



دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده علوم پایه

پایان نامه کارشناسی ارشد

زمین شناسی - گرایش پتروولوژی

بررسی های ژئوشیمیایی، پتروژنز و پتانسیل معدنی توده گرانیتوئیدی تربت جام (فیروزکوه)

استاد راهنما:

دکتر مرتضی رزم آرا

اساتید مشاور:

دکتر خسرو ابراهیمی

مهندس حسین عباس نیا

نگارنده:

محمد عظیم یوسفی

بهار ۹۰

سنة ١٤٤٠ هـ

تقدیر و تشکر

شکر خداوند متعال را به جای آورده که توفیق نصیب من کرد تا این پایان نامه را به پایان برسانم.

تشکر و قدردانی فراوان خدمت پرور مادر عزیزم به خاطر تمامی زحماتی که در تمامی ادوار زندگی ام تحمل شدند. تقدیم به پدر و مادرم که به من چگونه زیستن را آموختند و دعای خیرشان بدرقه می‌راهم بود.

از استاد راهنمایم جناب آقای دکتر رزم آرا که با صبر و حوصله بسیار، مراد میران رساله هدایت فرمودند و همواره اینجانب را مورد تفقد قرار می‌دهند کمال تشکر را دارم. امیدوارم که در باقی مانده راه، توفیق بهره‌مندی از فیوضات علمی ایشان را داشته باشم.

از جناب آقای دکتر ابراهیمی، مهندس عباس نیا و دکتر تمام که همواره حامی دانشجویان هستند صمیمانه سپاسگزار می‌نمایم.

از سرکار خانم مهندس ناهید کاوسی که در پردازش تصاویر همواره ای زحمت فراوان کشیده اند مراتب قدردانی و سپاس را دارم.

از آقایان سجاد رشیدی، مسعود رحیم‌پناه و احمد حاجی شمسیانی که در امر تهیه سازی شبکه های عصبی مصنوعی یاری نموده اند بسیار تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از دوستان عزیزم آقایان مهرداد اسدی، هادی خورشید، هادی جهانگیر، حسین سدابی و هادی میری و هم چنین از اهللی خوشگرم روستای فیروزکوه که در طول

مدت عملیات صحرایی مشتاقانه همکاری می‌کردند تشکر می‌نمایم.

خدایا، عاقبت به خیری و عافیت و طول عمر را برای آنان از در گاهت مسئلت دارم.

چکیده

توده نفوذی استوک گرانیتوئیدی تاریک دره تربت‌جام که در موقعیت طول جغرافیایی $60^{\circ} 57'$ تا $60^{\circ} 47'$ و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 25'$ تا $35^{\circ} 30'$ شمالی قرار دارد با تلفیق روش‌های XRD, XRF, ICP-MS, RS و ANN مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج سنجش از دور (RS) و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ امکان تفکیک ۴ واحد سنگی کوارتز مونزودیوریت، کوارتز دیوریت، مونزوگرانیت و سینوگرانیت را فراهم نمود. با استفاده از تصاویر چندطیفی (Multispectral) استر تشخیص کانی‌های اصلی و کانی‌های فرعی انجام گرفت که تطابق بسیار خوبی با مطالعات کانی‌شناسی، پتروگرافی و آنالیزهای XRD منطقه نشان می‌دهد. یک مطالعه صحرایی به منظور تعیین توزیع نیمه کمی انکلاوهای میکروگرانولار مافیک در منطقه انجام شد. انکلاوهای MME حاصل برهم کنش سنگ‌های مافیک و ماگمای فلسیک هستند. رخنمون سنگ‌های حدواسط توده در قسمت شمالی و سنگ‌های فلسیک در مرکز منطقه می‌تواند بیانگر نفوذ مداوم و بدون وقفه ماگما باشد.

استوک گرانیتوئیدی تربت‌جام با سن نورین - باژوسین زیرین، توده‌ای نفوذی متآلومین تا کمی پرآلومین ($1/2$ - $ASI=0/7$) و کالکوالکالن پتاسیم بالا ($Na_2O < K_2O$) است.

بررسی ژئوشیمیایی عناصر REE، غنی‌شدگی عناصر LREE نسبت به MREE و HREE همراه با آنومالی منفی Eu را نشان داد. این شواهد بیانگر اهمیت تفریق پلاژیوکلاز و آمفیبول در طی تکامل این گرانیتوئید است. نتایج XRF و ICP-MS در دیاگرام‌های هارکر، تاثیر فرآیند تفریق توام با آغستگی را نشان می‌دهد. بررسی دقیق انکلاوهای میکروگرانولار مافیک (MME)، نسبت A/CNK کمتر از $1/2$ ، تغییرات منفی P_2O_5 و CaO در مقابل SiO_2 ، نسبت Fe_2O_3/FeO بالاتر از $0/4$ ، نمودارهای عناصر اصلی و کمیاب، رفتار عناصر کمیاب، فراوانی عناصر LILE از قبیل Th, U, Rb, K, La به همراه Pb، تهی‌شدگی عناصر HFSE و نیز مقایسه نمودارهای چندعنصری (عنکبوتی) که برپایه MORB نرمالیزه شده‌اند، همگی بیانگر این است که توده نفوذی تاریک‌دره از گرانیت‌های نوع I با منشا پوسته پایینی است. ژئوشیمی عناصر اصلی و

کمیاب نشان داد که گرانیتهای منطقه از نوع همزمان با برخورد که به خوبی منطبق با انواع VAG, CAG, و KCG است.

روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) امکان مشخص کردن زونهای مطلوب رخدادهای کانه سازی Au, W, و Sb، ارزیابی کارایی و نیز توانایی پیش بینی مدل را فراهم نمود. نتایج شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) نشان داد که بیشترین آنومالی طلا (بالا تر از ۴ ppm) در محدوده و مجاورت توده کوارتز دیوریتی، آنومالی تنگستن مربوط به محدوده مونزوگرانیت و سینوگرانیت و آنومالی آنتیمان مرتبط با محدوده‌های کوارتز دیوریت و مونزوگرانیت است.

Abstract

The granitoid stock at Tarik dareh (Torbat-e-Jam) which lies between 60° 47' to 60° 57' East longitudes and 35° 25' to 35° 30' North latitude was investigated using RS, XRD, XRF, ICP-MS, and ANN methods.

The Results of remote sensing (RS) and ETM⁺ images, provided a means for classification of lithological units into 4 units including quartzdiorite, quartzmonzodiorite, monzogranite and syenogranite. By using multi-spectral images of Aster, it was possible for identification of major and minor minerals. The results were in good agreement with mineralogical and petrographical studies of the units and XRD analysis. A field study to determine semi-quantitatively the distribution of mafic microgranular enclaves (MME) has been carried out in the area. MME enclaves are inferred to result from interactions between mafic rocks and felsic magmas. The exposure of intermediate rocks of the body in the northern part of the area and felsic one in the center can be represent of continous supply of magma without any disruption.

The granitoid stock with Norian-Bajocian (Upper Teriassic to Middle Jurassic) age is metalumnous to weakly peraluminous ($A/CNK=0.7-1.2$) and high-K calk alkaline ($Na_2O < K_2O$).

The geochemical study of REE elements showed enrichment of LREE in compare of MREE and HREE and depleted in Eu. These evidences indicated the importance of amphibole and plagioclase differentiation during the evolution of the granitoid in the area. The results of XRF and ICP-MS in Harker diagrams showed effect of differentiation process combined with contamination. A detailed study of MME enclaves, A/CNK ranges less than 1/2, a negative changes in CaO and P_2O_5 versus SiO_2 , the ratio of Fe_2O_3/FeO higher than 0.4, the major and trace elements diagrams, the behavior of trace elements, abundance of LILE elements such as Th, U, Rb, La, K and Pb, depletion of HFSE elements and comparison of multi-element (spider) diagrams, which normalized based on MORB, all of the them indicate that the Tarik Dareh intrusion is a highly evolved I-type granite originating from the lower crust. The geochemistry of major and trace elements showed syn-collisional granite area which is in good agreement with VAG, CAG and KCG types.

The Artificial Neural Networks (ANN) method allowed us to define favourability zones of occurrences of Au, W and Sb mineralizations and to assess the efficiency and the predictive

power of the model. ANN results showed the most of Au anomaly (higher than 4 ppm) can be observed in inner and adjacent of quartzdiorite unit, anomaly of W in monzogranite and syenogranite ones, but anomaly of Sb in the quartzdiorite and monzogranite parts.

فهرست

فصل ۱ کلیات

۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- طرح مساله و هدف از مطالعه	۱
۳-۱- روش مطالعه و تحقیق	۲
۴-۱- طبقه‌بندی گرانیتوئیدها	۴
۵-۱- منشا گرانیتوئیدها	۱۵
۶-۱- جابجایی ماگماهای گرانیتی	۲۳

فصل ۲ زمین شناسی منطقه

۱-۲- مقدمه	۳۴
۲-۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای	۳۵
۳-۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه	۴۲
۴-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی	۴۸
۵-۲- آب و هوا، پوشش گیاهی و جانوری	۵۰
۶-۲- وضعیت اجتماعی	۵۱
۷-۲- پیشنهاد مطالعاتی	۵۱

فصل ۳ مطالعات دورسنجی

۱-۳- مقدمه	۵۵
۲-۳- اساس کار سنجش از دور	۵۶
۳-۳- تفکیک واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه	۵۸
۴-۳- شناسایی گسل‌های منطقه مورد مطالعه	۵۸
۵-۳- تفکیک کانی‌شناسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های چند طیفی استر	۶۲
۶-۳- نتیجه‌گیری	۶۵

فصل ۴ پتروگرافی

- ۶۷-۱-۴- مقدمه
- ۶۸-۲-۴- نحوه نمونه برداری
- ۶۹-۱-۲-۴- نمونه برداری احتمالی (تصادفی)
- ۷۰-۲-۴- نمونه برداری غیر احتمالی (غیرتصادفی)
- ۷۱-۳-۴- واحدهای سنگی منطقه
- ۷۸-۴-۴- بافت شناسی
- ۸۱-۵-۴- انکلاوهای منطقه مورد مطالعه

فصل ۵ ژئوشیمی

- ۸۵-۱-۵- مقدمه
- ۸۸-۲-۵- عناصر اصلی
- ۸۹-۱-۲-۵- نامگذاری شیمیایی از طریق محاسبه کانیهای نورم
- ۹۰-۲-۲-۵- نامگذاری مستقیم با استفاده از عناصر شیمیایی
- ۹۴-۳-۲-۵- تعیین سری ماگمایی
- ۹۹-۴-۲-۵- بررسی شاخص اشباع از آلومین در سنگهای منطقه مورد مطالعه
- ۱۰۱-۵-۲-۵- بررسی ارتباطات ژنتیکی و تحولات ماگمایی سنگهای مورد مطالعه بر اساس روند تغییرات عناصر اصلی در نمودارهای متغیر
- ۱۰۵-۳-۵- عناصر کمیاب
- ۱۰۶-۱-۳-۵- روند تغییرات عناصر کمیاب بر اساس نمودارهای تیپ هارکر و نمودارهای انتخابی
- ۱۰۹-۲-۳-۵- روند تغییرات فلزات واسطه نسبت به SiO_2
- ۱۱۰-۳-۳-۵- روند تغییرات عناصر کمیاب در نمودارهای عنکبوتی
- ۱۱۳-۴-۵- عناصر نادر خاکی (REE)
- ۱۱۴-۱-۴-۵- نمودارهای عنکبوتی عناصر نادر خاکی (REE)
- ۱۱۷-۵-۵- نتیجه گیری

فصل ۶ منشا و موقعیت تکتونیکی

- ۱۲۰-۱-۶- مقدمه

- ۶-۲- منشأ گرانیته‌ها-----۱۲۰
- ۶-۳- طبیعت و منشأ گرانیته‌های تاریک‌دره تربت جام-----۱۲۰
- ۶-۳-۱- تعبیر و تفسیر گرانیته‌های منطقه با استفاده از نمودارهای پترولوژی گرانیته‌ها-----۱۲۶
- ۶-۴- جایگاه تکنونیک‌گرانیته‌ها-----۱۲۸
- ۶-۴-۱- جایگاه تکنونیک‌گرانیته‌های مورد مطالعه براساس عناصر اصلی-----۱۳۰
- ۶-۴-۲- جایگاه تکنونیک‌گرانیته‌های مورد مطالعه بر مبنای عناصر کمیاب-----۱۳۴
- ۶-۵- ارزیابی سنگ منشأ گرانیته‌های منطقه-----۱۳۷
- ۶-۶- تعیین مکانیزم جایگیری (Emplacement) توده نفوذی-----۱۳۹
- ۶-۷- نتیجه‌گیری-----۱۴۰

فصل ۷ مطالعات پتانسیل معدنی با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی

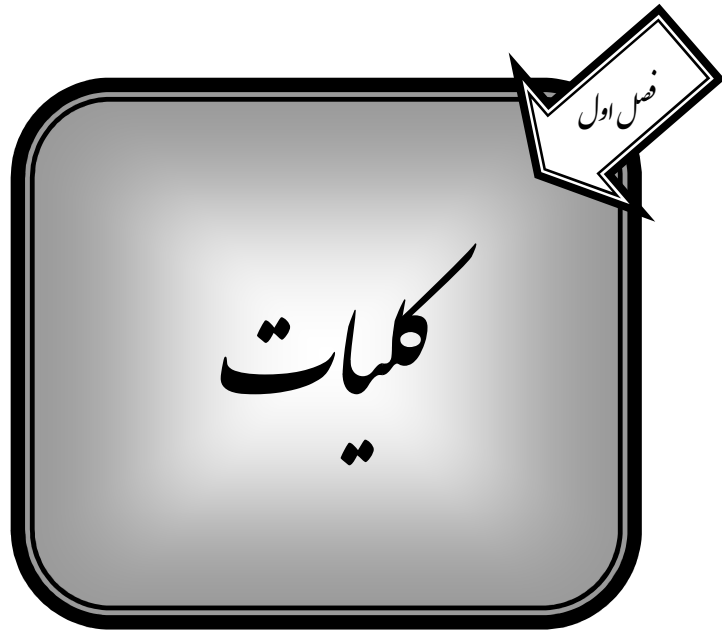
- ۷-۱- مقدمه-----۱۴۲
- ۷-۲- کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در منطقه مورد مطالعه-----۱۴۲
- ۷-۳- تهیه نقشه پیش‌بینی پتانسیل معدنی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی-----۱۵۲
- ۷-۴- نتیجه‌گیری-----۱۵۴

فصل ۸ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۸-۱- نتیجه‌گیری-----۱۵۶
- ۸-۲- پیشنهادات-----۱۵۹

پیوست

منابع و مأخذ



۱-۱- مقدمه

گرانیتوئیدها از سنگ‌های نفوذی عمده و قابل دسترس زمین هستند. مطالعه آنها جهت پی بردن به رشد و تحول پوسته قاره‌ای، شناخت فرایندهایی که در پوسته زمین رخ می‌دهند و ذخایر اقتصادی مرتبط با آنها اهمیت زیادی دارد. در زمینه ارتباط حجم و ترکیب این توده‌ها با شرایط ژئودینامیکی تشکیل آنها، ماهیت پوسته، کوهزایی، محیط دگرگونی، انکلاوهای مرتبط با این توده‌ها و ذخایر معدنی وابسته، مطالعات زیادی انجام شده است. چگالی متوسط گرانیت‌ها 2.75 g/cm^3 است. توده‌های گرانیتی به اشکال سیل، باتولیت، استوک و گروه توده‌های نفوذی یا کمپلکس‌های میگماتیته دیده می‌شوند. گرانیت‌ها معمولاً در ارتباط با مناطق آتشفشانی، سپرهای قاره‌ای و کمربندهای کوهزایی هستند که تعیین هر یک از این مناطق مستلزم مطالعات پترولوژیکی، ژئوشیمیایی و تکتونیک است که برای آن نیاز به شناخت رفتار ماگمای گرانیتوئیدی در مراحل مختلف نفوذ به پوسته است.

توده گرانیتوئیدی تربت‌جام یک استوک با رخنمونی با وسعت ۵۵ کیلومتر مربع است که در ۳۵ کیلومتری شمال شرق تربت‌جام در استان خراسان رضوی واقع است که بخش شرقی منطقه تاریک‌دره را تشکیل می‌دهد. این توده نفوذی دارای روند شمال غرب-جنوب شرق است و بعضی از محققین آنرا جزئی از کمربند بینالود در نظر گرفته‌اند (علوی نائینی، ۱۳۷۷). از نظر ارتباط سنی این توده با سازند میانکوهی (با لیتولوژی شیل قهوه‌ای زغال‌دار) و با توجه به وجود هورنفلس‌های درجه-پایین تا متوسط، سن جوانتری از این سازند را برای آن در نظر گرفته‌اند. بنابراین، سن این توده پس از نورین و قبل از بازوسین (اواخر تریاس تا اواسط ژوراسیک) است (علوی نائینی، ۱۳۷۷). تغییرات لیتولوژی در این توده از شمال به سمت جنوب توده شامل کوارتزادیوریت، گرانودیوریت و گرانیت است (علوی نائینی، ۱۳۷۷).

۱-۲- طرح مساله و هدف از مطالعه

ماگماهای گرانیتوئیدی جزو ماگماهای تحول‌یافته هستند. از اینرو مطالعه توده‌های گرانیتوئیدی می‌تواند به شناخت فرایندهای منجر به این تحولات کمک کند. مسایلی چون منبع زایش این ماگماها، نحوه تمرکز و انتقال مواد مذاب به ترازهای بالاتر پوسته، مکانیزم‌های جایگزینی و تاثیر آنها بر سنگ‌های میزبان از جمله مسایل مهم و مورد توجه

پترولوژیست‌ها است. از طرفی بسیاری از عناصر کانسار ساز بوسیله سیالات همراه این ماگماها انتقال می‌یابند و باعث کانی-زایی در سطوح بالایی پوسته می‌شوند. در این پژوهش اهداف زیر مورد توجه بوده است.

۱- شناخت واحدهای سنگی مختلف در توده گرانیتوئیدی جام

۲- مطالعات سنگ‌شناسی این توده

۳- تفکیک و طبقه‌بندی این توده

۴- بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی توده

۵- بررسی سری ماگمایی و موقعیت ژئوتکتونیک گرانیتوئید منطقه

۶- بررسی پتانسیل معدنی مرتبط با این توده

۱-۳- روش مطالعه و تحقیق

بررسی‌های زمین‌شناسی این پایان‌نامه از اواخر مرداد ماه ۱۳۸۸ با گردآوری و مطالعه منابع و اطلاعات به منظور برداشت-های زمین‌شناسی شروع و در آن از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ استفاده گردید. انجام این پژوهش در مراحل بعدی شامل مطالعات صحرایی، نمونه‌برداری، مطالعات میکروسکوپی و آزمایشگاهی، پردازش‌های نرم‌افزاری، تلفیق اطلاعات و نگارش پایان‌نامه بوده است. در مرحله اول که گردآوری و مطالعه منابع و اطلاعات بوده، خود شامل مراحل زیر بوده است.

○ تهیه و مطالعه منابع و مقالات معتبر در زمینه موضوع

○ جستجو در شبکه جهانی اطلاعات جهت تامین منابع به روز

○ گردآوری نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، عکس‌های هوایی و داده‌های خام ماهواره‌ای استر و ETM⁺ منطقه در مقیاس‌های مختلف

○ تهیه و مطالعه گزارش‌ها و مقالاتی که به نحوی با منطقه مورد مطالعه در ارتباط بوده‌اند.

انجام مطالعات دقیق صحرایی، پایه و اساس مطالعات بعدی این تحقیق بوده است. زیرا اعتبار نتایج حاصل از بررسی‌های آزمایشگاهی و آنالیزها، منوط به دقت لازم و کافی در بررسی‌های صحرایی است. مراحل مختلف مطالعات صحرایی به شرح زیر می‌باشد.

○ پیمایش صحرایی و برداشت نمونه‌های سطحی

○ بررسی تغییرات لیتولوژیکی در توده

○ بررسی آنکلاوهای موجود در توده

○ مطالعه تاثیر تزریق و جایگیری توده در سنگ میزبان

○ مطالعه آلتراسیون‌ها و کانی‌سازی

تعداد ۳۵ نمونه مقطع نازک جهت مطالعات سنگ‌شناسی، بافت و کانی‌شناسی تهیه گردید. آنالیز نمونه‌ها با احتساب آنالیزهای انجام شده توسط سازمان صنایع و معادن، شامل ۱۷۰ نمونه به روش ICP-MS و ۲۹ نمونه به روش XRF که جهت مطالعه رفتار عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و نادر خاکی است.

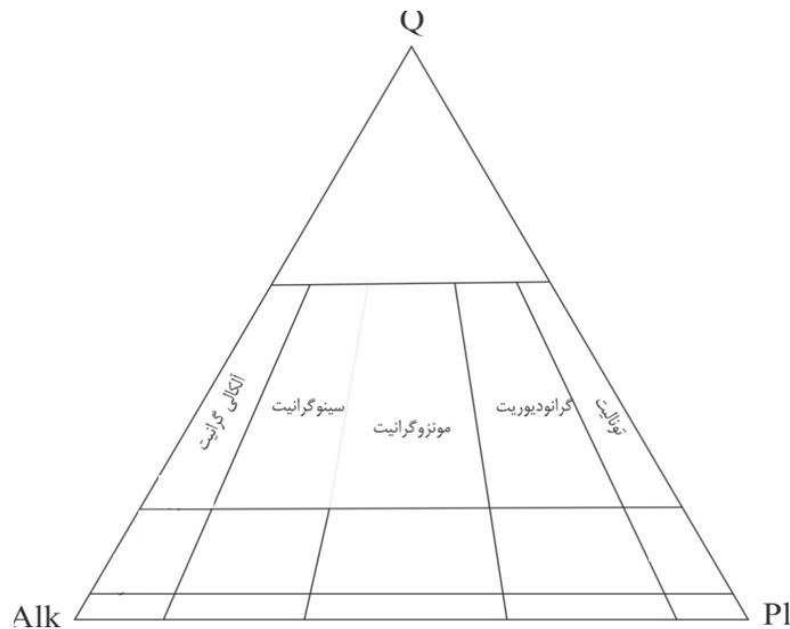
پردازش‌های نرم‌افزاری، تلفیق اطلاعات و نگارش پایان نامه از مراحل است که متفاوت با مراحل پیشین است. در گام-های قبل، تنها با ورودی اطلاعات سروکار داشتیم اما در این مرحله دو مساله مهم پردازش اطلاعات، تعبیر و تفسیر آنها و خروجی نتیجه‌گیری‌های صحیح، از مهمترین ارکان این پژوهش محسوب شده است. در این مرحله با استفاده از اطلاعات بدست‌آمده از مراحل پیشین، تعبیر و تفسیرها صورت گرفت و نتایج آن به صورت مقاله و پایان‌نامه تدوین گردید. در این بخش سعی شده است تا جدیدترین اطلاعات در رابطه با گرانیتوئیدها و ماگماهای گرانیتوئیدی جمع‌آوری و ارائه گردد.

۱-۴- طبقه‌بندی گرانیتوئیدها

در تقسیم‌بندی گرانیت‌ها، مشخصه‌های متفاوتی نقش دارند. محققین بسیاری سعی کرده‌اند گرانیت‌ها را بر اساس مبناهای مختلف، منجمله کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی، موقعیت تکتونیکی و پتروژنز رده‌بندی کنند. در این بخش، مبناهای مختلف رده‌بندی گرانیتوئیدها به اختصار بررسی می‌شود.

۱-۴-۱- طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی

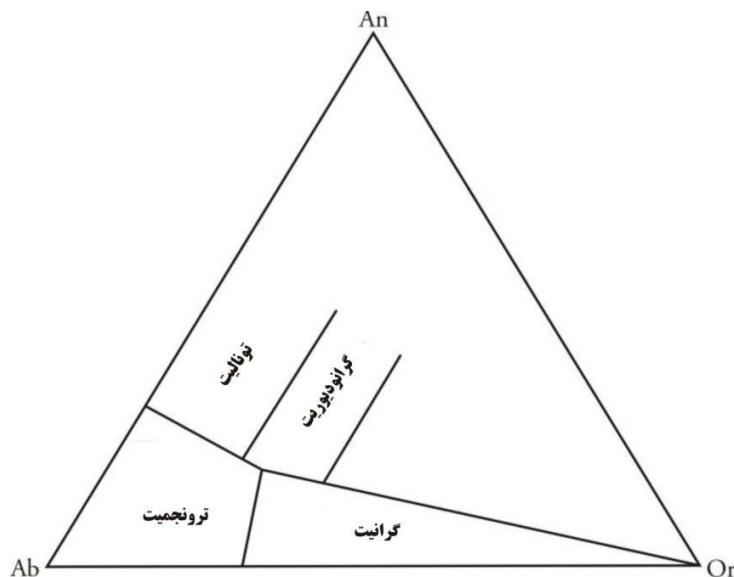
○ گرانیتوئیدها بر اساس کانی‌شناسی مدال و استفاده از کانی‌های کوارتز، آلکالی فلدسپار و پلاژیوکلاز در دیاگرام IUGS (International Union of Geological Sciences) شامل تونالیت، گرانودیوریت، مونزوگرانیت، سینوگرانیت و آلکالی‌گرانیت هستند که میزان کانی کوارتز در آن‌ها بالاتر از ۲۰٪ است (Streckeisen, 1974).



شکل ۱-۱- موقعیت گرانیتوئیدها در دیاگرام IUGS

○ بر اساس درصد An ، Ab و Or که به روش نورم محاسبه شده‌اند، گرانیتوئیدها به انواع گرانیت،

گرانودیوریت، کوارتز مونزونیت و ترونجمیت تقسیم‌بندی شده‌اند (Barker 1979) (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- نمودار $Ab-An-Or$ از O'Connor (1965) که توسط Barker (1979) اصلاح شده است.

۱-۴-۲- طبقه بندی بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی

○ محققینی همچون Ishihara (1977) و Kanisawa (1983)، بر اساس متغیرهای گروه $(T- H_2O- O_2)$ و نیز حضور کانی‌های مافیک، مگنیت و ایلمنیت، سنگ‌های گرانیتی ژاپن را به دو سری مگنیتی و ایلمنیتی تقسیم‌بندی کردند که به شرایط اکسیدی یا کاهش (احیایی) ماگماها و فوگاسیته اکسیژن بستگی دارد. چنین وضعیتی نه تنها در نسبت‌های مگنیت و ایلمنیت بلکه در ترکیبات بیوتیت و هورنبلند نیز منعکس شده است. در سری‌های مگنیتی کانی‌های هورنبلند از Mg غنی و از Al فقیر هستند. در حالی که در سری‌های ایلمنیتی، هورنبلندها از Fe و Al غنی می‌باشند. یک نتیجه آنی، تفاوت‌های اکسیداسیونی آن است. که سنگ‌های گرانیتی از نظر قابلیت مغناطیسی نوسان‌های زیادی را نشان می‌دهند. این تفاوت‌ها می‌تواند ترجمانی از سنگ منبع باشند.

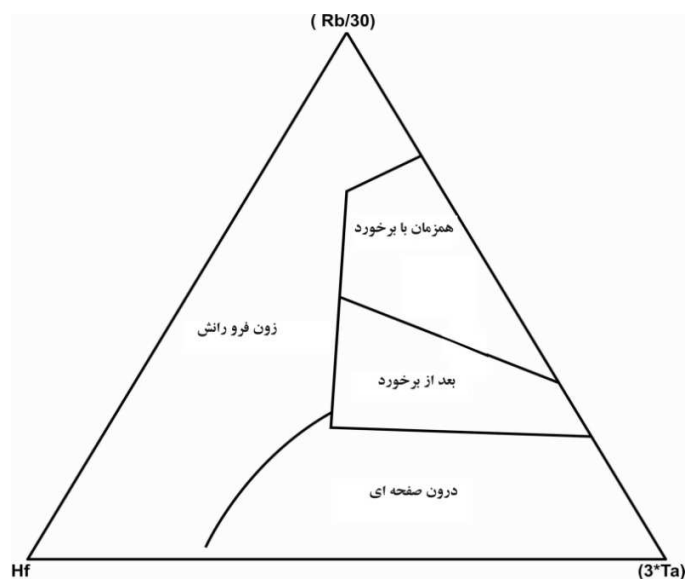
○ بر اساس اندیس اشباع از آلومین، نوع ماگما و پتانسیل معدنی آنها، Clarke (1992) رده‌بندی زیر را پیشنهاد نمود.

الف) سری پرآلومین ($A > CNK$) با توان کانسارسازی عناصر Sn, W, U

ب) سری متالومین ($CNK > A > NK$) دارای پتانسیل کانسارسازی (Au), Mo, Cu

ج) سری پراکالان ($A < NK$) با پتانسیل کانسارسازی عناصر Nb, Ta, Zr, Hf, REE و غیره.

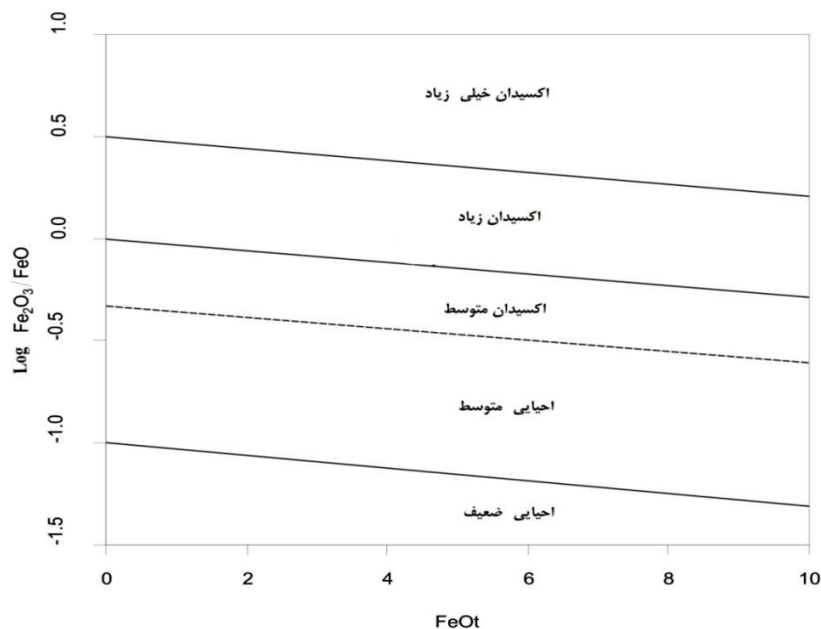
○ Harris و همکاران (1986) با استفاده از عناصر Rb, Ta و Hf نموداری ارائه و گرانیت‌ها را تقسیم‌بندی نمودند (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- طبقه‌بندی گرانیتوئیدها با استفاده از عناصر Rb, Ta و Hf (Harris et al, 1986)

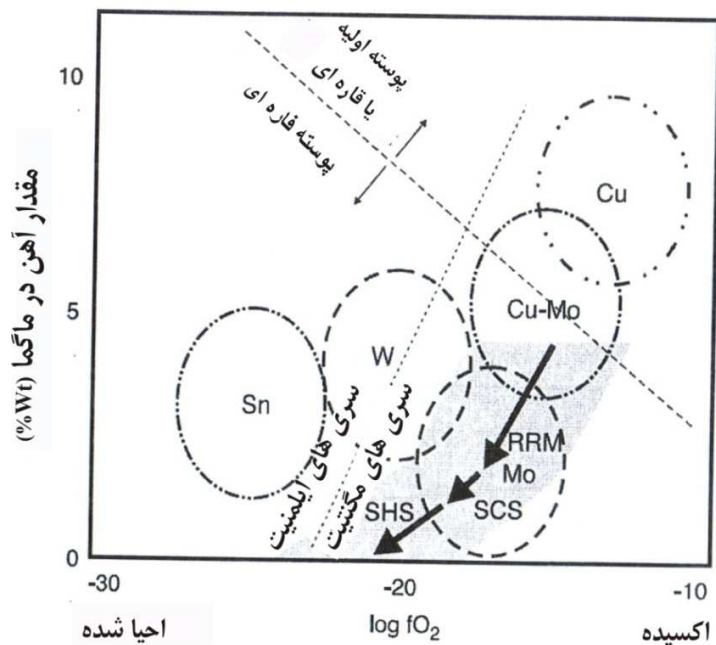
○ Brown و همکاران (1984) بر اساس شیمی عناصر اصلی و کمیاب دو رده اساسی سنگ‌های گرانیتوئیدی را تشخیص دادند. ۱- توده‌های گرانیتی کمان ماگمایی ۲- توده‌های گرانیتی پشت کمانی و غیرکوهزایی.

- با توجه به شدت اکسیدان، گرانیتوئیدها به اکسیدان خیلی زیاد، زیاد، متوسط، احیایی متوسط و احیایی ضعیف تقسیم‌بندی شده‌اند (Blevin, 2006) (شکل ۴-۱).

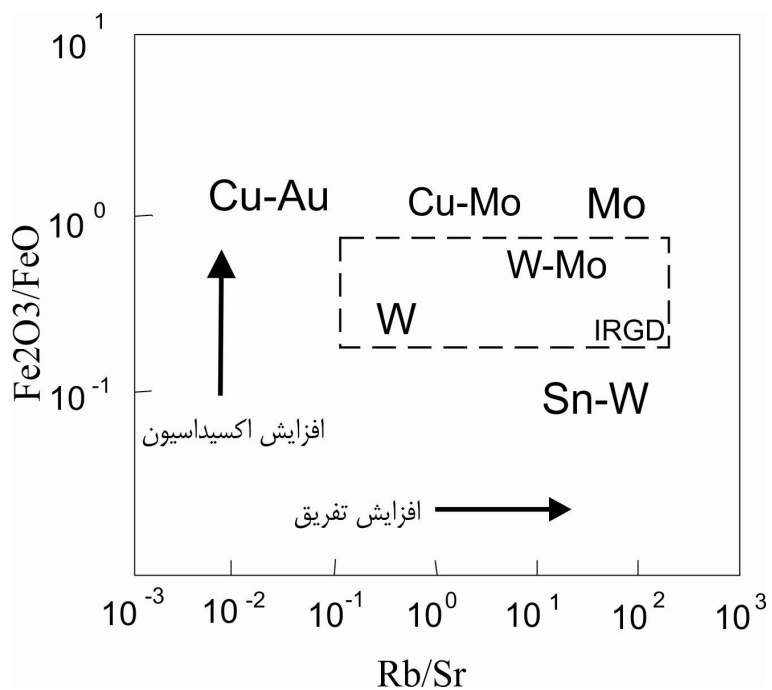


شکل ۴-۱- طبقه‌بندی گرانیتوئیدها بر اساس شدت اکسیدان (Blevin, 2006)

- با توجه به فلوگاسیته اکسیژن، میزان آهن و نوع کانی‌سازی، گرانیتوئیدها به انواع پورفیری Sn, W, Mo, Cu-Mo, Cu تقسیم‌بندی شده‌اند (Mustard, 2004) (شکل ۵-۱). منشا ماگمای گرانیتوئیدهای حاوی مس خارج از پوسته قاره‌ای است و حالت اکسیدان دارند. ماگمای گرانیتوئیدهای حاوی قلع منشا پوسته قاره-ای دارند و کاهش (احیایی) نیز هستند (شکل ۵-۱).
- گرانیتوئیدها بر اساس نسبت‌های Rb/Sr به Fe_2O_3/FeO به انواع اکسیدان و کاهش (احیایی) تقسیم‌بندی شده‌اند (Blevin, 2004) (شکل ۶-۱). گرانیتوئیدهای احیایی که نسبت Rb/Sr آنها زیاد است حاوی کانی‌سازی قلع هستند. گرانیتوئیدهای حاوی مس، اکسیدان بوده و نسبت Rb/Sr در آنها خیلی کم است (شکل ۶-۱).

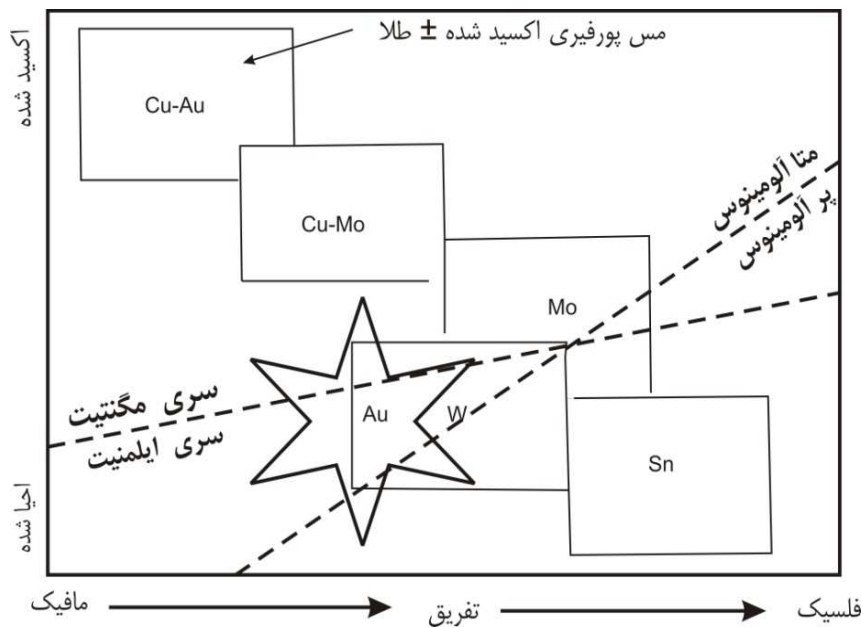


شکل ۱-۵- طبقه‌بندی گرانیتوئیدها بر اساس فوگاسیته اکسیژن، میزان آهن و نوع کانی سازی (Mustard, 2004).



شکل ۱-۶- طبقه‌بندی بر اساس نسبت‌های Rb/Sr به Fe₂O₃/FeO (Blevin, 2004)

- گرانیتوئیدهای حاوی کانی‌سازی توسط Hart (2007) بر اساس مافیک-فلسیک و اکسیدان-احیایی به چهار نوع تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۷-۱). گرانیتوئیدهای نوع ایلمنیت (فوق آلومینیوم)، حاوی قلع و گاهی تنگستن می‌باشند ولی گرانیتوئیدهای نوع مگنتیت (ساب‌آلومینیوم)، حاوی مس، مولیبدن، طلا و گاهی تنگستن هستند (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱- طبقه‌بندی گرانیتوئیدهای حاوی کانی‌سازی (Hart, 2007)

۱-۴-۳- طبقه‌بندی بر اساس ژنز

- رده‌بندی ابداعی توسط White و Chappelle (1974); White و Chappelle (1992) که با توجه به خصوصیات گرانیت‌های منطقه Lachlan استرالیا، گرانیت‌ها را به چهار نوع S, M, A و I تقسیم‌بندی کردند. خصوصیات هر یک از این گرانیتوئیدها در جدول ۱-۱ آمده است. اگر چه پس از این طبقه‌بندی، تقسیم‌بندی‌های متفاوت دیگری ارائه شد، ولی هنوز این طبقه‌بندی، مهم‌ترین و کاربردی‌ترین تقسیم‌بندی به شمار می‌آید.