بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم

گروه زمین‌شناسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

عنوان:

پتروگرافی، پترولوژی و ژئوشیمی اسکارن کوه صاحب‌الزمان کرمان

استاد راهنما:

دکتر حسین معین‌وزیری

دانشجو:

سلیمه دهقانی

مهرماه 1391

تقدیم به:

دوتکیه‌گاهم؛ پدر و مادر عزیزم، این دو وجود ارزشمند

که دعای خیرشان همیشه بدرقه‌ی راهم بوده، هست و خواهد بود.

خواهر و برادران مهربانم

که همراهان همیشگی من هستند.

استاد راهنمای بزرگوارم

جناب آقای دکتر معین‌وزیری.

و

تمام کسانی که دوستشان دارم.

تشکر و قدردانی

برترین سپاس‌ها از آن عزیزی است که سلامتی و آرامش را به من هدیه کرد، کسی که به من نیازی نداشت ولی مرا تنها نگذاشت.

از خانواده‌ی عزیزم به‌خصوص پدر و مادر مهربانم که زحمات بی‌منت و بی دریغشان در تمام مراحل زندگی من به چشم می ورد و در تمام سالها مرا مورد لطف و محبتهای بی دریغ خویش قرار دادند و یاریگر لحظه لحظه عمر من بودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تشکر ویژه دارم از استاد راهنمای بزرگوارم، جناب آقای دکتر معین‌وزیری که ، استاد اخلاق من بودند و همچون پدری دلسوز خط به خط این پایان‌نامه را با تلاش‌ها و زحمات سخاوتمندانه‌شان راهنمایی کردند.

تشکر فراوان دارم از جناب آقای دکتر خردمند و دکتر یوسفی که کمک‌های ایشان در انجام مطالعات صحرایی باارزش بود.

از جناب آقای دکتر محمودی که در طول انجام این پایان نامه باعث دلگرمی من بودند، تشکر می‌کنم.

از دوستان عزیزم خوش‌رأی و شیرین علی‌پور که سنگ صبور من بودند کمال تشکر را دارم.

از دوستان، همکلاسی‌ها و تمام کسانی که در تمامی مراحل این پایان نامه به هر نحوی به من کمک کردند و در اینجا مجال نام بردنشان نیست، تشکر می‌کنم.

در نهایت سلامتی تمام این عزیزان را از خداوند منان خواستارم.

چکیده

کوه صاحب‌الزمان در 8 کیلومتری شمال شرق‌شهر کرمان واقع است. در این منطقه، سنگ‌های آهکی کرتاسه و رخنمون‌های کوچک یک متری تا 8 متری از سنگ‌های آذرین وجود دارد. به نظر می‌رسد این نفوذی‌ها، انگشت‌های یک توده نفوذی بزرگ‌تر در عمق زمین باشند. نفوذ این توده‌های آذرین به داخل سنگ‌های آهکی کرتاسه سبب تشکیل هاله‌های کم‌ضخامت اسکارن شده است.بر اساس مطالعات پتروگرافی این توده‌های نفوذی جزء سنگ‌های حدواسط هستند.

در نمونه‌های برداشت‌شده از اسکارن، کانی‌های گارنت، دیوپسید، ولاستونیت، کلریت،کلسیت، ایدوکراز و اپیدوت حضور دارند. گارنت (نسل اول گارنت)، ولاستونیت و دیوپسید طی دگرگونی پیش‌رونده تشکیل شده‌اند.

اپیدوت، کلریت، گارنت (نسل دوم گارنت) و ایدوکراز طی دگرگونی برگشتی اسکارن، به علت افزایش فشار بخار آب، متبلور شده‌اند. حضور اپیدوت و آندرادیت، نشان‌دهنده‌ی فوگاسیته‌ی بالای اکسیژن در زمان تشکیل اسکارن بوده است.

مقایسه موقعیت نمونه‌های آنالیز شده‌ی اسکارن منطقه با موقعیت سنگ‌های آذرین آنالیز شده بر روی نمودارهای ACF و $CaO- MgO- SiO_2$ ، نشان می‌دهد که انتقال سیلیس از توده به سمت سنگ آهک عامل اصلی متاسوماتیسم بوده است. هم‌چنین به دلیل عدم زون‌بندی در اسکارن و ناگهانی بودن تغییرات ترکیبی سنگ‌ها در کنتاکت ، مکانیسم تشکیل اسکارن، پدیده‌ی تراوش بوده است.

بر اساس نوع سنگی که اسکارن جانشین آن می‌شود، اسکارن منطقه مورد مطالعه از نوع برون‌اسکارن و بر اساس ترکیب شیمیایی، از نوع اسکارن کلسیکی است. با توجه به حضور دیوپسید و ولاستونیت، می‌توان نتیجه گرفت که سنگ اولیه‌ی اسکارن، سنگ آهک مختصری دولومیتی بوده است.

بر اساس نتایج مایکروپروب:

- پلاژیوکلازهای سنگ‌های آذرین ترکیب آلبیت، الیگوکلاز و آندزین را نشان می‌دهد. نوع منطقه‌بندی که در این کانی‌ها مشاهده می‌شود، منطقه‌بندی عادی است.

- آمفیبول‌های سنگ های آذرینی که از کنتاکت توده‌ی آذرین و سنگ آهک برداشت شده‌اند، از نوع کلسیک (هورنبلند منیزیم‌دار و هورنبلند آهن‌دار) هستند و آمفیبول‌های دیگر سنگ‌های آذرین از نوع ژدریت هستند.

- ترکیب کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های آذرین از نوع دیوپسید، کلینوستاتیت و هدنبرژیت هستند.

- گارنت‌های آنالیز شده‌ی نمونه‌های اسکارن منطقه، ترکیب حدواسط گروسولر - آندرادیت دارند. ترکیب این گارنت‌ها و هم‌چنین ترکیب دیوپسیدهای اسکارن، منطبق بر ترکیب گارنت‌ها و کلینوپیروکسن های اسکارن‌های مس دنیا است.

با استفاده از روش‌های مختلف ژئوترمومتری سنگ‌های آذرین (با استفاده از نتایج مایکروپروب کانی های آمفیبول و پیروکسن)، برای نمونه‌های برداشت شده از کنتاکت، دمای 600 تا 650 درجه و برای سایر نمونه های سنگ‌های آذرین دمای 675 تا 800 درجه و بر اساس ژئوبارومتری آمفیبول‌ها میانگین فشار تشکیل سنگ‌های آذرین 0/5± 2/5 کیلوبار به دست آمده است.

نتایج ژئوترموبارومتری گارنت - کلینوپیروکسن، دمای 580 تا 600 و فشار 2 کیلوبار را برای تشکیل اسکارن‌های کنتاکت به دست می‌دهد.

در اسکارن‌های کوه صاحب‌الزمان کرمان دو رخسارهٔ آلبیت اپیدوت هورنفلس و هورنبلند هورنفلس مشاهده شده‌است. مجموعهٔ کانیایی کلسیت، دیوپسید و گارنت را می‌توان به رخساره هورنبلندهورنفلس نسبت داد و کانی‌های شاخص رخساره آلبیت اپیدوت هورنفلس عبارتند از، کلسیت، گارنت، اپیدوت، ایدوکراز و کلریت.

The Sahebb-Al-Zaman mountain is located in 8 km northeast Kerman city. In this region, the cretaceous limestone and small outcrops (1 to 8 meter) of igneous rocks there. It seems that, these intrusions are fingers of larger intrusion in depth. Penetration of these igneous masses into cretaceous limestone rocks is created the low thickness skarn zones.According petrographic studies, these intrusion masses are part of the intermediate rocks.

The provided samples from skarn have Garnet, diopside, wollastonite, chlorite, calcite, Idocrase and epidote minerals. Garnet (first gender), wollastonite and diopside are created during progressive metamorphism.

The epidot, chlorite, garnet (second gender) and Idocrase are crystallized because of increase in vapor pressure during regressive metamorphism of skarn. Existence of epidote and andradite show the high oxygen fugacities during skarn creation.

Comparison the position of analyzed skarn samples and igneous rocks on ACF and CaO-MgO- SiO_2 diagrams show that transport of silica from mass to limestone rock is main cause of metasomatism. Also, because of non-zonation in skarn and sharp change in contacted rock composition, Infiltration phenomenon is the main mechanism of skarn creation.

Based on the type of rock that replaced by skarn, the type of skarn in this area is Exoskarn. Due to the presence of diopside and wollastonite, it can conclude that the briefly dolomitized limestone has been mother rock of skarn.

Results of microprobe analyze showed that:

plagioclases of igneous rocks show the composition consist of Albite, Oligoklase and Andesine. The type of zoning in minerals is normal Zoning.

The type of Amphiboles exists in igneous rocks which are sampled in contact of igneous mass and limestone is calcic (Mg-hornblende and Fe-hornblende) and other Amphiboles are gederit.

The types of Clinopyroxenes exist in igneous rocks is Diopside, clinostatite and Hedenbergite.

The analyzed Garnets of skarn samples have the intermediate composition Grossolar-Andradite. Composition of these Garnets and skarn Diopsides are similar to composition of Garnets and clinopyroxene in copper skarns.

The forming temperature of samples provided in contact surface is 600-650 ^{0}C and for other igneous rocks is 675-800 ^{0}C, these temperatures determined using different methods in geothermometry of igneous rocks (using microprobe results of Amphibole and Pyroxene minerals). In addition, based on geobarometery of Amphiboles, the average pressure for igneous rocks formation is obtained 2.5±0.5 Kb.

Geobarometery results of Garnet-Clynopiroxene show temperature 580-600 ^{0}C and pressure 2 Kb for forming the skarns in contact surface.

There are two facieses of Albite-Epidote-Hornfels and Hornblende-Hornfels in skarns of Sahebb-Al-Zaman mountain. Mineral set of calcite, Diopside and Garnet can be attributed to Hornblende-Hornfels facies, and the index minerals of Albite-Epidote-Hornfels facies are including Calcite, Garnet, Epidote, Idocrase and Chlorite.

فهرست مطالب

عنوان.....شماره صفحه

فصل اول: کلیات

1-1- مقدمه.....1

1-2- موقعیت جغرافیایی منطقه و راههای دسترسی.....1

1-3- آب و هوای منطقه.....2

1-4- پوشش گیاهی منطقه.....3

1-5- ژئومورفولوژی منطقه.....3

1-6- وضعیت آب های سطحی و زیر زمینی در محدوده مورد مطالعه.....5

1-6-1- آب های سطحی.....5

الف- رودخانه تیگران.....5

ب- رودخانه ی سعیدی.....5

1-6-2- مخازن آب زیر زمینی دشت کرمان.....5

الف- مخازن داخل سنگ‌های آهکی کرتاسه بالایی.....5

ب- مخازن آبرفتی.....6

1-7- مطالعات انجام شده قبلی.....7

1-7-1- مطالعات کلی انجام شده در منطقه ی کرمان..... 7

1-7-2- مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه..... 8

1-8- اهداف مطالعه..... 9

1-9- توضیح مختصری از روش تحقیق و تکنیک های اجرایی..... 9

فصل دوم: زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

2-1- مقدمه..... 11

2-2- واحدهای چینه شناسی کرمان از پرکامبرین تا عهد حاضر..... 13

2-2-1- پرکامبرین در کرمان..... 13

2-2-1-1- پرکامبرین دگرگون شده (پرکامبرین پیشین)..... 13

2-2-1-2- پرکامبرین نادگرگونه (پرکامبرین پسین)..... 13

الف- سری ریزو..... 13

ب- سری دزو..... 14

ج- سری راور..... 15

د- سازند درین..... 15

2-2-2 پالئوزوئیک در کرمان..... 16

2-2-2-1- کامبرین..... 16

2-2-2-2- اردویسن..... 17

2-2-2-3- سیلورین..... 18

2-2-2-4- دونین..... 18

2-2-2-5- کربونیفر 18
2-2-2-6- پرمین 19
2-2-3- مزوزوئیک در کرمان 19
2-2-3-1- تریاس 19
الف- تریاس پایینی 19
ب- تریاس میانی 20
ج- تریاس بالایی 20
2-2-3-2- ژوراسیک 20
الف- ژوراسیک پایینی 20
ب- زوراسیک میانی 21
ج- ژوراسیک بالایی 21
2-2-3-3- کرتاسه 22
2-2-4- سنوزوئیک در کرمان 23
2-2-4-1- پالئوسن 23
2-2-4-2- ائوسن 24
الف- مجموعۀ رسوبی ائوسن زیرین 25
ب- مجموعۀ آتشفشانی بحر آسمان 25
ج- مجموعۀ رسوبی ائوسن میانی 25
د- کمپلکس رازک 25

ه- کمپکس هزار 26
2-2-4-3- الیگوسن- میوسن 26
2-2-4-4- میوسن- پلیوسن 26
2-2-4-5- کواترنر 27
2-3- زمین شناسی اقتصادی کرمان 27
2-4- موقعیت ساختاری کرمان 28
2-5- پتروگرافی منطقه مورد مطالعه 29
2-6- سنگ های آذرین منطقه مورد مطالعه 29
2-7- سنگ های دگرگونی منطقه مورد مطالعه 30

فصل سوم: طبقه بندی و پتروگرافی سنگ های آذرین منطقه

3-1- مقدمه 31
3-2- طبقه بندی و نام گذاری سنگ های آذرین 34
3-2-1- طبقه بندی کانی شناسی کمی 34
3-2-2- طبقه بندی کانی شناسی – شیمیایی 36
3-2-3- طبقه بندی شیمیایی 37
3-2-3-1- روش Cox 38
3-3- خصوصیات پتروگرفی سنگ های آذرین منطقه 39
3-3-1- دیوریت 39
3-3-2- کوارتز دیوریت 41

3-3-3- مونزودیوریت 43

3-3-4- مونزوسینیت 47

فصل چهارم: ژئوشیمی سنگ‌های آذرین منطقه

4-1- مقدمه 55

4-2- کانی شناسی سنگ های نفوذی منطقه 56

4-2-1- پلاژیوکلاز 71

4-2-2- آمفیبول 60

4-2-3- کلینوپیروکسن 64

4-2-4- اکسید آهن 67

4-3- ژئوترموبارومتری 68

4-3-1- ترمومتر آمفیبول- کلینوپیروکسن 69

4-3-2- ترمومترکلینوپیروکسن 70

4-3-3- ترمومتری آمفیبول‌ها بر اساس مقدار Ti و Al^{IV} 71

4-3-4- بارومتری بر اساس میزان Al^{T} در آمفیبول‌ها 72

4-3-5: ترمومتری با استفاده از انالیز سنگ‌های آذرین (سنگ کل) منطقه (ترمومتری اشباع آپاتیت) 73

فصل پنجم: طبقه بندی و پتروگرافی اسکارن‌های منطقه

5-1- مقدمه 74

5-2- کلیاتی راجع به اسکارن 74

5-2-1- تعریف اسکارن 74

5-2-2- پیشینه مطالعات اسکارن..... 75
5-2-3- تفاوت اسکارن با هورنفلس های کالک سیلیکاته..... 77
5-2-4- واژه های مشابه..... 77
5-3- طبقه بندی اسکارن ها..... 79
5-3-1- تقسیم‌بندی اسکارن‌ها بر اساس موقعیت جایگزینی..... 79
5-3-2- تقسیم بندی اسکارن ها بر اساس ترکیب شیمیایی و کانی شناسی اسکارن..... 79
الف- اسکارن کلسیک..... 79
ب- اسکارن منیزین..... 80
ج- اسکارن های سیلیکاته..... 80
5-3-3- تقسیم بندی اسکارن ها بر اساس نحوه تشکیل:..... 80
الف: اسکارن های بی متاسوماتیک..... 80
ب: اسکارن های تراوشی..... 80
5-3-4- تقسیم بندی اسکارن ها بر اساس تجمع کانی های فلزی..... 80
5-3-5- تقسیم بندی اسکارن ها بر اساس شکل اسکارن..... 81
5-3-6- تقسیم بندی اسکارن ها بر اساس جایگاه تکتونیکی..... 81
5-4- طبقه بندی اسکارن های منطقه..... 97
5-5- خصوصیات پتروگرافی اسکارن کوه صاحب الزمان کرمان..... 82
5-5-1- اپیدوت - گارنت اسکارن..... 82
5-5-2- کلریت - ایدوکراز - گارنت اسکارن..... 84

5-5-3- گارنت - ولاستونیت اسکارن..... 86

5-5-4- دیوپسید – ایدوکراز - ولاستونیت اسکارن 88

5-5-5- ایدوکراز اسکارن..... 91

5-5-6- دیوپسید – ولاستونیت - گارنت اسکارن..... 91

فصل ششم: پتروژنز و ژئوشیمی اسکارن‌های منطقه

6-1- مقدمه..... 93

6-2- چگونگی متاسوماتیسم در اسکارن 93

6-3- مراحل شکل گیری اسکارن..... 97

6-4- نحوه تشکیل اسکارن های منطقه 98

1لف- دگرگونی حرارتی..... 99

ب- متاسوماتیسم 99

ج- دگرگونی بر گشتی..... 99

6-5- تشخیص سنگ اولیه اسکارن کوه صاحب الزمان کرمان 100

6-6- رابطه‌ی پاراژنز و ترکیب شیمیایی کوه صاحی‌الزمان..... 101

6-6-1- نمودار $SiO2 – MgO- CaO$ 101

6-6-2- نمودار $SiO2- Al2O3- CaO$..... 102

6-6-3- نمودار ACF 103

6-6- نمودار تغییرات عناصر از سمت آهک دگرگون نشده به سمت توده نفوذی 103

6-7- کانی شناسی اسکارن منطقه 106

6-7-1- گارنت 106
6 -7-2: ولاستونیت و دیوپسید 107
6-7-3- : ایدوکراز 111
6-8- ژئوترموبارومتری 112
6-9- واکنش های دگرگونی در منطقه مورد مطالعه 113
6-9-1- : واکنش های تشکیل اپیدوت 114
6-9-2- واکنش های تشکیل گارنت 116
6-9-3- : واکنش های تشکیل دیوپسید 117
6-9-4- واکنش های تشکیل ولاستونیت 118
6-9-5- : واکنش های تشکیل کلریت 119
6-9-6- واکنش های تشکیل ایدوکراز 120
6-10- ترتیب تبلور کانی ها در اسکارن کوه صاحب الزمان کرمان 121
6-11- رخساره های تشکیل اسکارن در کوه صاحب الزمان کرمان 121
الف- رخساره هورنبلند هورنفلس 122
ب- رخساره آلبیت – اپیدوت هورنفلس 122
6-12- نتیجه‌گیری 2439
منابع فارسی 126
منابع لاتین 130

فهرست جداول و نمودارها

جدول3-1: نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی سه نمونه سنگ آذرین.....32

ادامه جدول3-1 33

جدول 3- 2: مقادیر تصحیح شده Feo و Fe_2o_3.....34

جدول3-3: نتایج محاسبه مدال 4 نمونه سنگ آذرین برای کانی‌های کوارتز، فلدسپات آلکالن و پلاژیوکلاز 35

شکل3-1: ترکیب مدال 4 نمونه سنگ آذرین منطقه بر روی نمودار طبقه بندی کانی شناسی کمی 36

جدول 3-4: نتایج نورماتیو محاسبه شده برای سه نمونه سنگ آذرین آنالیز شده 37

شکل 3-2: ترکیب نورماتیو نمونه‌های آنالیز شده منطقه بر روی نمودار طبقه بندی کانی شناسی - شیمیایی. 37

شکل3-3: موقعیت نمونه های آنالیز شده منطقه بر روی نمودار آلکالن - سیلیس (کاکس ، 1979). 38

شکل4-1: موقعیت پلاژیوکازهای آنالیز شده بر روی نمودارAb،Or،An.....57

شکل4-2: الگوی منطقه بندی (در صد انورتیت) از مرکز به حاشیه پلاژیوکلازهای آنالیز شده در مونزودیوریت (S16). 57

جدول4-1: ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازهای آنالیز شده سنگ‌های آذرین منطقه با روش‌الکترون مایکروپروب به همراه کاتیون‌ها بر پایه 8 اتم اکسیژن.....58

ادامه جدول4-**1** 59

شکل4-3: موقعیت آمفیبول‌های آنالیز شده سنگ‌های آذرین منطقه بر روی نمودارهای لیک و همکاران(1997). 62

شکل4-4: تقسیم بندی آمفیبول‌های Fe، Mn،Mg دار و آمفیبول‌هایCa دار.....62

جدول4-2: ترکیب شیمیایی آمفیبول‌های آنالیز شده سنگ‌های آذرین منطقه با روش الکترون مایکروپروب به همراه کاتیون‌ها بر پایه 23 اتم اکسیژن.....63

شکل4-5: تقسیم بندی کلینوپیروکسن های آنالیز شده سنگ‌های آذرین منطقه 65

شکل4-6: موقعیت پیروکسن‌های آنالیز شده سنگ‌های آذرین منطقه بر روی نمودار های کوشیرو (1960) و لوباس (1962). 65

جدول4-3: ترکیب شیمیایی کلینو پیروکسن‌های آنالیز شده سنگ‌های آذرین منطقه با روش الکترون مایکروپروب به همراه کاتیون‌ها بر پایه 6 اتم اکسیژن.....66

جدول4-4: ترکیب شیمیایی مگنتیت‌های آنالیز شده سنگ‌های آذرین منطقه با روش الکترون مایکروپروب به همراه کاتیون‌ها بر پایه 4 اتم اکسیژن.....68

شکل4-7: ارزیابی دمای تشکیل سنگ های آذرین کوه صاحب الزمان از روی ترکیب پیروکسن‌ها و آمفیبول‌های همزیست 70

شکل4-8: ارزیابی دمای تشکیل سنگ های آذرین کوه صاحب الزمان از روی میزان Ti و Al^{IV} آمفیبول‌ها 72

شکل4-9: ارزیابی دمای تشکیل سنگ‌های منطقه با توجه به درصد وزنیSiO_2 وP_2O_5 73

شکل 6-1: تشخیص سنگ اولیه‌ی اسکارن کوه صاحب الزمان کرمان بر اساس نمودار گرلز و مکنزی (1972) 100

جدول 6-1: نتایج آنالیز شیمیایی XRF نمونه‌های اسکارن و سنگ آهکی اطراف اسکارن 101

شکل6-2: پاراژنزهای دگرگونی سنگ‌های کربناته در مثلث SiO_2- CaO- MgO 104

شکل6-3: موقعیت نمونه های انالیز شده‌ی اسکارن و سنگ‌های آذرین کوه صاحب‌الزمان کرمان بر روی نمودار SiO_2- Al_2O_3- CaO.....104

شکل6-4: موقعیت نمونه های انالیز شده‌ی اسکارن‌ها و سنگ‌های آذرین کوه صاحب‌الزمان کرمان بر روی نمودار ACF.....105

شکل 6-5: نمودار تغییرات عناصر از سنگ آهک به سمت توده..... 105

شکل 6-6: ترکیب گارنت‌های آنالیز شده اسکارن منطقه مورد مطالعه و مقایسه آن باگارنت‌های اسکارن‌های جهان..... 107

ترکیب شیمیایی گارنت‌های آنالیز شده اسکارن منطقه با روش الکترون مایکروپروب به همراه کاتیون‌ها و درصد اعضای نهایی بر پایه 12 اتم اکسیژن..... 108

جدول6-3: ترکیب شیمیایی ولاستونیت‌ها و دیوپسیدهای آنالیز شده اسکارن‌های منطقه با روش الکترون مایکروپروب به همراه کاتیون‌ها..... 109

شکل 6-A7: موقعیت کانی‌های ولاستونیت و دیوپسید بر روی نمودار Q وJ ومقایسه آن با کلینو پیروکسن های اسکارن‌های جهان..... 110

جدول6-4: ترکیب شیمیایی ایدوکرازهای آنالیز شده اسکارن منطقه با روش الکترون مایکرو پروب به همراه کاتیون‌ها بر پایه 38 اتم اکسیژن..... 111

شکل6-8: ارزیابی فشار و دمای تشکیل کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن..... 113

شکل6-9: محدوده پایداری اپیدوت در دیاگرام $\mathrm{Log}fO_2$ در مقابل درجه حرارت..... 115

شکل 6-10: تأثیر کاهش فشار سیال و کاهش X_{CO2} در کاهش حرارت برای تشکیل دیوپسید و ولاستونیت..... 117

شکل6-11: واکنش تشکیل ولاستونیت در فشار 1000 بار در همبری توده گرانیتوئیدی با سنگ آهک در نمودار $T\text{-}X_{CO2}$..... 119

شکل 6-12: واکنش تشکیل ایدوکراز (واکنش شماره 3) در نمودار P-T..... 120