت

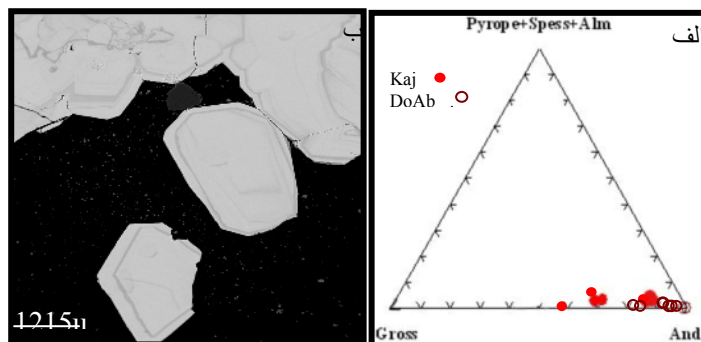
یکی دیگر از کانی‌های دگرنهاد در گنبد نمکی دواب گارنت از نوع آندرادیست است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱ و جدول ۶)، که دستاورد فرآیندهای مراحل پایانی تبلور است. در این مرحله  $\text{FeO}$ ،  $\text{fO}_2$ ،  $\text{CaO}$  گرمایی‌ها به اندازه‌ای بالا بود که نخست شارۀ  $\text{Fe}^{2+}$  به  $\text{Fe}^{3+}$  اکسیده شده و سپس وارد واکنش می‌شود. بر پایه برداشت‌های کانیایی می‌توان واکنش شکل‌گیری گارنت-های آندرادیستی را در اثر هجوم گرمایی‌های غنی از  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  به صورت زیر پیشنهاد کرد [۲۲]:



آندرادیت در گستره دمایی  $300^{\circ}\text{C} - 520^{\circ}\text{C}$  (در فشار ۰/۵ کیلوبار) و ۰/۶ تا ۰/۸  $\text{XCO}_2$  پایدار است [۲۳] (شکل ۱۲). بیرون از این شرایط، آندرادیت به مگنتیت، کوارتز و کلسیت تجزیه می‌شود. تغییر ترکیب شیمیایی گارنت‌ها به طور ناگهانی در بلورهای دارای ساختار منطقه‌ای را می‌توان به کاهش ناگهانی فشار ارتباط داد. کاهش فشار سبب پدیده حوشش در



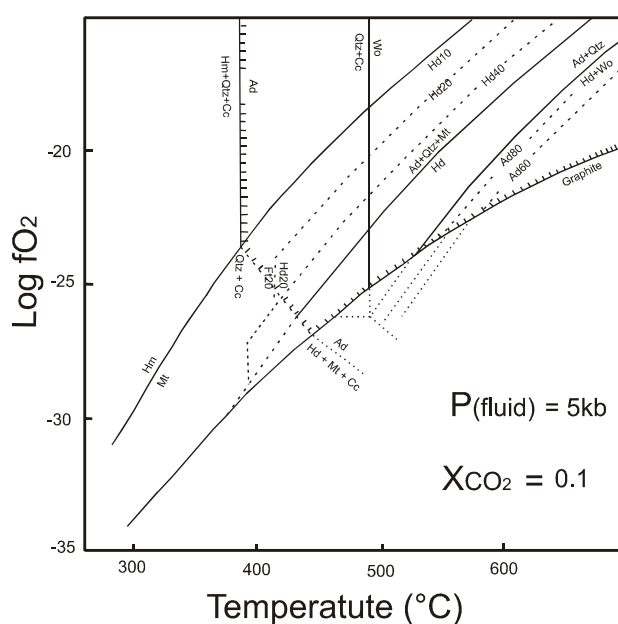
شکل ۱۰. پیدایش گارنت‌های آندرادیتی با برجستگی بالا در زمینه‌ای از کلریت (نور عادی).



**شکل ۱۱ الف.** گارنت‌های مورد بررسی در نمودار سه گوش گروسولار-آندرادیت-پیروپ+اسپسارتین+آلماندین، بیشتر در گستره آندرادیت-گروسولار قرار گرفته‌اند، ب تصویر ریزپدازشی الکترونی (BSE) از گارنت‌های سازند همز در گندمنکه، دوآب که نشان‌دهنده منطقه‌بندی در این کان، است.

**جدول ۶** نتایج آنالیز ریز پردازشی گارنت‌های گنبد‌های نمکی دوآب و کاج.

| Label | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO*  | MnO   | CaO   | Total  |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| 1     | 37.5             | 0.46             | 1.76                           | 16.26 | 0.278 | 34.51 | 99.09  |
| 2     | 36.9             | 0.03             | 1.97                           | 15.83 | 0.248 | 34.76 | 98.89  |
| 3     | 36.92            | 0.07             | 1.39                           | 16.68 | 0.261 | 34.75 | 99.05  |
| 4     | 37.34            | 0.15             | 12.20                          | 14.33 | 0.295 | 35.06 | 99.33  |
| 5     | 35.29            | 0.11             | 0.03                           | 32.53 | 0.78  | 32.75 | 100.70 |
| 6     | 35.23            | .                | 0.388                          | 31.94 | 0.91  | 33.06 | 100.70 |
| 7     | 35.16            | .                | 0.358                          | 32    | 0.124 | 32.9  | 100.60 |
| 8     | 35.18            | 0.17             | 0.595                          | 13.51 | 0.128 | 33.11 | 100.70 |
| 9     | 34.97            | .                | 0.1                            | 32.48 | 0.76  | 32.90 | 100.50 |
| 10    | 35.28            | 0.01             | 0.11                           | 32.64 | 0.95  | 32.96 | 101.11 |
| 11    | 35.38            | .                | 0.15                           | 32.36 | 0.238 | 32.69 | 100.70 |
| 12    | 35.37            | .                | 0.23                           | 32.44 | 0.295 | 32.57 | 100.8  |
| 13    | 35.24            | 0.33             | 0.07                           | 32.56 | 0.251 | 32.63 | 100.7  |
| 14    | 35.14            | .                | 0.05                           | 32.41 | 0.264 | 32.74 | 100.6  |
| 15    | 37.1             | 0.19             | 6.939                          | 22.29 | 0.621 | 33.60 | 101.7  |



شکل ۱۲ نمودار گستره پایداری گارنت و پیروکسن بر اساس T-fO<sub>2</sub> [۲۳].

## کوارتز

از پدیده‌های جالب کان‌شناسی در گنبد دشتک، تشکیل کوارترهای دودی درشت بلور با سوزنی‌های اکتینولیت (شکل ۱۳-الف) است. این کان به صورت رگچه‌ای و در برخی موارد

بین حفره‌ها همراه با کلسیت، اکتینولیت و کلریت حضور دارد. رخداد بافت بلور دانی در برخی مقاطع شاهدهی بر تاثیر دگرنهادی در آخرین مراحل تبلور است. تشکیل کوارتزهای رگجه‌ای حاکی از غنی بودن فاز پایانی از عناصر قلیایی است.

رنگ آبی-خاکستری قابل مشاهده‌اند) که همزمان با رشد کوارتز تشکیل شده است (شکل ۱۳-الف و ب). میانبرهای شاره که مورد بررسی قرار گرفته‌اند دارای سه فاز آبگون، جامد (هالیت، با توجه به ریخت‌شناختی و ویژگی‌های نوری) و بخار هستند (روی ۱۵ شاره میانبار) (شکل ۱۳-ب)، محاسبه میزان CIPW [۲۷] نیز وجود هالیت در این سنگ‌ها را تایید کرده است.

به نحوی که با تشکیل آلbite‌های نوظهور CaO اضافی تشکیل کلسیت را می‌دهد و  $\text{SiO}_2$  آزاد می‌شود. پیدایش کلسیت، کوارتز، ترمولیت در حفره‌ها نشان دهنده دگرنهادی  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  است. بررسی‌های انجام شده روی بلورهای کوارتز رگچه‌ای گنبد نمکی دشتک نشان می‌دهد که بلورهای یادشده حاوی نفوذی-هایی از کانی سوزنی اکتینولیت است (در نمونه دستی نیز به

| Oxide   | TiO <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | MnO  | MgO  | CaO        | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|------------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| Wt%     | 2.29             | 52.6             | 15.6                           | 2.89                           | 8.31  | 0.28 | 4.91 | 4.98       | 5.51              | 1.61             | 0.38                          |
| Mineral | Qtz.             | Cor.             | Zir.                           | Orth.                          | An.   | Ab.  | Ne.  | Ha(Halite) |                   |                  |                               |
| Wt%     | 24.3             | 5.42             | 0.02                           | 9.6                            | 22.76 | 1.17 | 0.25 | 2.55       |                   |                  |                               |

به دست آمد. با توجه به معادله زیر و با احتساب دمای ذوب پایانی، شوری فاز شاره ۴۲/۹۳٪ تعیین شد [۲۸].

بر پایه بررسی‌های سرمایشی و گرمایشی بر روی این کانی، فاز گاز و آبگون در گستره دمایی (۲۷/۱-) تا (۲۶/۸-) درجه سانتی‌گراد یخ زدند. دمای همگن شدن فاز گاز، آبگون ۳۲۰°C

$$\text{Salinity (\%Wt NaCl)} = 26.242 + 0.9428X + 1.42X^2 - 0.223X^3 + 0.04129X^4 + 6.295 \times 10^{-3}X^5$$

X=دمای انحلال هالیت/۱۰۰ [۲۶]

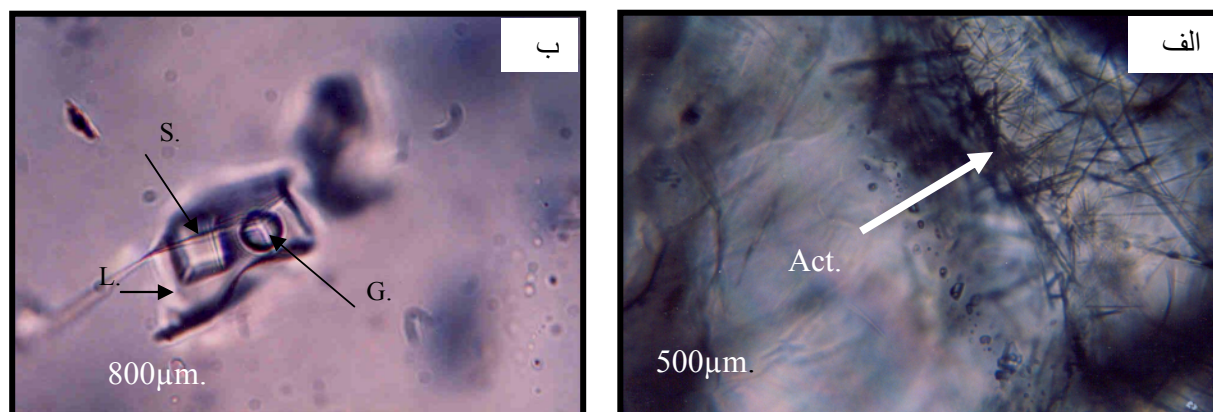
$$320^\circ\text{C} = \text{دمای انحلال هالیت}$$

$$X = 3.20 \quad \longrightarrow \quad \text{Salinity} = 42.932\%$$

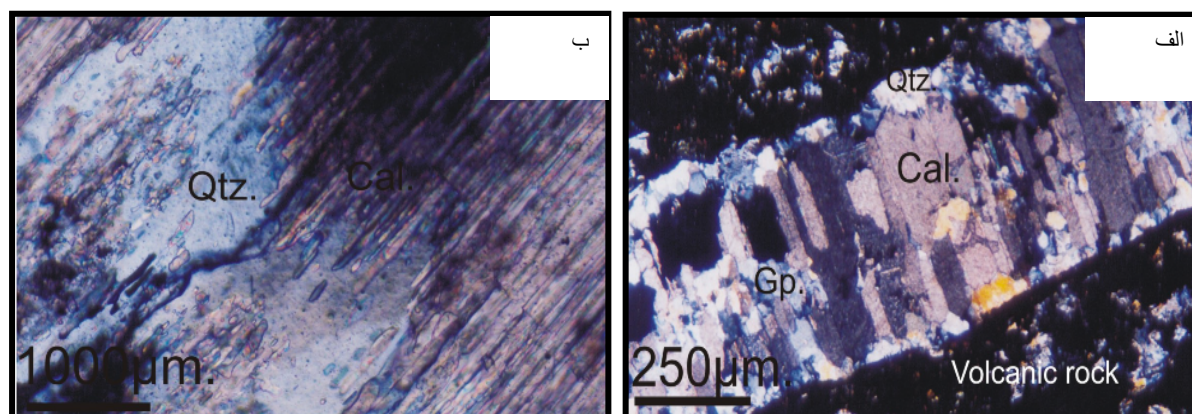
$2\text{FeS}_2 + 2\text{CaO} + 9/2\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CaSO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3$   
pyrite gypsum  
نکته جالب آنکه در اثر دگرسانی، ژئپس به کلسیت و کلسیت با کوارتز جانشین شده است (شکل ۱۴).

سنگ‌های منطقه مورد از نظر سنگ‌شناسی دارای ترکیب پیوسته‌ای از بازالت تا تراکیت هستند. به طور کلی از یک طرف دارای سرشت قلیایی (با توجه به شواهد سنگ‌شناختی و غنی‌شدگی نمونه‌ها از تیتان (برای مثال وجود کرسوتیت و تیتان اوژیت) و از طرف دیگر سرشت تولییتی (با توجه به غنی‌شدگی از آهن) دارند. در مجموع برپایه نمودارهای تعیین‌کننده سری ماگمایی، آتشفشانی‌های منطقه ویژگی سری تحولی از خود نشان می‌دهند [۲۷].

از شواهد دیگر دگرنهادی در این سنگ‌ها، تشکیل پاراژنز ژئپس، کلسیت و کوارتز است. در نمونه دستی ژئپس‌های نواری به ضخامت ۱-۴ سانتی‌متر در شکستگی‌های سنگ‌های آتشفشانی به وجود آمده است. رنگ رگچه‌های ژئپس سفید تا سفید شیری است، همچنین سوزن‌های ژئپس عمود بر دیواره رگه رشد کرده است، که موید وجود تنش (از نوع کششی) در محیط تشکیل این مجموعه است. از دیدگاه میکروسکوپیکی ژئپس در میانه رگه و کوارتز در حاشیه رگچه‌ها قرار گرفته است (شکل ۱۴-الف). به احتمال قوی ژئپس‌های مورد بحث در اثر دگرسانی پیریت و طی واکنش زیر حاصل شده‌اند:



شکل ۱۳ الف. سوزنی‌های اکتینولیت به صورت نفوذی در کوارتزهای گرمایی گنبد دشتک تشکیل شده است، ب. شاره‌های درگیر دارای سه فاز جامد (S.)، آبگون (L.) و گاز (G.) هستند (نور قطبیده).



شکل ۱۴ الف تشکیل ژئپس و کلسیت در میانه و کوارتز در حاشیه رگچه، ب تشکیل کوارتزهای ثانویه بین کلسیت با بافت مرجانی (atoll texture) (نور قطبیده).

#### برداشت

سنگ‌های آذرین گنبد‌های نمکی مورد بررسی دارای مجموعه کانی‌های کلینوپیروکسن، اکتینولیت، پلاژیوکلاز، بیوتیت، پیکنوکلیت، کلسیت، کوارتز، پیستازیت، گروسولار-آندرادیت و کوارتزند. این سنگ‌ها دارای طیف پیوسته‌ای از بازالت تا تراکیت هستند. بر پایه بررسی‌های صحرایی، سنگ‌شناختی و آنالیزهای ریز پردازشی تشکیل کانی‌های اپیدوت، آلبیت، کلریت، گارنت اکتینولیت و کوارتز در بین سنگ‌های آتشفشانی گنبد‌های نمکی زاگرس بلند نشان دهنده تأثیر فاز تاخیری غنی از  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  است. بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی و محاسبات زمین-دماسنجی

صورت گرفته روی کانی کلریت. گستره دمایی  $350^\circ\text{C}$  -  $510^\circ\text{C}$  برای تشکیل این کانی پیشنهاد می‌شود. همچنین آمفیبول‌های آزبستی در گستره دمایی  $320^\circ\text{C}$  -  $520^\circ\text{C}$ ، فشار ۲ کیلو بار و آندرادیت‌ها در گستره دمایی  $300^\circ\text{C}$  -  $520^\circ\text{C}$  و فشار ۰/۵ کیلو بار و بر پایه بررسی‌های نفوذی‌های شاره کوارتزهای رگچه‌ای در گستره دمایی  $310^\circ\text{C}$  -  $330^\circ\text{C}$  پدیدارند.

در آخرین مرحله تشکیل کانی‌ها سیستم گرمایی از خاستگاه سنگ‌های تبخیری میزبان تشکیل می‌شود و با تأثیر بر درون سنگ‌های آذرین رگچه‌های کوارتز، کلریت، اکتینولیت و بلورهای گارنت، آلبیت و اپیدوت به وجود آمده است.

## مراجع

- Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association*, commission on new minerals and mineral names, Can. Mineral., 35 (1997) 219-237.
- [13] Shoji T., "The stability of clinopyroxene of the diopside-hedenbergite series in  $H_2O-CO_2$  mixtures" Jour. Of the Japanese Association of mineralogists, Petrology and Economic Geologists, 75 (1980) 221-229.
- [14] Schmacher J., "The estimation of proportion of ferric iron in the electronmicroprobe analysis of amphiboles", Can. Mineral., 35 (1997) 237-246.
- [15] Rock N. M. S., "Iamprophyres, Blackie and son", Glasgow, London, New York (1991) 285.
- [16] Jowett E. C., "Fitting iron and magnesium in the hydrothermal chlorite geothermometr", Geol. Assoc. Cana. Mineral. Assoc. Canada/Soc. Eco. Geol. Joint. Annual Meeting, Toronto, Program with Abstracts (1991) 16, A 62.
- [17] Cathelineu M., "Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature" Clay Miner. (1988) 23, 471-485.
- [18] Cathelineu M., Nieva D., "A chlorite solution geothermometr, The los Azufers (Mexico) geothermal system" Contrib. Mineral. Petrol. (1985) 91, 235-244.
- [19] Zhang Y., Muchez Ph., Hein U. F., "Chlorite geothermometry and temperature condition at the Variscan thrust front in eastern Belgium" Geolo. Mijnbouw (1997) 76, 267-270.
- [20] Shimazaki K., Gotow K., Kondo N., "Photosynthetic properties of guard cell protoplasts from *Vicia Fabal. L*", plat Physiol. Plant. Mol. Biol. (1982) 52, 627-658.
- [21] Liou J., "Synthesis and stability relations of epidote,  $Ca_2Al_2FeSi_3O_{12}(OH)$ " Jour. Petrol. (1973) 14, 381-413.
- [۲۲] مکی زاده م.ع., "کانی‌شناسی و ژئوشیمی اسکارن‌های استان یزد"، دانشگاه شهیدبهشتی، پایان‌نامه دکتري، (۱۳۸۷) ۱۹۸ص.
- [23] Harriss N. B., Einaudi M. I., "Skarn deposits in the Yerington district, Nevada, metasomatic skarn evolution near Ludwing", Econ. Geol. (1982) 77, 877-898.
- [۱] درویش زاده ع., "ویژگی‌های زمین‌شناسی نمک‌های اینفراکامبرین خلیج فارس"، مجموعه مقالات سمپوزیوم دیاپیریسم، استانداری هرمزگان، جلد ۱ (۱۳۶۹) ص ۸۱-۱۰۹.
- [۲] هروی م., "مفاهیم جدیدی از چینه‌شناسی سازند هرمز و مسئله دیاپیریسم در گنبد‌های نمکی جنوب ایران"، مجموعه مقالات سمپوزیوم دیاپیریسم، استانداری هرمزگان، جلد ۱ (۱۳۶۹) ص ۱-۲۲.
- [۳] سبزه ئی م., "گزارش بررسی‌های زمین‌شناختی و سنگ-شناختی گنبد‌های نمکی کاکان، کمهر، کوه گون در منطقه یاسوج"، اداره کل معادن و فلزات استان کهگیلویه و بویراحمد، گزارش داخلی، (۱۳۶۸) ۷۰ص.
- [۴] دلال اصفهانی ف., "پترولوژی سنگ‌های آذرین و دگرگونی گنبد‌های نمکی جنوب استان چهارمحال و بختیاری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان (۱۳۷۲) ۱۲۰ص.
- [۵] حجتی ح., "بررسی پترولوژی و ژئوشیمی گنبد‌های نمکی استان چهارمحال و بختیاری (کاج، گنجان، دشتک و نازی)،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان (۱۳۷۷) ۲۰۷ص.
- [6] Zarkov M.A., "Paleozoic salt bearing formation of the world", Spring Verlag Berlin Heidelberg Germany (1984) 427.
- [7] Hussein M.I., "The Arabian infracambrian extensional system", Tectonophysics, 148 (1988) 93-103.
- [8] Stocklin J., "Iran Central, septentrional et Oriental. Lexique stratigraphique International", III, Fascicule, Centre National de recherche Scientifique, Paris 9b, Iran (1972) 1-283.
- [9] Harrison J. V., "The geology of some salt plugs in Laritsan, South Persia", Geol. Soc. London, Quart. Jour., 86 (1930) 465-522.
- [10] Oberin C.A., "Salt diapirism in South Persia", Geologie eu mijnbouw, 1 (1957) 212-238.
- [11] Deer W., A., et all, "An introduction to the rock forming minerals", Longman Group, seventeen impression (1991) 528.
- [12] Leake B. E., Wolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., et all., "Nomenclature of amphiboles:

"Roddingites in serpentinized ultramafic rocks of the Abitibi green stone belt" Ontario, Canadian Mineral. (1989) 27, 579-591.

[۲۷] تقی پور ص.، خلیلی م.، نقره‌ئیان م.، ترابی ق.، مکی زاده م. ا.، تقی پور ب.، "کانی‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های ماگمایی سازند هرمز (گنبد‌های نمکی کاج و دوآب)"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، (۱۳۸۷) ۱۶، ۳، ۳۷۷-۳۸۸.

[28] Shephard T. J., "A practical guide to fluid inclusion studies" Blackie, London (1985) 235.

[24] Yardly B. W., Rochelle C. A., Barnicoat A. C., "Oscillatory zoning in metamorphic minerals, An indicator of infiltration metasomatism" Miner. Mag. (1991) 55, 357-365.

[25] Taghipour S., Khalili M., Noghreyan M.,

Torabi Gh., Mackizadeh M. A., "Genesis of andradite garnets in altered igneous rocks" Jour. Ultra Chemistry (2007) 3, 2, 127-138.

[26] Shandl E. S., Ohanley D. S., Wicks F. J.,