

## گرانیت زیریگان، ماگمایی یا متاسوماتیک؟

شیرین گل‌کرم، \*نعمت... رشیدنژاد عمران: دانشگاه تربیت مدرس

فریبرز مسعودی: دانشگاه شهید بهشتی

قربان وهابزاده: دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه مازندران

### چکیده

توده‌های گرانیتی منطقه زیریگان و چاه چوله، که در شمال بافق و جنوب شرقی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ اردکان واقع شده اند، جزیی از خرده قاره ایران مرکزی محسوب می‌شوند. ترکیب سنگ‌شناسی این توده‌ها، از آلکالی فلدسپار گرانیت تا سینو- مونزو گرانیت نوسان دارد. این توده‌ها از نوع گرانیت‌های لوکوکرات و ساب ولکانیک، با کانی‌شناسی عمدتاً کوارتز- فلدسپاتی، و فقیر از کانی‌های مافیک هستند. انواع بافت‌های ماگمایی، دگرشکلی، متاسوماتیک و دگرسانی، گرانوفیری، گرافیک، میلونیتی و کاتاکلاستی، میرمکیت، پرتیتی و جانشینی در آن‌ها دیده می‌شود. از نظر ژئوشیمیایی، توده‌های مورد بحث، ویژگی‌هایی از سری‌های کالکوالکالن تا آلکالن، پرآلومین I-type و محیط تکتونیکی کمان ماگمایی را نشان می‌دهند. در نمودارهای تغییرات عناصر نیز، بستگی به تمایلات ذاتی، پویایی و مراتب سازگاری و ناسازگاری عناصر، رفتارهای متفاوتی دیده می‌شود که گویای تأثیر هر دو فرآیند تفریق و تبلور و متاسوماتیسم، بر توده‌های مذکور است. شواهد صحرایی، سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی، در توده‌های گرانیتی زیریگان و چاه چوله حاکی از آن است که دست کم بخشی از این توده‌ها، به ویژه گرانیت زیریگان، از طریق متاسوماتیسم و فرآیندهای تفریق گرمایی از سنگ‌های مافیک قبلی دیوریتی و گابرویی و سنگ‌های آذر آواری تشکیل شده و حتی پس از آن نیز به نحوی گسترده تحت تأثیر این فرآیندها واقع شده‌اند. مقایسه این توده‌ها، با معیارهایی که برای تمایز گرانیت‌های ماگمایی و متاسوماتیک ارائه شده، نشان می‌دهد که این توده‌ها، ضمن شباهت‌هایی با برخی از توده‌های شاخص ماگمایی، به ویژه گرانیت زیریگان، بیش‌ترین شباهت را به گرانیت نوع متاسوماتیک یا E-type دارد.

واژه‌های کلیدی: گرانیت زیریگان، متاسوماتیسم، تفریق گرمایی، لوکوکرات، ایران مرکزی، شمال بافق

پذیرش ۹۰/۱۲/۸

دریافت ۸۹/۳/۲

rashid@modares.ac.ir

\*نویسنده مسئول

## مقدمه

ویژگی‌های ژئوشیمیایی و آرایش کانی‌ها، در تشکیل بافت‌های مختلف سنگ‌های آذرین بازتاب دارد. در سال‌های اخیر به بافت‌های موجود در سنگ‌های آذرین، مانند پرتیت و میرمکیت، کلیدی برای تعیین ویژگی‌های کانی‌ها و فرآیندهای مؤثر در تشکیل آن‌ها، توجه خاصی شده است. برای مثال کولینز<sup>۱</sup> (۱۹۹۸) [۱] با بررسی میرمکیت‌های موجود در گرانیتوئیدهای متاسوماتیکی و میرمکیت‌های موجود در کمپلکس کوما در جنوب شرقی استرالیا، چگونگی تأثیر فرآیند متاسوماتیسم را در تشکیل این توده‌ها یادآوری کرده است. رانگ<sup>۲</sup> (۲۰۰۲) [۲] میرمکیت‌های حاصل جانشینی را، بررسی کرده و معتقد است میرمکیت‌هایی که در اثر فرآیند مزبور تشکیل می‌شوند، می‌توانند نشان‌دهنده نوع ماگمای سازنده سنگ‌ها باشند.

ایران مرکزی به دلیل تحمل حوادث و رویدادهای متفاوت و متعدد و دارا بودن منابع معدنی با ارزش، مورد توجه محققان زمین‌شناسی و اکتشافی است. در این پژوهش‌ها به منطقه بیابانک- بافق به علت جای‌گاه خاص خود در ایران مرکزی، بیش‌تر توجه شده است. گرانیت زیرگان و چاه چوله نیز به دلیل داشتن منابع معدنی با ارزش از جمله اورانیوم، توجه زمین‌شناسان را به خود جلب کرده است. آیوا<sup>۳</sup> و زاهدی (۱۹۶۶) [۳]، ضمن بررسی‌های زمین‌شناسی و بررسی ناهنجاری‌های آهن ناحیه بافق- چادرمو، ژنز کانسار آهن چادرمو را به متاسوماتیسم ناشی از تزریق ماگمای گرانیتی به داخل مجموعه سنگ‌های ولکانیک منطقه نسبت داده‌اند. هوشمندزاده (۱۹۶۹) [۴] در رساله دکتری خود، متامورفیسم و گرانیتیزاسیون مجموعه سنگ‌های دگرگونی چاپدونی را بررسی کرده است و سازند تاشک، به‌ویژه بخش‌های زیرین آن را به‌عنوان سنگ مادر مجموعه دگرگونی چاپدونی پیشنهاد کرده است. درویش‌زاده (۱۳۶۲) [۵]، با بررسی معدن فسفات اسفوردی در منطقه بافق، این کانسار را منشأ متاسوماتیسم دانسته است و خاطر نشان می‌کند که ماگمایی با روند کربناتیتهی در تشکیل آن نقش داشته است. سامانی (۱۳۶۷، ۱۳۷۷) [۶] و [۷]، در رابطه با شناسایی مناطق اورانیوم‌دار، باعنوان مسئله کربنات‌زایی در ایران مرکزی و زاگرس، به عمل‌کرد متاسوماتیسم آکالین در منطقه ساغند و نقش آن در شکل‌گیری ذخایر اورانیوم و تشکیل سنگ‌های گرانیتی اشاره کرده است. از دیگر پژوهش‌هایی که در ایران، در ارتباط با متاسوماتیسم انجام شده، می‌توان به پایان‌نامه بهنیا (۱۳۷۴) [۸] اشاره کرد که روی گرانیت قوشچی (ارومیه) تحقیق کرده است و اعتقاد دارد که سنگ‌های گرانیتی منطقه از سنگ‌های بازیک و در اثر متاسوماتیسم به وجود آمده‌اند. معین‌وزیری (گفتگوی حضوری) نیز اشاره کرده است که گرانیت زیرگان در اثر متاسوماتیسم توف‌ها (سری ریزو) تشکیل شده است.

۱. Collins

۲. Rong

۳. Iwao

### زمین‌شناسی عمومی

خرده قاره ایران مرکزی، بخشی از ایران‌زمین میانی است که با زمین درزهای افیولیتی سیستان، ناپین، بافت، گسل درونه و افیولیت‌های کاشمر- سبزوار احاطه شده و با گسل‌های طویلی که به سمت باختر خمیدگی دارند و از نوع امتداد لغز راست‌گرد، قابل تقسیم به بلوک لوت، بلوک طبس، بلوک پشت بادام و بلوک یزد است و منطقه بررسی شده در مرز بلوک پشت بادام و بلوک یزد قرار دارد [۹]. کمپلکس‌های دگرگونی چاپدونی، بنه شور، تاشک و پشت بادام، به‌عنوان پی سنگ دگرگونه خرده قاره ایران مرکزی [۱۰] در این منطقه برونزد دارند.

سنگ‌های دوران سوم، بیش‌تر در بخش شمال غربی محدوده و در کناره شمالی و غربی کوه درانجیر و کوه خشومی (غرب ساغند) گسترش دارند. کهن‌ترین واحد رسوبی دوران سوم، شامل برونزد کوچکی از واحد میکروکنگلومرای، با سیمان آهکی آکنده از نومولیت است که به‌صورت ناهم‌ساز بر روی واحد کرتاسه پایین قرار می‌گیرد. بر پایه گزارش حقی‌پور (۱۳۴۲) [۱۰] و بررسی نقشه‌ها و گزارش‌های موجود از شمال بافق، این منطقه از پهنه وسیع ایران مرکزی در ادوار مختلف زمین‌شناسی، تحت تأثیر حوادث مختلف پلوتونیزم و جای‌گیری توده‌های نفوذی متعددی قرار گرفته است. بر اساس اطلاعات موجود، توده‌های نفوذی تا ساب و لکانیک، با ترکیب بازیک، حدواسط و اسیدی، از پرکامبرین تا نئوژن، در این پهنه برونزد یافته‌اند.

در بخش شرقی و جنوب شرقی نقشه صد هزارم آریز، توده گرانیتی بزرگ لوکوکرات، سنگ‌های دگرگونی کمپلکس ناتک در کوه چاه چوله و سنگ‌های دگرگونی کمپلکس بنه شور و سری کربناته-آواری کامبرین پایین را در کوه زیرگان بریده است (شکل ۱). این توده با نام گرانیت زیرگان معرفی شده است [۱۰]. روند گسترش این توده گرانیتی شمالی- جنوبی است و به دو بخش شمالی (چاه چوله) و جنوبی (زیرگان) قابل تقسیم است. این توده گرانیتی به‌دلیل فرسایش به‌صورت تپه ماهوری و گاه هموار دیده می‌شود. توده گرانیت زیرگان به‌رنگ کرم تا صورتی است که به‌طور کلی از کوارتز و فلدسپات تشکیل شده است و کانی‌های فرومینزین تقریباً در آن دیده نمی‌شود. در نمونه‌های برگرفته از این توده، بلورهای کوارتز گرد شده در زمینه‌ای از کوارتز- فلدسپات (ارتوز و آلبیت) قرار گرفته است. در این منطقه، دایک‌های دیابازی بسیاری، توده نیمه ژرف کوارتز پورفیری زیرگان را بریده‌اند. دایک‌ها تراکم بسیار زیادی دارند و به‌نظر می‌رسد که این دایک‌ها در فضاها کشتی، در یک سیستم با روند شمال غرب- جنوب شرق، جای‌گزین شده باشند. در توده گرانیتی زیرگان، توده‌های شناور و بی‌ریشه‌ای از یک سنگ مافیک با ترکیب دیوریت تا دیوریت-گابرو دیده می‌شود که در اثر فرآیندهای متاسوماتیسم به‌تدریج به یک سنگ گرانیتی و فلسیک تبدیل شده‌اند.

حقی‌پور (۱۳۴۲) [۱۰] سن این توده‌ها را به اینفر اکامبرین نسبت داده است، در حالی‌که رضانی (۱۹۹۷)

[۱۱] سن مطلق این توده گرانیتی به‌روش (U-Pb zircon) را ۵۳۷ میلیون سال (گرانیت چاه چوله در شمال) و

۵۳۴ میلیون سال در بخش کوارتز پورفیری جنوبی (گرانیت زیرگان) یعنی کامبرین میانی، گزارش کرده است. به نظر مجیدی و باباخانی (۱۳۷۹) [۱۲] نیز، گرانیت زیرگان سن جوان تر از ژوراسیک را نشان می‌دهد.

### روش پژوهش

به منظور بررسی ویژگی‌های میکروسکوپی و ژئوشیمیایی توده زیرگان، بیش از ۷۰ تیغه نازک از نمونه‌های مربوط به بخش‌های مختلف توده تهیه و پس از بررسی، نمونه‌های انتخابی به روش‌های XRF و ICP-MS تجزیه شدند. ۱۲ نمونه به روش ICP-MS در آزمایشگاه ALS-CHEMEX کشور کانادا تجزیه شیمیایی شدند (جدول ۲). این ۱۲ نمونه به اضافه ۷ نمونه دیگر در آزمایشگاه دانشگاه تربیت معلم به روش XRF (عناصر اصلی و جزئی و تعدادی REE) تجزیه شیمیایی شدند (جدول ۱).

جدول ۱. فراوانی عناصر اصلی در سنگ‌های گرانیتی منطقه (به روش XRF در دانشگاه تربیت معلم)

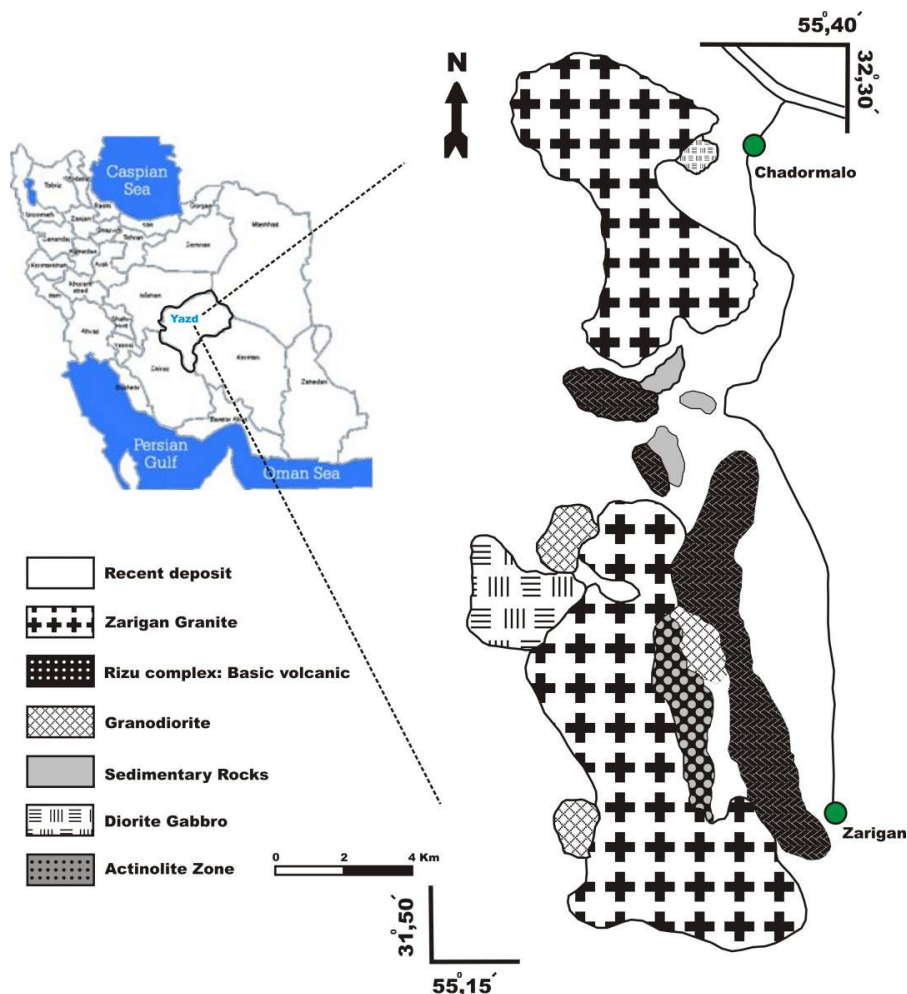
sample	SiO <sub>2</sub> wt%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> wt%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> wt%	CaO wt%	MgO wt%	Na <sub>2</sub> O wt%	K <sub>2</sub> O wt%	TiO <sub>2</sub> wt%	MnO wt%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> wt%
zg-۸	۷۵/۴۰	۱۲/۶۹	۰/۳۸	۰/۱۱	۱/۰۵	۷/۴۲	۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۰۱	۰/۰۲
zg-۲۸	۸۷/۷۲	۳/۶۵	۲/۲۴	۰/۱۵	۳/۱۲	۰/۴۰	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۱	۲/۲۲
zg-۳۷	۷۶/۶۰	۱۱/۰۶	۱/۵۲	۰/۱۰	۰/۰۳	۳/۱۶	۴/۵۸	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۳
zg-۱۰	۷۶/۴۵	۱۱/۹۳	۱/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۵	۵/۵۳	۳/۲۵	۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۰۳
zg-۳۵	۷۲/۰۰	۱۳/۶۰	۱/۶۱	۰/۲۱	۰/۱۸	۸/۲۱	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۰۱	۰/۰۲
zg-۵۷	۶۵/۸۳	۱۳/۴۲	۲/۷۷	۰/۳۸	۰/۷۲	۸/۶۷	۰/۹۴	۴/۳۳	۰/۰۰	۰/۰۲
zg-۳۶	۷۶/۵۶	۴/۷۷	۷/۰۸	۰/۴۳	۰/۱۷	۲/۱۴	۰/۰۳	۸/۷۲	۰/۰۲	۰/۰۳
zg-۱۴	۷۵/۴۲	۱۲/۸۸	۰/۴۶	۰/۰۴	۰/۰۸	۶/۸۴	۱/۶۶	۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۰۲
zg-۲۰	۷۸/۹۵	۱۱/۰۳	۰/۴۱	۰/۰۵	۰/۰۰	۶/۷۸	۰/۸۲	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۲
zg-۲۱	۷۶/۲۵	۱۱/۵۷	۰/۹۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۶/۸۶	۱/۴۴	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۰۳
zg-۲۴	۷۲/۱۶	۱۳/۲۷	۱/۵۲	۰/۴۳	۰/۱۹	۷/۹۰	۰/۹۸	۱/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲
zg-۲۵	۷۳/۲۷	۱۲/۵۷	۱/۴۸	۰/۴۷	۰/۱۱	۸/۷۴	۰/۷۹	۰/۹۵	۰/۰۰	۰/۰۲
zg-۲۹	۷۸/۴۱	۱۱/۲۱	۰/۶۶	۰/۰۶	۰/۱۴	۶/۴۲	۰/۵۶	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۲
zg-۴۲	۷۸/۱۳	۱۰/۸۱	۰/۶۱	۰/۰۵	۰/۰۰	۳/۸۲	۴/۶۶	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۲
zg-۴۴	۶۵/۸۳	۱۳/۴۲	۲/۷۷	۰/۷۲	۰/۳۸	۸/۶۷	۰/۹۴	۴/۳۳	۰/۰۲	۰/۰۲
zg-۴۹	۷۵/۵۳	۱۲/۸۳	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۰۷	۶/۳۹	۱/۷۷	۰/۳۰	۰/۰۱	۰/۰۲
zg-۵۱	۵۸/۹۹	۱۳/۵۰	۱/۴۲	۱۵/۲۸	۰/۸۸	۵/۱۴	۳/۴۱	۰/۷۶	۰/۰۷	۰/۰۲
zg-۵۵	۷۸/۶۲	۱۰/۸۴	۰/۷۲	۰/۰۵	۰/۰۱	۵/۲۷	۳/۰۱	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۲
zg-۵۶	۷۶/۸۳	۱۱/۱۱	۰/۴۶	۰/۶۴	۰/۰۸	۶/۵۶	۱/۹۸	۰/۳۴	۰/۰۱	۰/۰۲

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر کمیاب و نادر خاکی سنگ‌های منطقه بررسی شده به روش ICP-MS (کانادا)

sample	Ag ppm	Ba ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Ga ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Mo ppm	Nb ppm	Nd ppm
zg-۱۴	<1/۰۰	۶۷۱/۰۰	۴/۹	۷/۴	۲۰۰/۰۰	۰/۱۷	۹/۰۰	۰/۲۴	۰/۳۰	۰/۱۵	۱۲/۶۰	۰/۲۶	۴/۶۰	۰/۰۸	۳/۵۰	۰/۰۸	۳/۰۰	۴/۵۰	۱/۲۰
zg-۲۰	<1/۰۰	۳۲۶/۰۰	۲/۶۰	۱/۵۰	۲۰۰/۰۰	۰/۱۲	۱۵/۰۰	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۰	۱۲/۷۰	۰/۱۱	۴/۳۰	۰/۰۳	۲/۱۰	۰/۰۴	۳/۰۰	۰/۴۰	۰/۵۰
zg-۲۱	<1/۰۰	۴۳۴/۰۰	۳/۵۰	۱/۶۰	۱۸۰/۰۰	۰/۱۲	۶۵/۰۰	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۱۵	۱۶/۸۰	۰/۱۹	۷/۶۰	۰/۰۷	۲/۴۰	۰/۰۹	۲/۰۰	۲/۵۰	۰/۹۰
zg-۲۴	<1/۰۰	۲۶/۰۰	۹/۵۰	۲/۸۰	۱۷۰/۰۰	۰/۰۶	۵/۰۰	۲/۶۹	۱/۸۶	۰/۳۹	۱۲/۹۰	۱/۶۶	۵/۶۰	۰/۵۸	۵/۱۰	۰/۳۵	۳/۰۰	۲/۴۰	۵/۱۰
zg-۲۵	<1/۰۰	۱۶۴/۵۰	۲/۸۰	۱/۱۰	۱۴۰/۰۰	۰/۲۵	۵/۰۰	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۱۱	۱۹/۲۰	۰/۱۷	۸/۷۰	۰/۰۹	۱/۹۰	۰/۰۹	۲/۰۰	۸/۲۰	۰/۵۰
zg-۲۹	<1/۰۰	۴۹/۷۰	۱۲/۶۰	۲/۵۰	۱۵۰/۰۰	۰/۱۱	۱۲/۰۰	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۲۳	۱۳/۳۰	۰/۴۶	۴/۸۰	۰/۰۵	۸/۲۰	۰/۰۸	۲/۰۰	۰/۶۰	۳/۳۰
zg-۴۲	<1/۰۰	۹۰۳/۰۰	۱۲/۳۰	۱/۲۰	۲۴۰/۰۰	۰/۱۴	<۵/۰۰	۰/۵۱	۰/۳۷	۰/۳۴	۱۲/۸۰	۰/۶۶	۵/۳۰	۰/۱۰	۷/۵۰	۰/۱۰	۳/۰۰	۲/۰۰	۳/۵۰
zg-۴۴	<1/۰۰	۳۰۱/۰۰	۴۴۰/۰۰	۳/۸۰	۲۷۰/۰۰	۰/۰۷	۷/۰۰	۳۴/۲۰	۳۲/۹۰	۱/۶۲	۲۲/۰۰	۱۷/۴۰	۸/۴۰	۸/۴۹	۴۹۲/۰۰	۷/۲۱	۲/۰۰	۶۸/۸۰	۴۵/۹۰
zg-۴۹	<1/۰۰	۲۶۸/۰۰	۱۱/۷۰	۰/۹۰	۲۴۰/۰۰	۰/۱۶	۱۰/۰۰	۰/۵۴	۰/۴۳	۰/۳۳	۱۳/۶۰	۰/۵۹	۵/۹۰	۰/۱۱	۳/۶۰	۰/۱۲	۳/۰۰	۴/۷۰	۳/۴۰
zg-۵۱	<1/۰۰	۴۲/۱۰	۵/۰۰	۱/۰۰	۱۹۰/۰۰	۰/۰۳	<۵/۰۰	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۰۸	۱۳/۶۰	۰/۳۰	۴/۲۰	۰/۱۱	۳/۴۰	۰/۱۱	۲/۰۰	۱/۰۰	۱/۲۰
zg-۵۵	<1/۰۰	۶۶۶/۰۰	۱۱/۴۰	۱/۲۰	۱۸۰/۰۰	۰/۳۲	۷/۰۰	۰/۵۰	۰/۳۶	۰/۳۷	۱۲/۵۰	۰/۵۷	۵/۱۰	۰/۱۰	۷/۳۰	۰/۱۰	۳/۰۰	۴/۶۰	۳/۲۰
zg-۵۶	<1/۰۰	۴۲۲/۰۰	۹/۹۰	۰/۶۰	۱۵۰/۰۰	۰/۱۱	<۵/۰۰	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۴۰	۱۵/۳۰	۰/۵۴	۶/۱۰	۰/۱۴	۶/۲۰	۰/۱۵	۲/۰۰	۴/۱۰	۲/۷۰

ادامه جدول ۲

sample	Ni ppm	Zr ppm	Pb ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sm ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	Tb ppm	Tb ppm	Tl ppm	Tm ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Yb ppm	Zn ppm
zg-۱۴	<۰/۰۰	۱۳۸/۰۰	<۰/۰۰	۰/۴۰	۱۹/۸۰	۰/۲۳	۱/۰۰	۷۰/۱۰	۰/۵۰	۰/۰۴	۱۹/۹۰	<۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۴	۰/۰۰	۱۶/۰۰	۲/۱۰	۰/۴۲	۱/۰۰
zg-۲۰	<۰/۰۰	۱۲۰/۰۰	<۰/۰۰	۰/۲۱	۸/۱۰	۰/۱۰	<۱/۰۰	۷۷/۷۰	۰/۱۰	۰/۰۱	۱/۲۰	<۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۴۲	<۰/۰۰	۱۴/۰۰	۱/۱۰	۰/۲۱	۱/۰۰
zg-۲۱	<۰/۰۰	۲۸۱/۰۰	<۰/۰۰	۰/۳۱	۲۲/۷۰	۰/۱۳	<۱/۰۰	۹۷/۸۰	۰/۳۰	۰/۰۴	۷/۰۰	<۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۰	۰/۰۰	۱۲/۰۰	۷/۲۰	۰/۴۷	۱/۰۰
zg-۲۴	<۰/۰۰	۱۶۸/۰۰	<۰/۰۰	۱/۲۹	۱/۱۰	۱/۰۷	۱/۰۰	۳۰/۸۰	۰/۴۰	۰/۲۴	۱۶/۱۰	<۰/۰۰	۰/۲۹	۱/۸۴	۱۰/۰۰	۱۴/۰۰	۱/۸۴۰	۲/۰۸	۱/۰۰
zg-۲۵	<۰/۰۰	۳۳۴/۰۰	<۰/۰۰	۰/۲۱	۱۲/۹۰	۰/۰۸	۱/۰۰	۱۲۸/۵۰	۱/۱۰	۰/۰۳	۰/۵۶	<۰/۰۰	۰/۰۷	۱/۰۹	۲۴/۰۰	۱۰/۰۰	۷/۱۰	۰/۵۴	۲۲/۰۰
zg-۲۹	<۰/۰۰	۱۴۸/۰۰	<۰/۰۰	۱/۱۳	۱۲/۴۰	۰/۴۷	<۱/۰۰	۳۶/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۵	۱/۹۷	<۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۷۲	<۰/۰۰	۱۰/۰۰	۱/۱۰	۰/۳۰	۷/۰۰
zg-۴۲	<۰/۰۰	۱۰۶/۰۰	<۰/۰۰	۱/۱۹	۶/۰۰	۰/۶۷	<۱/۰۰	۹۴/۶۰	۰/۴۰	۰/۰۸	۱۴/۱۵	<۰/۰۰	۰/۰۵	۲/۶۳	<۰/۰۰	۱۷/۰۰	۲/۱۰	۰/۵۷	۱/۰۰
zg-۴۴	<۰/۰۰	۳۲۴/۰۰	<۰/۰۰	۲۲/۳	۱۱/۳۰	۱۰/۴۰	۱۱/۰۰	۱۹۲/۵۰	۲/۰۰	۲/۸۱	۲۰/۰۰	<۰/۰۰	۰/۵۹	۱۰۲/۵۰	۹/۰۰	۹/۰۰	۲/۱۶	۴۲/۴	۵۵/۰۰
zg-۴۹	<۰/۰۰	۱۸۳/۰۰	<۰/۰۰	۱/۱۶	۱/۴۰	۰/۵۶	۱/۰۰	۶۲/۰۰	۰/۶۰	۰/۰۸	۱/۸۷۰	<۰/۰۰	۰/۰۷	۷/۰۹	۱۱/۰۰	۱۶/۰۰	۲/۱۰	۰/۶۱	۱/۷۰۰
zg-۵۱	<۰/۰۰	۱۱۸/۰۰	<۰/۰۰	۰/۴۲	۷/۲۰	۰/۲۳	<۱/۰۰	۶۹/۹۰	۰/۲۰	۰/۰۶	۲/۹۹	<۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۶۰	<۰/۰۰	۱۰/۰۰	۲/۱۰	۰/۵۰	۱/۰۰
zg-۵۵	<۰/۰۰	۱۶۵/۰۰	<۰/۰۰	۱/۱۱	۴۹/۰۰	۰/۶۲	<۱/۰۰	۸۸/۴۰	۰/۷۰	۰/۰۸	۲۴/۱۰	<۰/۰۰	۰/۰۶	۲/۶۵	<۰/۰۰	۱۲/۰۰	۲/۱۰	۰/۵۱	۱/۸/۰۰
zg-۵۶	<۰/۰۰	۱۹۱/۰۰	<۰/۰۰	۰/۹۳	۲۱/۲۰	۰/۴۸	۱/۰۰	۶۶/۸۰	۰/۶۰	۰/۰۹	۲۲/۱۰	<۰/۰۰	۰/۰۹	۲/۰۹	۱۲/۰۰	۱۱/۰۰	۴/۳۰	۰/۷۶	۱/۰۰



شکل ۱. نقشه ساده شده، تلفیقی از نقشه‌های با مقیاس صد هزارم آریز [۱۲]، بافق [۱۳] چادرملو [۱۴] و اسفوردی [۱۵]

گرانیت‌های زیرگان و چاه چوله، به‌صورت دو توده در جنوب و شمال منطقه مورد بحث قرار دارند. گرانیت زیرگان به‌صورت یک توده ساب و لکانیک دیده می‌شود که گاه یک ریوداسیت تا کوارتز پورفیری را تداعی می‌کند. در حالی‌که توده گرانیت چاه چوله با بافت غالباً گرانولار و دانه‌درشت است. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و نتایج آنالیز مدال [۱۶] مشخص شد که سنگ‌های آن‌رین دو منطقه زیرگان و چاه چوله دامنه ترکیبی از آکالی فلدسپار گرانیت؛ سینوگرانیت تا کوارتزسینیت و مونزوگرانیت تا کوارتز مونزونیت را شامل می‌شوند.

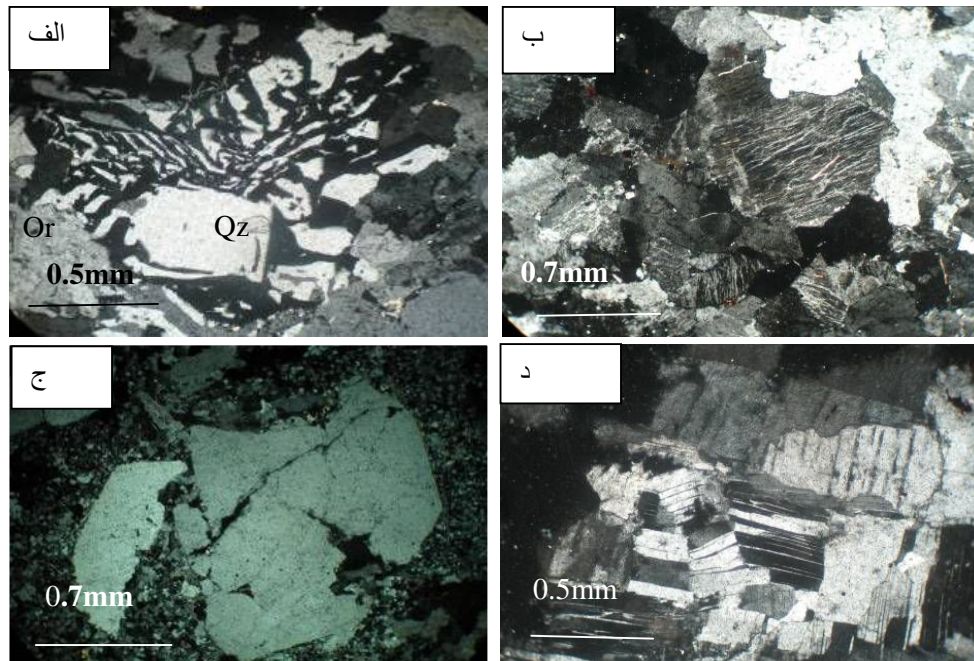
بافت این سنگ‌ها اغلب گرانولار و گرانولار پورفیریتی تا متمایل به پورفیری است. این سنگ‌ها گاهی نیز بافت کاتاکلاستی دارند که با خاموشی موجی در دانه‌های کوارتز و به‌طور کلی ترک‌خوردگی دانه‌ها مشخص است. فلدسپات آکالن، کوارتز و پلاژیوکلاز عمده کانی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها هستند. زیرکن، اسفن، مونازیت و کانی‌های اپک (از جمله مانیتیت، همتیت و یا پیریت) از جمله کانی‌های فرعی و سریسیت، کلریت، اپیدوت، کانی‌های رسی و کربنات‌ها جزو کانی‌های ثانویه این طیف از سنگ‌ها هستند. از ویژگی‌های خاص این سنگ‌ها وجود بافت‌های میرمکتی و گرانوفیری بسیار زیاد و زیبا در نمونه‌ها است.

عمده‌ترین کانی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها فلدسپات آکالن است که معمولاً به‌صورت بلورهای ساب اتومورف از ارتوز و کمی میکروکلین با ماکل‌های کارلسباد و مشبک دیده می‌شود. فلدسپات‌های آکالن دارای کوارتز گرافیکی در درون یا در حاشیه خود هستند (شکل ۲ الف). همچنین در بعضی نمونه‌ها، هم‌رشدی گرانوفیری با کوارتز دیده می‌شود. پرتیت‌ها معمولاً از نوع رشته‌ای هستند که در آن‌ها تیغه‌های آلبیتی به‌صورت رشته‌های ظریف و گاه درشت غالباً در جهت‌های تقریباً موازی رشد کرده‌اند (شکل ۲ ب). در بیشتر موارد حواشی فلدسپات‌ها مضرس و از حاشیه جانشین پلاژیوکلاز شده است و در بعضی جاها لکه‌هایی از فلدسپات آکالن درون پلاژیوکلازها دیده می‌شود که شروع جانشینی را به نشانه متاسوماتیسم نشان می‌دهند [۱۷]. همچنین در محل تماس بلورهای پلاژیوکلاز یا فلدسپات‌های آکالن، هم‌رشدی کوارتز و پلاژیوکلاز به‌صورت میرمکتی وجود دارد. جانشین شدن فلدسپات‌های آکالن به جای پلاژیوکلاز از حاشیه یا لکه‌های فلدسپات آکالن درون پلاژیوکلاز کاملاً مشخص و مشهود است. حواشی مضرس در کانی‌ها مشخص است و می‌تواند نشان‌دهنده وقوع پدیده متاسوماتیسم باشد [۱۷]. به‌علت ورود سیالات و دگرسانی، فلدسپات آکالن غبارآلود و آرژیلی شده است.

بلورهای کوارتز اغلب بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار، به ابعاد کمتر از ۱ میلی‌متر تا ۴ میلی‌متر، گاه به‌صورت مگاگریت‌های با اندازه ۲ سانتی‌متر، با حواشی گرد شده یا خلیجی دیده می‌شود. در بعضی موارد این مگاگریت‌ها، در اثر فشارهای تکنونیک، شکسته و خرد شده و بافت کاتاکلاستی را به‌وجود آورده‌اند (شکل ۲ ج). اجتماع پلی کریستالین کوارتز، به‌ندرت همراه با فلدسپات پتاسیم نیز در بعضی نمونه‌ها دیده می‌شود. مهاجرت مرز دانه‌ای و تبلور مجدد در این کانی‌ها حاکی از تحمیل تنش و رخداد دگرشکلی بر این سنگ‌هاست.

پلاژیوکلاز در اشکال شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، در اندازه چند دهم میلی‌متر تا ۳ میلی‌متر و گاه مگاکریست به اندازه ۲ سانتی‌متر، به مقدار به‌مراتب کمتر از فلدسپات آلکالن در این سنگ حضور دارد. ماگل پلی سنتتیک و آلبیتی در این کانی‌ها دیده می‌شود. پلاژیوکلاز گاه به نشانه متاسوماتیسم دارای انکلوزیون‌هایی از کانی‌های کوارتز، اپیک، بیوتیت و زیرکن است و خود نیز گاهی به‌صورت انکلوزیون درون فلدسپات‌های آلکالن قرار دارد. بعضی از پلاژیوکلازها تحت تأثیر فرایند متاسوماتیسم در حاشیه تبدیل به ارتوز یا میکروکلین شده‌اند. پلاژیوکلازها گاهی تجمع موضعی (گومری) پیدا کرده و به‌صورت دانه‌های ریز موزاییکی در کنار یکدیگر جمع شده‌اند (شکل ۲د). بعضی از این دانه‌ها دارای هم‌رشدی با کوارتز بوده و به‌صورت میرمکیت ظاهر شده‌اند. بیش‌تر پلاژیوکلازهای این طیف از سنگ‌ها دگرسان شده و به مجموعه‌ای از کانی‌های سریپیتی و رسی تبدیل شده‌اند. تأثیر فشارهای تکتونیکی در منطقه به‌نحوی است که در بعضی نمونه‌ها باعث خمیدگی ماگل بلورهای آلبیتی می‌شود و در بعضی دیگر سبب شکستگی بلور و حتی جابه‌جایی می‌شود. در بعضی نمونه‌ها پدیده متاسوماتیسم باعث از بین رفتن منطقه‌بندی و از بین رفتن ماگل آلبیتی شده است که فقط هاله‌ای از ماگل مشاهده می‌شود. بیوتیت به موسکویت تبدیل شده است.

از کانی‌های فرعی، زیرکن به‌صورت بلورهای اتومورف، اسفن به‌صورت بلورهای بی شکل، کانی‌های اپیک (اکسید آهن) به مقدار کم و مونازیت به‌صورت بلورهای ساب اتومورف در این سنگ‌ها دیده می‌شوند.



شکل ۲. الف) بافت‌های گرانوفیری در گرانیت زیرگان. ب) پرتیت رشته‌ای. ج) شکستگی بلور کوارتز (ساب گرین) در اثر تنش تکتونیکی در گرانیت چاه چوله د) شکستگی پلاژیوکلاز در اثر تنش و تجمع موزاییکی

## بحث

کمیته جهانی IUGS، متاسوماتیسم را بدین شرح توصیف کرده است [۱۷]:

«متاسوماتیسم فرآیندی است که بدان وسیله ترکیب شیمیایی یک سنگ یا بخشی از یک سنگ به نحو وسیعی تغییر می‌کند که لازمه آن واکنش سنگ با سیالات یا محلول‌های آبی و ورود و خروج عناصر شیمیایی در محیط واکنش است، به نحوی که سنگ در حالت جامد باقی می‌ماند. سنگ‌های متاسوماتیک به‌طور کلی، ساخت و بافت گرانولیتیک یا گرانوبلاستیک دارند. این سنگ‌ها دانه درشت یا دانه ریز هستند و گاهی ممکن است ساختار نواری را نمایش دهند که بر ساختارهای پیشین سنگ سوار یا رو نقشی می‌شوند».

تفریق گرمایی نظریه‌ای جدید است که توضیح تازه‌ای را برای منشأ سنگ‌های گرانیتی ارائه می‌کند. بر اساس نظریه ارائه شده [۱۷] یک فرآیند متاسوماتیک سنگ‌های مافیک را به محصولات پایانی گرانیتی تبدیل می‌کند. در خلال این فرآیند، میرمکیت، که یک هم‌رشدی کرمی شکل کوارتز-پلاژیوکلاز است، تشکیل می‌شود که کلیدی برای فهم چگونگی رخداد این فرآیند است. کولینز (۱۹۸۸) [۱۸]، بر اساس معیارهای صحرایی و سنگ‌شناختی، گرانیت‌های ماگمایی و متاسوماتیک (E-type) را بدین شرح مقایسه کرده است:

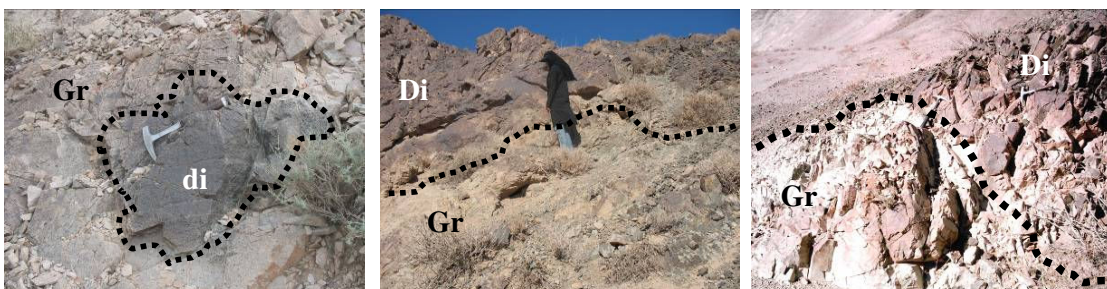
مشخصات گرانیت‌های متاسوماتیک	مشخصات گرانیت‌های ماگمایی
۱. وجود منطقه تغییر و تبدیل بین گرانیت و سنگ میزبان.	۱. مرز مشخصی با سنگ در برگیرنده دارند.
۲. وجود شواهدی از بافت‌های جانشینی بسیار مشخص در بین کانی‌ها.	۲. سنگ‌های در برگیرنده را قطع کرده و باعث دگرگونی مجاورتی این سنگ‌ها می‌شوند.
۳. نبود شواهدی برای آناتکسی.	۳. دارای یک حاشیه دانه‌ریز در محل همیری هستند.
۴. نبود مدرکی از اختلاط ماگمایی.	۴. وجود مدرکی برای آناتکسی.
۵. نبود انکلاوهای مافیک.	۵. وجود شواهدی برای آمیختگی ماگمایی.
۶. نبود حفره‌های میارولیتی و انتقال تدریجی به ریولیت.	۶. هضم انکلاوها.
۷. فقدان زونینگ در پلاژیوکلازها و شروع به امحای زونینگ.	۷. حضور حفرات میارولیتی و تغییر تدریجی تا ریولیت.
۸. فقدان زونینگ شیمیایی در فلدسپات پتاسیم.	۸. وجود پلاژیوکلاز با زونینگ نرمال یک نشانه منطقی از گرانیت با منشأ ماگمایی است.
۹. سطح تماس خلیجی شده و نامنظم فلدسپات پتاسیم.	۹. وجود یک زونینگ شیمیایی در فلدسپات پتاسیم.
۱۰. در هم رشدی فلدسپات پتاسیم-کوارتز و تشکیل بافت میرمکیت.	۱۰. مجاورت مشخص و منظم فلدسپات پتاسیم با دیگر بلورها.
۱۱. حضور بافت‌های غربالی کوارتز در بیوتیت و هورنبلند.	۱۱. نبود بافت‌های در هم رشدی مثل میرمکیت.
۱۲. غیر عادی بودن توالی تبلور کانی‌ها.	۱۲. نبود بافت‌های غربالی کوارتز در هورنبلند و بیوتیت.
۱۳. این مدل، مسئله و مشکل فضا در باتولیت‌های گرانیتی را حل می‌کند.	۱۳. روند تبلور کانی‌ها در آن‌ها عادی است.

بررسی‌ها و مشاهده‌های صحرایی و سنگ‌شناسی در منطقه زیرگان، از وقوع نوعی تفریق گرمایی حکایت دارند. به این صورت که توده‌های مافیک منطقه (دیوریت تا گابرو) یا توف‌های متعلق به سری ریزو (معین وزیری، گفتگوی شفاهی) تحت تأثیر سیالات گرمایی حامل K، Na و Si قرار گرفته‌اند و در اثر متاسوماتیسم به سنگ‌های اسیدی گرانیتی تبدیل شده‌اند. در اثر این فرآیند، پلاژیوکلاز سنگ‌های دیوریتی و گابرویی اولیه به

فلدسپات آلکان و پتاسیک و میرمکیت تبدیل شدند و کانی‌های مافیک نیز جای خود را به کوارتز داده‌اند. به اعتقاد [۱۷] عناصر فرومنیزین پس از مهاجرت از سنگ اولیه، در جای دیگری دایک‌های مافیک را می‌سازند.

### شواهد صحرایی متاسوماتیسم

رابطه صحرایی بین دو توده گرانیتی و سنگ‌های دیوریتی- گابرویی در منطقه زیرگان، به‌صورتی آشکار نشان می‌دهد که چگونه یک توده آذرین با ترکیب حد واسط تا مافیک، به‌تدریج اما به‌طور نامنظم به سنگی فلسیک و گرانیتی تبدیل می‌شود. چنان‌که محققان [۱۷] و [۱۸] و [۱۹] مطرح کرده‌اند، نخستین شرط زمینه برای انجام متاسوماتیسم و تفریق گرمایی، دگرشکلی کاتاکلاستیکی و تغییر شکل مکانیکی سنگ اولیه است، زیرا برای ورود سیالات به درون سنگ، وجود نفوذپذیری و تخلخل ضروری است. منطقه زیرگان، با تکتونیک فعال از ادوار کهن تا کنون، در مقیاس‌های مختلف پهنه‌ای ریفتی ناحیه‌ای تا زون‌های کششی محلی و ساختارهای تکتونیک موضعی (درزه‌ها و شکستگی‌ها)، فضاهای لازم را برای انتشار سیالات و وقوع پدیده‌های متاسوماتیسم و دگرسانی گرمایی فراهم آورده است. به‌عبارت دیگر، شواهد صحرایی نشان داده‌اند که اگر نه همه حجم گرانیت زیرگان (در چاه چوله)، ولی بخش عمده‌ای از این توده (در زیرگان) از طریق واکنش‌های متاسوماتیک و پدیده تفریق گرمایی از یک توده مافیک تشکیل شده است (شکل ۳). ساختارهای تکتونیک آن دوره بیش‌تر برای شمالی- جنوبی داشته‌اند و متاسوماتیسم هم این روند را تعقیب کرده است. از سوی دیگر، پس از تشکیل این توده نیز حوادث تکتونیک و تغییر شکلی، بسترهای لازم را برای ورود سیالات و انجام واکنش‌های متاسوماتیک و تشکیل توده‌ها و رگه‌های کوارتز- فلدسپاتی فراهم کرده‌اند (شکل ۴). گرانیت زیرگان منشأ توف داشته که در نتیجه متاسوماتیسم به‌صورت تدریجی به گرانیت پورفیروئیدی و متاتوف تبدیل شده است [گفتگوی شفاهی با معین وزیری].



شکل ۳. تصاویری از تبدیل تدریجی دیوریت (Di) به گرانیت (Gr)



شکل ۴. رگه‌های کوارتز-فلدسپاتی در گرانیت زیرگان

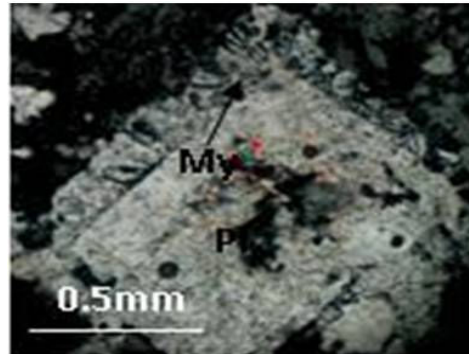
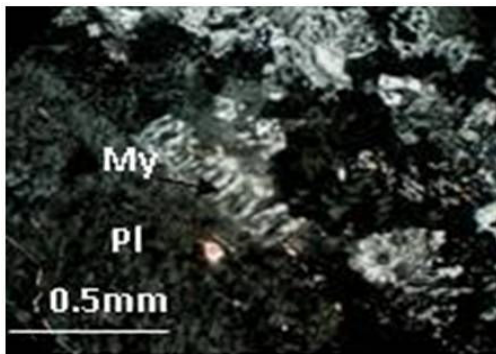
### شواهد بافتی متاسوماتیسم

در نمونه‌های این توده‌ها، بافت میرمکیتی مشاهده می‌شود. در سال‌های اخیر محققان بسیاری، از جمله [۱۷] و [۱۸] و [۲۰] از بافت‌های موجود در سنگ‌های آذرین (مانند پرتیت و میرمکیت) برای تعیین ویژگی کانی‌ها و فرآیندهای ماگمایی استفاده کرده‌اند.

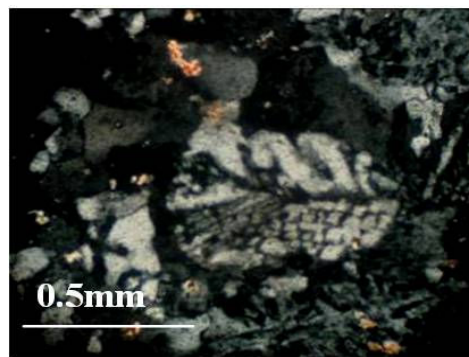
میرمکیت به اشکال مختلف تشکیل شده است. [۲۱] میرمکیت را به انواع حاشیه‌ای، منفرد، بین دانه‌ای (دو فلدسپات آلکالن) و دو لخته‌ای (با زنده‌های موسکویت) تقسیم کرده است. میرمکیت حاشیه‌ای، در تماس پلاژیوکلاز با فلدسپات آلکالن و میرمکیت منفرد از نوع موجود در فلدسپات آلکالن است. میرمکیت زائده‌دار، در حاشیه یک بلور درشت فلدسپات آلکالن و با یک انحنا بدان سمت قرار می‌گیرد (شکل‌های ۵ و ۶).

در منابع به‌منظره‌های مختلفی در ارتباط با تشکیل میرمکیت‌ها اشاره شده است (مانند [۲]: ۱) رشد هم‌زمان یا بلوری‌شدن مستقیم از یک سیال. ۲) رشد دوباره کوارتز به‌صورت میرمکیت. ۳) جانشینی پلاژیوکلاز به‌وسیله فلدسپات آلکالن. ۴) اکسولوشن (جدایش در طول سرد شدن). ۵) جانشینی فلدسپات آلکالن با پلاژیوکلاز که موجب آزادسازی سیلیس می‌شود. ۶) بلوری شدن دوباره پلاژیوکلاز در طول دگرسانی گرمایی در سنگ‌های دگرریخته. ۷) نظریه‌های ترکیبی.

در صورتی که میرمکیت در اثر جانشینی در پلاژیوکلاز به‌وجود آید، در بافت و کانی‌شناسی سنگ تغییراتی دیده می‌شود [۲] و طی این فرآیندها منطقه‌بندی پلاژیوکلازها از بین می‌رود. در منطقه بررسی شده به‌منظر می‌رسد که دست کم برخی از میرمکیت‌ها در اثر جانشینی پلاژیوکلاز به‌وسیله فلدسپات آلکالن تشکیل شد. به نظر معین‌وزیری (گفتگوی شفاهی) وجود انکلوزیون‌هایی از کوارتز، بیوتیت، زیرکن و کانی اپیک در بلورهای پلاژیوکلاز حاکی از عمل‌کرد فرآیند متاسوماتیسم در منطقه است.



شکل ۵. بافت میرمکیت حاشیه‌ای



شکل ۶. بافت میرمکیت زانده‌ای و منفرد

### شواهد کانی‌شناسی متاسوماتیسم

شواهد کانی‌شناسی زیر گویای وقوع پدیده متاسوماتیسم در منطقه است:

۱. نبود زون‌بندی در پلاژیوکلازها: در حالت طبیعی در ماگمای داغ، پلاژیوکلازها به‌گونه‌ای متبلور می‌شوند که در قسمت مرکز کلسیک‌تر و در حاشیه سدی‌کتر هستند و در نتیجه زون‌بندی نرمالی را نشان می‌دهند [۲۲]، ولی در فرایند متاسوماتیسم، به‌دلیل واکنش بین سیال و پلاژیوکلاز و تبدیل بخشی آن به فلدسپار پتاسیم، زون‌بندی در پلاژیوکلاز از بین می‌رود. با ادامه فرایند متاسوماتیسم، ماکل نیز در پلاژیوکلازها از بین خواهد رفت. زیرا به‌علت از دست دادن Ca و Al در طی متاسوماتیسم، حفره‌هایی در شبکه بلورین ایجاد می‌شود که در این حالت با ورود پتاسیم، پلاژیوکلاز به فلدسپات آلکالن تبدیل می‌شوند [۱۸]. در منطقه بررسی شده نیز زون‌بندی در بلورها از بین رفته است و چون ماکل پلاژیوکلازها هنوز کامل از بین نرفته است، می‌توان گفت در بعضی از قسمت‌های این منطقه متاسوماتیسم پیشرفته نیست (شکل ۹ الف)، اما در هر جا که دگرریختی شدید است یا ساختارهای تکتونیکی دانسیته بیشتری داشته‌اند، زون‌بندی و ماکل کانی‌ها به کلی محو شده است.

۲. عدم مشاهده زونینگ در فلدسپات آلکالن: در مذاب دمای بالا، هسته بلورهای فلدسپات آلکالن نسبت به حاشیه آن، که در دمای پایین‌تر متبلور می‌شوند، غنی از Ba, Pb, Ca است [۱۸]. در پدیده متاسوماتیسم، به

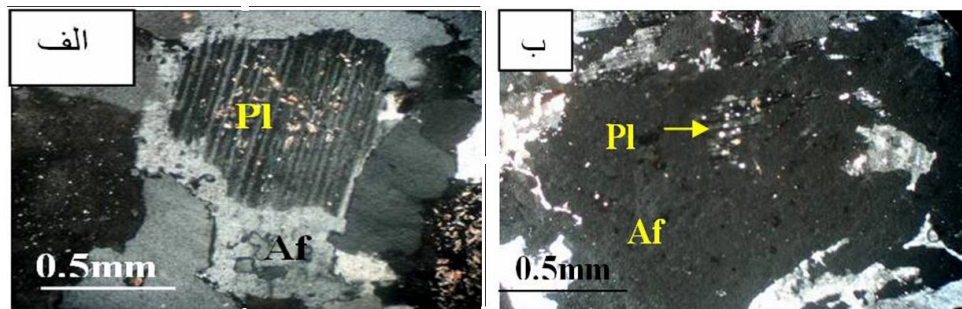
علت این‌که فلدسپات آلکالن در دمای تقریباً ثابت جای‌گزین پلاژیوکلاز می‌شود، تمایلی به ایجاد زون‌بندی از حاشیه به مرکز ندارد. از طرف دیگر فرار  $Pb$ ,  $Ba$  و  $Ca$  در اثر پدیده متاسوماتیسم از پلاژیوکلاز که با فلدسپات آلکالن جانشین شده، باعث از بین رفتن منطقه‌بندی در کانی می‌شود [۱۸].

۳. **جانشینی پلاژیوکلاز به وسیله فلدسپات آلکالن:** در بیشتر موارد فلدسپات آلکالن از حاشیه جانشین پلاژیوکلاز شده است و در بعضی جاها لکه‌هایی از فلدسپات آلکالن درون پلاژیوکلازها دیده می‌شود که شروع جانشینی را نشان می‌دهند (شکل‌های ۷ و ۸).

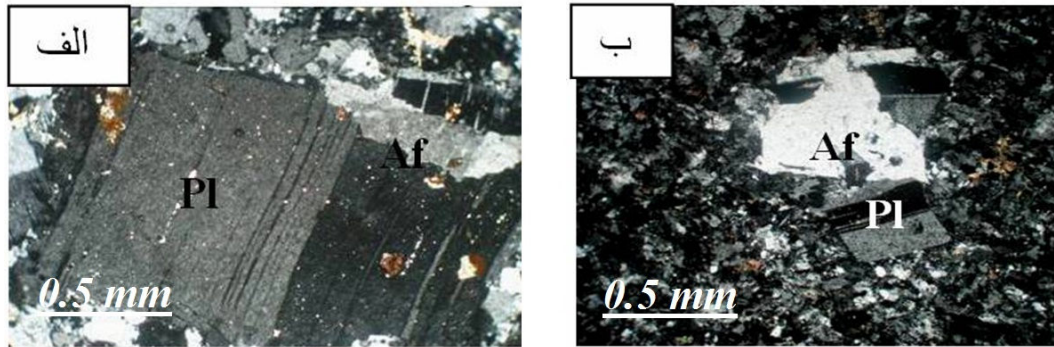
۴. **مرز نامنظم بین فلدسپات آلکالن و کانی‌های دیگر:** در متاسوماتیسم آلکالن که پلاژیوکلاز به فلدسپات آلکالن تبدیل می‌شود، ابتدا قسمت‌های داخلی پلاژیوکلاز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در مراحل بعد، فلدسپات آلکالن ممکن است از مرز بلورهای پلاژیوکلاز اولیه هم فراتر رود، در نتیجه مرز این بلورها با بلورهای مجاور نامنظم است [۱۸] (شکل ۸ ب).

### شواهد ژئوشیمیایی متاسوماتیسم

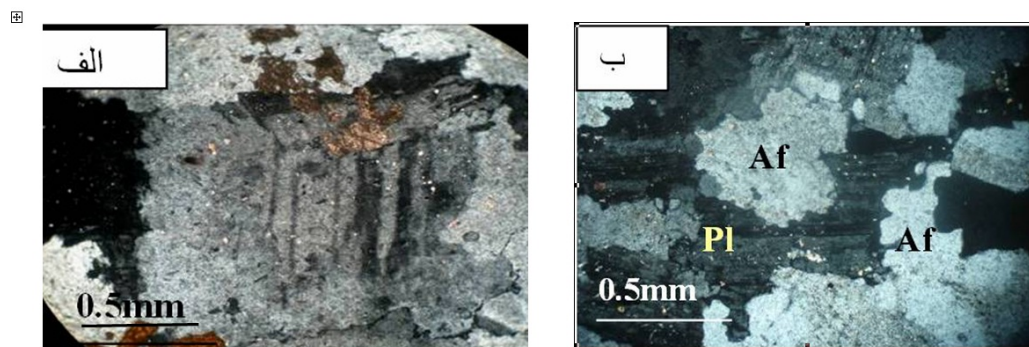
در زمینه ژئوشیمی سنگ‌های حاصل از فرآیند متاسوماتیسم، اطلاعات کمتری وجود دارد. مقایسه داده‌های موجود با توده‌های مورد بحث، گرچه اندک اما مؤید شواهد صحرایی و میکروسکوپی مبنی بر وقوع متاسوماتیسم و تشکیل توده‌های اسیدی و گرانیتی از سنگ‌های مافیک قدیمی‌تر است. در بررسی ژئوشیمیایی، به‌عنوان نمونه روند غیرخطی (یا خطی قائم) در نمودارهای  $Na-SiO_2$  و  $K-SiO_2$  و  $Rb-SiO_2$  و  $Ba-SiO_2$  مشاهده می‌شود (شکل ۱۰) که این پدیده نیز ناشی از متاسوماتیسم است [۲۳]. در واقع، در دامنه محدودی از  $SiO_2$  (شکل ۱۰) مقادیر عناصر نوسان زیادی را نشان می‌دهد. این امر با مراتب شدت و ضعف دگرشکلی و دانسیته متفاوت ساختارهای تکتونیکی که بستر انتشار سیالات هستند تفاوت در مراتب متاسوماتیسم را توضیح می‌دهد. در شرایط معمولی، نمونه‌های گرانیتی معمولاً روند خطی مثبت نشان می‌دهند، به شرطی که توده گرانیتی ترکیب سنگ‌شناسی متنوعی داشته باشد.



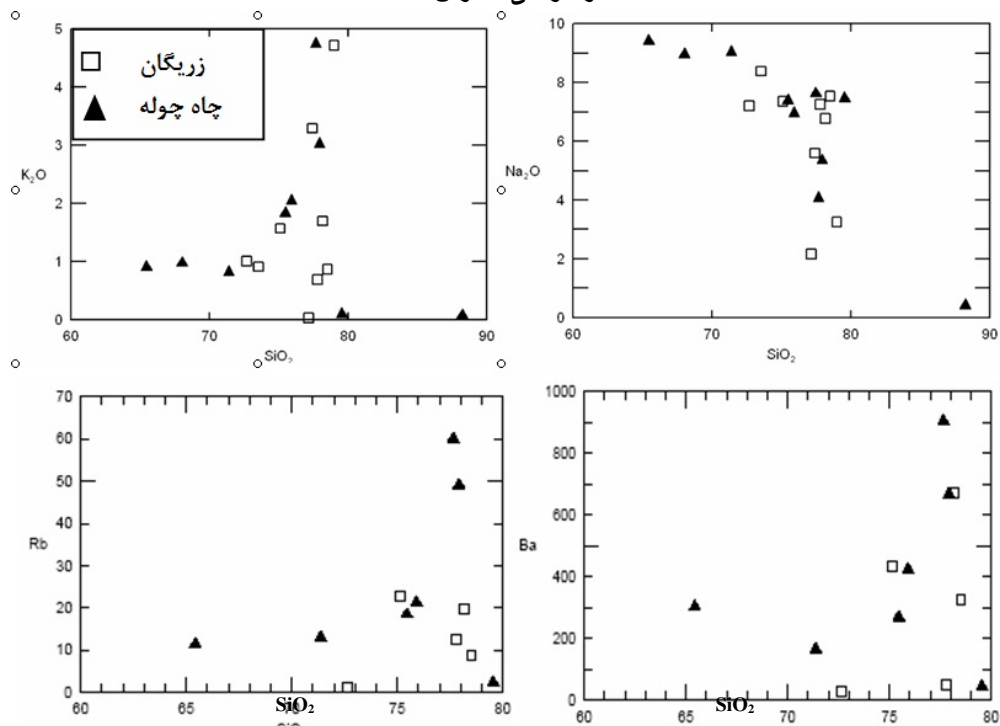
شکل ۷. الف) شروع جانشینی فلدسپات آلکالن از حاشیه پلاژیوکلاز (ب) باقی ماندن پلاژیوکلاز مانند جزیره‌ای در وسط فلدسپات آلکالن



شکل ۸. الف) ماکل خمیده آلبیتی پلاژیوکلاز و شروع جانشینی فلدسپات آلکان از حاشیه ب) جانشینی فلدسپات آلکان در مرکز پلاژیوکلاز

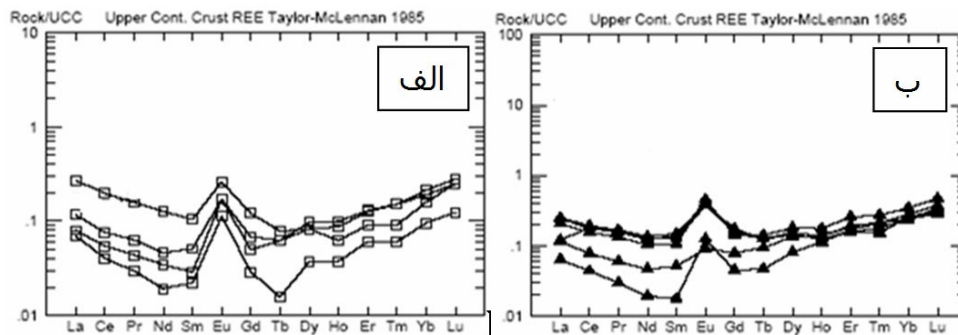


شکل ۹. الف) محو شدن ماکل آلبیتی، جانشین شدن فلدسپات آلکان ب) جانشین شدن فلدسپات آلکان از حاشیه پلاژیوکلاز و حواشی مضرس



شکل ۱۰. روند غیرخطی نمونه‌ها در نمودار  $\text{Ba-SiO}_2$  و  $\text{Rb-SiO}_2$  و  $\text{K-SiO}_2$  و  $\text{Na-SiO}_2$

آنومالی مثبت Eu در نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب (شکل ۱۱) یکی دیگر از شواهد ژئوشیمیایی در این نمونه‌هاست که ناشی از متاسوماتیسم و گرانیتزایی است [۲۴]. در شرایط معمولی، نمونه‌ها دارای آنومالی منفی Eu هستند. آنومالی مثبت Eu معمولاً در کمپلکس‌های پرکامبرین پیدا می‌شود و در سنگ‌های جوان نادر است. همچنین در سنگ‌های دگرریخته و تکتونیزه، سیالاتی که از اعماق زیاد مهاجرت کرده و در درزه‌ها و شکاف‌ها منتشر می‌شوند باعث متاسوماتیزه شدن سنگ و گرانیتزایی می‌شوند، که حاصل کار، ایجاد آنومالی مثبت Eu است [۲۴]. از شواهد دیگر، غنی‌شدگی و افزایش مقدار  $\text{SiO}_2$  در این نمونه‌هاست (جدول ۲) که این پدیده نیز ناشی از متاسوماتیسم است [۲۴].



شکل ۱۱. نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب توده گرانیتی چاه چوله (الف) و زیرگان (ب) نسبت به پوسته فوقانی نرمالیزه شده Taylor-McLennan (1985)

### نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های انجام شده در پژوهش حاضر و به استناد شواهد صحرایی، میکروسکوپی و ژئوشیمیایی و با توجه به معیارهایی که [۱۸] معرفی کرده است، توده‌های گرانیتی منطقه، به‌ویژه در نیمه جنوبی (زیرگان)، شباهت‌های زیادی با گرانیت‌های نوع E-type یا متاسوماتیت دارند. از سوی دیگر، وجود پلاژیوکلاز با زونینگ عادی و بافت‌های گرانوفیری و گرافیکی، وجود انکلاو مونزوگرانیتی حاکی از منشأ ماگمایی این توده‌ها به‌ویژه نیمه شمالی (چاه چوله) و تبلور در شرایط اوتکتیک است. سن این توده‌ها همچنان محل بحث است. از سوی دیگر، شاید مطالعه ایزوتوپی رادیوژنیک علاوه بر تعیین سن، بتواند به روشن شدن ماهیت این توده‌ها کمک کند.

### منابع

1. L. G. Collins, "Metasomatic Origin of the COOMA complex in southeastern Australia" (1998).

2. J. S. Rong, "Myrmekite formed by Na- and Ca-Metasomatism of K-feldspar", Beijing Research Institute of Uranium Geology (2002).
3. S. Iwao, M. Zahedi, "Geology and iron ore deposit of Tchador Malu mine: Geol. Sur. Iran", Geol. Note No. 26 (Unpublished) (1966).
4. A. Houshmandzadeh, "Metamorphism et granitisation du massif Chapedony (Iran central): These", Univ. Grenoble (1969) 242.
۵. علی درویش‌زاده، بررسی فسفات بافق (سفوردی)، نشریه شماره ۱۳، جلد ۱ و ۲ مجله دانشکده علوم دانشگاه تهران، (۱۳۶۲) ص ۲-۲۴.
۶. بهرام سامانی، بهرام، پدیده‌های زمین‌شناسی و کانی‌شناسی اورانیوم در منطقه ساغند ایران مرکزی، مجموعه مقالات سمینار بررسی ذخایر و توان معدنی استان یزد، وزارت معادن و فلزات، اداره کل معادن و فلزات (۱۳۶۷).
۷. بهرام سامانی، فلنزایی پرکامبرین در ایران مرکزی (بخش اول)، نشریه علمی سازمان انرژی اتمی، شماره ۱۷، (۱۳۷۷).
۸. پوران بهنیا، پتروژن‌گرانیئوئیدهای منطقه قوشچی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران (۱۳۷۴).
۹. علی آقانیاتی، زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳).
۱۰. عبدالعظیم حق‌پور، زمین‌شناسی منطقه زیرگان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران (۱۳۴۶).
11. J. Ramezani, "Regional geology, geochronology and geochemistry of the igneous and metamorphic rock sites of the Saghand area", central Iran, Ph.D thises, Washington Univ. (1997) 387.
۱۲. مجیدی و باباخانی، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ آرینز. انتشارات سازمان زمین‌شناسی (۱۳۷۹).
۱۳. امینی، پشت کوهی و رشید، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بافق. انتشارات سازمان زمین‌شناسی (۱۳۸۳).
۱۴. قائمی و سعیدی، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چادرملو. انتشارات سازمان زمین‌شناسی (۱۳۸۵).
۱۵. سهیلی و مهدوی، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سفوردی. انتشارات سازمان زمین‌شناسی (۱۳۷۰).
16. A. L. Streckeisen, "Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of Igneous Rocks. Inter", Jour of Earth Sci, 63, (1979) 773-786.
17. L. G. Collins, "Hydrothermal differentiation and myrmekite", A clue to many geological puzzles, Theophrastus Publication (1988) 387.
18. L. G. Collins, "Contrasting characteristics of magmatic and metasomatic granites and the myth that granite plutons can be only magmatic", ISSN 1520-5757 (1997).

19. V. A. Zharikov, N. N. Pertsev, V. L. Rusinov, E. Callegari, D. J. Fettes, "Metasomatism and metasomatic rock", Nauchnyi Mir, Moscow, (In Russian) (1998).
20. L. G. Collins, "Granite, a new kind of "evolved" granitic plutonic rock that is formed where K and Si are mobilized" (2007).
21. E. R. Phillips, "Myrmekite, One hundred years later: Lithos", 7 (1979) 181-194.
22. D. Shelly, "Igneous and metamorphic rocks under the microscope", Chapman & Hall, London (1993) 445.
۲۳. فریبرز مسعودی، محبوبه جمشیدی‌بدر، زهرا صالحی، کاربرد شواهد کانی‌شناسی و بافتی در تشخیص متاسوماتیسم آلکالن در استوک گرانیتوئیدی دودهک (شمال شرق محلات)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی (۱۳۸۶).
24. E. N. Terekhov, T. F. Shcherbakova, "Genesis of positive Eu anomalies in acid rocks from the Eastern Baltic Shield", Moscow (In Russian) (2005).