

## **Detection of pressure and temperature in formation of Jandaq ophiolite amphibolites (North-east of Isfahan Province) by using amphibole and plagioclase barometry and thermometry**

**Ghodrat Torabi**

*Geology Department, Isfahan University, Isfahan, Iran  
Email: Torabighodrat@yahoo.com*

(Received: 11/6/2006, received in revised form: 7/3/2007)

**Abstract:** Amphibolites are one of the metamorphic rock units of Jandaq ophiolite and exposed in a considerable volume. These rocks are metamorphism products of basalts, pillow lavas and diabasic dikes of Jandaq ophiolite. Amphibolites contain amphibole, plagioclase, garnet, alkali feldspar (orthoclase), magnetite, biotite, muscovite, sphene, quartz, epidote and calcite minerals. These rocks contain very good lineation and foliation. By metamorphic differentiation, mafic and felsic minerals are separated in some locations. Metasediments that are present in Jandaq area, were originally sedimentary cover of Jandaq ophiolite, before the metamorphism has taken place. Mineralogical studies, hornblende barometry, and amphibole – plagioclase thermometry, conclude that the metamorphism of Jandaq ophiolite amphibolites occurred in upper part of amphibolite facies condition (7.98 to 9.01 Kbars and 714 to 737 °C). Temperature of metamorphism in Jandaq ophiolite amphibolites is higher than amphibolites that are in Jandaq metamorphic rocks (8.58 to 10.87 Kbars and 619 to 668 °C).

**Keywords:** *Amphibolite, Jandaq ophiolite, metamorphic rocks, geothermobarometry.*





## تعیین شرایط فشار و دمای تشکیل آمفیبولیت‌های افیولیت جندق (شمال شرق استان اصفهان) با استفاده از دماسنجی و فشارسنجی کانی‌های آمفیبول و پلاژیوکلاز

قدرت ترابی

گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان  
Torabighodrat@yahoo.com

(دریافت مقاله ۱۳۸۵/۳/۲۱، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۵/۱۲/۱۶)

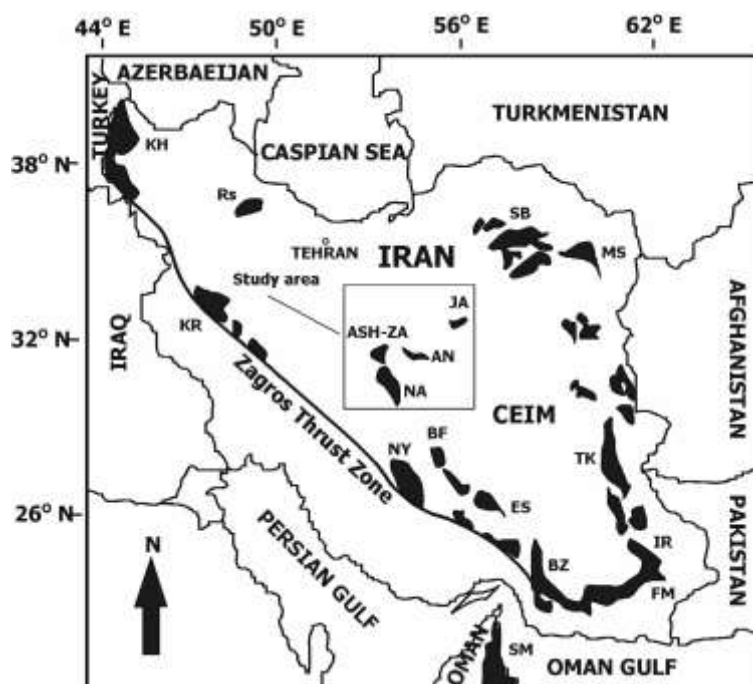
**چکیده:** آمفیبولیت‌ها یکی از انواع سنگ‌های دگرگون تشکیل دهنده افیولیت جندقند که حجم قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که آمفیبولیت‌های درون افیولیت جندق حاصل دگرگونی بازالت‌ها، گدازه‌های بالشی، و دایک‌های دیابازی افیولیت جندق هستند. این سنگ‌ها از آمفیبول، پلاژیوکلاز، گارنت، آلکالی فلدسپار (ارتوکلاز)، مگنتیت، بیوتیت، مسکویت، اسفن، کوارتز، کلسیت، و اپیدوت تشکیل شده‌اند و به صورت برگوارگی و خط وارگه بسیار واضحی دیده می‌شوند. سنگ‌های رسوبی دگرگون شده‌ای که امروزه در منطقه جندق دیده می‌شوند، پیش از رخداد دگرگونی، پوشش تهنشستی افیولیت جندق بوده‌اند. بررسی‌های کانی‌شناسی، زمین‌دما-فشارسنجی آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازها نشان می‌دهند که آمفیبولیت‌های درون افیولیت جندق در شرایط بخش‌های بالایی رخساره آمفیبولیت دگرگون شده‌اند (۷/۹۸ تا ۹/۰۱ کیلو بار و ۷۱۴ تا ۷۳۷ درجه سانتی‌گراد) و دمای دگرگون شدن آنها بیش از آمفیبولیت‌های درون دنباله اصلی دگرگونی (۸/۵۸ تا ۱۰/۸۷ کیلو بار و ۶۱۹ تا ۶۶۸ درجه سانتی‌گراد) است.

**واژه‌های کلیدی:** آمفیبولیت، افیولیت جندق، سنگ‌های دگرگونی، زمین‌دما-فشارسنجی.

## مقدمه

دو مجموعه افیولیتی انارک و جندق در بخش‌های شمال شرق استان اصفهان زیر سنگ‌های دگرگون قدیمی با سن پروتروزئیک بالایی [۱، ۲، ۳، ۴] یا پالئوزوئیک [۵، ۶] دیده می‌شوند. این سنگ‌های دگرگون شامل شیست و مرمرد و مجموعه‌های افیولیتی انارک و جندق را می‌پوشانند. سن سنگ‌های این مجموعه‌های افیولیتی نیز همچون دگرگونه‌های روی آن ناشناس است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ دیده می‌شود.

افیولیت جندق در ۴۰ کیلومتری شرق جندق (شمال شرق استان اصفهان) قرار گرفته و از پریدوتیت و پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته، پیروکسنیت، گابرو، رودینگیت، لیستونیت، آمفیبولیت، و دایک‌های آمفیبولیتی تشکیل شده است. این مجموعه افیولیتی با یک دنباله



شکل ۱ نقشه افیولیت‌های ایران و موقعیت منطقه مورد بررسی، برگرفته از [۸]، با تغییراتی در مورد افیولیت‌های انارک و جندق.

KH = Khoy; KR = Kermanshah; NY = Neyriz; BZ = Band Ziarat; NA = Naein; BF = Baft; ES = Esphandagheh; FM = Fanuj-Maskutan; IR = Iranshahr; TK = Tchhel Kureh; MS = Mashhad; SB = Sabzevar; RS = Rasht; SM = Samail; ASH-ZA = Ashin-Zavar; AN = Anarak; JA = Jandaq.

دگرگون پوشیده شده است. زمین‌شناسان روسی در گزارش پروژه تکنواکسپورت در مورد منطقه جندق، افیولیت جندق را یک متافیولیت (Metaophiolite) نام نهاده‌اند [۴]. راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه و نقشه زمین‌شناسی ساده شده آن در شکل‌های شماره ۲ و ۳ ارائه شده‌اند.

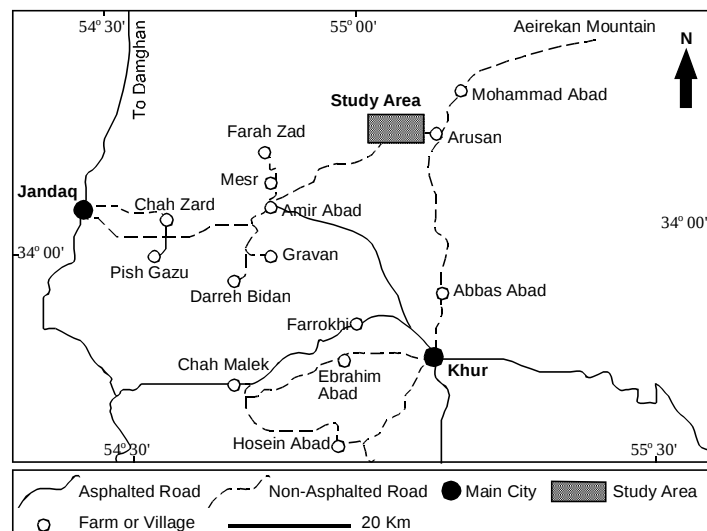
در منطقه جندق، آمفیبولیت‌ها، در لابلاهی شیست‌ها، بخش‌های زیرین شیست‌ها، و درون افیولیت دیده می‌شوند [۷]. تصاویر صحرایی رخنمون آمفیبولیت‌ها در منطقه مورد بررسی در شکل ۴ آورده شده‌اند.

بررسی‌های قبلی [۹] در منطقه انارک نشان می‌دهد که متابازیت‌های افیولیت انارک از نوع شیست سبز بوده و در زیر سنگ‌های دگرگون انارک که بیشتر کلریت شیست، سربست شیست، و مرمر هستند قرار دارند. در صورتی که متابازیت‌های افیولیت جندق به صورت آمفیبولیت است و علاوه بر درون مجموعه افیولیتی، در زیر و درون کمپلکس دگرگون جندق که بیشتر گارنت میکا شیست، استارولیت شیست، و مرمر هستند نیز دیده می‌شوند. با توجه به این موضوع می‌توان گفت که درجه دگرگونی در منطقه جندق در حد رخساره آمفیبولیت بوده و بیش از منطقه انارک (رخساره شیست سبز) است.

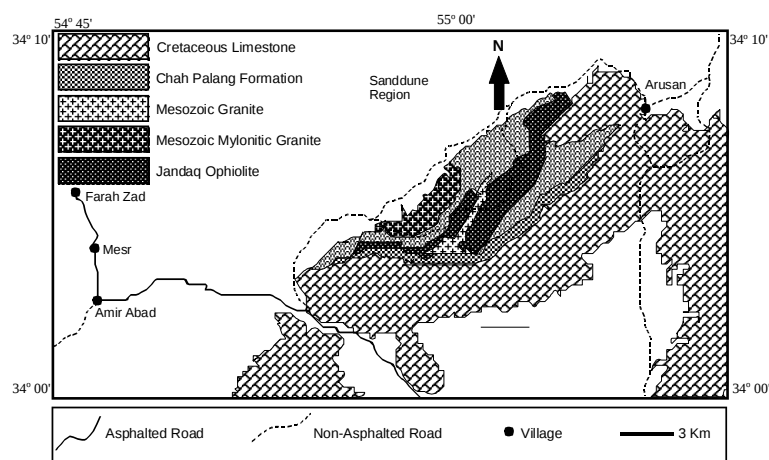
وجود الیستولیت‌های افیولیتی در درون بخش‌های پائینی دنباله دگرگون، غنی بودن بخش‌های پائینی سنگ‌های دگرگون از نظر عناصری هم چون نیکل و کرم، وجود ضخامت چشمگیری از تالک شیست (بیش از ۱۰ متر) در برخوردگاه افیولیت با سنگ‌های دگرگون، و دور زدن الیستولیت‌های افیولیتی با برگوارگی درون شیست‌ها حکایت از قدیمی‌تر بودن مجموعه افیولیتی نسبت به سنگ‌های دگرگون دارد. بنابراین می‌توان گفت که مجموعه دگرگون جندق پیش از رخداد دگرگونی، پوشش تهنشستی افیولیت جندق بوده است.

پایان یافتن دایک‌های آمفیبولیتی موجود در پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته به توده‌های آمفیبولیتی نزدیک چاه ابراهیم - زهرا و ناپدید شدن دایک‌ها در درون آمفیبولیت‌ها، به همراه سنگ‌شناختی مشابه دایک‌های آمفیبولیتی و آمفیبولیت‌های درون افیولیت جندق، نشان می‌دهد که آمفیبولیت‌ها و دایک‌های آمفیبولیتی موجود در درون مجموعه افیولیتی جندق در حقیقت بازالت‌ها، گدازه‌های بالشی، و دایک‌های دیابازی افیولیت جندق بوده که دگرگون شده‌اند و تاکنون نیز از لحاظ کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند. لذا بررسی آن‌ها از نظر کانی‌شناسی و شرایط دما و فشار تشکیل، داده‌های بسیار خوبی در مورد شرایط دگرگونی افیولیت جندق به دست خواهد داد. علاوه بر آمفیبولیت‌های یاد شده، این سنگ‌ها را به صورت پراکنده در درون مجموعه دگرگون جندق که افیولیت جندق را می‌پوشاند نیز می‌توان مشاهده کرد. در مورد وابستگی این آمفیبولیت‌ها به افیولیت جندق، و اینکه سنگ

اولیه آنها بازالت باشد، با اطمینان نمی‌توان قضاوت کرد چرا که دارای کانی‌شناسی متفاوتی نسبت به آمفیبولیت‌های درون افیولیت هستند. دلیل این اختلاف در کانی‌شناسی ممکن است اسپیلیتی بودن و یا توف بودن سنگ اولیه باشد. در این نوشته دما و فشار تشکیل آمفیبولیت-های درون افیولیت با فشار و دمای تشکیل آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگون مقایسه خواهد شد.



شکل ۲ نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴ تصاویر صحرایی از رخنمون آمفیبولیت‌های درون افیولیت جندق (A and B) و آمفیبولیت‌های درون دگرگونه‌های جندق (C).

#### روش پژوهش

به منظور تعیین شرایط فشار و دمای تشکیل آمفیبولیت‌های موجود در منطقه مورد بررسی، علاوه بر مطالعات صحرایی، تعداد ۳۲ نمونه از این سنگ‌ها برای تهیه مقطع نازک و مطالعات سنگ‌شناختی انتخاب شدند. از مقاطع نازک تهیه شده، تعداد ۴ مقطع برای مطالعه شیمی کانی‌ها انتخاب شدند که ۲ نمونه متعلق به آمفیبولیت‌های درون افیولیت (۶۴۳ و ۶۴۱) و ۲ نمونه دیگر نیز از آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگون جندق در جنوب امیر آباد برداشته شدند (۶۳۱ و ۶۳۲). برای بررسی ژئوشیمی کانی‌ها با استفاده از یک ریزگمانه‌زن، از نمونه‌های انتخاب شده، مقطع نازک صیقلی تهیه شد. آنالیزهای نقطه‌ای کانی‌ها با ریزگمانه‌زن JEOL EPMA مدل JXA-8800 (WDS) با ولتاژ شتاب دهنده 20 kV و جریان ۱۲ nA، در دانشگاه کاناواوا ژاپن صورت گرفت. نتایج آنالیز نقطه‌ای کانی‌ها در جدول شماره ۱ ارائه شده‌اند. برای محاسبه فرمول ساختاری کانی‌ها و تعیین مقدار  $Fe^{3+}$ ، روش‌های ارائه شده در [۱۰، ۱۱] مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج محاسبه فرمول ساختاری کانی‌های مورد بررسی در جدول شماره ۲ آورده شده‌اند.

جدول ۱ نتایج آنالیز نقطه‌ای (ریزگمانه‌زن الکترونی) کانی‌های موجود در آمفیبولیت‌های درون افیولیت جندق (نمونه‌های ۶۴۳ و ۶۴۱) و آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگون جنوب امیرآباد (۶۳۲ و ۶۳۱).

| Sample | Point | Mineral     | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO*  | MnO  | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | NiO  | Total% |
|--------|-------|-------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------|-------------------|------------------|------|--------|
| ۶۴۳    | ۵۶*   | Plagioclase | ۴۵.۵۲            | ۰.۰۱             | ۲۹.۴۰                          | ۰.۰۰                           | ۰.۱۴  | ۰.۰۱ | ۰.۰۹  | ۷.۹۴  | ۵.۱۵              | ۱.۷۳             | ۰.۰۱ | ۹۹.۰۰  |
| ۶۴۳    | ۵۷*   | Amphibole   | ۴۲.۱۳            | ۰.۴۹             | ۱۶.۰۲                          | ۰.۰۰                           | ۱۶.۴۲ | ۰.۳۰ | ۸.۹۳  | ۱۰.۴۳ | ۱.۸۳              | ۰.۳۹             | ۰.۰۰ | ۹۶.۹۳  |
| ۶۴۳    | ۵۸    | Muscovite   | ۴۴.۴۱            | ۰.۶۰             | ۳۳.۷۶                          | ۰.۰۱                           | ۱.۷۳  | ۰.۰۰ | ۰.۷۱  | ۰.۰۰  | ۱.۱۹              | ۹.۳۰             | ۰.۰۰ | ۹۱.۷۱  |
| ۶۴۳    | ۵۹    | Biotite     | ۳۶.۲۶            | ۱.۶۴             | ۱۷.۶۷                          | ۰.۰۰                           | ۱۵.۹۴ | ۰.۱۰ | ۱۱.۸۲ | ۰.۰۸  | ۰.۱۱              | ۹.۲۷             | ۰.۰۰ | ۹۲.۸۹  |
|        |       |             |                  |                  |                                |                                |       |      |       |       |                   |                  |      |        |
| ۶۴۱    | ۱۵    | Biotite     | ۳۷.۰۷            | ۱.۷۷             | ۱۷.۹۸                          | ۰.۰۰                           | ۱۵.۹۵ | ۰.۱۶ | ۱۲.۲۷ | ۰.۰۴  | ۰.۰۵              | ۹.۵۶             | ۰.۰۰ | ۹۴.۸۴  |
| ۶۴۱    | ۸*    | Plagioclase | ۵۵.۲۷            | ۰.۰۲             | ۲۸.۳۶                          | ۰.۰۳                           | ۰.۰۶  | ۰.۰۲ | ۰.۰۰  | ۱۰.۳۳ | ۵.۵۵              | ۰.۰۷             | ۰.۰۰ | ۹۹.۷۰  |
| ۶۴۱    | ۱۶*   | Amphibole   | ۴۲.۷۲            | ۰.۷۰             | ۱۴.۸۸                          | ۰.۰۴                           | ۱۷.۱۳ | ۰.۴۸ | ۹.۲۸  | ۱۰.۹۳ | ۱.۵۹              | ۰.۵۵             | ۰.۰۰ | ۹۸.۲۹  |
| ۶۴۱    | ۱۷    | Quartz      | ۱۰۰.۱۷           | ۰.۰۰             | ۰.۰۰                           | ۰.۰۰                           | ۰.۰۴  | ۰.۰۰ | ۰.۰۰  | ۰.۰۰  | ۰.۰۱              | ۰.۰۱             | ۰.۰۰ | ۱۰۰.۲۳ |
| ۶۴۱    | ۱۸    | Biotite     | ۳۷.۵۵            | ۱.۶۸             | ۰.۰۲                           | ۰.۰۲                           | ۱۶.۵۵ | ۰.۲۰ | ۱۲.۳۵ | ۰.۰۴  | ۰.۱۸              | ۹.۴۹             | ۰.۰۰ | ۹۶.۲۷  |
| ۶۴۱    | ۷*    | Plagioclase | ۵۶.۶۶            | ۰.۰۰             | ۲۷.۴۳                          | ۰.۰۲                           | ۰.۰۴  | ۰.۰۴ | ۰.۰۱  | ۸.۷۰  | ۶.۲۵              | ۰.۰۲             | ۰.۰۰ | ۹۹.۱۷  |
| ۶۴۱    | ۱۹*   | Amphibole   | ۴۲.۱۴            | ۰.۶۴             | ۱۵.۹۹                          | ۰.۰۱                           | ۱۶.۷۲ | ۰.۴۱ | ۸.۹۹  | ۱۰.۹۵ | ۱.۷۰              | ۰.۶۲             | ۰.۰۰ | ۹۷.۱۵  |
| ۶۴۱    | ۲۰    | Amphibole   | ۴۳.۳۳            | ۰.۴۹             | ۱۲.۷۵                          | ۰.۰۰                           | ۱۶.۴۹ | ۰.۳۸ | ۹.۷۳  | ۱۰.۵۹ | ۱.۵۱              | ۰.۵۴             | ۰.۰۰ | ۹۵.۸۱  |
| ۶۴۱    | ۲۱    | Muscovite   | ۴۵.۸۲            | ۰.۲۹             | ۳۳.۶۷                          | ۰.۰۲                           | ۲.۴۶  | ۰.۰۰ | ۰.۹۲  | ۰.۰۱  | ۱.۱۵              | ۹.۶۲             | ۰.۰۲ | ۹۳.۹۸  |
| ۶۴۱    | ۲۲    | Amphibole   | ۴۲.۹۱            | ۰.۵۸             | ۱۳.۲۸                          | ۰.۰۰                           | ۱۶.۳۸ | ۰.۳۵ | ۹.۸۹  | ۱۱.۱۷ | ۱.۵۶              | ۰.۴۹             | ۰.۰۰ | ۹۷.۶۰  |
| ۶۴۱    | ۲۳    | Epidote     | ۳۸.۳۳            | ۰.۰۷             | ۲۶.۹۰                          | ۰.۰۱                           | ۸.۱۲  | ۰.۲۶ | ۰.۰۶  | ۳۳.۱۸ | ۰.۰۰              | ۰.۰۰             | ۰.۰۰ | ۹۶.۹۳  |
|        |       |             |                  |                  |                                |                                |       |      |       |       |                   |                  |      |        |
| ۶۳۲    | ۵     | Sphene      | ۳۰.۹۰            | ۳۷.۵۵            | ۱.۳۰                           | ۰.۰۱                           | ۰.۲۷  | ۰.۰۴ | ۰.۰۰  | ۲۸.۳۷ | ۰.۰۰              | ۰.۰۲             | ۰.۰۰ | ۹۸.۴۶  |
| ۶۳۲    | ۱۵*   | Plagioclase | ۶۰.۹۱            | ۰.۰۰             | ۲۴.۰۳                          | ۰.۰۱                           | ۰.۰۲  | ۰.۰۰ | ۰.۰۰  | ۶.۱۹  | ۸.۴۳              | ۰.۱۰             | ۰.۰۰ | ۹۹.۶۹  |
| ۶۳۲    | ۶*    | Amphibole   | ۴۲.۲۹            | ۰.۵۶             | ۱۶.۶۲                          | ۰.۰۰                           | ۱۶.۷۲ | ۰.۱۱ | ۷.۹۴  | ۱۰.۹۹ | ۱.۸۵              | ۰.۸۲             | ۰.۰۰ | ۹۷.۸۹  |
| ۶۳۲    | ۹     | Garnet      | ۳۸.۶۰            | ۰.۰۰             | ۲۱.۹۴                          | ۰.۰۰                           | ۲۲.۵۶ | ۲.۱۱ | ۱.۵۷  | ۱۴.۳۳ | ۰.۰۴              | ۰.۰۲             | ۰.۰۰ | ۱۰۱.۱۷ |
| ۶۳۲    | ۱۰    | Amphibole   | ۴۲.۵۶            | ۰.۶۳             | ۱۵.۷۹                          | ۰.۰۳                           | ۱۶.۷۷ | ۰.۰۶ | ۸.۳۳  | ۱۱.۰۵ | ۲.۰۲              | ۱.۰۴             | ۰.۰۱ | ۹۸.۲۸  |
| ۶۳۲    | ۱۱    | Epidote     | ۳۹.۳۹            | ۰.۲۰             | ۲۹.۲۷                          | ۰.۰۰                           | ۵.۵۲  | ۰.۱۵ | ۰.۰۸  | ۲۳.۴۹ | ۰.۰۰              | ۰.۰۱             | ۰.۰۰ | ۹۸.۱۲  |
| ۶۳۲    | ۱۲    | Quartz      | ۱۰۰.۱۸           | ۰.۰۰             | ۰.۰۰                           | ۰.۰۰                           | ۰.۰۷  | ۰.۰۰ | ۰.۰۰  | ۰.۰۲  | ۰.۰۳              | ۰.۰۱             | ۰.۰۰ | ۱۰۰.۳۱ |
| ۶۳۲    | ۱۶*   | Plagioclase | ۶۰.۱۴            | ۰.۰۱             | ۲۴.۵۱                          | ۰.۰۰                           | ۰.۰۰  | ۰.۰۰ | ۰.۰۱  | ۶.۵۳  | ۷.۹۴              | ۰.۰۸             | ۰.۰۰ | ۹۹.۲۲  |
| ۶۳۲    | ۱۳*   | Amphibole   | ۴۲.۰۵            | ۰.۶۵             | ۱۶.۲۷                          | ۰.۰۰                           | ۱۶.۹۴ | ۰.۰۹ | ۸.۰۷  | ۱۰.۸۵ | ۱.۸۲              | ۰.۷۹             | ۰.۰۰ | ۹۸.۵۲  |
| ۶۳۲    | ۱۴    | Garnet      | ۳۸.۵۲            | ۰.۰۵             | ۲۱.۷۵                          | ۰.۰۱                           | ۲۴.۶۳ | ۳.۰۵ | ۱.۵۹  | ۱۱.۵۹ | ۰.۰۳              | ۰.۰۰             | ۰.۰۱ | ۱۰۱.۲۲ |
|        |       |             |                  |                  |                                |                                |       |      |       |       |                   |                  |      |        |
| ۶۳۱    | ۴۷*   | Plagioclase | ۶۴.۰۵            | ۰.۰۰             | ۲۲.۹۹                          | ۰.۰۰                           | ۰.۰۱  | ۰.۰۰ | ۰.۰۰  | ۳.۵۶  | ۱۰.۱۱             | ۰.۰۹             | ۰.۰۰ | ۱۰۰.۸۱ |
| ۶۳۱    | ۴۳*   | Amphibole   | ۴۴.۶۱            | ۰.۶۹             | ۱۳.۲۷                          | ۰.۰۳                           | ۱۴.۸۷ | ۰.۲۲ | ۹.۸۶  | ۱۱.۲۴ | ۱.۹۳              | ۰.۱۵             | ۰.۰۰ | ۹۶.۸۷  |
| ۶۳۱    | ۴۴    | Epidote     | ۳۹.۲۵            | ۰.۰۴             | ۳۲.۰۴                          | ۰.۰۰                           | ۱.۸۲  | ۰.۰۵ | ۰.۰۲  | ۲۳.۶۱ | ۰.۰۱              | ۰.۰۲             | ۰.۰۲ | ۹۶.۸۸  |
| ۶۳۱    | ۴۵    | Garnet      | ۳۸.۴۵            | ۰.۰۶             | ۲۱.۷۴                          | ۰.۰۶                           | ۲۵.۶۹ | ۲.۹۵ | ۲.۷۱  | ۹.۳۱  | ۰.۰۰              | ۰.۰۰             | ۰.۰۱ | ۱۰۰.۹۷ |
| ۶۳۱    | ۴۶    | Quartz      | ۱۰۰.۱۱           | ۰.۰۰             | ۰.۰۰                           | ۰.۰۰                           | ۰.۰۹  | ۰.۰۲ | ۰.۰۱  | ۰.۰۰  | ۰.۰۰              | ۰.۰۲             | ۰.۰۰ | ۱۰۰.۲۵ |

جدول ۲ نتایج محاسبه فرمول ساختاری کانی‌های جدول شماره ۱.

| Sample | Point | Mineral     | Oxyg. | Si   | Ti   | Al   | Cr   | Fe <sup>+2</sup> | Fe <sup>+3</sup> | Mn   | Mg   | Ca   | Na   | K    | Ni   | Total |
|--------|-------|-------------|-------|------|------|------|------|------------------|------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ۶۴۳    | ۵۶*   | Plagioclase | ۸     | ۲,۴۸ | ۰,۰۰ | ۱,۵۷ | ۰,۰۰ | ۰,۰۱             | ۰,۰۰             | ۰,۰۰ | ۰,۰۱ | ۰,۳۹ | ۰,۴۵ | ۰,۰۱ | ۰,۰۰ | ۵,۰۰  |
| ۶۴۳    | ۵۷*   | Amphibole   | ۲۳    | ۶,۱۸ | ۰,۰۵ | ۲,۲۷ | ۰,۰۰ | ۱,۱۱             | ۰,۹۰             | ۰,۰۴ | ۱,۹۵ | ۱,۶۴ | ۰,۵۲ | ۰,۰۷ | ۰,۰۰ | ۱۵,۲۳ |
| ۶۴۳    | ۵۸    | Muscovite   | ۲۲    | ۶,۱۴ | ۰,۰۶ | ۵,۵۰ | ۰,۰۰ | ۰,۱۴             | ۰,۰۶             | ۰,۰۰ | ۰,۱۵ | ۰,۰۰ | ۰,۳۲ | ۱,۶۴ | ۰,۰۰ | ۱۴,۰۰ |
| ۶۴۳    | ۵۹    | Biotite     | ۲۲    | ۵,۳۶ | ۰,۱۸ | ۳,۰۸ | ۰,۰۰ | ۰,۳۵             | ۱,۶۲             | ۰,۰۱ | ۲,۶۰ | ۰,۰۱ | ۰,۰۳ | ۱,۷۵ | ۰,۰۰ | ۱۵,۰۰ |
| ۶۴۱    | ۱۵    | Biotite     | ۲۲    | ۵,۳۶ | ۰,۱۹ | ۳,۰۶ | ۰,۰۰ | ۰,۳۳             | ۱,۶۰             | ۰,۰۲ | ۲,۶۵ | ۰,۰۱ | ۰,۰۱ | ۱,۷۶ | ۰,۰۰ | ۱۵,۰۰ |
| ۶۴۱    | ۸*    | Plagioclase | ۸     | ۲,۵۰ | ۰,۰۰ | ۱,۵۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۰۰             | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۵۰ | ۰,۴۹ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۵,۰۰  |
| ۶۴۱    | ۱۶*   | Amphibole   | ۲۳    | ۶,۲۱ | ۰,۰۸ | ۲,۵۵ | ۰,۰۰ | ۱,۱۷             | ۰,۹۱             | ۰,۰۶ | ۲,۰۱ | ۱,۷۰ | ۰,۴۵ | ۰,۱۰ | ۰,۰۰ | ۱۵,۲۵ |
| ۶۴۱    | ۱۷    | Quartz      | ۲     | ۱,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۰۰             | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۱,۰۰  |
| ۶۴۱    | ۱۸    | Biotite     | ۲۲    | ۵,۳۵ | ۰,۱۸ | ۳,۰۶ | ۰,۰۰ | ۰,۳۳             | ۱,۶۵             | ۰,۰۲ | ۲,۶۲ | ۰,۰۱ | ۰,۰۵ | ۱,۷۳ | ۰,۰۰ | ۱۵,۰۰ |
| ۶۴۱    | ۷*    | Plagioclase | ۸     | ۲,۵۶ | ۰,۰۰ | ۱,۴۴ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۰۰             | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۴۳ | ۰,۵۶ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۵,۰۰  |
| ۶۴۱    | ۱۹*   | Amphibole   | ۲۳    | ۶,۲۲ | ۰,۰۷ | ۲,۶۱ | ۰,۰۰ | ۱,۳۳             | ۰,۷۳             | ۰,۰۵ | ۱,۹۸ | ۱,۷۳ | ۰,۴۹ | ۰,۱۲ | ۰,۰۰ | ۱۵,۳۳ |
| ۶۴۱    | ۲۰    | Amphibole   | ۲۳    | ۶,۴۵ | ۰,۰۵ | ۲,۲۴ | ۰,۰۰ | ۱,۲۱             | ۰,۸۴             | ۰,۰۵ | ۲,۱۶ | ۱,۶۹ | ۰,۴۴ | ۰,۱۰ | ۰,۰۰ | ۱۵,۲۳ |
| ۶۴۱    | ۲۱    | Muscovite   | ۲۲    | ۶,۱۹ | ۰,۰۳ | ۵,۳۶ | ۰,۰۰ | ۰,۱۱             | ۰,۱۶             | ۰,۰۰ | ۰,۱۸ | ۰,۰۰ | ۰,۳۰ | ۱,۶۶ | ۰,۰۰ | ۱۴,۰۰ |
| ۶۴۱    | ۲۲    | Amphibole   | ۲۳    | ۶,۴۳ | ۰,۰۶ | ۲,۲۹ | ۰,۰۰ | ۱,۳۴             | ۰,۶۷             | ۰,۰۴ | ۲,۱۶ | ۱,۷۵ | ۰,۴۴ | ۰,۰۹ | ۰,۰۰ | ۱۵,۲۹ |
| ۶۴۱    | ۲۳    | Epidote     | ۱۳    | ۳,۰۱ | ۰,۰۰ | ۲,۴۹ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۵۳             | ۰,۰۲ | ۱,۹۵ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۸,۰۰  |
| ۶۳۲    | ۵     | Sphene      | ۵     | ۱,۰۲ | ۰,۹۳ | ۰,۰۵ | ۰,۰۰ | ۰,۰۱             | ۰,۰۰             | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۱,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۳,۰۰  |
| ۶۳۲    | ۱۵*   | Plagioclase | ۸     | ۲,۷۲ | ۰,۰۰ | ۱,۲۷ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۰۰             | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۲۹ | ۰,۷۲ | ۰,۰۱ | ۰,۰۰ | ۵,۰۱  |
| ۶۳۲    | ۶*    | Amphibole   | ۲۳    | ۶,۲۳ | ۰,۰۶ | ۲,۸۹ | ۰,۰۰ | ۱,۶۹             | ۰,۳۷             | ۰,۰۱ | ۱,۷۵ | ۱,۷۴ | ۰,۵۳ | ۰,۱۵ | ۰,۰۰ | ۱۵,۴۲ |
| ۶۳۲    | ۹     | Garnet      | ۱۲    | ۳,۰۰ | ۰,۰۰ | ۲,۰۱ | ۰,۰۰ | ۱,۴۸             | ۰,۰۰             | ۰,۱۴ | ۰,۱۸ | ۱,۱۹ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۸,۰۰  |
| ۶۳۲    | ۱۰    | Amphibole   | ۲۳    | ۶,۲۸ | ۰,۰۷ | ۲,۷۴ | ۰,۰۰ | ۱,۷۷             | ۰,۳۰             | ۰,۰۱ | ۱,۸۳ | ۱,۷۵ | ۰,۵۸ | ۰,۲۰ | ۰,۰۰ | ۱۵,۵۲ |
| ۶۳۲    | ۱۱    | Epidote     | ۱۳    | ۳,۰۳ | ۰,۰۱ | ۲,۶۵ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۳۶             | ۰,۰۱ | ۱,۹۳ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۸,۰۰  |
| ۶۳۲    | ۱۲    | Quartz      | ۲     | ۱,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۰۰             | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۱,۰۰  |
| ۶۳۲    | ۱۶*   | Plagioclase | ۸     | ۲,۷۰ | ۰,۰۰ | ۱,۳۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۰۰             | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۳۱ | ۰,۶۹ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۵,۰۰  |
| ۶۳۲    | ۱۲*   | Amphibole   | ۲۳    | ۶,۲۹ | ۰,۰۷ | ۲,۸۰ | ۰,۰۰ | ۱,۶۵             | ۰,۴۲             | ۰,۰۱ | ۱,۷۶ | ۱,۷۰ | ۰,۵۱ | ۰,۱۵ | ۰,۰۰ | ۱۵,۲۶ |
| ۶۳۲    | ۱۴    | Garnet      | ۱۲    | ۳,۰۱ | ۰,۰۰ | ۲,۰۰ | ۰,۰۰ | ۱,۶۲             | ۰,۰۰             | ۰,۲۰ | ۰,۱۸ | ۰,۹۷ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۷,۹۹  |
| ۶۳۱    | ۴۷*   | Plagioclase | ۸     | ۲,۷۹ | ۰,۰۰ | ۱,۱۸ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۰۰             | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۱۷ | ۰,۸۶ | ۰,۰۱ | ۰,۰۰ | ۵,۰۰  |
| ۶۳۱    | ۴۲*   | Amphibole   | ۲۳    | ۶,۵۸ | ۰,۰۸ | ۲,۳۱ | ۰,۰۰ | ۱,۶۰             | ۱,۲۴             | ۰,۰۳ | ۲,۱۷ | ۱,۷۸ | ۰,۵۵ | ۰,۰۳ | ۰,۰۰ | ۱۵,۳۶ |
| ۶۳۱    | ۴۴    | Epidote     | ۱۳    | ۳,۰۲ | ۰,۰۰ | ۲,۹۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۱۸             | ۰,۰۰ | ۱,۹۵ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۸,۰۰  |
| ۶۳۱    | ۴۵    | Garnet      | ۱۲    | ۳,۰۰ | ۰,۰۰ | ۲,۰۰ | ۰,۰۰ | ۱,۶۹             | ۰,۰۰             | ۰,۱۹ | ۰,۳۲ | ۰,۷۸ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۸,۰۰  |
| ۶۳۱    | ۴۶    | Quartz      | ۲     | ۱,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰             | ۰,۰۰             | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۰,۰۰ | ۱,۰۰  |

### سنگ‌شناسی و شیمی کانی‌ها

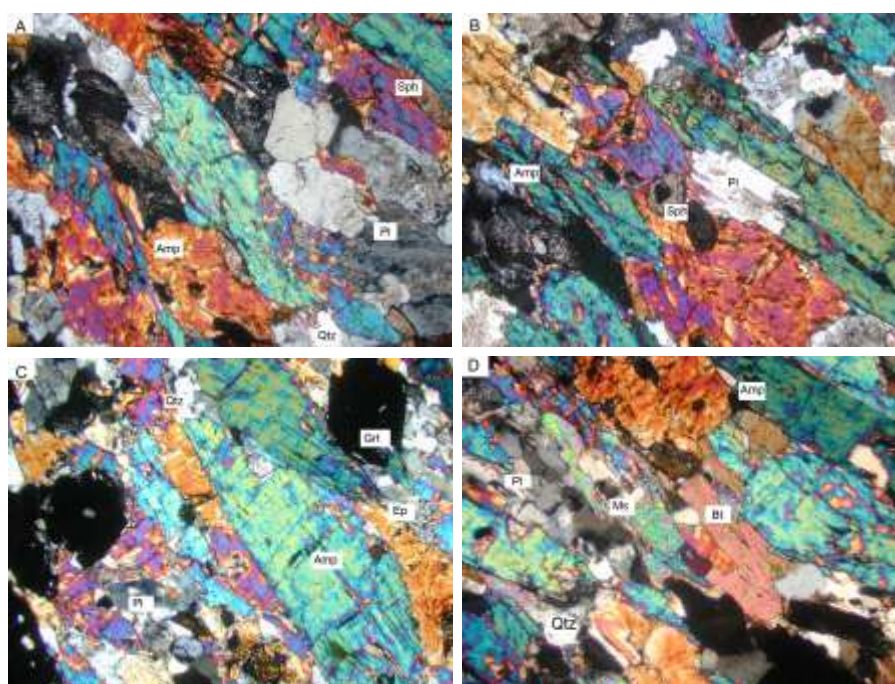
آمفیبولیت‌ها در نمونه دستی به رنگ سبز تیره بوده و خط وارگی و برگوارگی روشنی را از خود نشان می‌دهند. در بخش‌هایی از منطقه مورد بررسی در اثر پدیده پراش دگرگونی، کانی‌های تیره و روشن از یکدیگر تفکیک شدند و آمفیبولیت‌ها به صورت نوارهای تیره و روشن دیده می‌شوند. این سنگ‌ها با بافت نماتوبلاستیک دیده می‌شوند.

بررسی‌های سنگ‌شناسی آمفیبولیت‌های درون افیولیت جندق، نشان می‌دهد که از کانی-های آمفیبول، پلاژیوکلاز (لابرادوریت تا آندزین)، آلکالی فلدسپار (ارتوکلاز)، مگنتیت، بیوتیت، مسکویت، اسفن، کوارتز، و اپیدوت تشکیل شده‌اند. آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگون

جندق که از جنوب امیر آباد نمونه برداری شدند نیز کانی‌های آمفیبول، گارنت، پلاژیوکلاز (آندزین تا الیگوکلاز)، آلکالی فلدسپار (ارتوکلاز)، مگنتیت، اسفن، کوارتز، کلسیت، و اپیدوت تشکیل می‌دهند (شکل شماره ۵).

بررسی ترکیب شیمیایی کانی‌ها نشان می‌دهد که درصد آلماندین در گارنت‌های آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگون جندق ۴۹-۵۷ درصد بوده و نوع پلاژیوکلازها نیز آندزین تا الیگوکلاز است (جدول‌های شماره ۳ و ۴). نامگذاری آمفیبول‌های موجود در همه نمونه‌های مورد مطالعه نیز در جدول شماره ۵ آورده شده‌اند.

مقایسه سنگ‌شناسی آمفیبولیت‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که آمفیبولیت‌های درون افیولیت، گارنت و کلسیت نداشته و آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگون جنوب امیر آباد بیوتیت و مسکویت ندارند. این اختلاف کانی‌شناسی احتمالاً به اسپیلیتی شدن بازالت‌های کف اقیانوسی پیش از رخداد دگرگونی مربوط می‌شود.



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی کانی‌های تشکیل دهنده آمفیبولیت‌های مورد بررسی (PPL, X25). تصویر C مربوط به آمفیبولیت‌های درون دگرگونه‌های جنوب امیر آباد است.

جدول ۳ نتیجه محاسبه درصد اعضای پایانی گارنت‌های موجود در آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگونی جنوب امیرآباد.

| Sample | Point | Almandine% | Andradite% | Grossular% | Pyrope% | Spessartine% | Uvarovite% |
|--------|-------|------------|------------|------------|---------|--------------|------------|
| ۶۳۲    | ۹     | ۴۹,۴۰      | ۰,۰۰       | ۳۹,۸۹      | ۶,۰۷    | ۴,۶۳         | ۰,۰۰       |
| ۶۳۲    | ۱۴    | ۵۴,۵۲      | ۰,۰۰       | ۳۲,۴۹      | ۶,۲۱    | ۶,۷۶         | ۰,۰۲       |
| ۶۳۱    | ۴۵    | ۵۶,۷۸      | ۰,۰۰       | ۲۵,۹۴      | ۱۰,۵۷   | ۶,۵۳         | ۰,۱۷       |

جدول ۴ نتیجه محاسبه درصد اعضای پایانی پلاژیوکلازهای موجود در آمفیبولیت‌های منطقه مورد مطالعه.

| Sample | Point | Anorthite% | Albite% | Orthoclase% |
|--------|-------|------------|---------|-------------|
| ۶۴۳    | ۵۶    | ۴۱,۱۰      | ۴۸,۲۴   | ۱۰,۶۶       |
| ۶۴۱    | ۷     | ۴۳,۴۳      | ۵۶,۴۵   | ۰,۱۲        |
| ۶۴۱    | ۷     | ۵۰,۵۰      | ۴۹,۱۰   | ۰,۴۱        |
| ۶۳۲    | ۱۵    | ۲۸,۷۱      | ۷۰,۷۴   | ۰,۵۵        |
| ۶۳۲    | ۱۶    | ۳۱,۱۰      | ۶۸,۴۴   | ۰,۴۵        |
| ۶۳۱    | ۴۷    | ۱۶,۲۱      | ۸۳,۳۰   | ۰,۴۹        |

جدول ۵ نامگذاری آمفیبول‌ها و ژئوبارومتري آنها با استفاده از روش‌های مختلف. متوسط فشارهای به دست آمده برای هر کدام از آمفیبول‌ها توسط روش‌های مختلف در ستون آخر آورده شده است.

| Sample | Point | Amphibole Name                          | Hammarstrom & Zen (1986)<br>P(Kbars) | Hollister et al. (1987)<br>P(Kbars) | Johnson & Rutherford (1989) | Schmidt (1992)<br>P(Kbars) | Average<br>P(Kbars) |
|--------|-------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|
| ۶۴۳    | ۵۷    | Ferroan - pargasitic - hornblende       | ۱۰,۰۱                                | ۱۰,۸۶                               | ۸,۲۵                        | ۱۰,۲۵                      | ۹,۸۴                |
| ۶۴۱    | ۱۶    | Ferroan - pargasitic - hornblende       | ۸,۹۱                                 | ۹,۶۲                                | ۷,۳۳                        | ۹,۲۱                       | ۸,۷۷                |
| ۶۴۱    | ۱۹    | Ferroan - pargasitic - hornblende       | ۹,۲۰                                 | ۹,۹۶                                | ۷,۵۸                        | ۹,۴۷                       | ۹,۰۵                |
| ۶۴۱    | ۲۰    | Ferrian - tschermakitic hornblende      | ۷,۳۳                                 | ۷,۸۵                                | ۶,۰۰                        | ۷,۶۳                       | ۷,۲۰                |
| ۶۴۱    | ۲۲    | Tschermakitic hornblende                | ۷,۶۱                                 | ۸,۱۷                                | ۶,۲۴                        | ۷,۹۰                       | ۷,۴۸                |
| ۶۳۲    | ۶     | Ferroan - pargasitic - hornblende       | ۱۰,۶۰                                | ۱۱,۵۲                               | ۸,۷۵                        | ۱۰,۸۷                      | ۱۰,۴۴               |
| ۶۳۲    | ۱۰    | Alumino - ferroan pargasitic hornblende | ۹,۸۸                                 | ۱۰,۷۱                               | ۸,۱۵                        | ۱۰,۰۵                      | ۹,۷۰                |
| ۶۳۲    | ۱۳    | Alumino - tschermakitic hornblende      | ۱۰,۱۷                                | ۱۱,۰۴                               | ۸,۳۹                        | ۱۰,۶۰                      | ۱۰,۰۵               |
| ۶۳۱    | ۴۳    | Magnesio - hornblende                   | ۷,۶۹                                 | ۸,۲۶                                | ۶,۳۰                        | ۷,۹۷                       | ۷,۵۶                |

## بررسی داده‌ها

نتایج حاصل از بررسی‌های سنگ‌شناختی نشان می‌دهد که آمفیبولیت‌های منطقه دگرگون مورد بررسی رخساره آمفیبولیت را پشت سر نهاده‌اند. برای تعیین دقیق شرایط دما و فشار حاکم بر دگرگونی از روش‌های زمین‌دما-فشارسنجی استفاده شد. با توجه به کانی‌های موجود در آمفیبولیت‌های منطقه، بهتر است که از فشارسنجی آمفیبول‌ها و دماسنجی هورنبلند - پلاژیوکلاز استفاده شود.

در مورد فشارسنجها باید گفت که که تاکنون زمین فشارسنج بسیار دقیقی ارائه نشده است و اصولاً معرفی یک فشارسنج دقیق و واقعی کار بسیار مشکلی است، زیرا که ترکیب کانی‌ها متأثر از دما و فشار است. یکی از متداول‌ترین فشارسنجهایی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد فشارسنجی است که با استفاده از مقدار Al موجود در ساختار هورنبلند کار می‌کند. استفاده از فشارسنجی هورنبلندی، در نمونه‌هایی که دارای کانی‌های هورنبلند، پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپات، بیوتیت، مگنتیت، اسفن، و کوارتز هستند پاسخ دقیق‌تری به دست می‌آید [۱۲]. این مجموعه کانیایی در آمفیبولیت‌های افیولیت جندق وجود دارند. در مورد استفاده از ترکیب آمفیبول‌ها به عنوان یک فشارسنج تاکنون نوشته‌های متعددی ارائه شده است که مهمترین آنها را در [۱۸، ۱۷، ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۲] می‌توان یافت. فرمول‌های پیشنهاد شده و نام پژوهشگران مربوطه در زیر آورده شده‌اند.

Hammarstrom and Zen (1986)

$$P(\pm 3 \text{ kbar}) = -3.92 + 5.03 \text{ Al}(\text{total})$$

Hollister et al. (1987)

$$P(\pm 1 \text{ kbar}) = -4.76 + 5.64 \text{ Al}(\text{total})$$

Johnson and Rutherford (1989)

$$P(\pm 0.5 \text{ kbar}) = -3.46 + 4.23 \text{ Al}(\text{total})$$

Schmidt (1992)

$$P(\pm 0.6 \text{ kbar}) = -3.01 + 4.76 \text{ Al}(\text{total})$$

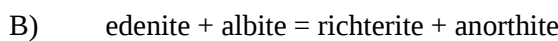
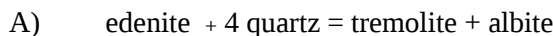
Anderson and Smith (1995)

$$P(\text{kbar}) = 4.76 \text{ Al}(\text{total}) - 3.01 - \{[T-675]/85\} * \{0.53 \text{ Al} + 0.005294 [T-675]\}$$

بررسی فرمول‌های بالا نشان می‌دهد که تمامی روش‌های فشارسنجی هورنبلند بر اساس مقدار Al موجود در ساختار آن است. در روش آخر هنگام محاسبه فشار در هورنبلند دما نیز اندازه‌گیری شد. چگونگی استفاده از روش ارائه شده در [۱۴] و نیز بخش دماسنجی آمفیبول - پلاژیوکلاز بحث شد.

نامگذاری آمفیبول‌های موجود در آمفیبولیت‌های مورد بررسی به همراه محاسبه فشار در زمان تشکیل آنها، به روش‌های مختلف در جدول شماره ۵ آورده شده است. فشارهای میانگین محاسبه شده نیز در ستون آخر دیده می‌شوند.

بررسی جدول شماره ۵ نشان می‌دهد که فشار محاسبه شده به روش‌های مختلف برای آمفیبول‌های موجود در افیولیت جندق بین ۶ تا ۱۰/۸۶ کیلو بار بوده است. فشار محاسبه شده در مورد آمفیبول‌های موجود در درون مجموعه دگرگون نیز ۶/۳۰ تا ۱۱/۵۲ کیلو بار است. برای فشارسنجی آمفیبولیت‌های منطقه مورد مطالعه نیز از فشارسنج آمفیبول - پلاژیوکلاز استفاده شد. لازمه استفاده از این دو کانی به عنوان یک دماسنج این است که در بررسی‌های سنگ‌شناسی، آمفیبول کلسیک و پلاژیوکلاز در حالت تعادل باشند. این زمین دماسنج یک زمین دماسنج تبادلی است که بر پایه واکنش‌های زیر عمل می‌کند [۱۹، ۲۰]:



واکنش اول به شرایطی مربوط می‌شود که کوارتز در سنگ حضور دارد و واکنش دوم در شرایطی است که کوارتز در سنگ وجود ندارد. از آنجاکه در نمونه‌های مورد بررسی کوارتز نیز حضور دارد لذا از واکنش اول استفاده می‌شود. مهمترین همسنجی زمین دماسنج آمفیبول - پلاژیوکلاز را [۲۰] ارائه داده است. چگونگی محاسبه دما در این روش استفاده از فرمول زیر است که در آن  $T_A$  برحسب درجه سانتیگراد برابر است با؛

$$\begin{aligned} & \{-76.95 + 0.79P + Y_{ab} + 39.4X^A_{Na} + 22.4X^A_{K} + \\ & (41.5 - 2.89P) \cdot X^{M2}_{Al}\} \\ & T_A (\pm 40^\circ C) = \frac{\quad}{\{-0.0650 - R \cdot \ln[(27 \cdot X^A_{vac} \cdot X^T_{Si} \cdot X^{pl}_{ab}) / (256 \cdot X^A_{Na} \cdot X^T_{Al})]\}} - 273 \end{aligned}$$

در این فرمول P فشار (برحسب کیلو بار)، ضریب R برابر با ۰/۰۰۸۳۱۴۴ کیلوژول بر کیلومول، و  $Y_{ab}$  نیز در صورتی که مقدار آلبیت پلاژیوکلاز بیش از ۰/۵ باشد، صفر در نظر گرفته می‌شود. توصیف متغیرهای مربوط به X نیز در [۲۰] آمده است.

نتایج دماسنجی آمفیبول - پلاژیوکلاز آمفیبولیت‌های منطقه مورد مطالعه بر حسب فشار در جدول شماره ۶ آورده شده‌اند. دو کانی آمفیبول و پلاژیوکلاز که در بررسی‌های میکروسکوپی کنار یکدیگر قرار داشته و از آنها در دماسنجی آمفیبول - پلاژیوکلاز استفاده

می‌شود در جدول‌های شماره ۱ و ۲ ستاره دار در کنار هم دیده می‌شوند. آنالیز نقطه‌ای از کرانه‌های کانی‌های بالا به عمل آمده است.

بررسی داده‌های جدول شماره ۶ نشان می‌دهد که دمای به دست آمده برای آمفیبول‌های درون آمفیبولیت‌های افیولیت جندق در فشارهای ۱ تا ۱۲ کیلوبار، در گستره ۶۲۹ تا ۷۷۳ درجه سانتی‌گراد است. مقدار دمای به دست آمده برای آمفیبول‌های آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگون نیز در فشارهای ۱ تا ۱۲ کیلوبار در گستره ۵۰۹ تا ۶۸۶ درجه سانتی‌گراد بوده است. با توجه به داده‌های به دست آمده معلوم شد که دمای نمونه‌های درون افیولیت بیش از دمای نمونه‌های درون مجموعه دگرگونی است.

برای دماسنجی دقیق آمفیبولیت‌های مورد بررسی و تعیین مقدار دقیق‌تر فشار، با استفاده از روش [۱۷]، فشار آمفیبول‌هایی که در کنار پلاژیوکلاز قرار دارند محاسبه شد و سپس با استفاده از فشار به دست آمده و روش [۲۰] به دماسنجی دو کانی آمفیبول - پلاژیوکلاز پرداخته شد (جدول شماره ۷). فشار و دمای بدست آمده برای آمفیبولیت‌های درون افیولیت به ترتیب بین ۹/۲۱ تا ۱۰/۲۵ کیلوبار و ۷۲۱ تا ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد است. برای نمونه آمفیبولیت درون دگرگونه‌ها نیز فشار ۷/۹۷ تا ۱۰/۷۴ کیلوبار و دمای ۶۱۴ تا ۶۶۶ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است.

برای استفاده از فشارسنج دقیق‌تر آمفیبول‌ها که [۱۴] ارائه داده است و متأثر از دماست، با استفاده از دمای جدول شماره ۷ برای دو کانی هورنبلند - پلاژیوکلاز، و شکل شماره ۶ (روش [۱۴]) به فشارسنجی آمفیبول‌های کنار پلاژیوکلاز پرداخته و سپس به روش [۲۰] دماسنجی شدند که نتایج آن در جدول شماره ۸ آورده شده‌اند. فشار و دمای به دست آمده از این روش برای آمفیبولیت‌های درون افیولیت به ترتیب بین ۷/۹۸ تا ۹/۰۱ کیلوبار و ۷۱۴ تا ۷۳۷ درجه سانتی‌گراد است. برای نمونه آمفیبولیت درون دگرگونه‌ها نیز فشار ۸/۵۸ تا ۱۰/۸۷ کیلوبار و دما ۶۱۹ تا ۶۶۸ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. بررسی تمامی داده‌ها نشان می‌دهد که دمای تشکیل آمفیبولیت‌های درون افیولیت بیش از دمای تشکیل آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگون است و به نظر می‌رسد که فشار تشکیل آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگون بیشتر بوده است.

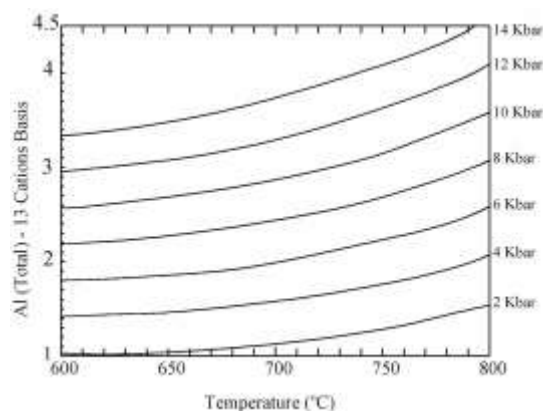
بررسی آمفیبولیت‌های شمال مزرعه چاه زرد (۱۰ کیلومتری شرق جندق) که در درون سنگ‌های دگرگون مجموعه دگرگونی شرق جندق قرار دارند نیز با نمونه‌های مورد بررسی در این نوشته سازگار بوده و شرایط ۷/۱۰ تا ۹/۹۱ کیلوبار و ۶۱۹ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند (شکل شماره ۷).

جدول ۶ نتیجه زمین دماسنجی دو کانی آمفیبول - پلاژیوکلاز در آمفیبولیت‌های مورد بررسی در فشارهای مختلف.

| Sample | 1<br>Kbars | 2<br>Kbars | 3<br>Kbars | 4<br>Kbars | 5<br>Kbars | 6<br>Kbars | 7<br>Kbars | 8<br>Kbars | 9<br>Kbars | 10<br>Kbars | 11<br>Kbars | 12<br>Kbars |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| ۶۴۳-۵۷ | ۶۲۹        | ۶۴۲        | ۶۵۶        | ۶۶۹        | ۶۸۲        | ۶۹۵        | ۷۰۸        | ۷۲۱        | ۷۳۴        | ۷۴۷         | ۷۶۰         | ۷۷۳         |
| ۶۴۱-۱۶ | ۶۸۲        | ۶۹۰        | ۶۹۸        | ۷۰۶        | ۷۱۴        | ۷۲۱        | ۷۲۹        | ۷۳۷        | ۷۴۵        | ۷۵۳         | ۷۶۱         | ۷۶۸         |
| ۶۴۱-۱۹ | ۶۴۲        | ۶۵۱        | ۶۶۰        | ۶۷۰        | ۶۷۹        | ۶۸۹        | ۶۹۸        | ۷۰۸        | ۷۱۷        | ۷۲۶         | ۷۳۶         | ۷۴۵         |
| ۶۳۲-۶  | ۵۰۹        | ۵۲۵        | ۵۴۱        | ۵۵۸        | ۵۷۴        | ۵۹۰        | ۶۰۶        | ۶۲۲        | ۶۳۸        | ۶۵۴         | ۶۷۰         | ۶۸۶         |
| ۶۳۲-۱۳ | ۵۱۸        | ۵۳۲        | ۵۴۷        | ۵۶۲        | ۵۷۷        | ۵۹۱        | ۶۰۶        | ۶۲۱        | ۶۳۵        | ۶۵۰         | ۶۶۵         | ۶۷۹         |
| ۶۳۱-۴۳ | ۵۵۴        | ۵۶۲        | ۵۷۱        | ۵۸۰        | ۵۸۸        | ۵۹۷        | ۶۰۶        | ۶۱۴        | ۶۲۳        | ۶۳۲         | ۶۴۰         | ۶۴۹         |

جدول ۷ در این جدول نخست با استفاده از روش [۱۷] فشار آمفیبول‌هایی که در کنار پلاژیوکلاز قرار دارند محاسبه شد، سپس با استفاده از فشار به دست آمده و روش [۲۰] به زمین دماسنجی دو کانی آمفیبول - پلاژیوکلاز پرداخته شد.

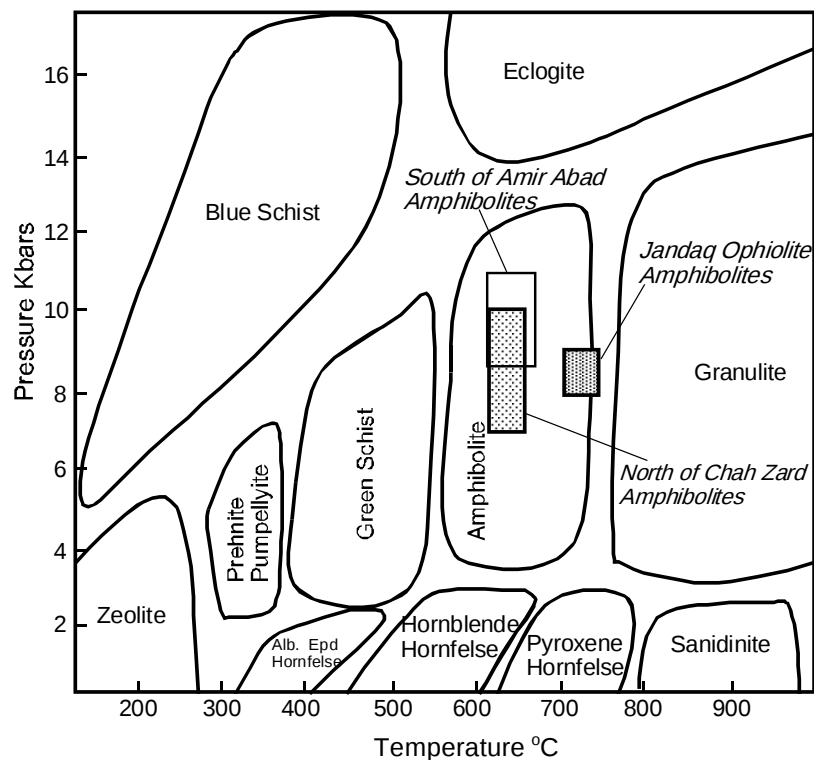
| Sample | P Schmidt, 1992 | Temp in oC |
|--------|-----------------|------------|
| ۶۴۳-۵۷ | ۱۰,۲۵           | ۷۵۰        |
| ۶۴۱-۱۶ | ۹,۲۱            | ۷۴۷        |
| ۶۴۱-۱۹ | ۹,۴۷            | ۷۲۱        |
| ۶۳۲-۶  | ۱۰,۷۴           | ۶۶۶        |
| ۶۳۲-۱۳ | ۱۰,۳۴           | ۶۵۵        |
| ۶۳۱-۴۳ | ۷,۹۷            | ۶۱۴        |



شکل ۶ نمودار برگرفته از [۱۴] برای فشارسنجی هورنبلندها با استفاده از مقدار Al موجود در ساختار آنها بر حسب دما.

جدول ۸ در این جدول با استفاده از دماهایی که در جدول شماره ۷ برای دو کانی آمفیبول - پلاژیوکلاز به دست آمده، و شکل شماره ۳ یعنی روش [۱۴] به فشارسنجی آمفیبول‌های کنار پلاژیوکلاز پرداخته و سپس با روش [۱۷] دماسنجی شدند.

| Sample | P Anderson & Smith, 1995 | Temp in oC |
|--------|--------------------------|------------|
| ۶۴۳-۵۷ | ۹,۰۱                     | ۷۳۴        |
| ۶۴۱-۱۶ | ۷,۹۸                     | ۷۳۷        |
| ۶۴۱-۱۹ | ۸,۷۳                     | ۷۱۴        |
| ۶۳۲-۶  | ۱۰,۸۷                    | ۶۶۸        |
| ۶۳۲-۱۳ | ۱۰,۶۰                    | ۶۵۹        |
| ۶۳۱-۴۳ | ۸,۵۸                     | ۶۱۹        |



شکل ۷ رخساره‌های دگرگون و موقعیت آمفیبولیت‌های منطقه جندق. رخساره‌ها برگرفته از [۲۱] است.

برداشت

بررسی آمفیبولیت‌های موجود در افیولیت جندق (شمال شرق استان اصفهان) و آمفیبولیت‌های جنوب امیرآباد که در درون مجموعه دگرگون جندق قرار دارند، نشان از دگرگون شدن آنها در رخساره آمفیبولیت دارد. فشار و دمای دگرگون محاسبه شده در مورد آمفیبولیت‌های موجود در افیولیت جندق در گستره ۷/۹۸ تا ۹/۰۱ کیلو بار و ۷۱۴ تا ۷۳۷ درجه سانتی‌گراد بوده و در مورد آمفیبولیت‌های درون دگرگون‌ها نیز ۸/۵۸ تا ۱۰/۸۷ کیلو بار و ۶۱۹ تا ۶۶۸ درجه سانتی‌گراد است. بررسی تمامی داده‌ها نشان می‌دهد که دمای تشکیل آمفیبولیت‌های درون افیولیت بیش از دمای تشکیل آمفیبولیت‌های درون مجموعه دگرگونی است.

#### تشکر و قدردانی

این نوشته بخشی از نتایج حاصل از طرح پژوهشی شماره ۸۴۱۲۱۷ در دانشگاه اصفهان است. از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه اصفهان به خاطر پشتیبانی این طرح پژوهشی تشکر می‌شود.

#### مراجع

- [1] Almasian M., "Tectonics of the Anarak area (Central Iran)", Islamic Azad University, Science and Research Unit, PhD thesis (1997) 164 p.
- [2] Technoexport, "Geology of Anarak area (Central Iran)", Geological Survey of Iran, V/O "Technoexport", Report TE/No. 19 (1984) 136 p.
- [3] Technoexport, "Outline of metallogeny of Anarak area (Central Iran)", Geological Survey of Iran, V/O "Technoexport", Report TE/No. 21 (1984) 132 p.
- [4] Technoexport, "Geology and minerals of Jandaq area (Central Iran)", Geological Survey of Iran, V/O "Technoexport", Report TE/No. 4 (1979) 171 p.
- [5] Davoudzadeh M., Lensch G. and Diefenbach K.W., "Contribution to the paleogeography, stratigraphy and tectonics of the Infracambrian and lower Paleozoic of Iran", Neues Jahrbuch Fur geologie und palaontologie Abhandlungen 172 (1986) 245 – 269.
- [6] Davoudzadeh M., "Geology of Iran, In: E. M. Moores and R. W. Fairbridge (Eds.): Encyclopedia of Asian and European Regional Geology: 384-405", Chapman and Hall (1997) 903 p.
- [۷] هاتف محمد رضا، "زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های آذرین و دگرگونی منطقه خور - جندق (ایران مرکزی)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان (۱۳۷۴) ۲۱۳ صفحه.

[8] Pessagno E.A. Jr., Ghazi A.M., Kariminia S.M., Duncan R.A., Hassanipak A.A., "Tectonostratigraphy of the Khoy complex, Northwestern Iran", *Stratigraphy*, 1, no. 2 (2004) 49-63.

[۹] ترابی، قدرت، "پترولوژی افیولیت های منطقه انارک (شمال شرق استان اصفهان) با تاکید بر مطالعه سنگ های اولترامافیک-مافیک افیولیت شمال انارک و سنگ های اولترامافیک-مافیک ملائز افیولیتی عشین-زوار"، رساله دکترای پترولوژی، بخش زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۳) ۲۴۰ صفحه.

[10] Droop G.T.R., "A general equation for estimating  $Fe^{3+}$  concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria", *Mineralogical Magazine* 51 (1987) 431-435.

[11] Spear F.S., "Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths", *Mineralogical Society of America* (1995) 799 p.

[12] Hammarstrom J.M., Zen E., "Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer", *American Mineralogist* 71 (1986) 1297-1313.

[13] Anderson J.L., "Status of thermobarometry in granitic batholiths", *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 87 (1996) 125-138. [also published in GSA Special Paper 315].

[14] Anderson J.L., Smith D.R., "The effect of temperature and oxygen fugacity on Al-in-hornblende barometry", *American Mineralogist* 80 (1995) 549-59.

[15] Hollister L.S., Grissom G.C., Pters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B., "Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons", *American Mineralogist* 72 (1987) 231-239.

[16] Johnson M.C., Rutherford M.J., "Experimental calibration of an aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks", *Geology* 17 (1989) 837-841.

[17] Schmidt M.W., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer", *Contrib. Mineral. and Petrol.* 110 (1992) 304-10.

[18] Schmidt M.W., "Phase relations and compositions in tonalite as a function of pressure: an experimental study at 650 °C", *American Journal of Science* 293 (1993) 1011-60.

[19] Blundy J.D. and Holland T.J.B., "Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 104 (1990) 208-24.

- [20] Holland T. and Blundy J., "*Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry*", Contributions to Mineralogy and Petrology 116 (1994) 433-47.
- [21] Yardley B.W.D., "*An introduction to metamorphic petrology*", Longman, London, (1989) 248 p.