بنام خدا

عنوان رساله

# پتروژنز دگرگونی و روند تحولات زمین شناسی کمپلکس دگرگونی ده سلم در شرق ایران

برای دریافت درجه دکتری زمین شناسی گرایش پترولوژی


اساتید راهنما

**دکتر فریبرز مسعودی و دکتر بهزاد مهرابی**

**(دانشگاه تربیت معلم تهران)**

**اساتید مشاور**

**دکترمحمد محجل (دانشگاه تربیت مدرس)**

**پروفسور فرناندو کورفو (دانشگاه اسلو)**

**نگارنده**

**شهریار محمودی**


تیر ماه ۱۳۸۷ ساعت

**فهرست** **صفحه**


**فصل: اول کلیات** ۱

۱ -۱ مقدمه ۲

۱-۲-موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۳

۱-۳- مرفولوژی منطقه ۵

۱-۴-هدف ۶

۱-۵- تاریخچه مطالعات انجام گرفته ۹

۱-۴-مراحل انجام کار ۱۰

**فصل دوم: کمپلکس ده سلم** ۱۱

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- زمین شناسی عمومی کمپلکس ده سلم ۱۳

۲-۳- توالی چینه شناسی منطقه ۱۴

۲-۳-۱- تریاس و ژوراسیک ۱۵

۲-۳-۲- کرتاسه ۱۵

۲-۳-۳- کواترنری ۱۶

۲-۴- سنگ شناسی منطقه ۱۶

۲-۴-۱- سنگ های آذرین ۱۷

۲-۴-۲- سنگ های دگرگونی ۱۷

۲-۴-۳- سنگ های رسوبی ۲۰

۲-۴-۴-سنگ مادر دگرگونی ۲۱

۲-۵- زمین شناسی ساختمانی ۲۲

۲-۵-۱-گسل های مهم منطقه ۲۴

۲-۵-۲- مدل های تکتونیکی ارائه شده در منطقه ۲۵

۲-۶- پتانسیل های اقتصادی منطقه ۲۸

۲-۶-۱- سیلیکات های آلومین ۲۸

۲-۶-۲- رگه های کوارتز ۲۹

۲-۶-۳- گارنت ده سلم ۳۰

**فصل سوم: پتروگرافی و ژئوشیمی توده های آذرین** ۳۶

۳-۱- مقدمه ۳۷

۳-۲- توده‌های گرانیتی ۳۸
۳-۲-۱- باتولیت شاه کوه ۳۸
۳-۲-۲- لوگرانیت های شرق منطقه ۴۰
۳-۲-۳- تیغه های گرانیتی درون کمپلکس ۴۰
۳-۲-۴- توده ها ورگه های پگماتیتی ۴۲
۳-۳- مقایسه ژئوشیمیایی توده‌های گرانیتی ۴۳
۳-۳-۱ ژئوشیمی باتولیت شاه کوه ۴۴
۳-۳-۲- ژئوشیمی لکو گرانیت های گرانیت شرق کمپلکس ۴۵
۳-۳-۳- ژئوشیمی تیغه های گرانیت درون کمپلکس ۴۶
۳-۴-نتیجه گیری ۴۸
**فصل چهارم: پتروگرافی سنگ های دگرگونی** ۴۹

۴-۱- مقدمه ۵۰
۴-۲- سنگ های دگرگونی کمپلکس ده‌سلم ۵۱
۴-۳- سکانس های دگرگونی ۵۲
۴-۳-۱- سکانس پلیتی ۵۳
۴-۳-۲- سکانس کوارتز فلدسپاتی ۵۹
۴-۳-۳- سکانس مافیک ۵۹
۴-۳-۳- سکانس کالک سیلیکاته ۶۱
۴-۴- هاله دگرگونی مجاورتی شاه کوه ۶۲
۴-۵- هاله دگرگونی مجاورتی لکو گرانیت ها ۶۴
۴-۶- زون بندی دگرگونی در سکانس پلیتی ۶۵
۴-۶-۱- زون بیوتیت ۶۷
۴-۶-۲- زون گارنت ۶۷
۴-۶-۴- زون آندالوزیت ۶۸
۴-۶-۵- زون کیانیت ۶۸
۴-۶-۶- زون سیلماتیت ۶۸
۴-۶-۶- زون سیلماتیت فوقانی ۶۸
۴-۶-۷- رخساره های دگرگونی کمپلکس دگرگونی ده سلم ۷۰
**فصل پنجم: پتروگرافی سنگ های دگرگونی** ۷۱

۵-۱- مقدمه ۷۳
۵-۲- لایه بندی اولیه ۷۴
۵-۳-برگوارگی های درون کمپلکس ده سلم ۷۸
۵-۳-۱- برگوارگی (Foliation) اول (S1) ۷۸

۵-۳-۱- برگوارگی دوم (S2) ۷۸
۵-۳-۱- برگوارگی مراحل بعدی (S4, S3) ۸۱
۵-۴-خط وارگی های درون کمپلکس ۸۲
۵-۴-برگوارگی های هاله دگرگونی شاه کوه ۸۳
۵-۴-۱- برگوارگی ثانوی Sn در هاله دگرگونی ۸۴
۵-۵-پورفیرو بلاست ها ۸۶
۵-۵-۱- کلریت ۸۶
۵-۵-۲- بیوتیت و مسکوویت ۸۷
۵-۵-۳- گارنت ۸۷
۵-۵-۴- استرولیت ۸۸
۵-۵-۵- آندالوزیت ۸۸
۵-۵-۶- سیلمانیت ۸۸
۵-۵-۷- کیانیت ۸۸
۵-۵-۸- کردیریت ۸۹
۵-۶-پهنه برشی ۹۱
۵-۶- بحث و نتیجه گیری ۹۱
**فصل ششم: پتروگرافی سنگ های دگرگونی** ۹۳

۶-۱- مقدمه ۹۴
۶-۲- ژئوشیمی کانی های کمپلکس ده سلم ۹۷
۶-۲-۱-سنگ های پلیتی ۹۸
۶-۲-۲-سنگ های بازیک ۱۰۸
۶-۲-۳- اسکارن های شرق کمپلکس ده سلم ۱۱۱
۶-۲-۴- گرانیت های شرق کمپلکس ۱۱۲
۶-۲-۵-تیغه های گرانیتی درون کمپلکس ۱۱۲
. ۶-۳- پدیده زونینگ گارنت ها ۱۱۵
۶-۴-زونینگ در گارنت های موجود در توده های گرانیتی ۱۲۰
۶-۵-سیلیکات های آلومینیم ۱۲۲
۶-۵-۱ آندالوزیت ماگمائی ۱۲۳
۶-۵-۲ ویژگی های شیمیایی ۱۲۵
۶-۵-۳ شرایط و نحوه تشکیل آندالوزیت ۱۲۸
**فصل هفتم: ژئوشیمی ایزوتوپی** ۱۳۳

۷-۱- مقدمه ۱۳۴
۷-۲- دلایل انتخاب روش U-Pb به وسیله ۱۳۵

۷-۳-آماده سازی نمونه ها ۱۳۵
۷-۴- نمونه های انتخاب شده برای سن سنجی ۱۳۶
۷-۴-۱- لکوگرانیت های شرق کمپلکس (DS-122) ۱۳۹
۷-۴-۲- باتولیت گرانیتی شاه کوه (DS-169) ۱۴۰
۷-۴-۳- تیغه های گرانیتی درون کمپلکس (DS-168) و (DS-144) ۱۴۰
۷-۴-۴- سکانس بازیک (DS-161) ۱۴۱
۷-۴-۵- سکانس پلیتی (DS-141) ۱۴۱
۷-۵- نتایج سن سنجی و بحث ۱۴۴
۷-۵-۱-لکوگرانیت های شرق منطقه (DS-122) ۱۴۴
۷-۵-۲- توده گرانیتی شاه کوه (DS-169) ۱۴۵
۷-۵-۳- تیغه های گرانیتی درون کمپلکس (DS-168) و (DS-144) ۱۴۵
۷-۵-۴- سکانس بازیک (DS-161) ۱۴۶
۷-۵-۵- سکانس پلیتی (DS-141) ۱۴۷
۷-۶- جمع بندی کلی و نتیجه گیری ۱۵۱
۷-۶-۱- سن سنگ مادر کمپلکس دگرگونی ده سلم ۱۵۱
۷-۶-۲- سن ماگماتیسم کمپلکس دگرگونی ده سلم ۱۵۲
۷-۶-۳- سن رخداد دگرگونی در کمپلکس دگرگونی ده سلم ۱۵۲
**فصل هشتم: پتروژنز کمپلکس ده سلم** ۱۵۳

۸-۱- مقدمه ۱۵۴
۸-۲- توده های آذرین ۱۵۴
۸-۳- جایگاه تکتونیکی توده های گرانیتی ۱۵۶
۸-۴- مجموعه دگرگونی ۱۵۸
۸-۴- ۱- محاسبه P-T در زون های دگرگونی ۱۵۹
۸-۴-۲-روند P-T موجود در کمپلکس ده سلم ۱۶۲
۸-۵- شواهد فابریکی ۱۶۴
۸-۶- داده های ژئوکرونولوژی ۱۶۴
۸-۷- مدل تکتونیکی ۱۶۶
۸-۸- نتیجه گیری کلی ۱۷۰
فهرست منابع ۱۷۳
پیوست۱ فهرست اشکال و جداول
پیوست۲ نتایج تجزیه سنگ کل
پیوست۳ علایم اختصاری کانی ها
پیوست ۴ نتایج تجزیه پروب تجزیه نقطه ای

## Abstract

Deh-Salm Metamorphic Complex (DMC) is located close to Deh-Salm village in the eastern part of the Lut block in Iran. The complex with 100 km long and 8 km wide, located in the southeast of South Khorasan province and 60 km west of Nehbandan city. DMC consists of metapelitic rocks, amphibolites, marbles and metasandstones, intruded by plutons and sheets of granites and pegmatites.

Metamorphic grade began from greenschist facies (T < 350 °C) in the west to mid-upper amphibolite facies (~3.5 kbars and ~680 °C) in the east. The high-temperature, low-pressure (HTLP) assemblage of the upper sillimanite zone is equivalent to facies series type 3 of Pattison and Tracy.

Based on petrography, geographic distribution, topography and shape, the granitic intrusions of DMC can be subdivided in: (1) the Shah Kuh Pluton in the north of the area, with its contact aureole, (2) an area of leucogranite in east of the complex characterized by low topography and a strong degree of alteration, and (3) sheeted granites, composed of small elongated bodies intruded parallel to the schistosity of andalusite and sillimanite schists in the HTLP metamorphic zone.

U-Pb dating of zircon, monazite, xenotime and titanite by the ID-TIMS method shows that the granitic rocks were emplaced in a very short time at 166 to 163 Ma, confirming that the main high temperature metamorphism was synchronous with the intrusive activity, and then the region cooled rapidly thereafter. It also shows that cooling was accompanied by late- to post-magmatic hydrothermal activity responsible for local Sn mineralization and probably for the late crystallization, at 159.5 Ma, of zircon and titanite in an amphibolite and of monazite in granite. Xenocrystic zircons yield indications for a Carboniferous component in the source, together with a variety of Precambrian ages which indicate a provenance of the sedimentary protolith form mature continental crust.

The high-temperature low-pressure type of metamorphism, the short-lived nature of the granitic magmatism, and the petrological evidence for fast cooling, support a back-arc type of setting for magmatic activities and its related metamorphism. It can be linked to subduction in east and north-east of Neotethyan Ocean which was in far end of the Cimmerian orogenic belt.

# چکیده

کمپلکس دگرگونی ده‌سلم (DMC) در نزدیکی روستای ده‌سلم در در شرق بلوک لوت قرار دارد. کمپلکس دگرگونی با ۱۰۰ کیلومتر طول و ۸ کیلومتر عرض در شمال استان خراسان جنوبی و ۶۰ کیلومتری شرق شهرستان نهبندان واقع شده است. این کمپلکس شامل سنگ‌های دگرگونی متاپلیتی، آمفیبولیت، مرمر و متاسنداستون است که با توده‌های نفوذی گرانیتی و پگماتیتی در شمال و درون کمپلکس قطع شده است.

درجه دگرگونی از شرق کمپلکس در رخساره شیست سبز با دمای درحدود ۳۵۰ درجه سانتی گراد شروع شده و به سمت غرب به رخساره آمفیبولیت با دمای ۶۸۰ درجه و فشار ۳/۵ کیلوبار می‌رسد.

بر اساس خصوصیات پتروگرافیکی، پراکندگی جغرافیائی، توپوگرافی و شکل، توده‌های گرانیتی کمپلکس ده‌سلم به سه گروه تقسیم می شوند: ۱)پلوتون شاه کوه در شمال کمپلکس، به همراه هاله دگرگونی، ۲) توده‌های لکوگرانیتی در شرق کمپلکس دگرگونی، با توپوگرافی پست و آلتراسیون شدید، ۳) ورقه‌های گرانیتی که به صورت توده‌های باریک به موازات زون های دگرگونی درجه بالا در زون آندالوزیت و سیلمانیت بیرون‌زدگی دارد.

سن سنجی‌های انجام شده بر روی کانی‌های زیرکن، مونازیت، زنوتیوم و تیتانیت با روش ID-TIMS نشان می‌دهد که سنگ‌های گرانیتی در طی محدوده زمانی کوتاهی از ۱۶۶ تا ۱۶۳ میلیون سال پیش جایگزین شده‌اند و باعث ایجاد دگرگونی همزمان با فعالیت‌های ماگماتیسم منطقه شده است. شواهد حاکی از سرد شدن سریع منطقه است. علاوه بر این سرد شدن کمپلکس دگرگونی و توده‌های گرانیتی با فازهای هیدروترمالی بعدی همراهی شده است. فعالیت‌های هیدروترمالی یاد شده با کانی زایی Sn همراه بوده است. فعالیت‌های هیدروترمالی در ۱۵۹/۵ میلیون سال پیش پایان یافته است. در مجموعه دگرگونی زینوکریستال‌هایی از زیرکن به سن کربنیفر تا پرکامبرین دیده می‌شود که بیانگر منشاء رسوبی پروتولیت از یک پوسته قاره‌ای تکامل یافته است.

دگرگونی‌هائی از نوع دمای بالا تا متوسط و فشار پائین به همراه فرایندهای ماگماتیسم گرانیتی و شواهد پترولوژی مبنی بر سرعت فرایندهای سرد شدن و جایگزینی توده‌ها از خصوصیات محیط‌های تکتونیکی پشت قوس‌های آتشفشانی است. نقشه‌ها و مدل‌های تکتونیکی موجود وجود چنین شرایطی را در زون‌های فرورانش در شرق و شمال نئوتتیس در قسمت‌های انتهائی کمربند کوهزائی سمیرین تایید می کند.

# فصل اول

# کلیات

**۱ -۱ مقدمه**

کمپلکس دگرگونی ده سلم در جنوب شرقی استان خراسان و در حاشیه شرقی بلوک لوت، یکی از مجموعه های مهم دگرگونی در شرق ایران است. در کمپلکس ده‌سلم وقوع چند نوع دگرگونی و نفوذ توده‌های مختلف آذرین و رگه‌های پگماتیتی مجموعه‌ای پیچیده را به وجود آورده است. مجموعه سنگهای دگرگونی ده سلم شامل سری سنگهای پلیتی، متا سند استون، میان لایه های مرمری و سنگهای آذرین به صورت نفوذی درون و اطراف کمپلکس و لایه های گدازه دگرگون شده (متابازیک) است. در کمپلکس ده سلم رخدادهای دگرگونی که بر یکدیگر تاثیر گذاشته اند ملاحظه می شود که محققان مختلف محدوده زمانی از پرکامبرین تا ائوسن را برای آنها پیشنهاد کرده اند (درویش زاده، ۱۳۷۱). این مجموعه سنگی با مرفولوژی نه چندان مرتفع از دشت‌های اطراف متمایز شده است. حداکثر شدت رخداد دگرگونی سنگ های منطقه در حد رخساره رخساره آمفیبولیت است. سن نسبی دگرگونی منطقه تووسط محققان قبلی، ژوراسیک و سن مطلق آن ۲± ۲۰۶ تا ۵± ۲۰۹ (ریر و محافظ، ۱۹۷۲) میلیون سال برای این مجموعه تخمین زده شده است. سنگ مادر دگرگونی از دیدگاه لیتولوژیکی با سازندهای تریاس تحتانی هم خوانی دارد ولی در این زمینه تردیدهای فراوانی وجود دارد. وجود سنگ های کربناته حاوی فسیل هایی از خانواده اوربیتولین که به صورت دگرشیب و دگرگون نشده توده گرانیتی شاه کوه و سنگ های دگرگونی حاشیه غربی آن را می‌پوشاند نیز می‌تواند تاییدی بر این موضوع باشد.

توده‌های آذرین موجود در منطقه مورد مطالعه به سه دسته تقسیم شده‌اند. گروه اول لکو گرانیت های شرق کمپلکس که بررسی قابل توجهی بر روی آنها انجام نگرفته است. گروه دوم توده گرانیتی شاه‌کوه که در شمال کمپلکس ده‌سلم واقع شده است. بررسی‌های ایزوتوپی انجام شده بر روی این توده سنی معادل ۱۶۳ تا ۱۶۸ میلیون سال را برای فازهای مختلف تزریق گرانیت نشان می‌دهد ( اسماعیلی، ۱۳۸۰). گروه سوم تیغه های گرانیتی موجود در کمپلکس دگرگونی است، که با روند شمالی جنوبی قرار گرفته و به موازات زون های دگرگونی درجه بالا بیرون زدگی دارند. محققان مختلف با توجه به اثرات موجود در کمپلکس دگرگونی معتقدند این توده ها سنی کمتر از سن دگرگونی دارند و همچنین احتمالاً آنها با گرانیت شاه کوه هم ریشه هستند (درویش زاده، ۱۳۷۱).

فرآیندهای دگرگونی باعث تشکیل کانی هایی مانند گارنت، آندالوزیت، سیلیمانیت، کوارتز و میکا شده است که ممکن است دارای ارزش اقتصادی باشند.

دراین تحقیق با توجه به امکانات موجود سعی شده است فرآیندهای دگرگونی، ژئوشیمیائی و پتروفابریک کمپلکس دگرگونی ده سلم، ارتباط سنی و تاریخچه تحولات زمین شناسی منطقه مورد مطالعه قرار گیرد و چگونگی

تکوین پوسته در شرق بلوک لوت تحلیل و بررسی شود. امید است نتایج این مطالعات روشن شدن مسائل موجود در شرق بلوک لوت و همچنین در پی جوئی پتانسیل های اقتصادی منطقه مورد استفاده محققان قرار گیرد.

**۱-۲-موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه**

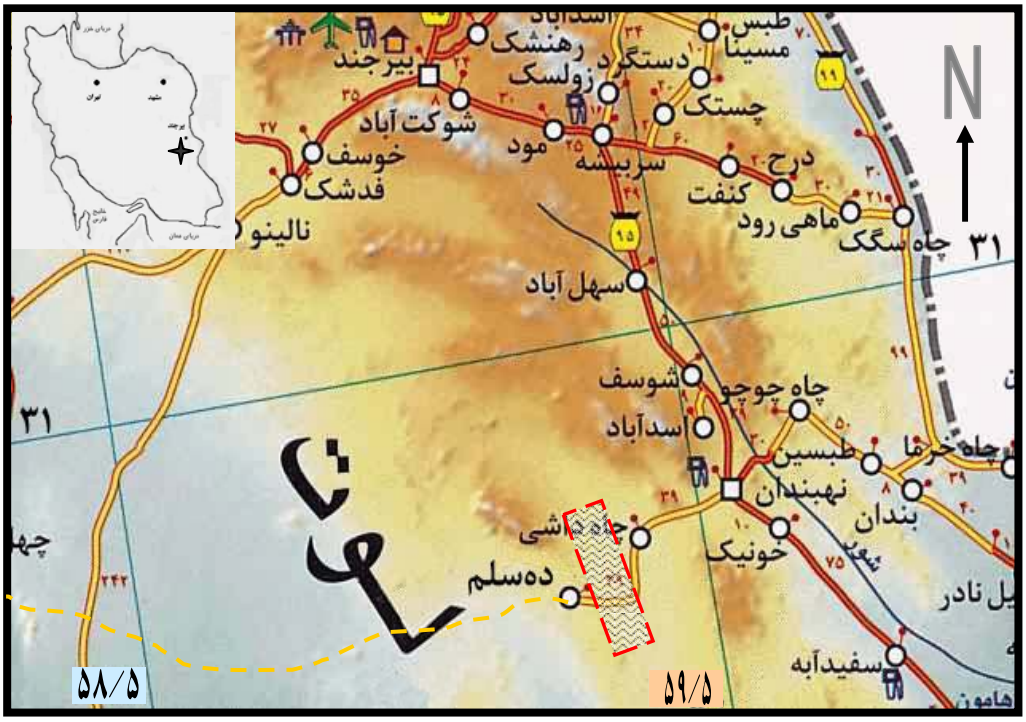
کمپلکس دگرگونی ده سلم در جنوب شرقی استان خراسان، در غرب شهرستان نهبندان و شمال شرق روستای ده سلم بین طولهای $^{/}۲۳^{o}$ ۵۹ تا $^{/}۴۰^{o}$ ۵۹ شرقی و عرضهای $^{/}۱۳^{o}$ ۳۱ و $^{/}۳۲^{o}$ ۳۱ شمالی قرار گرفته است. روستای چاه‌داشی در شمال شرق منطقه مورد مطالعه و روستای ده سلم در جنوب غربی آن واقع است. دسترسی به منطقه از طریق جاده اصلی زاهدان - مشهد و راه فرعی آسفالته شهرستان نهبندان به روستاهای چاه‌داشی و ده سلم امکان پذیر است. ادامه این جاده از ده سلم، در حال حاضر به سمت شهداد و کرمان در دست احداث است (شکل-۱). فاصله منطقه مورد مطالعه تا ده سلم ۳۰ کیلومتر و تا نهبندان حدود ۶۰ کیلومتر است. اقلیم بیابانی منطقه مورد و فقر پوشش گیاهی مطالعه باعث وجود رخنمون های مناسب سنگی شده است. البته بر خلاف انتظار سطح آب زیر زمینی در دشت های پست اطراف بالا است ولی به دلیل نفوذ پذیری کم خاک اکثر چاهای حفر شده در منطقه دبی پائینی دارند. وزش بادهای فصلی باعث تشکیل تپه‌های شنی در دشت‌های مسطح اطراف شده است. بلندترین نقطه ناحیه کوه هوری با ارتفاع ۲۸۵۰ متر است. بلند ترین نقطه در منطقه مورد مطالعه در ارتفاعات ده‌سلم بطور متوسط ۲۳۵۰ متر بلندتر از سطح دریا است که در شمال غرب منطقه مورد مطالعه واقع شده است. روستای ده‌سلم با ۸۲۰ متر ارتفاع از سطح دریا پست‌ترین نقطه در دشت‌های مسطح اطراف است.

بطور کلی با توجه به آب و هوا و موقعیت جغرافیائی منطقه، بهترین فصل ها جهت نمونه برداری و مطالعات صحرائی پائیز و زمستان است، در این زمان میانگین دما در منطقه مورد مطالعه بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد در روز در نوسان است. در این منطقه رودخانه دائمی وجود نداشته و در فصل زمستان رودخانه‌های فصلی، رود شور در شرق منطقه و رودخانه ده‌سلم در غرب منطقه جاری هستند

آبهای زیرزمینی در این منطقه دارای سختی بالائی است و مزه شور تا تلخ دارند. سطح آب زیرزمینی در عمق ۵ تا۵۰ متری قرار داشته ولی به دلیل تخلخل کم رسوبات، آبدهی چاه‌ها کم است. وزش بادهای فصلی ۱۲۰ روزه سیستان باعث تشکیل تپه‌های شنی در دشت‌های مسطح اطراف شده است. اختلاف دما در شبانه روز به دلیل شرایط بیابانی ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است.

از دیدگاه تقسیمات زمین شناسی کمپلکس ده‌سلم در مرز صفحه لوت جنوبی و زون جوش خورده سیستان واقع شده است. به اعتقاد بیشتر محققین مرز لوت و زون جوش خورده سیستان به وسیله گسل نهبندان که در شرق

کمپلکس ده‌سلم قرار دارد، مشخص می‌شود (نبوی، ۱۳۵۵). ولی گسل هایی به موازات گسل نهبندان در کمـپلکس دگرکونی ده‌سلم وجود دارد که حرکت راست گردی همانند حرکت گسل نهبندان در آنها مشاهده می‌شود




شکل-۱ نقشه راه های ارتباطی منطقه مورد مطالعه

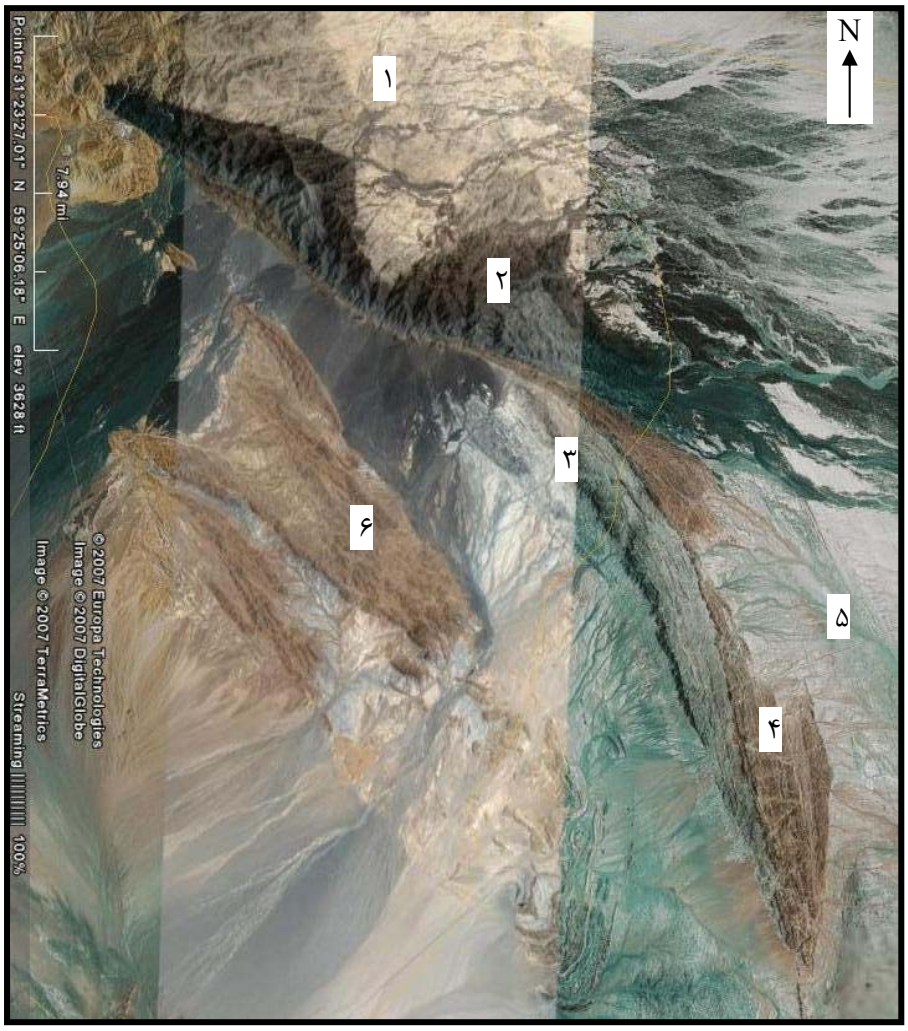
(موقعیت تقریبی کمپلکس ده سلم در چهار ضلعی هاشور دار مشخص شده است).

اقتباس از اطلس نقشه راه های ایران مقیاس ۱/۱۵۰۰۰۰۰

به دلیل آب و هوای نامسائد منطقه پراکندگی جمعیت در منطقه بسیار پایین است و بیشتر روستائیان به کشاورزی و دام پروری در اطراف منابع اندک آب مشغول هستند.

### ۱-۳- مرفولوژی منطقه

منطقه مورد مطالعه به صورت رشته کوهی نه چندان مرتفع با روند اصلی شمالی جنوبی و منطبق بر روند ارتفاعات شرق ایران است (شکل ۱-۲) که در قسمت شمال، به دامنه‌های ارتفاعات شاه کوه ختم می‌شود.




شکل ۱-۲ نمای عمومی از عکس ماهواره ای کمپلکس ده‌سلم. توده‌شاه کوه (۱)، دگرگونی، هاله مجاورتی هورنفلس شاه‌کوه (۲)، سکانس پلیتی (۳)، سکانس متاسند استون و مرمر(۴)، لکو گرانیت های شرق منطقه (۵) رسوبات نادگرگونه در غرب منطقه (۶).

در اثر نفوذ توده گرانیتی شاه‌کوه، این روند کمی منحرف شده و به سمت غرب متمایل شده است. در قسمت های جنوبی به دلیل عملگرد گسل های فعال در منطقه، ارتفاعات ده سلم کمی به سمت شرق منحرف

شده است. ارتفاعات از دو سو به دشت های مسطح ختم می‌شود و رود خانه‌های فصلی ده‌سلم در قسمت غرب و رود خانهٔ شور در شرق منطقه مورد مطالعه هر دو به سمت جنوب و جنوب غربی در جریان هستند. در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه، دشت لوت واقع است که به سمت غرب از ارتفاع آن کاسته می‌شود. در سمت شرق محدوده مورد مطالعه دشت چاه‌داشی واقع شده است که با افزایش فاصله از کمپلکس ده‌سلم به ارتفاع آن افزوده می‌شود. در جنوب ارتفاعات ده‌سلم تپه‌های ماسه‌ای کویری قرار دارد که در سمت جنوب و جنوب غرب به وسعت آنها افزوده می‌شود.

**۱-۴-هدف**

کمپلکس ده سلم در شرق ایران مجموعه کاملی از سنگ های دگرگونی فشار متوسط و دمای بالا است و موضوع جالب توجه در مطالعات پترولوژی دگرگونی به حساب می آید، علاوه بر این این منطقه یکی از کلیدهای اساسی در روشن ساختن سرگذشت زمین شناسی شرق ایران است. توجه محققان در شاخه های گوناگون زمین شناسی از جمله تکتونیک و پترولوژی به کمپلکس ده سلم تاکیدی بر این واقعیت است. برای دست یابی به این مهم. سه هدف کلی زیر در قالب هدف های جزئی دنبال خواهد شد.

- بررسی و تعیین تحولات ترمودینامیکی سنگ های دگرگونی منطقه
- بررسی ساختارهای میکروتکتونیکی کمپلکس ده سلم
- بررسی ارتباط سنی توده های آذرین و سنگ های دگرگونی منطقه مورد مطالعه

هدفهای جزئی

تعیین سرگذشت ترمودینامیکی دگرگونی: مشاهدات پتروگرافی و تعیین دقیق همیافتی و پاراژنز کانی های موجود در سنگ در قدم اول و سپس نتایج تجزیه های XRF جهت اندازه گیری میزان عناصر اصلی و عناصر کمیاب خاکی بر روی گونه های مختلف سنگی که در مطالعات پتروگرافیکی دقیقاً شناسائی و انتخاب شده اند، به تعیین دقیق مجموعه های رسوبی و احتمالاً ولکانیک و نحوه قرار گیری آنها در کنار یکدیگر منتهی خواهد شد که کاربرد اساسی در مباحث تکتونیکی کوچک مقیاس حاشیه شرقی بلوک لوت و شرق ایران خواهد داشت (بوخر و فری، ۱۹۹۴ هیندمن، ۱۹۸۵؛ یاردلی،۱۹۹۲؛ بارکر، ۱۹۹۱ و میاشیرو، ۱۹۹۴ ).

شناسائی زونهای دگرگونی: تعیین مرز زون های دگرگونی با استفاده از داده های صحرائی که در تعیین رخساره های دگرگونی موجود در کمپلکس و در پایان به تعیین شرایط تقریبی ترمودینامیکی منتهی می گردد.

بدین منظور محل ظهور و حذف کانی ها با استفاده از نمونه های ماکروسکوپی و مطالعه میکروسکوپی امکان انجام می شود.

شناسائی دقیق پروتولیت: در این مرحله با استفاده از داده های جمع آوری شده در مراحل قبلی و داده های تجزیه شمیائی EPMA، واکنش های دگرگونی ممکن که در هر پروتولیت رخ داده است شناسائی و در فازدیاگرام های مربوطه به عنوان مثال به سیستم های ,KFMASH و AFMS-CH جهت تعیین دقیق شرایط ژئوشیمیائی سنگ به کار خواهد رفت (بوخر و فری، ۱۹۹۴).

ژئوترموبارومتری: از داده های EPMA در ژئوترموبارومتری سنگ های دگرگونی استفاده خواهد شد. بر اساس واکنش های دگرگونی و تغییرات کانی شناسی، نسبت به دما، فشار و ترکیب شیمیایی سنگ ها می توان شرایط ترمودینامیکی زمان تشکیل سنگ را تعیین کرد. برای این منظور از نرم افزارهای مختلف ژئوترموبارومتری مانند (Thermocalc,) استفاده خواهد شد. ترموبارمتری سنگ های دگرگونی دارای سابقه طولانی است (وینکلر، ۱۹۷۶)، ولی روش های دقیق و پیشرفته با توجه به زونینگ و تغییرات شیمیائی در هنگام رشد کانی امروزه بیشتر مورد توجه است (اسپیر و همکاران، ۱۹۹۹؛ هاوانگ و همکاران، ۲۰۰۳).

بررسی ریز ساختارهای دگرگونی: امروزه مطالعات میکروتکتونیک در سنگهای دگرگونی از اهمیت و ارزش بسزائی برخوردار است (بارکر و همکاران، ۱۹۹۱؛ پاسشیر و همکاران، ۲۰۰۵؛ ورنون، ۲۰۰۴) با روش های مطالعه میکروسکوپی و شناسائی ساختارهای میکروتکتونیکی فازهای تکتونیکی موثر در طی دگرگونی شناخته خواهد شد. این مرحله نیازمند برداشت های دقیق صحرائی و مطالعه دقیق آزمایشکاهی خواهد بود.

سن سنجی: انجام مراحل فوق به همراه نتایج سن سنجی با استفاده از روش های مناسب بر روی توده ها و سنگ های دگرگونی ارتباط فازهای مختلف دگرگونی با پلوتونیسم منطقه را آشکار خواهد ساخت. با توجه به خصوصیات پترولوژیکی منطقه مورد مطالعه جهت مطالعات سن سنجی روش های زیر پیشنهاد شده است.

روش های چینه نگاری و مقایسه دقیق پروتولیت با سنگهای نادگرگونه موجود در میکروپلیت لوت.

استفاده از روش های سن سنجی ایزوتوپی. در سنگ های دگرگونی با توجه به سنین مربوط به پروتولیت، سن فازهای دگرگونی و حوادث تکتونیکی روش مورد استفاده متفاوت است. با توجه به سن سنجی های انجام شده توسط ریر و محافظ ،(۱۹۷۲) و اسماعیلی ،(۱۳۸۰)، و کانی شناسی سنگ های مجموعه ده سلم استفاده از روش اورانیوم - سرب (U- Pb) بر روی کانی های مناسب بهترین روش است.

بررسی پتانسیل های اقتصادی منطقه: در کمپلکس دگرگونی ده سلم پتانسیل هائی از کانی های صنعتی وجود دارد. که به اختصار به آن پرداخته شده است.

در پایان با توجه به نتایج حاصل از کلیه مراحل فوق

توالی فازهای دگرگونی در کمپلکس ده سلم، فازهای تکتونیکی و ارتباط آنها با فازهای دگرگونی ده سلم و مسیرهای P-T-t پیموده شده در حین دگرگونی کمپلکس ده سلم روشن خواهد شد. بررسی پتروژنتیکی توده های آذرین موجود در کمپلکس ده سلم و ارتباط آنها با یکدیگر به شناخت دقیق تر تحولات زمین شناسی منطقه منتهی می شود. در پایان مقایسه دستاوردهای مطالعه اخیر با مدل های تکتنوماگمائی ارائه شده در شرق ایران به تکامل آنها می انجامد. اهداف کلی این تحقیق را می توان در دو محور اساسی زیر خلاصه کرد

۱- سرگذشت کمپلکس دگرگونی ده سلم روشن خواهد شد.

۲- مدلهای تکتنوماگمائی ارائه شده در شرق ایران با داده های جمع آوری شده مقایسه می شود

**۱-۵- تاریخچه مطالعات انجام گرفته**

اولین مطالعات مدون موجود درباره این منطقه در سال ۱۳۴۹و ۱۳۵۰ توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گرفته است. نتیجه این مطالعات به صورت نقشه ۵۰۰۰۰۰ : ۱ و گزارش بررسی مقدماتی دشت لوت و ایران مرکزی منتشر شده است (اشتوکلین و همکاران، ۱۹۷۳). در این بررسی‌ها طبق نقشه ارایه شده در دو مسیر که تقریباً بر روند مجموعه دگرگونی عمود است، از نمونه‌های برداشته شده دو نمونه به روش روبیدیوم – استرونسیوم تعیین سن شده و سن یابی معادل ۱۰±۲۰۶ و ۲±۲۰۹ بدست آمده است. این سن به رخداد تکتونیکی سیمیرین پیشین نسبت داده شده است (ریر و محافظ، ۱۹۷۲). بررسی‌های کوچک مقیاس در ارتباط با کوهزائی منطقه توسط بربریان و کینگ (۱۹۸۱)، مهاجر و اشجعی (۱۹۷۵) و بربریان و بربریان (۱۹۸۱) انجام شده است. گسلهای مهم، نقش و عملکرد آنها در منطقه توسط نبوی (۱۳۵۵) بررسی شده است گزارشی نیز توسط سهندی و محجل (۱۳۶۳) درباره سنگهای منطقه ارائه شده است. نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۲۵۰۰۰۰ : ۱ توسط سهندی و همکاران (۱۳۷۱) تهیه و به وسیله سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور به چاپ رسیده است، ذخایر آندالوزیت و سیلیمانیت منطقه توسط مهرابی و سیاسی‌راد (۱۳۷۲) از نظر حجم و عیار مورد ارزیابی قرار گرفته است. توده گرانیت شاه کوه در شمال منطقه در رساله دکترای اسماعیلی (۱۳۸۰) مطالعه شده، وی نتیجه گرفته این توده به سن ۱۶۵ میلیون سال و تیپ S است. هاله دگرگونی مجاورتی توده شاه‌کوه نیز توسط مدهج (۱۳۷۹) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

مطالعات کوچک مقیاس در مورد ژنز پتانسیل‌های معدنی شرق لوت توسط شهاب‌پور (۱۳۷۹) انجام گرفته است. پترولوژی دگرگونی و بررسی منابع اقتصادی کمپلکس ده سلم در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد توسط محمودی، ۱۳۸۲ مورد بررسی مقدماتی قرار گرفته است، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه در دست تهیه است. مطالعه ساختاری جهت بررسی روندهای ژئودینامیکی در توده گرانیتی شاه کوه نیز توسط اسماعیلی، (۲۰۰۷) ارائه شده است.

**۱-۴-مراحل انجام کار**

تحقیقات انجام گرفته توسط نگارنده طی مراحل زیر انجام گرفته است این برنامه بر اساس هدف های تعیین شده پیش بینی و اجرا شده است.

- تهیه منابع کتابخانه ای و مقالات علمی مورد نیاز و جمع آوری مطالعات انجام شده قبلی در منطقه و همچنین مشورت با محققان که در این زمینه صاحب نظر می باشند.
- بررسی تصاویر ماهواره ای، و تکمیل نقشه هائی که از منطقه تهیه شده است. همچنین مقایسه و تطبیق نقشه های تهیه شده در مراکز تحقیقاتی و تکمیل و ترسیم نقشه نهائی.
- بازدید زمین شناسی از منطقه طی مراحل مختلف تحقیق و انجام نمونه برداری و تصویر برداری از منطقه
- برداشت نمونه های جهت دار (Oriented sample) از سنگ های دگرگونی و آذرین برای انجام مطالعات ساختاری.
- برداشت نمونه از قسمت های مختلف منطقه جهت انجام مطالعات سن سنجی ایزوتوپی.
- آماده سازی نمونه ها به منظور تهیه مقاطع نازک برای مطالعات پتروگرافی و پتروفابریکی، تهیه مقاطع نازک صیقلی و نازک دو بر صیقلی
- آماده سازی نمونه ها برای تجزیه شیمیایی و ایزوتوپی.
- تجزیه نقطه ای به روش الکترون میکروپروب (EPMA) برای تشخیص ترکیب دقیق کانیها، انجام مطالعات ژئوترموبارومتری در مرکز تحقیقات و فرآوری موادمعدنی ایران ودر خارج از کشور در دانشگاه های پاریس و اسلو.
- تجزیه ایزوتوپی به روش های U- Pb شش نمونه برای تعیین سن سنگهای دگرگونی و توده های نفوذی موجود در کمپلکس دگرگونی ده سلم.

- پردازش داده های حاصل از مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی و تئوری با کمک گرفتن از نرم افزارهای مرتبط مانند:
- Isoplate, Autcad, Excel, Illustrator, Minpet, Thermocalc, .....) .(Winrock,
- جمع آوری داده های بدست آمده در طی مراحل فوق و تلفیق نتایج حاصل از مطالعات به صورت مقالات و رساله دکتری.

مطالعات انجام شده در کمپلکس دگرگونی دەسلم در طی مراحل فوق با محققان مختلف تبادل نظر شده و از راهنمائی های آنها در تنظیم بهتر رساله استفاده شده است. همچنین در مراحل مختلف کار سعی شده است که به نتایج حاصله در مطالعات قبلی استفاده شود و در صورت وجود ابهامات با پاسخ های مناسب در حد امکان در جهت توجیه موارد مبهم مطالبی ارایه شود.

در انجام مطالعات سعی شده نتایج بدست آمده بر مبنای واقعیت های موجود و مطالب علمی استوار باشد و کلیه اطلاعات بدست آمده حتی در مواردی که با تئوری ارایه شده منافات داشته‌اند، مورد توجه قرار گیرد.

# فصل دوم

# کمپلکس ده سلم

## ۲-۱- مقدمه

کمپلکس ده سلم شامل مجموعه ای از سنگ های دگرگونی است که با رسوبات کرتاسه و بعد از آن بطور دگرشیب پوشیده شده است. در این مجموعه توده‌های گرانیتی، پگماتیتی و رگه‌های متعدد کوارتزی نفوذ کرده است. این مجموعه تحت عنوان کمپلکس دگرگونی ده‌سلم نامیده می‌شود. کمپلکس دگرگونی ده‌سلم به طول ۶۰ کیلومتر و عرض متوسط ۱۰ کیلومتر مساحتی در حدود ۶۰۰ کیلومتر مربع را در بر گرفته است. این مجموعه از شمال به توده گرانیتی شاه کوه، از جنوب به تپه‌های ماسه‌ای کویری، از سمت شرق به دشت چاهداشی که عمدتا از رسوبات شیلی و ماسه سنگی معادل سازند شمشک پوشیده شده، و در قسمت غربی توسط سنگ های نا دگرگون به سن کرتاسه محدود می‌شود. اما در شمال غرب با نفوذ فازهای جدیدتر گرانیت شاه کوه، سنگ های کرتاسه بطور ضعیف دگرگون شده است در قسمت جنوب غربی منطقه مورد مطالعه دشت گنجیگاه قرار دارد که از رسوبات آبرفتی عهد حاضر پوشیده شده است.

بر اساس نظر محققان قبلی، کمپلکس دگرگونی ده سلم ابتدا دگرگونی ناحیه‌ای ضعیفی را متحمل شده که سنی قبل از تریاس برای آن ذکر شده است (درویش زاده، ۱۳۷۱). درجه این دگرگونی متوسط و تا ظهور زون کیانیت پیشرفته و در محدوده رخساره شیست سبز و آمفیبولیت واقع می شود. سپس این کمپلکس با نفوذ توده‌های گرانیتی و افزایش گرادیان زمین گرمایی تحت تاثیر دگرگونی فشار پایین و حرارت بالا قرار گرفته است. در قسمت‌های شمالی کمپلکس ده‌سلم تحت تاثیر توده گرانیتی شاه کوه دگرگونی مجاورتی نسبتا شدیدی ایجاد شده است. هورنفلس‌های این منطقه تا حد رخساره آلبیت آپیدوت هورنفلس دگرگون شده‌اند. در این سنگ ها لایه بندی و یا شیستوزیته سنگ اولیه مشاهده می‌شود. توده‌های نفوذی را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد که در بخش مربوط به سنگ های آذرین بطور مجزا شرح داده شده است و در نقشه زمین شناسی تهیه شده از منطقه دیده می شوند (شکل۲-۱).

## ۲-۲- زمین شناسی عمومی کمپلکس ده سلم

از دیدگاه تقسیمات زمین شناسی کمپلکس ده سلم در مرز ورقه لوت و زون جوش خورده سیستان واقع شده است. به اعتقاد بیشتر محققین مرز لوت و زون جوش خورده سیستان به وسیله گسل نهبندان که در شرق کمپلکس ده سلم قرار دارد، مشخص می‌شود (نبوی، ۱۳۵۵).

منطقه مورد مطالعه عموماً از سنگ های دگرگونی رسوبی، آذرین و دگرگونی تشکیل شده است. مجموعه رسوبی شامل کربنات های ناخالص بدون فسیل است که در غرب و جنوب غربی مشاهده می شود رسوبات فسیل دار کرتاسه و بعد از آن بطور دگرشیب رخنمون های آذرین و دگرگونی مجموعه را پوشانده است. توده‌های گرانیتی، پگماتیتی، و رگه‌های متعدد کوارتزی در سنگ های دگرگون شده نفوذ کرده است. این مجموعه از شمال به توده گرانیتی شاه کوه، از جنوب به تپه‌های ماسه‌ای کویری، از سمت شرق به دشت چاهداشی که عمدتا از رسوبات شیلی و ماسه سنگی معادل سازند شمشک پوشیده شده، و در قسمت غربی سنگ های کرتاسه دگرگون نشده محدود می‌شود. اما در شمال غرب با نفوذ فازهای جدیدتر گرانیت شاه کوه سنگ های کرتاسه بطور ضعیف دگرگون شده است. در قسمت جنوب غربی منطقه مورد مطالعه دشت گنجیگاه قرار دارد که از رسوبات آبرفتی عهد حاضر پوشیده شده است و دگرگونی ناحیه‌ای ضعیفی را متحمل شده که سنی قبل از تریاس برای آن ذکر شده است (درویش زاده، ۱۳۷۱). درجه این دگرگونی پایین تا متوسط و تا ظهور زون استرولیت و در محدوده رخساره شیست سبز است (محمودی، ۱۳۸۱). این کمپلکس با نفوذ توده‌های گرانیتی و افزایش گرادیان زمین گرمایی تحت تاثیر دگرگونی فشار پایین و حرارت بالا قرار گرفته است و در قسمت‌های شمالی کمپلکس ده‌سلم تحت تاثیر توده گرانیتی شاه کوه دگرگونی مجاورتی نسبتا شدیدی ایجاد شده است. هورنفلس‌های این منطقه تا حد زیرین رخساره پیروکسن هورنفلس دگرگون شده‌اند (مدحج و عضدی، ۱۳۸۶) (شکل۲-۱). در این سنگ ها لایه بندی و یا شیستوزیته سنگ اولیه مشاهده می‌شود. توده‌های نفوذی در بخش مربوط به سنگ های آذرین شرح داده شده است.