

CLASSIFICATION OF AMPHIBOLES FROM IRON ORE DEPOSITES, SANGAN AREA, KHAF

Mazaheri, S. A.

*Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad
mazaheri@ferdowsi.um.ac.ir*

Key words: *Amphibole, Sangan Khaf, granitoid, garnet-pyroxene skarn, amphibole skarn, ferroedenite, hastingsite and ferroactinolite.*

Abstract: Skarn occurring in the Sangan area was formed within two different rock groups: granitoids and skarns. Based on the new amphibole classification and nomenclature, the general formula of amphibols is $(AB_2C_5T_8O_{22}OH)_2$. Amphibole of granitoids is a ferroedenite in which $Si = 6.87 - 7.75$, $Ca_B > 1.5$, $(Na+K)_A > 0.5$ and $Ti < 0.5$. Skarn amphiboles are mostly developed within amphibole skarns and garnet-pyroxene skarns during retrograde stage of skarn evolution. High-temperature amphiboles are rich in Al while low-temperature amphiboles are poor in Al. Skarn amphiboles are classified in two groups: (a) hastingsite in which $Si = 5.99 - 6.08$, $Ca_B > 1.5$, $(Na+K)_A > 0.5$, $Ca < 0.5$ and $Al < Fe^{+3}$. (b) ferroactinolite in which $Si = 7.61 - 7.90$, $Ca_B > 1.5$, $(Na+K)_A < 0.5$ and $Ca_A < 0.5$. Amphibole in (a) is Al-rich while amphibole in (b) is Al-poor.

پژوهشی

رده‌بندی آمفیبول‌های کانسار سنگ آهن ناحیه سنگان خواف

سیداحمد مظاهری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله ۱۳۸۰/۱۲/۱۲ دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۱/۴/۲۲)

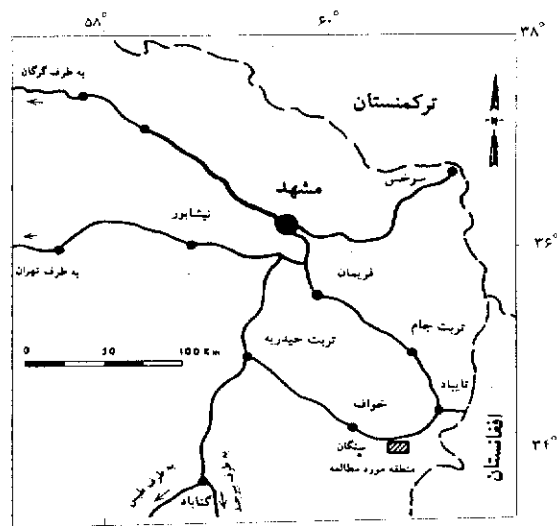
چکیده: آمفیبول‌های ناحیه سنگان خواف در دوگروه سنگی گرانیتوئیدها و اسکارنها به وجود آمده‌اند. براساس رده بندی جدید و با توجه به فرمول عمومی آمفیبول‌ها $AB_2C_3T_8O_{22}(OH)_2$ ، آمفیبول در سنگهای گرانیتوئیدی با مشخصات $Si=7.87-7.75$ ، $Ca_B>1.5$ ، $(Na+K)_A>0.5$ ، $Ti<0.5$ ، هورنبلند از نوع فروادنیت (ferroedenite) می باشد. آمفیبول‌های موجود در اسکارنها، بیشتر در آمفیبول اسکارنها و گارنت پیروکسن اسکارنها در مرحله پسرودگی تکامل اسکارنها بوجود آمده‌اند. آمفیبول‌های با دمای بالا، غنی از Al و با دماهای پائین، فقیر از Al هستند. آمفیبول‌های موجود در اسکارنها به دو دسته تقسیم می شوند: (الف) هاستینگزیت (hastingsite) با مشخصات $Si=5.99-6.08$ ، $Ca_B>1.5$ ، $(Na+K)_A>0.5$ ، $Ca<0.5$ ، $Al<Fe^{+3}$ و (ب) فرواکتینولیت (ferroactinolite) با مشخصات $Si=7.71-7.90$ ، $Ca_B>1.5$ ، $(Na+K)_A<0.5$ ، $Ca_A<0.5$. آمفیبول نوع الف غنی از Al و نوع (ب) فقیر از آن است.

واژه‌های کلیدی: آمفیبول، سنگان خواف، گرانیتوئید، گارنت پیروکسن اسکارن، آمفیبول اسکارن، فروادنیت، هاستینگزیت، و فرواکتینولیت.

مقدمه

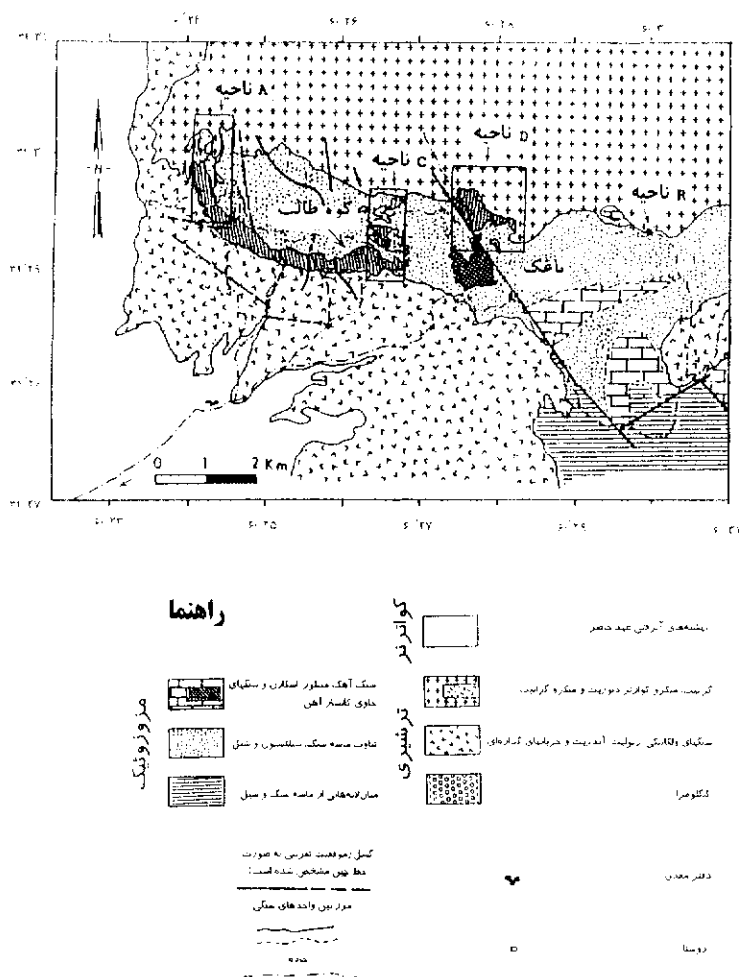
ناحیه سنگان در جنوب شهر خواف در ۲۹۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد واقع است، (شکل ۱). به سنگهای آهکی کرتاسه بالایی این ناحیه، پلوتون گرانیتوئیدی سرنوسر (نوع I) با سن احتمالی ائوسن پسین تا الیگوسن پیشین نفوذ کرده اند [۱۴]، (شکل ۲). اسکارن‌های سنگان به چهار منطقه A (غربی)، C (مرکزی) و D و R (شرقی) تقسیم شده‌اند [۳]. بر مبنای فراوانی کانیها، ترتیب قرار گرفتن اسکارن‌ها از پلوتون به ترتیب عبارتند از زون‌های گارنت اسکارن، گارنت پیروکسن اسکارن، آمفیبول اسکارن و اسکاپولیت اسکارن. آمفیبول اسکارن بیشتر با گارنت پیروکسن اسکارن و گارنت اسکارن همراه است (شکل ۳). در بعضی از مناطق چهارگانه بالا یک یا دو زون غایب است [۳].

گرانیت‌ها، کوارتز مونزونیت‌های تفریق نیافته و سنگهای میکروگرانیتی، متداولترین سنگهای گرانیتوئیدی در ناحیه سنگان را تشکیل می‌دهند. گرانیت سرنوسر یک هورنبلند-بیوتیت گرانیت است [۷]. در ناحیه C هورنبلند بیشتر از بیوتیت است در صورتیکه در ناحیه A بیوتیت کمتر از هورنبلند است [۱۴].

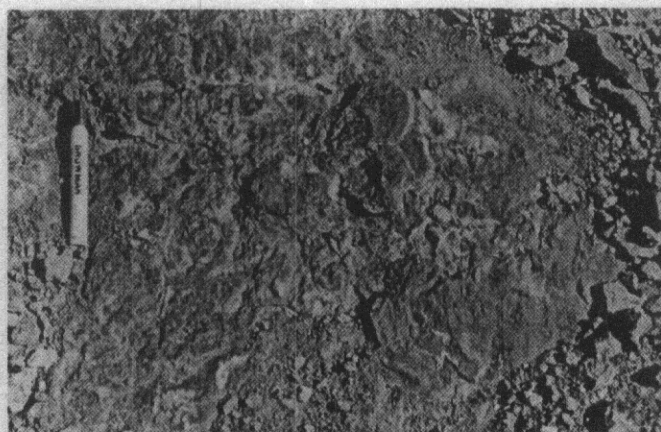


شکل ۱- موقعیت و راههای رسیدن به منطقه مورد مطالعه.

اسکارن های سنگان در دو مرحله اولیه با دمای بالا یا پیشرونده (II,I) و دو مرحله ثانویه با دمای پائین یا پسرونده (IV,III) بوجود آمده اند. در مرحله I گارنت آندرادیتی و در مرحله II مجموعه آندرادیتی - هلدبرگیتی به وجود آمده اند. مرحله III عمدتاً با آمفیبولهای غنی از Al و مرحله IV با آمفیبولهای کم Al، کلریت، و مگنیتیت مشخص می شود [۳].



شکل ۲- نقشه زمین شناسی ناحیه سنگان براساس نقشه ۱:۲۰,۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران (۱۹۹۰). مناطق چهارگانه A، C، D و R در نقشه مشخص است.



شکل ۳- آمفیبول اسکارن‌ها (رنگ تیره) در میان گارنت پیروکسن اسکارن‌ها در ناحیه C.
(طول قلم به عنوان مقیاس ۱۴/۵ سانتی‌متر است).

روش مطالعه

نمونه‌هایی از گرانیتهای حاوی آمفیبول (گرانیت سرنوسر) و نیز نمونه‌هایی از آمفیبول اسکارن، گارنت پیروکسن اسکارن و گارنت اسکارن‌های حاوی بلورهای آمفیبول انتخاب شدند. مقاطع نازک این نمونه‌ها به دقت با میکروسکوپیهای تحقیقاتی دانشگاه ولنگانگ در استرالیا و دانشکده علوم پایه، در دانشگاه فردوسی مشهد مورد مطالعه قرار گرفتند و از آن میان نمونه‌هایی برای بررسی به روش الکترون میکروپروب انتخاب شدند. اطلاعات لازم با استفاده از نگارنده دستگاه الکترون میکروپروب CAMEBAX CAMECA در دانشکده تحقیقات علوم زمین، (RSES)، دانشگاه ملی استرالیا، (ANU) در شهر کانبرا و در مؤسسه CSIRO در North Ryde، سیدنی و نیز دستگاه الکترون میکروپروب نوع CAMECA SX-50 آزمایشگاههای مرکزی شرکت فولاد استرالیا (BHP) در شهر ولنگانگ گردآوری شدند. اطلاعات نقل شده از [۶] در مرکز تحقیقات معدنی دانشگاه تاسمانیای شهر هوبارت استرالیا، و [۸] در دانشگاه یاماگاتای ژاپن انجام گرفته بودند. اکثر نمونه‌ها به روش EDS در ۰/۵ KV و ۴/۳ nA تجزیه شدند. تعدادی از نمونه‌ها به روش WDS تجزیه شدند. قطر تنظیم‌شده باریکه الکترون میکروپروب ۱ تا ۵ میکرون بوده است. میزان آهن در نتایج الکترون میکروپروب به صورت آهن کل (FeO) گزارش می‌شود. آهن سه ظرفیتی با نرم‌افزار

رایانه ای Probe با استفاده از فرمول شماره ۳ Droop [۱۰] تخمین زده شده. نتیجه تجزیه نمونه های آمفیبول های ناحیه سنگان در جدول ۱ نشان داده شده اند.

سنگ شناسی

الف - سنگ های گرانیتوئیدی

مطالعه میکروسکوپی گرانیتوئیدها نشان داد که این سنگها حاوی کوارتز، اورتوکلاز (معمولاً پرتیتی با رشد توأم میکروگرانوفیری)، پلاژیوکلاز (An₂₅₋₃₅)، بیوتیت قهوه ای، و هورنبلند سبز به صورت شکل دار و نیمه شکل دار هستند. اسفن، زیرکان، و آپاتیت کانی های فرعی معمولی و سرسیت، کلریت، اکتینولیت، پیریت و کالکوپیریت کانی های ثانوی معمولی و کائولن و هیدروکسیدهای آهن دانه ریز محصولات هوازده گرانیتوئیدها را تشکیل می دهند. هورنبلندها در بعضی از میکروگرانیتوئیدها به اسفن، بیوتیت و کلریت دگرسان شده اند. جانشینی هورنبلند با اکتینولیت نیز بسیار متداول است.

ب - اسکارنها

آمفیبول اسکارنها حاوی هورنبلند (بیشتر هاستینگزیت)، کلسیت، کوارتز، مگنتیت و به ندرت اپیدوت $\pm$ فلدسپات پتاسیم $\pm$ بیوتیت به صورت شکل دار و نیمه شکل دارند. اسفن و آپاتیت از کانی های فرعی معمولی هستند. بیشتر آمفیبول اسکارنها ناحیه C، غنی از پیریت هستند.

روابط بافتی نشان می دهند که دو نسل از آمفیبول هادر سنگ حضور دارند. نسل اول آمفیبول های غنی از Al (با بیش از ۱۲٫۶۸ درصد وزنی Al₂O₃) با ترکیب هاستینگزیتند که یا جانشین گارنت و کلینوپروکسن شده اند و یا به صورت بین دانه ای در میان آنها دیده می شوند. این آمفیبول ها با کوارتز، فلدسپات پتاسیم و به ندرت با پلاژیوکلاز و کلسیت همراهند. نسل دوم آمفیبول های فقیر از Al (با بیش از ۲٫۰۳ درصد وزنی Al₂O₃) با ترکیب فرواکتینولیتند که به صورت پراکنده از دگرسانی کلینوپروکسن ها (هدنبرگیت) و یا آمفیبول های غنی از Al (نسل اول) به وجود آمده اند.

آمفیبول‌های نسل اول به صورت کامل، یا بخشی جانشین پیروکسن‌ها شده، و یا به صورت یک حاشیه، جانشین بلورهای پیروکسن و یا گارنت شده‌اند. زودومورف این آمفیبول‌ها به جای پیروکسن به طور محلی دیده می‌شود. آمفیبول‌های نسل دوم بیشتر به صورت آگرگات‌های شعاعی به وجود آمده‌اند که از بلورهای منشوری شکل‌دار، به رنگ سبز کمرنگ تا سبز یا سبز متمایل به آبی تشکیل شده‌اند.

گارنت اسکارن‌ها حاوی بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار گارنت‌های زون‌دار، گاه با ضمیمه‌هایی از اپیدوت هستند. مقادیر متفاوتی از کلسیت، کوارتز، بیوتیت، آمفیبول، کلریت، مگنتیت، و گاه سولفیدها نیز در آنها دیده می‌شوند. جانشینی گارنت اسکارن‌ها به وسیله آگرگات‌هایی از هاستینگزیت و مگنتیت بسیار معمول است. گارنت کلینوپیروکسن اسکارن اساساً حاوی گارنت، کلینوپیروکسن، کلسیت، کوارتز، اسکاپولیت همراه با فلدسپات پتاسیم $\pm$ پلاژیوکلاز و مگنتیت است. بیوتیت و آمفیبول از کانی‌های پسرورنده هستند. اسفن، آپاتیت و زیرکان از کانی‌های متداول فرعی و هماتیت محصول معمول هوازده‌اند. جانشینی کلینوپیروکسن به وسیله فرواکتینولیت و جانشینی گارنت و پیروکسن به وسیله آمفیبول نوع هاستینگزیت بسیار متداول است.

شیمی آمفیبول‌ها

در رده بندی جدید [۱۲] فرمول عمومی آمفیبول‌ها به صورت $AB_2C_5T_8O_{22}(OH)_2$ است. آمفیبول‌های ناحیه سنگان خواف (جدول ۱) در دو گروه متفاوت به وجود آمده‌اند. گروه اول در سنگهای گرانیتوئیدی (کوه سرنوسر) که آمفیبول آن هورنبلند نوع فروادنیت (ferroedenite) با مشخصات $Ca_B > 1.5$ ، $Si = 6.87 - 7.75$ ، $Ti < 0.5$ و $(Na+K)_A > 0.5$ است. آمفیبول‌های گروه دوم در اسکارن‌ها (آمفیبول اسکارن‌ها، گارنت اسکارن‌ها و گارنت پیروکسن اسکارن‌ها) در مرحله پسرورندگی تکامل اسکارن‌ها تشکیل شده‌اند. انواع با دماهای بالا، غنی از Al و انواع با دماهای پایین از نظر Al فقیرند. آمفیبول‌های موجود در اسکارن‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

اکسیدها (عنصرها)	M-9146	M-9169	M-9163	M-9032	M-9136	M-9182	M-9033	M-9153	M-9056	K-9911	K-9912	B-9516	B-9540	M-9017	M-9011	M-9080
SiO ₂	۴۷.۲۰	۴۸.۶۷	۴۸.۲۴	۴۹.۹۹	۴۹.۷۵	۴۶.۹۷	۴۸.۹۶	۴۶.۵۰	۴۶.۵۷	۴۸.۴۴	۴۸.۳۴	۴۸.۴۴	۴۸.۴۴	۵۱.۴۴	۵۱.۴۴	۵۱.۴۴
TiO ₂	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Al ₂ O ₃	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰	۳۷.۳۰
Cr ₂ O ₃	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Fe ₂ O ₃	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴	۱.۵۴
FeO	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴	۴۸.۲۴
MnO	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
MgO	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
CaO	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷	۱۱.۳۷
Na ₂ O	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
K ₂ O	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
جمع	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰	۹۶.۵۰
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۲
Si	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵	۷.۵۵
Al ^{IV}	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Al ^{VI}	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Ti	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Fe ³⁺	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Fe ²⁺	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰	۴.۸۰
Mn	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Mg	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Ca	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷
Na	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
K	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰

تعداد یونها بر اساس ۱۲۳ اکسیرت (O)

مدون- نتایج تجزیه الکترون مایکروپروب نمونه های انتخاب شده از آمفیبول های ناحیه سنگان خواف (تصحیحات

به روش ZAF صورت گرفته است) نمونه های با پیشوند M از Mazaheri (۱۹۹۵)، نمونه های با پیشوند K از

کریم پور و دیگران (۱۳۷۹) و نمونه های با پیشوند B از Boumeri و دیگران (۱۹۹۷) است .

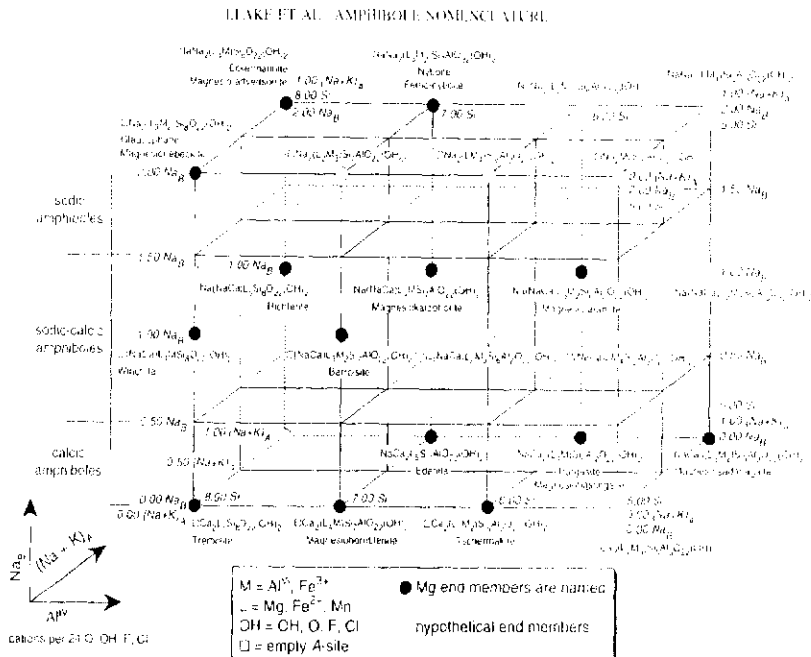
(الف) هاستینگزیت (hastingsite) با مشخصات $Si=5.99-6.08$ ، $Ca_B>1.5$ ، $(Na+K)_A>0.5$ ، $Ca<0.5$ و $Al<Fe^{+3}$ ، هاستینگزیت‌های ناحیه A^1 ، مجاور توده گرانیتی، نوع غنی از کالر را تشکیل می‌دهند [۶]. (ب) فرواکتینولیت (ferroactinolite) با مشخصات $Si=7.61-7.90$ ، $Ca_B>1.5$ ، $(Na+K)_A<0.5$ و $Ca_A<0.5$ آمفیبول نوع (الف) غنی از Al و نوع (ب) فقیر از Al است.

بحث

آمفیبول‌های سنگان در کارهای قبلی (مثلاً [۱]، [۶]، [۱۴]، [۳]، [۴] و [۲] بر اساس رده بندی Leake [۱۲] نامگذاری شده بود. بومری و دیگران [۸] نیز براساس رده بندی Leake [۱۲] و Howthorne [۱۱]، آمفیبول‌های سنگان را نامگذاری کرده بودند. انجمن بین‌المللی کانی‌شناسی رده بندی و نامگذاری آمفیبول‌ها را مورد تجدید نظر قرار داده است [۱۳]. اساس رده بندی جدید (شکل ۴)، فرمول شیمیایی استاندارد آمفیبول‌ها $AB_2C_5T_8O_{22}(OH)_2$ با ساختمان داخلی حاصل از زنجیرهای دوتایی سیلیکاتی یا Double Silicate Chains [۹] است. براساس رده بندی جدید آمفیبول‌های ناحیه سنگان همه در گروه کلسیک قرار می‌گیرند. خلاصه ویژگی این گروه در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد:

گروه آمفیبول‌های کلسیک (Calcic Amphiboles)، از جمله آمفیبول‌های مونوکلین هستند که در آنها $(Ca+Na)_B>1$ ، $Na_B=0.5-1.5$ و معمولاً $Ca_B>1.5$ است. مهمترین تفاوت رده‌بندی جدید با رده بندی قبلی آن است که مرزهای آمفیبول‌های سدیک - کلسیک $Na_B=0.5$ (قبلاً ۰.۶۷) و $Na_B=1.5$ (قبلاً ۱.۳۴) بوده اند.

از ویژگی‌های دیگر رده بندی جدید، تخمین Fe^{+3} در تجزیه الکترون مایکروپروب آمفیبول هاست. در تجزیه الکترون مایکروپروب، آهن به صورت FeO گزارش می‌شود. در کارهای قبلی، نگارنده [۱۴]، [۳] و [۴] محاسبات به روش Droop [۱۰] انجام گرفته بودند. نتایج تجزیه الکترون مایکروپروب آمفیبول‌های ناحیه سنگان براساس رده بندی جدید [۱۳] انجام گرفت؛ در این محاسبه مقسودار $Mg/(Mg+Fe^{+2})=X_{Mg}$ نیز اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

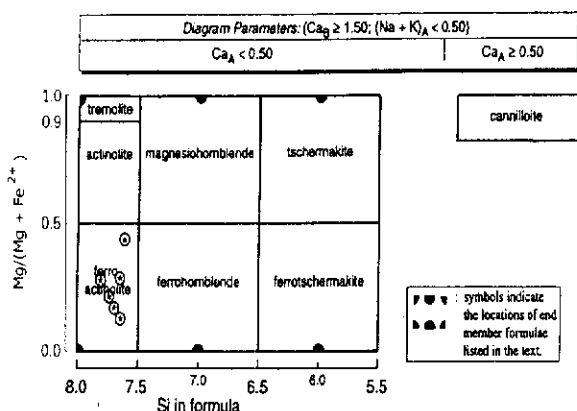
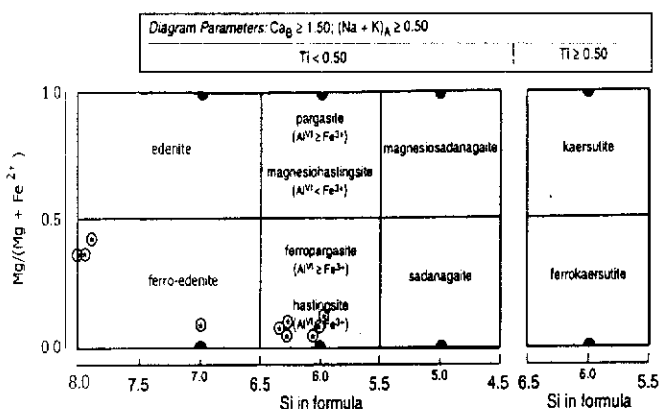


شکل ۴- رده بندی کلی آمفیبول ها (به استثنای آمفیبول های Mg, Fe, Mn و Li)، پس از Leake و دیگران (۱۹۹۷).

با داشتن مقادیر Si و X_{Mg} آمفیبول ها روی نمودار آمفیبول های کلسیک قرار می گیرند (شکل ۵). به این ترتیب آمفیبول های ناحیه سنگان را می توان به دو گروه تقسیم کرد، یعنی آمفیبول های موجود در سنگهای گرانیتوئیدی، و آمفیبول های موجود در اسکارن ها. آمفیبول های موجود در سنگهای گرانیتوئیدی از نوع آمفیبول های کلسیک اند که با مشخصات $Si = 6.87 - 7.75$ و $Ca_B > 1.5$ و $(Na+K)_{A+O} < 0.5$ و $Ti < 0.5$ هورنبلند نوع فروادنیت (ferroedenite) است. آمفیبول های کلسیک موجود در اسکارن ها عمدتاً در آمفیبول اسکارن ها و درگارت پیروکسن اسکارن ها دیده می شوند. این آمفیبولها نیز به گروه آمفیبولهای کلسیک تعلق دارند. آمفیبول های موجود در اسکارن ها به دو دسته زیر تقسیم می شوند:

۱- هاستینگزیت (hastingsite) با مشخصات $Si = 5.99 - 6.08$ و $Ca_B > 1.5$ ،

calcic amphiboles



شکل ۵- رده بندی آمفیبول ها کلسیک، پس از Leake و دیگران (۱۹۹۷). نمونه های جدول ۱ با ستاره (x) نشان داده شده اند.

۲- فروآکتینولیت (Ferroactinolite) با مشخصات $Ca_B > 1.5$ ، $Si = 7.90 - 7.91$ ، $Ca_A < 0.5$ و $(Na + K)_A < 0.5$.

آمفیبول نوع ۱ از نوع با دمای بالا (آمفیبول غنی از آلومینیم) و آمفیبول نوع ۲ از نوع دمای پایین (آمفیبول فقیر از نظر آلومینیم) هستند. این آمفیبول ها در مرحله پسروندگی (retrogression) تکامل اسکارن ها به وجود آمده اند [۱۴]. آمفیبول های انواع ۲، هر دو به گروه آمفیبول های کلسیک تعلق دارند.

برداشت

در ناحیه سنگان خواف دو نوع آمفیبول تشکیل شده‌اند. آمفیبول های موجود در سنگ های گرانیتوئیدی و آمفیبول های موجود در اسکارنها. براساس رده بندی جدید و باتوجه به فرمول عمومی آمفیبول ها $AB_2C_5T_8O_{22}(OH)_2$ ، آمفیبول سنگهای گرانیتوئیدی با مشخصات: $Si=6.87-7.75$ ، $Ca_B>1.5$ ، $(Na+K)A>0.5$ و $Ti<0.5$ ، به گروه هورنبلندها تعلق داشته و از نوع فروادینیت (ferroedenite) است.

آمفیبول های موجود در اسکارنها، بیشتر در آمفیبول اسکارنها و گارنت پیروکسن اسکارنها و آنها در مرحله پسروندگی تکامل اسکارنها به وجود آمده‌اند. این آمفیبول ها خود به دو گروه تقسیم می شوند: آمفیبول های با دمای بالا، که غنی از Al هستند و آمفیبول های با دمای پائین، که از نظر Al فقیرند. آمفیبول هایی که در اسکارنها به وجود آمده‌اند به دو دسته تقسیم می شوند: (الف) هاستینگزیت (hastingsite) با مشخصات: $Si=5.99-6.8$ ، $Ca_B>1.5$ ، $(Na+K)_A<0.5$ و $Ca_A<0.5$ و $Al^{VI}<Fe^{+3}$ (ب) فرواکتینولیت (ferroactinolite) با مشخصات: $Si=7.61-7.90$ ، $Ca_B>1.5$ ، $(Na+K)A<0.5$ و $Ca_A<0.5$. آمفیبول نوع (الف) از نظر Al غنی و آمفیبول نوع (ب) از نظر Al فقیر است.

قدردانی

از پروفسور Howard. W. Day استاد زمین شناسی دانشگاه کالیفرنیا، و همکاران محترم دکتر محمد حسن کریم پور و دکتر مرتضی رزم آرابه واسطه راهنمایی هایشان و دکتر محمد غفوری به واسطه تشویق هایش که نگارنده را در انجام این پژوهش یاری دادند سپاسگزارم.

مراجع

۱- کریم پور محمد حسن (۱۳۷۷): دما، نحوه تشکیل و پاراژنز مگنتیت در بخش های مختلف کانسار آهن سنگان خراسان. هفدهمین گرد همایی علوم زمین. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، مجموعه فشرده مقالات، صفحات ۱۶۷-۱۶۱.

۲- مظاهری سید احمد و Bryan. E. Chenhall (۱۳۷۷): شرایط فشار، درجه حرارت و ترکیب سیال اسکارن های مگنتیتی سنگان خواف خراسان. دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، مجموعه فشرده مقالات، صفحات ۴۵۱-۴۵۶.

۳- مظاهری سید احمد (۱۳۷۷): مطالعه شیمی کانی ها در اسکارن های آهن دار سنگان خراسان. هفدهمین گرد همایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، مجموعه فشرده مقالات، صفحات ۱۹۶-۱۸۹.

۴- مظاهری سید احمد (۱۳۷۸): استفاده از هورنبلند در فشار سنجی سنگهای گرانیتوئیدی با مثالهایی از ایران، استرالیا، آمریکا و کانادا. سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شیراز، شیراز، مجموعه فشرده مقالات، صفحات ۶۱۵-۶۱۳.

۵- مظاهری سید احمد (۱۳۷۹): معرفی آمفیبول های ناحیه سنگان خواف. هشتمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، مجموعه فشرده مقالات، صفحات ۱۶۸-۱۶۴.

۶- کریم پور محمد حسن، مظاهری سید احمد و Ralph Boutryle (۱۳۷۹): آمفیبول های جدید غنی از کلر پاراژنز مگنتیت و آندرادیت (دراسکارن سنگان خراسان). هشتمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، مجموعه فشرده مقالات، صفحات ۱۳۰-۱۶۲.

۷- مظاهری سید احمد (۱۳۸۰): مطالعه گرانیتوئیدهای نوع (I) سنگان خواف. مجموعه چکیده مقالات پنجمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تهران، تهران صفحه ۲.

- 8 - Bomeri, M., Mizuta, T., Nakashima, K., Ishiyama, D., and Ishikawa, Y. (1997). Characteristics of halogen-bearing hastingsite, scapolite and phlogopite from the Geochemical Sangan iron skarn deposits, northeastern Iran. Journal of Mineralogy, Petrology and Economic geology of Japan. V 92, p 481-501.
- 9 - Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J. (1992). An introduction to the rock forming minerals, 1st. Edition. Longman London.

- 10 - Droop, G.T.R, (1987). A general equation for estimating Fe^{+3} in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. Mineralogical Magazine, V 51, p 431-437.
- 11 - Hawthorne, F.C. (1985). Crystal chemistry of the amphiboles. Review of Mineralogy, V 9A, p 1-102.
- 12 - Leake, B.E. (1978). Nomenclature of amphiboles. American Mineralogists, V 63, p 1023-1052.
- 13- Leake, B.E., Wooley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, A. J., Krivovichev, V. G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. and Youzhi, G. (1997). Nomenclature of Amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names. American Mineralogists, V 82, P 1019-1037.
- 14- Mazaheri, S.A. (1995). Petrological studies of skarns from Marulan South, New South Wales, Australia and Sangam, Khorassan, Iran. Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia.