

بررسی پتروفابریک و شیمی کانی آمفیبول در کمپلکس‌های دگرگونی زون سنندج-سیرجان

محبوبه جمشیدی بدر *

استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۳/۱۰

چکیده

کمپلکس دگرگونی خواجو در جنوب شرق زون سنندج-سیرجان و کمپلکس دگرگونی سورسات در شمال غرب زون سنندج-سیرجان بروز دارند. در این کمپلکس‌ها کانی آمفیبول در سنگ‌های دگرگونی مانند گارنت آمفیبولیت‌ها و آمفیبول شیست‌ها حضور دارد. انواع فابریک آمفیبول‌ها در این سنگ‌ها شامل نماتوبلاستی، برشی، کاتاکلاستی، رشد تجمعی و پاپیونی با طویل شدگی در امتداد محور C می‌باشند. حالت‌های تجمعی و پاپیونی کانی آمفیبول، در اثر فرآیند خزش مرز دانه‌ها و برش همزمان با فرآیند دگرگونی ایجاد شده که بافت گاربن شیفر نامیده می‌شود. در کمپلکس دگرگونی سورسات بافت گاربن شیفر در اثر چین خوردگی‌های بزرگ مقیاس و برش همزمان با دگرگونی ناحیه‌ای ایجاد شده و همچنین این بافت در کمپلکس دگرگونی خواجو در اثر فعالیت گسل‌های امتداد لغز برشی در سنگ‌های دگرگونی حاوی آمفیبول ایجاد شده است. شیمی کانی آمفیبول در گارنت آمفیبولیت‌ها در محدوده فروهورنبلند-فروچرماک هورنبلند است و شیمی بلورهای مختلف آمفیبول با فابریک‌های متفاوت در آمفیبول شیست‌ها در محدوده مگنزو-فروهورنبلند تا چرماک-فرو-چرماک هورنبلند قرار می‌گیرند. متفاوت بودن شیمی کانی آمفیبول در گارنت آمفیبولیت‌ها و آمفیبول شیست‌ها به علت پروتولیت متفاوت آن‌ها بوده و شیمی کانی آمفیبول روند تغییرات معنی داری را در فابریک‌های مختلف نشان نمی‌دهد.

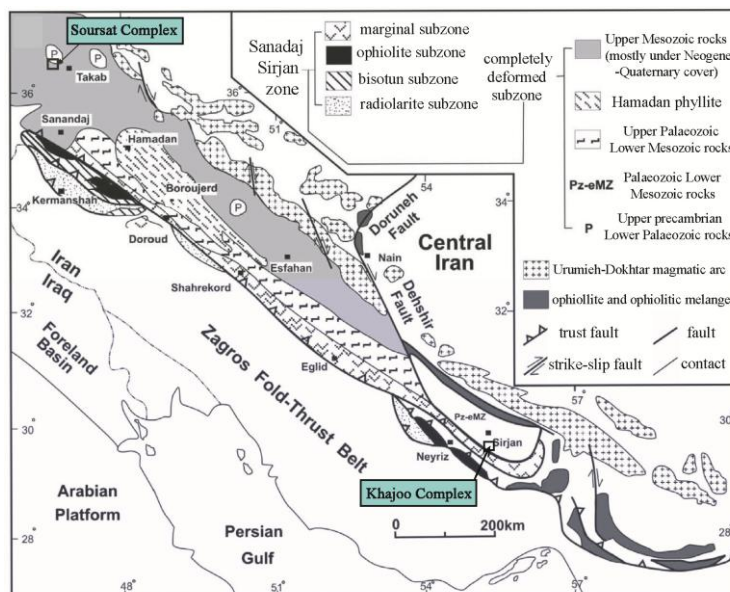
واژه‌های کلیدی: بافت گاربن شیفر، شیمی کانی آمفیبول، کمپلکس دگرگونی خواجو، کمپلکس دگرگونی سورسات.

مقدمه

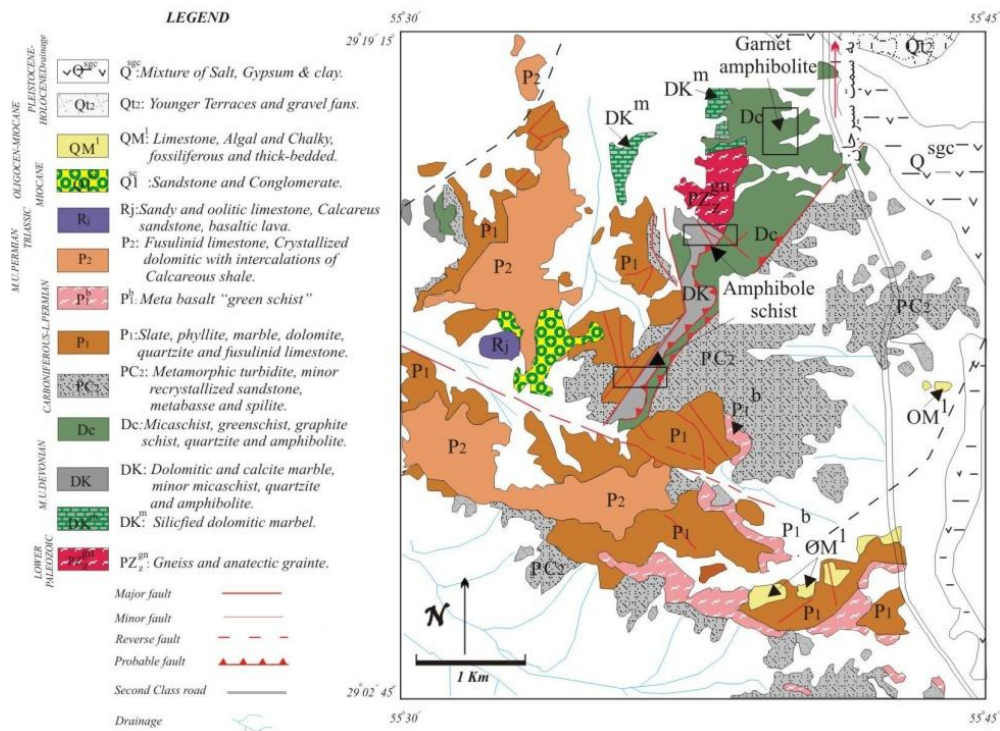
سورسات مورد بررسی قرار گرفته تا شرایط تشکیل و همچنین حضور فابریک‌های متفاوت کانی آمفیبول معرفی شود و برای تشخیص رابطه بین فابریک و شیمی این کانی از بلورهای مختلف آن در کمپلکس خواجه و سورسات، آنالیز EPMA انجام گرفته است و برای تعیین ارتباط بین پروتولیت و شیمی کانی‌ها، از آنالیزهای شیمیایی سنگ کل XRF نیز استفاده شده است.

زمین‌شناسی کمپلکس خواجه: کمپلکس خواجه در جنوب شرق ایران و جنوب شهرستان سیرجان برونزد دارد و از لحاظ ساختاری بخشی از زون سنندج - سیرجان بشمار می‌رود (شکل ۱). این کمپلکس در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سیرجان معرفی شده است (شکل ۲).

کانی آمفیبول در سنگ‌های دگرگونی در پروتولیت-های مختلف متابازیکی، کری وگی و مارنی می‌تواند تشکیل شود. فابریک این کانی اکثراً نامتوبلاست بوده و به صورت جهت یافته با شیستوزیته یا گنیسوزیته در سنگ‌های دگرگونی تشکیل می‌شود (پاشیرو و ترو، ۲۰۰۵؛ کروهل، ۲۰۰۱؛ برمان، ۱۹۷۹؛ ورنون، ۱۹۷۶). بدلیل اینکه کانی‌های گروه آمفیبول در محدوده دما و فشارهای مختلف می‌توانند تشکیل شوند، بنابراین نسبت به کانی‌های متاپلیتی کمتر در ترموبارومتری مناطق دگرگونی استفاده می‌شوند و نسبت به کانی‌های متاپلیتی کمتر در مناطق دگرگونی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در این تحقیق کانی آمفیبول با فابریک‌های مختلف در آمفیبول شیست‌های کمپلکس خواجه و



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی زون سنندج - سیرجان (محجل و همکاران، ۲۰۰۳)، برونزد کمپلکس خواجه در جنوب شرق زون سنندج - سیرجان و کمپلکس سورسات در شمال غرب زون سنندج - سیرجان می‌باشد.



شکل ۲: نقشه ساده شده کمپلکس خواجو اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سیرجان (سبزه‌ای، ۱۳۷۶)، برونزد گارنت آمفیبولیت‌ها در شمال شرق کمپلکس خواجو و برونزد آمفیبول شایست‌ها در مرکز و شمال کمپلکس خواجو نشان داده شده است.

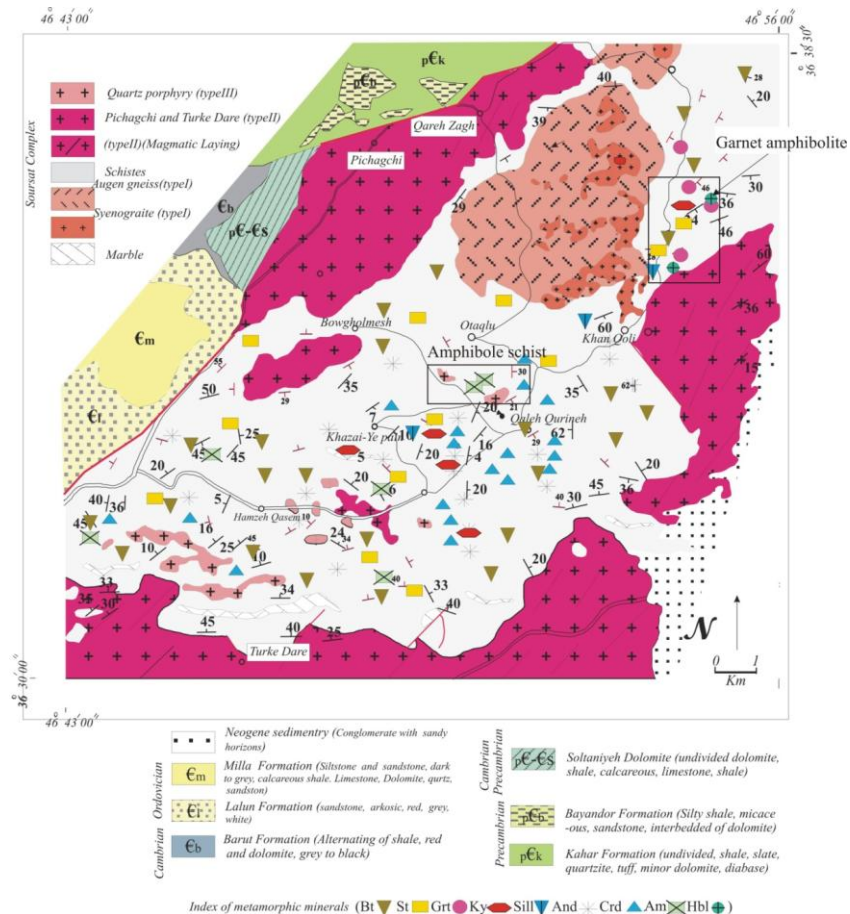
نوع MPM درجه دگرگونی این کمپلکس در حد رخساره شیست سبز و تا ابتدای رخساره آمفیبولیت توسط مرادیان و همکاران (۱۳۸۴) معرفی شده است.

زمین شناسی کمپلکس سورات: کمپلکس سورات در شمال غرب ایران و از لحاظ ساختاری در شمال غرب زون سنندج-سیرجان برونزد دارد و در نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهین دژ معرفی شده است (شکل ۱ و ۳). کمپلکس سورات شامل انواع متنوعی از سنگ‌های آذرین و دگرگونی است. برونزد سنگ‌های آذرین در شمال، جنوب، شمال شرق و مرکز مجموعه سورات می‌باشد که دارای تفاوت کانی‌شناسی و بافتی مشخصی هستند (شکل ۳). سنگ‌های دگرگونی متنوعی شامل: میکاشیست‌ها، گارنت شیست‌ها، آندالوزیت شیست‌ها، استارولیت شیست‌ها، کوردیریت

کمپلکس خواجو شامل سنگ‌های رسوبی، دگرگونی و آذرین می‌باشد. سنگ‌های دگرگونی این منطقه اغلب از نوع ناحیه‌ای بوده و شامل مجموعه متاسدیمنتی، متابازیکی و گرانیت فیلونیتی هستند. متابازیکی‌ها، شامل گارنت اپیدوت آمفیبولیت، شیست سبز و متاسدیمنت‌ها شامل میکاشیست‌ها، گارنت-استارولیت شیست و آمفیبول شیست می‌باشند. در سنگ‌های پلیتی، کانی‌های کلریت، بیوتیت، مسکویت، گارنت، فلدسپار و استارولیت قابل مشاهده هستند. کانی‌هایی نظیر آمفیبول، گارنت و بیوتیت تحت‌تاثیر دگرشکلی برشی (دگرگونی دینامیکی حاصل از فعالیت گسل‌ها) قرار گرفته‌اند. سنگ‌های دگرگونی کمپلکس خواجو بر مبنای محاسبات ترموبارومتري متاپلیت‌ها حداکثر تا 590°C (ترمومتر گارنت - مسکویت) و فشار ۸/۴۸ کیلوبار دگرگون شده‌اند و دگرگونی منطقه از

حضور دارند و این واحدهای دگرگونی در بین سنگ‌های آذرین و در مرکز کمپلکس سورسات برونزد دارند (شکل ۳).

شیست‌ها، کیانیت شیست‌ها، فیبرولیت شیست‌ها، آمفیبول شیست‌ها، گارنت آمفیبولیت‌ها، مزو میلونیت‌ها و گنیس‌های چشمی در این مجموعه



شکل ۳: نقشه ساده شده کمپلکس سورسات اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهین دژ (خلقی خسرقی و علوی نائینی، ۱۳۷۳)، برونزد گارنت آمفیبولیت‌ها در شمال شرق کمپلکس سورسات و برونزد آمفیبول شیست‌ها در مرکز کمپلکس سورسات نشان داده شده است.

زیرکن، سن آن‌ها ۴۵۰ میلیون سال می‌باشد. گرانیتوئیدهای گروه II شامل توده نفوذی ترکه دره در جنوب مجموعه سورسات و توده نفوذی پیچاقچی در شمال مجموعه سورسات است که بر مبنای سن سنجی U-Pb کانی زیرکن سن آن‌ها ۶۰ میلیون سال می‌باشد. گرانیتوئیدهای گروه III شامل گرانیت‌های کوارتزپورفیری هستند که

سنگ‌های آذرین این کمپلکس توسط جمشیدی بدر و همکاران (۲۰۱۳) بر مبنای کانی شناسی، ژئوشیمی و ژئوکرونولوژی به سه گروه تقسیم بندی شدند: گرانیتوئیدهای گروه I که از لحاظ بافتی به دو صورت دگر شکل شده (گنیس چشمی) و بدون دگرشکلی و در شمال شرق مجموعه سورسات برونزد دارند و بر مبنای سن سنجی Pb-U کانی

این مجموعه بر مبنای سن سنجی U-Pb کانی موناژیت در گارنت شیست‌ها مربوط به ۶۰ میلیون سال قبل می‌باشد و دگرگونی مجاورتی به دلیل نفوذ گرانیتهای نوع III در مرکز کمپلکس سورسات بعد از دگرگونی ناحیه‌ای ایجاد شده است (جمشیدی بدر و همکاران، ۲۰۱۰).

مواد و روش‌ها

آنالیز الکترون میکروپروپ (EPMA): از بلورهای مختلف کانی آمفیبول در سنگ‌های گارنت آمفیبولیت و آمفیبول شیست مربوط به کمپلکس-های دگرگونی خواجه و سورسات، آنالیزهای نقطه-ای الکترون میکروپروپ (EPMA) و تصاویر (BSC) در آزمایشگاه‌های Muenster دانشگاه آلمان و آزمایشگاه کانی شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به شرح جدول ۱ آنالیز انجام گرفته است. که نتایج ۱۰ نقطه از آنالیزها در جدول ۳ و تصاویر BSC در شکل ۸ نشان داده شده است.

محدود به مرکز مجموعه سورسات بوده و جوانترین فاز گرانیتهای در این مجموعه می‌باشند (شکل ۳). سنگ‌های دگرگونی این مجموعه دارای پروتولیت‌های متفاوت و شامل کانی‌های دگرگونی مانند گارنت، استرولیت، کیانیت، کوردیریت، آندالوزیت در شیست‌های حاصل از دگرگونی سنگ‌های پلیتی می‌باشد. گارنت آمفیبولیت‌ها در شمال غرب کمپلکس سورسات و به صورت لایه‌های متوالی همراه با گارنت شیست‌ها برونزد دارند (شکل ۳). آمفیبول شیست‌ها در مرکز مجموعه سورسات همراه با شیست‌های پلیتی برونزد دارند. حضور انواع کانی‌های دگرگونی در شکل ۳ در کمپلکس سورسات نشان داده شده است. در کمپلکس سورسات با استفاده از ترموبارومتری شیست‌های متاپلیتی به دلیل داشتن کانی‌های ترمومتر و بارومتر مناسب، دو فاز دگرگونی ناحیه‌ای و دگرگونی مجاورتی توسط جمشیدی بدر و همکاران (۲۰۱۲) معرفی شده است که دگرگونی ناحیه‌ای

جدول ۱: تعداد نقطه‌های آنالیز شده از گارنت آمفیبولیت و آمفیبول شیست‌های کمپلکس سورسات و خواجه و محل انجام آنالیز EPMA.

آنالیز EPMA	کمپلکس سورسات	کمپلکس خواجه
تعداد آنالیز	۳۰ نقطه	۱۰ نقطه
محل انجام آنالیز	آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران	آزمایشگاه Muenster دانشگاه آلمان
شماره نمونه گارنت آمفیبولیت‌ها	Sh-80	K-64
شماره نمونه آمفیبول شیست‌ها	Sh-71	K-32

سنگ‌های دگرگونی تعداد ۶ نمونه آنالیز XRF در آزمایشگاه XRF دانشگاه تربیت معلم تهران به شرح جدول ۲ انجام گرفته است و نتایج آنالیز در جدول ۴ نشان داده شده است.

آنالیز سنگ کل (XRF): جهت تعیین شیمی سنگ کل سنگ‌های دگرگونی در کمپلکس خواجه از قسمت‌های یکنواخت نمونه‌ها تعداد ۶ نمونه و از کمپلکس سورسات برای تعیین نوع پروتولیت

جدول ۲: تعداد نمونه‌های آنالیز شده و محل انجام آنالیز XRF از نمونه‌های گارنت آمفیبولیت‌ها و آمفیبول شیبست‌های کمپلکس‌های خواجو و سورات.

کمپلکس خواجو	کمپلکس سورات	آنالیز XRF
نمونه ۶	نمونه ۶	تعداد آنالیز
آزمایشگاه XRF دانشگاه تربیت معلم تهران	آزمایشگاه XRF دانشگاه تربیت معلم تهران	محل انجام آنالیز
K-45, K-64, K-66	Sh-80, Sh-98, Sh-87	شماره نمونه‌های گارنت آمفیبولیت‌ها
K-14, K-32, K-36	Sh-23, Sh-71, Sh-70	شماره نمونه‌های آمفیبول شیبست‌ها

جدول ۳: نتایج آنالیز EPMA، ۱۰ نقطه از آنالیزهای انجام گرفته از کانی آمفیبول گارنت آمفیبولیت و آمفیبول شیبست‌های کمپلکس‌های خواجو و سورات نشان داده شده است.

Major Oxides	Garnet Amphibolite				Amphibole shiste					
	khajoo Complex		Soursat Complex		Khajoo Complex			Soursat Complex		
	K-64-1	K-64-2	Sh-80-1	Sh-80-2	K-32-1	K-32-2	K-32-3	Sh-71-1	Sh-71-2	Sh-71-3
SiO ₂	42.82	43.82	44.88	43.55	42.20	43.66	43.85	43.74	42.80	43.84
TiO ₂	0.71	0.58	0.69	0.73	0.83	0.65	0.36	0.40	0.57	0.59
Al ₂ O ₃	14.56	13.37	12.75	13.49	15.56	16.36	12.68	13.44	12.85	11.97
FeO*	20.71	18.50	18.34	19.58	18.74	15.05	15.98	15.16	14.74	15.87
MgO	7.65	8.13	8.61	8.44	8.190	9.87	8.82	9.38	8.35	8.74
MnO	0.02	0.00	0.05	0.06	0.380	0.04	0.70	0.60	0.86	0.64
CaO	10.67	10.23	11.28	11.03	11.19	11.20	11.79	11.91	14.79	12.17
Na ₂ O	1.34	1.57	1.13	1.29	1.66	1.80	0.83	0.87	0.76	0.73
K ₂ O	0.44	0.41	0.39	0.38	0.89	0.48	0.44	0.76	0.54	0.62
Total	98.92	96.61	98.12	98.55	99.64	99.11	95.45	96.26	96.26	95.17
Formula per 23 Oxygens (all Fe as FeO)										
T-sites										
Si	6.387	6.609	6.660	6.489	6.241	6.395	6.658	6.571	6.493	6.698
Aliv	1.613	1.391	1.340	1.511	1.759	1.605	1.342	1.429	1.507	1.302
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
M1,2,3 sites										
Alvi	0.947	0.987	0.891	0.858	0.953	1.157	0.927	0.951	0.791	0.854
Ti	0.080	0.066	0.077	0.082	0.092	0.070	0.041	0.045	0.065	0.068
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	1.700	1.828	1.904	1.874	1.805	2.106	1.996	2.100	1.888	1.990
Mn	0.003	0.000	0.006	0.008	0.048	0.005	0.090	0.076	0.111	0.083
Fe ²⁺	2.271	2.120	2.122	2.178	2.102	1.661	1.946	1.827	1.870	2.006
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.275	0.000
Sum M1,2,3	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
M4 site										
Fe	0.313	0.214	0.154	0.261	0.058	0.021	0.083	0.077	0.000	0.022
Ca	1.687	1.653	1.794	1.739	1.752	1.703	1.917	1.917	2.000	1.976
Na	0.000	0.133	0.052	0.000	0.190	0.277	0.000	0.006	0.000	0.002
Sum M4	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
A site										
Ca	0.018	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.002	0.000	0.129	0.000
Na	0.388	0.326	0.273	0.373	0.280	0.219	0.244	0.248	0.224	0.214

K	0.084	0.079	0.074	0.072	0.166	0.087	0.085	0.146	0.105	0.101
Sum A	0.489	0.405	0.347	0.467	0.446	0.306	0.331	0.394	0.458	0.315
OH site										
O	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.865
F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.135
Cl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum cations	15.489	15.405	15.347	15.467	15.633	15.447	15.331	15.399	15.457	15.315
Al(total)	2.560	2.377	2.231	2.370	2.713	2.762	2.270	2.380	2.298	1.156

جدول ۴: نتایج آنالیز XRF سنگ کل گارنت آمفیبولیتها و آمفیبول شایستهای کمپلکس خواجه و سورات.

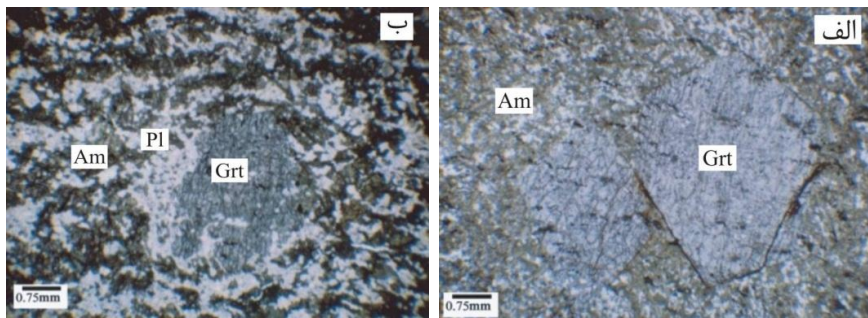
Sample No.	Garnet Amphibolite						Amphibole schist					
	Soursat Complex			khajoo Complex			Soursat Complex			khajoo Complex		
	Sh-80	Sh-98	Sh-87	K-45	K-64	K-66	Sh-23	Sh-71	Sh-70	K-14	K-32	K-36
<i>Major Oxides</i>												
SiO ₂	46.98	44.29	46.96	44.88	45.81	45.98	54.95	56.79	56.98	56.92	56.89	56.86
Al ₂ O ₃	11.28	10.69	11.25	11.14	10.95	11.02	18.8	18.45	18.24	18.72	18.75	18.68
Fe ₂ O ₃	5.47	5.81	4.77	4.79	5.66	5.38	6.09	6.22	6.2	6.15	5.47	5.6
FeO	12.49	13.62	13.26	14.64	12.49	13.18	3.51	3.48	3.46	3.39	3.51	3.49
CaO	9.29	11.14	9.6	10.67	10.34	9.8	4.9	4.09	4.11	4.09	4.15	4.12
MgO	4.3	4.68	4.6	4.96	4.82	4.78	2.7	2.25	2.33	2.21	2.24	2.26
K ₂ O	0.98	0.48	0.94	0.57	0.8	0.66	1.32	1.18	1.19	1.19	1.21	1.32
Na ₂ O	1.55	1.35	1.61	1.39	1.6	1.6	3.22	3.06	3.13	3.12	3.08	3.21
MnO	0.34	0.28	0.23	0.22	0.28	0.24	0.25	0.22	0.21	0.22	0.24	0.22
TiO ₂	3.97	4.31	3.27	3.29	4.16	3.88	2.01	1.98	1.96	1.89	2.01	1.99
P ₂ O ₅	1.71	1.67	1.81	1.72	1.65	1.57	0.47	0.35	0.41	0.47	0.45	0.45
Total	98.36	98.32	98.30	98.27	98.56	98.09	98.22	98.07	98.22	98.37	98.00	98.20

آمفیبولها بیشتر شکلدار تا نیمه شکلدار می-باشند، فابریک آنها نماتوبلاست بوده و جهت یافتگی واضحی را نشان می-دهند. کانیهای گارنت در این نمونهها به صورت نیمه شکلدار تا بی شکل و بین ۰/۵ تا ۳ میلی-متر قطر دارند و معمولاً به صورت پوئی کیلوبلاستیک بوده و ادخالهای کوارتز و پلاژیوکلاز در آنها حضور دارند (شکل ۴).

نتایج

پetroگرافی و پتروفابریک گارنت آمفیبولیتهای کمپلکسهای خواجه و سورات

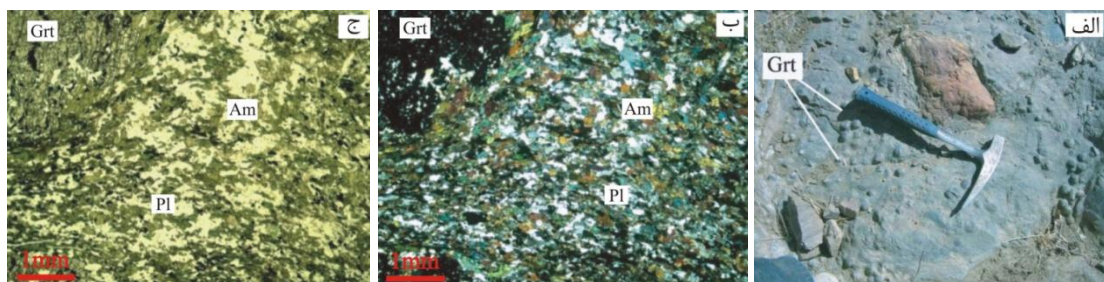
گارنت آمفیبولیتهای کمپلکس خواجه: گارنت آمفیبولیتها در شمال شرق کمپلکس خواجه برونزد دارند. در نمونه دستي بدلیل فراوانی آمفیبول به رنگ سبز دیده می-شوند و شامل کانیهای کوارتز، آمفیبول، پلاژیوکلاز، گارنت و اسفن هستند.



شکل ۴: الف) گارنت با فابریک پورفیروبلاستیک در مرکز تصویر و آمفیبول با فابریک نامتوبلاستیک (نور PPL)، ب) پورفیروبلاست گارنت در مرکز تصویر و آمفیبول‌ها با جهت یافتگی و فابریک نامتوبلاستیک در این تصویر نشان داده شده است (نور PPL).

۰/۵ تا ۱/۵ سانتی‌متر می‌باشد و به صورت برجسته در نمونه‌های ماکروسکوپی قابل تشخیص هستند و رنگ سنگ نیز به دلیل حضور کانی آمفیبول سبز می‌باشد (شکل ۵). این سنگ‌ها از لحاظ شرایط دگرگونی همانند لایه‌های گارنت شیست‌های اطراف می‌باشند که در اثر دگرگونی ناحیه‌ای همزمان با فرآیندهای تکتونیکی تشکیل شده‌اند و مربوط به رخساره آمفیبولیت فوقانی می‌باشند (جمشیدی بدر و همکاران، ۲۰۱۲).

گارنت آمفیبولیت‌های کمپلکس سورات: گارنت آمفیبولیت‌ها در شمال شرق کمپلکس سورات به صورت بین لایه‌ای با گارنت شیست‌های حاصل از دگرگونی ناحیه‌ای برونزد دارند که شامل کانی‌های آمفیبول، گارنت، پلاژیوکلاز، کوارتز و کانی‌های فلزی هستند و در بعضی از نمونه‌ها بیوتیت نیز حضور دارد. در این گروه سنگی کانی آمفیبول به صورت شکل‌دار، نیمه شکل‌دار و بندرت بی‌شکل دیده می‌شود و دارای فابریک نامتوبلاستیک است. بلورهای گارنت در این نمونه‌ها دارای اندازه‌های بین



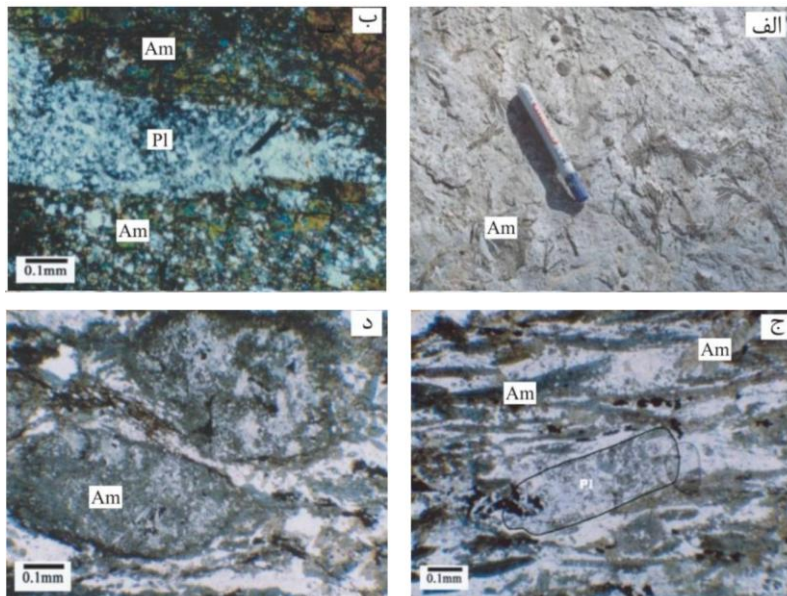
شکل ۵: الف) تصویر رخنمون گارنت آمفیبولیت‌ها که پورفیروبلاست‌های درشت گارنت به صورت برجسته نسبت به زمینه سنگ قابل تشخیص است به علت حضور آمفیبول رنگ سبز می‌باشند. ب) تصویر پورفیروبلاست گارنت با انکلوزیون‌های کوارتز، ایلمنیت و آمفیبول سبز با فابریک نامتوبلاستی و حالت جهت یافتگی مشخص که در شمال غرب کمپلکس سورات برونزد دارند (نور XPL) و ج) (نور PPL).

آمفیبول شیست‌های کمپلکس خواجو: آمفیبول شیست‌ها در مرکز و شمال کمپلکس خواجو به حالت متناوب و همراه با گارنت شیست‌ها قرار

پتروگرافی و پتروفابریک آمفیبول شیست‌های کمپلکس خواجو و سورات

آمفیبول، پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت، گارنت، اپیدوت و کانی‌های فلزی می‌باشد. شیستوزیته توسط کانی‌های بیوتیت، پلاژیوکلاز و کوارتزهای دگرشکل شده ایجاد شده است. کانی‌های آمفیبول به صورت سوزنی و شعاعی بوده و دارای ادخال‌های کوارتز و فلدسپات ریز دانه می‌باشد و ارتباط خاصی با بلورهای گارنت ندارند. پلاژیوکلازها و کوارتزها با بافت مضرس در جهت شیستوزیته سنگ دیده می‌شوند و در بعضی از آمفیبول شیست‌ها بقایایی از پلاژیوکلازهای درشت بلور قابل تشخیص است (شکل ۶ د).

گرفته‌اند که شامل توالی از آمفیبول گارنت شیست به ضخامت ۰/۵ متر و گارنت شیست به ضخامت ۱ متر می‌باشد (شکل ۲) و (شکل ۶ الف). اندازه آمفیبول‌ها در این سنگ‌ها به ۲ سانتیمتر نیز می‌رسد و بصورت شعاعی و پاپیونی مشاهده می‌شوند، این نوع فابریک توسط استفن و همکاران (۲۰۰۱) فابریک گاربن شیفر نامیده شده است (شکل ۶ الف، ب و ج). آمفیبول‌ها هم بر روی برگوارگی دیده می‌شوند و هم برگوارگی را قطع می‌کنند (شکل ۶ ب). جهت یافتگی در آمفیبول شیست‌ها با شیستوزیته سنگ‌های دگرگونی منطقه موازی است. کانی‌های مشخصه این سنگ‌ها شامل

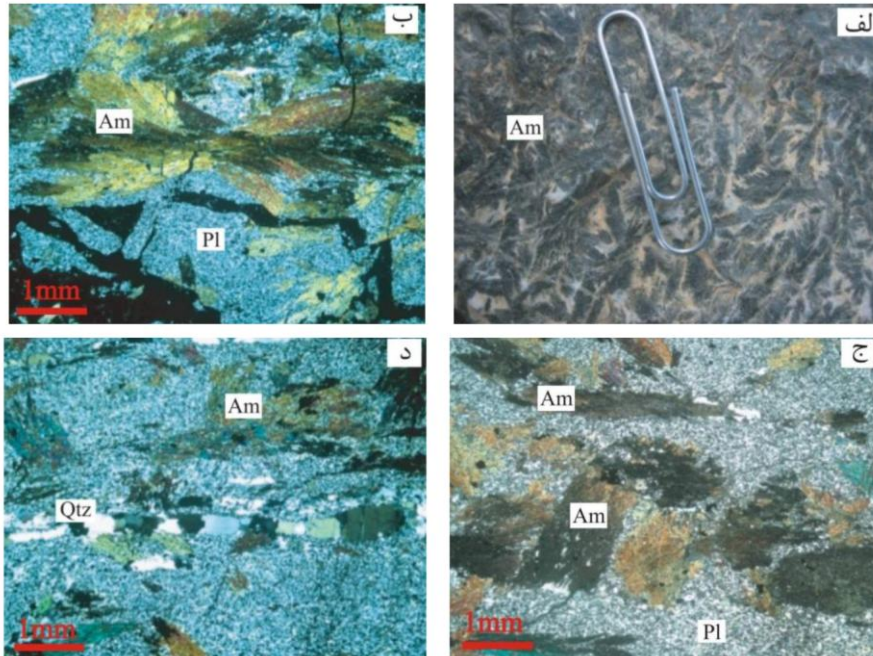


شکل ۶: الف) برونزد آمفیبول شیست‌ها در کمپلکس خواجو، ب) پلاژیوکلازهای ریز و خرد شده در آمفیبول شیست‌ها (نور XPL)، ج) حالت تجمع شعاعی و کشیده آمفیبول و بقایای پلاژیوکلاز درشت بلور (نور PPL)، د) حالت برش در آمفیبول‌ها (نور PPL).

می‌باشند و به صورت شعاعی تجمع دارند که در جهت محور (C) دارای طولیل‌شدگی می‌باشند و فابریک گاربن شیفر را نشان می‌دهند. بلورهای آمفیبول همچنین حالت دگرشکلی داشته و جهت یافتگی مشخص با شیستوزیته زمینه و نیز عمود بر شیستوزیته را نشان می‌دهند و در این حالت

آمفیبول شیست‌های کمپلکس سورات: آمفیبول شیست‌ها در مرکز مجموعه سورات و همراه با شیست‌های دگرگونی این مجموعه برونزد دارند و شامل کانی‌های آمفیبول، کوارتز، پلاژیوکلاز و کانی‌های اپک هستند (شکل ۳). کانی‌های آمفیبول در این گروه اکثراً شکل دار و گاهی نیمه شکل‌دار

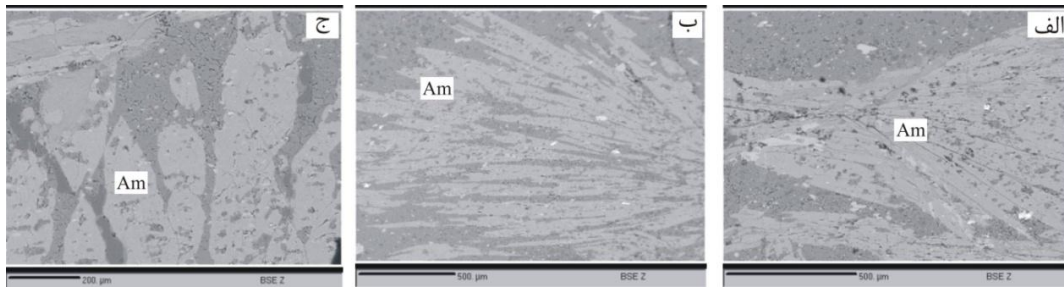
فابریک نماتوبلاستی دارند (شکل ۷ الف و ب). کانی‌های پلاژیوکلاز و کوارتز دارای بافت مضرص و ریزدانه بوده که جهت یافتگی داشته و موازی با شیستوزیته زمینه می‌باشند (شکل ۷ ج و د).



شکل ۷: نمایش فابریک‌های مختلف بلورهای آمفیبول در آمفیبول شیست‌های کمپلکس سورات. الف) فابریک گاربن شیفر و تجمع شعاعی آمفیبول در نمونه دستی آمفیبول شیست‌ها، ب) تجمع شعاعی و فابریک گاربن شیفر (نور XPL)، ج) بلورهای آمفیبول موازی با جهت یافتگی و عمود بر جهت یافتگی (نور XPL)، د) حالت بافت مضرص و جهت یافتگی ترجیحی در کانی‌های کوارتز و پلاژیوکلاز در زمینه سنگ آمفیبول شیست‌ها (نور XPL).

آمفیبول شیست‌های کمپلکس‌های خواجو و سورات در تقسیم بندی لیک و همکاران (۱۹۹۷) جزء گروه آمفیبول‌های کلسیک بوده و در تقسیم بندی آمفیبول‌های کلسیک در محدوده مگنزو-فرو هونبلند تا چرماک-فرو-چرماک هورنبلند قرار می‌گیرند (شکل ۹ ب). تصاویر BSC انواع فابریک‌های مختلف آمفیبول شیست‌ها که شیمی آن‌ها توسط آنالیز EPMA مشخص شده است در شکل ۸ نشان داده شده است.

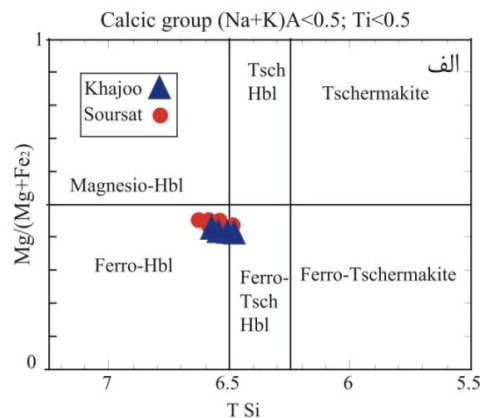
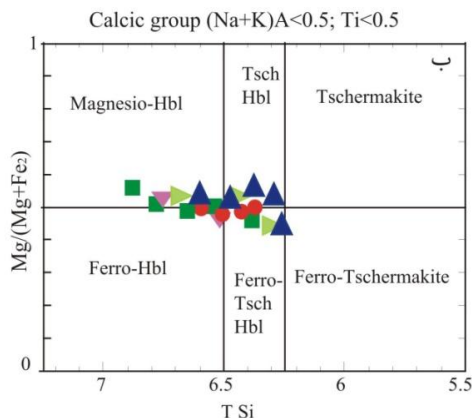
شیمی کانی آمفیبول در گارنت آمفیبولیت‌ها:
ترکیب شیمیایی بلورهای مختلف کانی آمفیبول در گارنت آمفیبولیت‌های کمپلکس‌های خواجو و سورات در تقسیم بندی لیک و همکاران (۱۹۹۷) جزء آمفیبول‌های کلسیک بوده و در تقسیم بندی آمفیبول‌های کلسیک در محدوده فرو هورنبلند تا فرو چرماک-هورنبلند قرار می‌گیرند (شکل ۹ الف).
شیمی کانی آمفیبول در آمفیبول شیست‌ها:
ترکیب شیمیایی فابریک‌های مختلف آمفیبول در



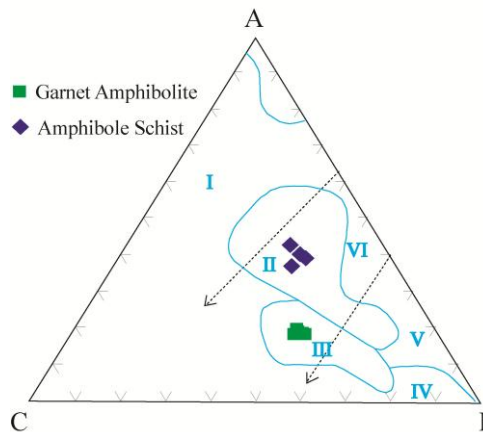
شکل ۸: نمایش تصاویر BSC بلورهای آمفیبول در آمفیبول شیت‌های کمپلکس سورسات. الف) و ب) فابریک گاربن شیفر و تجمع شعاعی آمفیبول، ج) آمفیبول شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با فابریک نماتوبلاست.

قرار می‌گیرند. علاوه بر این، مطالعات کانی‌شناسی حضور آمفیبول فراوان در گارنت آمفیبولیت‌ها را نشان می‌دهد که گویای آذرین بودن پروتولیت آن-ها در کمپلکس‌های خواجو و سورسات است (شکل ۴ و ۵). همچنین شواهد کانی‌شناسی در آمفیبول شیت‌ها نشان می‌دهد که دارای کوارتز فراوان هستند، که این نیز تاییدی بر رسوبی بودن پروتولیت آن‌ها در کمپلکس‌های خواجو و سورسات می‌باشد (شکل ۶ و ۷).

تعیین پروتولیت گارنت شیت‌ها و آمفیبول شیت-ها: ترکیب شیمیایی سنگ کل یکی از مهمترین معیارها برای تعیین پروتولیت در سنگ‌های دگرگونی می‌باشد (ساک، ۱۹۸۳؛ وینکلر، ۱۹۶۷). جهت تعیین پروتولیت سنگ‌های دگرگونی خواجو و سورسات از نمودار ACF وینکلر (۱۹۶۷) استفاده شده است (شکل ۱۰). گارنت آمفیبولیت‌ها در نمودار وینکلر در محدوده متابازیک و آمفیبول شیت‌ها در این نمودار در محدوده گری وک‌ها



شکل ۹: الف) تقسیم بندی بلورهای آمفیبول گارنت آمفیبولیت‌های کمپلکس خواجو و سورسات، ب) تقسیم‌بندی بلورهای مختلف آمفیبول با فابریک‌های متفاوت در آمفیبول شیت‌های کمپلکس خواجو و سورسات. علائم استفاده شده در شکل ■ بلورهای شکل‌دار آمفیبول بدون دگرشکلی مشخص در برش عرضی، ● بلورهای آمفیبول نیمه شکل‌دار با فابریک نماتوبلاست و برش طولی، ▲ بلورهای آمفیبول با بافت گاربن شیفر کمپلکس سورسات، ▼ بلور آمفیبول با فابریک نماتوبلاست، ▲ بلورهای گاربن شیفر کمپلکس خواجو.



شکل ۱۰: تعیین پروتولیت سنگ‌های دگرگونی کمپلکس خواجو و سورات در نمودار ACF (اقتباس از وینکلر، ۱۹۶۷). I=رس و شیل فاقد کربنات یا دارای ۳۰٪ کربنات II=گری وک، III=محدوده آندزیت و بازالت، IV=محدوده الترامافیک، V=رس و شیل غنی از کربنات، VI=رس و شیل غنی از آلومینیوم.

بحث

شکل به نام فرایند خزش انتشاری مرز دانه (GBDC^۲) می‌باشد. این فرآیند بهترین مکانیسمی است که به وسیله آن وجود بلورهای درشت آمفیبول در بافت گاربن شیفر توجیه می‌شود و فرایند خزش انتشاری مرز دانه با کاهش اندازه ذرات و حضور سیال تسهیل می‌گردد. مکانیسم تبلور مجدد دینامیک همراه با خزش انتشاری مرز دانه سبب می‌گردد که مرز دانه‌ها به هم متصل گردیده و سیال به راحتی بتواند در امتداد مرز دانه‌ها حرکت کند. توالی لایه‌های آمفیبول دار و ریزساخت‌ها در بافت گاربن شیفر نشان می‌دهد که استرین در بعضی از لایه‌ها تجمع حاصل نموده، بعضی از لایه‌ها را مقاوم و بعضی را ضعیف نموده است. در مناطقی که تحت تأثیر ضعیف شدگی قرار گرفته‌اند، اندازه ذرات کاهش و فعالیت فرآیندهای انتشاری افزایش یافته و همین پدیده باعث تشکیل آمفیبول‌های درشت و مقاوم شده است که حاصل انتشار سریع بین دانه‌ای سیالات می‌باشد. چنین فرایندی می‌تواند در اثر یک فرایند برشی انجام شود. وقتی سنگ‌های موجود در منطقه تحت تأثیر دگرگونی

کانی آمفیبول در سنگ‌های دگرگونی گارنت آمفیبولیت و آمفیبول شیست در کمپلکس‌های دگرگونی خواجو و سورات حضور دارد. فابریک کانی آمفیبول در گارنت آمفیبولیت‌ها به صورت نامتوبلاست بوده و جهت یافتگی موازی با شیستوزیته مجموعه دگرگونی خواجو و سورات دارد، بنابراین همزمان با دگرگونی ناحیه‌ای در این دو منطقه ایجاد شده و جهت یافتگی پیدا کرده و بصورت بین لایه‌ای همراه با گارنت شیست‌ها بروزند دارد. پروتولیت گارنت آمفیبولیت‌ها بر مبنای کانی-شناسی و آنالیز XRF سنگ کل آن‌ها در محدوده متبازیک قرار می‌گیرند. شیمی کانی آمفیبول در گارنت آمفیبولیت‌ها در محدوده فروهورنبلند تا فرو-چرماک هورنبلند بوده و درجه دگرگونی آن‌ها در حد رخساره آمفیبولیت می‌باشد. کانی آمفیبول در آمفیبول شیست‌ها دارای بافت شعاعی و تجمعی می‌باشد که این بافت بنام بافت گاربن شیفر توسط استیفن و همکاران (۲۰۰۱) در منطقه آلپ توصیف شده و تشکیل این بافت در ارتباط با مکانیسم تغییر

2 . Grain Boundary Diffusion Creep

شده است، بقایایی از پلاژیوکلازهای درشت بلور اولیه باقی مانده است (شکل ۶ ج).

در کمپلکس سورسات حالت برش، همزمان با فرآیندهای دگرگونی بوده که بدلیل فعالیت چین خوردگی‌های بزرگ مقیاس در منطقه می‌باشد (قاسمی، ۱۳۸۱؛ جمشیدی بدر و همکاران، ۲۰۱۲) که دگرشکلی‌های برشی در امتداد یال‌های چین-های بزرگ مقیاس ایجاد شده و این نوع دگرشکلی-های برشی در کمپلکس سورسات در کوردیریت شیبست‌ها نیز توسط جمشیدی بدر و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شده است. با توجه به موقعیت قرارگیری آمفیبول شیبست‌ها در محدوده دگرشکلی‌های برشی چین‌های بزرگ مقیاس، این نوع دگرشکلی باعث خرد شدگی و جهت یافتگی برتر کانی‌های کوارتز و پلاژیوکلاز در کمپلکس دگرگونی سورسات شده و در نتیجه بافت گاربن شیفر را در آمفیبول شیبست‌ها ایجاد کرده است. از فابریک‌های مختلف آمفیبول شیبست‌ها آنالیز EPMA انجام گرفته است تا ارتباط بین شیمی و فابریک کانی‌ها مشخص شود. ترکیب شیمی کانی آمفیبول در بلورهای مختلف آمفیبول با اقسام فابریکی نظیر دگرشکلی برشی، گاربن شیفر، حالت شعاعی و بلورهای فاقد دگرشکلی، تغییرات شیمیایی یکسانی نشان می‌دهد و ترکیب شیمی آن‌ها در نمودار (لیک و همکاران، ۱۹۹۷) در محدوده مگنزو-فرو هورنبلند تا چرماک-فروچرماک هورنبلند قرار می‌گیرند. فابریک آمفیبول‌ها ارتباط معنی داری با شیمی آن‌ها در آمفیبول شیبست‌ها ندارد. پروتولیت آمفیبول شیبست‌ها بر مبنای نوع کانی‌ها و آنالیز XRF سنگ کل در محدوده گری وک‌ها قرار می‌گیرند. تفاوت شیمی کانی آمفیبول در گارنت آمفیبولیت‌ها و آمفیبول شیبست‌ها مربوط به پروتولیت آن‌ها می‌باشد و دگرشکلی ایجاد شده

برشی قرار گیرند، به سنگ‌هایی تبدیل می‌شوند که در آن‌ها دسته‌های شعاعی از آمفیبول درشت در یک زمینه ریزدانه ایجاد شده و بافت گاربن شیفر را تشکیل می‌دهند. تشکیل بافت گاربن شیفر در کمپلکس‌های خواجو و سورسات را می‌توان در اثر تاثیر تکتونیک برشی همزمان با فرآیندهای دگرگونی توجیه کرد که دگرشکلی برشی باعث ریز و خردشدگی کانی‌های کوارتز و پلاژیوکلاز زمینه سنگ شده و در نواحی که پلاژیوکلاز تحت فرایند خزش انتشاری مرز دانه قرار گرفته‌اند، تغییر شکل یافته و پورفیروبلاست‌های آمفیبول به طول بیش از ۱ سانتی‌متر رشد می‌کنند که بیشتر آنها به صورت شعاعی و پاپیونی‌اند. در این مناطق به دلیل زیاد بودن سطح دانه‌ها، ریزدانه بودن و مرزهای زیاد بین بلورها، سیال بین دانه‌ای براحتی حرکت می‌نماید (تولس و همکاران، ۱۹۹۶) و وقتی که هسته‌های آمفیبول شکل گرفتند، رشد سریع باعث ایجاد پورفیروبلاست‌های درشت می‌شود که جهت‌یابی کمی دارند. بنابراین آهنگ سریع انتشار دانه‌ها همراه با فرایند خزش انتشاری مرز دانه، باعث هسته‌بندی و رشد شبکه آمفیبول می‌شود (استفن و همکاران، ۲۰۰۱). بافت گاربن شیفر در مناطق مختلف توسط محققینی همانند (سزیلاس و همکاران، ۲۰۱۴؛ مسی و موچر، ۲۰۱۳؛ هافمن و همکاران، ۲۰۱۱؛ فورنس و همکاران، ۲۰۰۹؛ استیفن و سیلورستون، ۲۰۰۶) نیز معرفی شده است. در کمپلکس خواجو فعالیت گسل‌های امتدادلغز باعث دگرشکلی برشی در منطقه شده است که این نوع دگرشکلی برشی در گارنت شیبست‌ها نیز مشاهده می‌شود (مرادیان و همکاران، ۱۳۸۴) و در آمفیبول شیبست‌ها باعث تشکیل بافت گاربن شیفر شده و در این سنگ‌ها همانند سنگ-های تاثیرین ویندو منطقه آلپ که بافت گاربن شیفر توسط استفن و همکاران (۲۰۰۱) در آن‌ها گزارش

فروهورنبلند تا فرو-چرماک هورنبلند متغیر می-باشد. کانی آمفیبول در آمفیبول شیست‌ها دارای فابریک نماتوبلاست و گاربن شیفر است که در اثر عوامل تکتونیکی برشی، تاثیر سیالات و ایجاد خزش مرز دانه‌ها ایجاد شده است. شیمی فابریک‌های مختلف آمفیبول از گروه آمفیبول شیست‌ها در محدوده مگنزو-فرو هورنبلند تا چرماک-فرو-چرماک هورنبلند می‌باشد. شیمی کانی آمفیبول در مجموعه‌های دگرگونی خواجو و سورات متاثر از دو عامل پروتولیت و درجه دگرگونی سنگ‌های حاوی آمفیبول بوده و فابریک‌های مختلف تأثیری بر تغییر ترکیب شیمی کانی آمفیبول ندارند.

-قاسمی، ع.، ۱۳۸۱. تحلیل ساختارهای سنگ‌های دگرگونی جنوب شرق شاهین دژ، پایان نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۱۷ ص.
-مرادیان، ع.، پیغمبری، س. و احمدی پور، ح.، ۱۳۸۴. سنگ شناسی، شیمی کانی‌ها و سنگ‌زایی متاپلیت‌های مجموعه تنبور واقع در شرق سیرجان (استان کرمان). مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲، ص ۳۶۲-۳۴۷.

-Biermann, C., 1979. Investigations into the development of microstructures in amphibole-bearing rocks from the Seve Koli Nappe complex, Phd Thesis, Leiden State Univ, 121 p.
-Furnes, H., Rosing, M. and Dilek, Y., 2009. Isua Supracrustal Belt (Greenland)—A Vestige of a 3.8 Ga Suprasubduction Zone Ophiolite, and the Implications for Archean Geology, Lithos, v. 113(1-2), p. 115-132.
-Hoffmann, J. E., Carsten Münker, C., Polat, A., Minik, T., Rosing, M. T. and Schulz, T., 2011. The origin of decoupled Hf-Nd isotope compositions in Eoarchean rocks from southern West

در کانی آمفیبول تغییر معنی‌داری در شیمی کانی-های آمفیبول کمپلکس خواجو و سورات ایجاد نکرده است.

نتیجه گیری

در کمپلکس‌های دگرگونی خواجو و سورات در زون دگرگونی سندج-سیرجان، کانی آمفیبول در گارنت آمفیبولیت‌ها با پروتولیت متابازیکی و در آمفیبول شیست‌ها با پروتولیت گری وک حضور دارد. فابریک کانی آمفیبول در گارنت آمفیبولیت‌ها نماتوبلاست بوده و شیمی آن‌ها در محدوده

منابع

-خلقی خسرقی، م.ح. و علوی نائینی، م.، ۱۳۷۳. نقشه زمین شناسی شاهین دژ با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
-سبزه‌ای، م.، ۱۳۷۶. نقشه زمین شناسی سیرجان با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Greenland, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 75, p. 6610-6628.

-Jamshidi Badr, M., Masoudi, F., Collins, A.S. and Sorbi, A., 2012. Mineralogical evidence for regional metamorphism overprinted by contact metamorphism. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, v. 86 (1), p. 48-68.

-Jamshidi Badr, M., Collins, A.S., Masoudi, F. and Cox, G., 2010. Dating of Precambrian Metasedimentary Rocks and Timing of their Metamorphism in the Soursat Metamorphic Complex (NW IRAN): Using LA-ICP-MS, U-Pb Dating of Zircon and Monazite, *Journal*

- of Sciences, Islamic Republic of Iran, v. 21(4), p. 311-319.
- Jamshidi Badr, M., Collins, A.S., Masoudi, F., Cox, G. and Mohajjel, M., 2013. The U-Pb Age, Geochemistry and Tectonic Significance of Granitoids In The Soursat Complex, Northwest Iran, Turkish Journal of Earth Sciences, v. 22, p. 1-31.
- Kruhl, J. H., 2001. Crystallization control on the development of foam textures in quartz, plagioclase and analogue material, In: Dresen G, Handy M(eds) deformation mechanisms, rheology and micro structures, international journal of earth sciences, v. 90, p. 104-117.
- Leake, B. E., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. and Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphiboles, European Journal of Mineralogy, v. 9, p. 623-642.
- Massey, M.A. and Moecher, D.P., 2013. Transpression, extrusion, partitioning and lateral escape in the middle crust: significance of structures, fabrics, kinematics and geochronology in the Bronson Hill zone, southern New England: J. Structural Geology, v. 55, p. 62-78.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran, J Asian Earth Science, v. 21, p. 397-412.
- Passchier, C.W. and Trouw, R.A.J., 2005. Microtectonics, Springer, 365p.
- Stefen, K., Selverstone, J. and Brearley, A., 2001. Episodic weakening and strengthening during synmetamorphic deformation in a deep crustal shear zone in the Alps, Geological Society, London, Special Publications, v. 186, p. 141-156.
- Steffen, K. and Selverstone, J., 2006. Retrieval of P-T information from shear zones: thermobarometric consequences of changes in plagioclase deformation mechanisms, Contrib Mineral Petrol, v. 151, p. 600-614.
- Suk, M., 1983. Petrology of Metamorphic Rocks Elsevier Scientific Publishing Company, 322 p.
- Szilas, K., Kelemen, P. and Rosing, M., 2014. The petrogenesis of ultramafic rocks in the N3.7 Ga Isua supracrustal belt, southern West Greenland: Geochemical evidence for two distinct magmatic cumulate trends, Gondwana Research, [http://dx. doi.org/10.1016/j.gr.2014.07.010](http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2014.07.010)
- Tullis, J., Yund, R. and Farver, J., 1996. Deformation-enhanced fluid distribution in feldspar aggregates and implications for ductile shear zones. Geology, v. 24, p. 63-66.
- Vernon, R. H., 1976. Metamorphic processes, Allen and Unwin, London, 247 p.
- Winckler, H.G.P., 1967. Petrogenesis of Metamorphic Rocks: Springer-Verlag, New York, Inc, 237 p.