پتـــــرولوژی، سال اول، شماره اول، بهار ۱۳۸۹، صفحه ۲۷- ۴۸
تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۰/۲۶

ویژگی‌های کانه‌زایی و انواع دگرسانی‌های وابسته در مظهر معدنی نبی‌جان (آذربایجان خاوری- شمال‌غرب ایران)

فریده وزیری هشی [۱*]، محمد لطفی [۲] و محمدهاشم امامی [۳]

[۱] پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۲] پژوهشکده علوم زمین؛ دانشکده علوم‌پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران‌شمال، تهران، ایران
[۳] پژوهشکده علوم زمین؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، تهران، ایران

چکیده

نشانه معدنی نبی‌جان از نظر جغرافیایی در ۲۰ کیلومتری جنوب‌باختری شهرستان کلیبر و بر اساس تقسیم‌بندی‌های ساختاری در زون البرز- آذربایجان واقع شده است. واحدهای نفوذی منطقه به سن الیگوسن و با ترکیب سنگ‌شناختی مونزودیوریت-دیوریت تا گابرو-مونزوگابرو در واحدهای آهکی و ولکانیکی کرتاسه فوقانی نفوذ کرده و سیال‌های با منشاء ماگمایی حاصل از این توده‌ها، سبب دگرگونی خود توده و سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی واحد آهکی اطراف شده است. چهار زون دگرسانی اصلی پتاسیک، فیلیک، سیلیسی و پدیدهٔ تورمالینی‌شدن در مظهر معدنی نبی جان شناسایی شده‌اند. از نظر کانی‌زایی، می‌توان کانی‌های پیریت، طلای آزاد، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، اسفالریت، مالاکیت، آزوریت، ماگنتیت و هماتیت را در منطقه مشاهده نمود. اکتشافات ژئوشیمیایی با برداشت ۴۲۵ نمونه صورت گرفته است که بر اساس داده‌ها، بالاترین عیار مس در منطقه ۴۱۲۰۰گرم در تن و پایین‌ترین عیار آن ۱۲گرم در تن تعیین گردیده است. میانگین عیار طلا در منطقه ppm ۰/۴۴است. شواهد صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی، تشکیل و کانه‌زایی طلا و مس در منطقه را در کنترل عوامل ساختاری و شیمیایی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مظهرمعدنی نبی‌جان، دگرسانی، مس، طلای آزاد

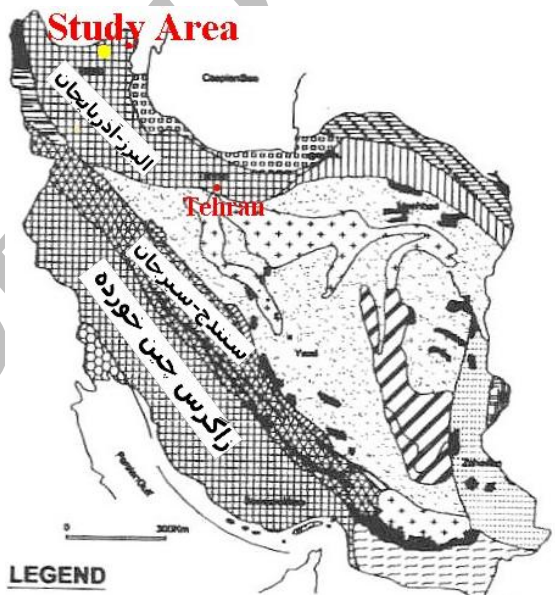
مقدمه

مظهرمعدنی نبی‌جان در شمال روستای نبی‌جان و در حدود ۲۰ کیلومتری جنوب‌باختر شهرستان کلیبر (شمال‌باختری ایران) بین طول‌های خاوری ´۵۰ ۴۶ و ´۴۷ ۴۶ و عرض‌های شمالی ´۴۷ ۳۸ و ´۴۶ ۳۸ واقع شده است. این محدوده به لحاظ تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری ایران (شکل ۱) در زون البرز غربی- آذربایجان قرار دارد (نبوی، ۱۳۵۵). مظهر معدنی نبی‌جان به وسعت تقریبی ۹ کیلومترمربع، طی اجرای طرح اکتشاف سیستماتیک در زون متالوژنی اهر - ارسباران توسط

*vaziriheshi@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

گروه اکتشافات معدنی سازمان زمین‌شناسی به‌عنوان یک محدودهٔ امیدبخش از عناصر طلا و مس شناسایی و معرفی شد. منطقه مذکور به‌لحاظ خصوصیات زمین‌شناسی و کانی‌سازی، از جمله مناطقی است که نیازمند مطالعه و ارزیابی دقیق‌تری است. به‌همین سبب، در این نوشتار سعی شده است ضمن توصیف ویژگی‌های کانه‌زایی و دگرسانی‌ها در محدوده مذکور، ارتباط گسترش کانی‌سازی با انواع دگرسانی‌ها تعیین گردد.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه زون‌های ساختاری ایران (نبوی، ۱۳۵۵).

روش انجام پژوهش

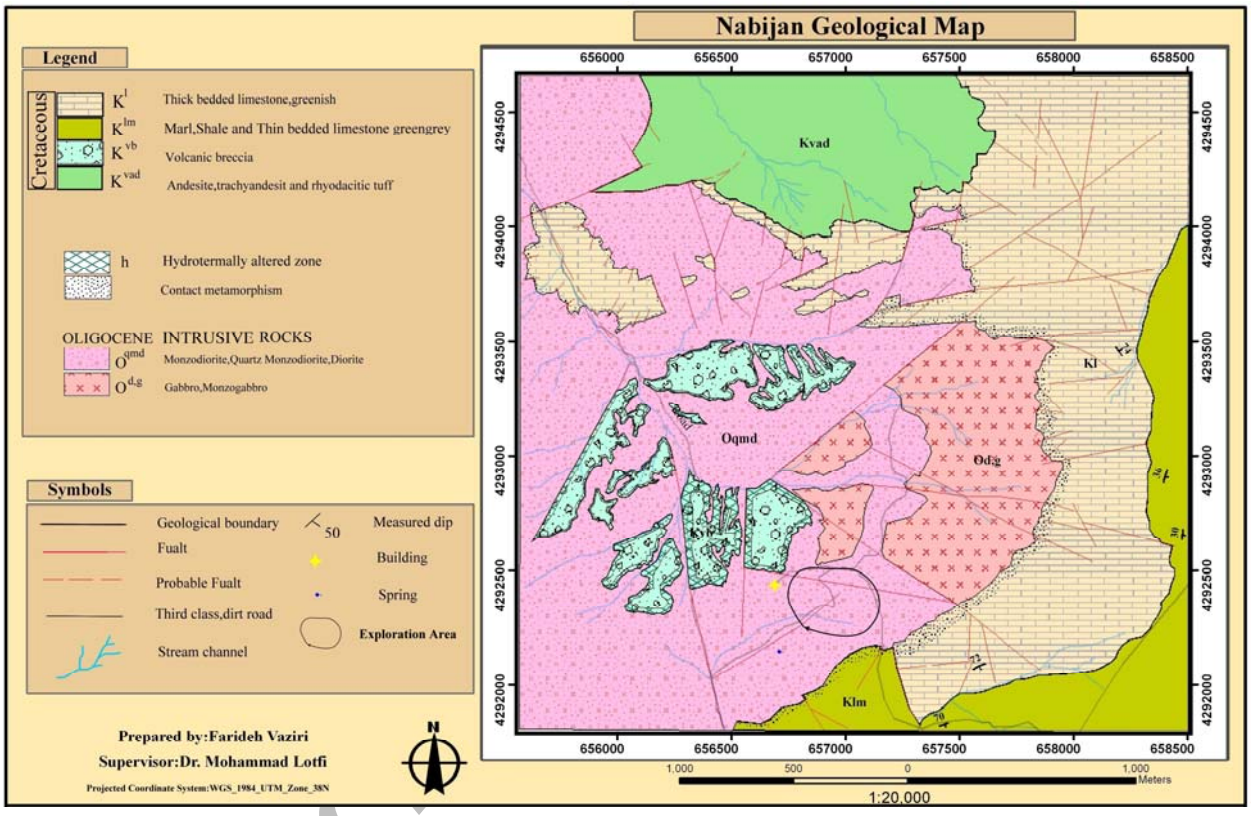
در این مطالعه، برای بررسی‌های ژئوشیمیایی تعداد ۴۲۵ نمونه از یک ترانشه (T3) و ۷۴ چاهک اکتشافی با متراژ نمونه‌برداری در فواصل ۲-۳ متر از یکدیگر از بخش‌های سنگی منطقه برداشت گردید. تجزیه نمونه‌های برداشت‌شده با روش جذب اتمی در محل آزمایشگاه شیمی سازمان زمین‌شناسی کشور صورت گرفت (جدول ۱). به‌منظور بررسی‌های سنگ‌نگاری، تعداد ۵۵ مقطع نازک (از بخش‌های دگرسان و غیردگرسان منطقه) و برای مطالعات کانه‌نگاری، ۲۱ عدد مقطع نازک تهیه گردید.

زمین‌شناسی

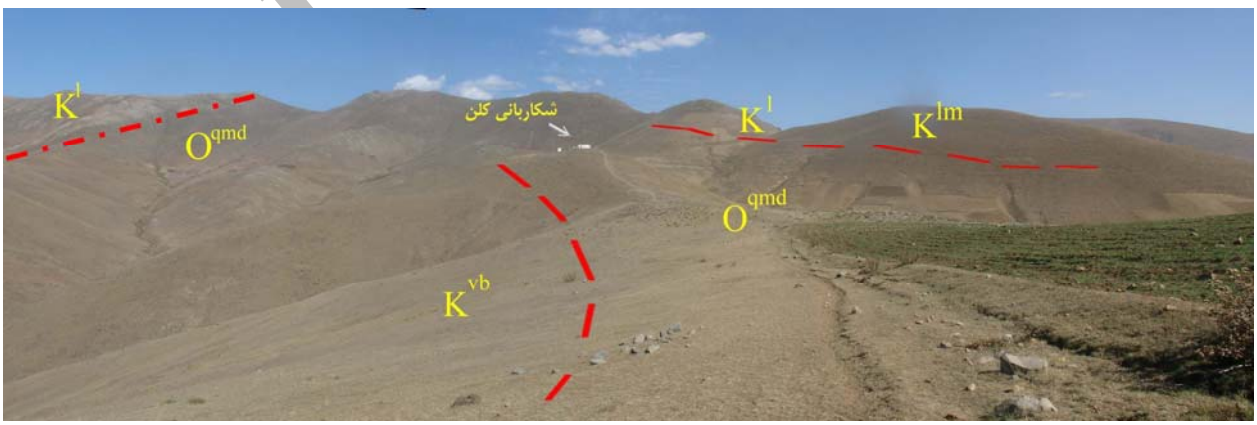
شناخت واحدهای سنگی ناحیهٔ مورد بررسی نخستین گام در جهت فراهم ساختن اطلاعات پایه در راستای مطالعات تفضیلی است. به‌همین دلیل، بر مبنای عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده، پیمایش‌های صحرایی، مطالعات سنگ‌نگاری و نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش ورزقان، نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه گردید. به‌طورکلی، قدیمی‌ترین رخنمون سنگی در منطقه مورد بحث که در بخش غربی و شمال‌غربی محدوده برونزد داشته، شامل سری‌های آتشفشانی کرتاسه با ترکیب متغیر از اسیدی (ریوداسیت) تا حدواسط (آندزیت تا تراکی‌آندزیت) است (شکل ۲). مجموعه فوق توسط واحدهای سنگی مارنی، شیلی و آهکی به سن کرتاسه فوقانی پوشیده شده است (شکل ۳) و در کل تحت‌تأثیر توده‌های نفوذی به سن الیگوسن در برخی نقاط واحدها متحمل دگرگونی همبری (مجاورتی) شده‌اند؛ به‌گونه‌ای‌که در تماس با واحدهای رسوبی کرتاسه فوقانی اسکارن و گه‌گاه هورنفلس، و در حاشیه غربی توده، در مجاورت بلافصل با واحدهای آتشفشانی حاشیه دگرسانی ایجاد کرده است. گدازه‌های آندزیتی - بازالتی با ساختار منشوری، نشانهٔ آخرین فعالیت آذرین در منطقه شمال و شمال‌باختری اهر بوده و بخش گسترده‌ای از خاور محدودهٔ مورد بررسی را می‌پوشاند. در محدودهٔ مورد مطالعه، توده‌های نفوذی به دو واحد اصلی و مشخص، مونزودیوریتی- کوارتزمونزونیتی تا دیوریتی و دیگری واحد گابرویی - مونزوگابرویی قابل تفکیک هستند.

Archive of SID
www.SID.ir

واحد مونزودیوریتی به‌عنوان سنگ میزبان کانه‌زایی با بافت غالب گرانولار تا پورفیروئیدی، حاوی فنوکریست‌های درشت پلاژیوکلاز و پیروکسن در زمینه‌ای هولوکریستالین ریزدانه از آمفیبول، پیروکسن، پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپار، بیوتیت و به مقدار اندک کوارتز است. این واحد با نفوذ به درون واحدسنگی گابرویی سبب ایجاد شکستگی و خردشدگی در آن شده است. تودهٔ نفوذی گابرویی نیز با بافت گرانولار هولوکریستالین حاوی بلورهای پلاژیوکلاز، پیروکسن، اولیوین، آلکالی‌فلدسپار و بیوتیت است.



شکل ۲- نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ مطالعاتی. موقعیت بخش حفاری (چاهک‌های اکتشافی) در نقشه مشخص شده است.



شکل ۳- نمایی از تودهٔ نفوذی مونزودیوریتی نبی‌جان (O^{qmd}) و همبری آن با واحدهای آتشفشانی (K^{vb}) و واحدهای رسوبی کرتاسه فوقانی (K^{l}, K^{lm}) (دید به‌سمت شمال خاور).

www.SID.ir

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های چاهک‌های اکتشافی رخداد معدنی نبی‌جان.

Samples	Au (ppm)	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Samples	Au (ppm)	Cu	Pb	Zn	Ag	As
Nb-A0-1	0.6	38	24	75	0.6	96.8	Nb-A5-3	0.1	640	55	200	1.5	35
Nb-A0-2	0.2	85	34	80	0.9	128	Nb-A5-4	0.1	410	35	200	0.6	24.7
Nb-A0-3	0.1	85	65	80	0.7	170	Nb-A5-5	0.1	285	25	170	0.6	34.6
Nb-A0-4	0.1	90	60	45	0.7	142	Nb-A5-6	0	210	15	110	0.3	19.6
Nb-A0-5	0.1	115	50	50	0.6	375	Nb-A6-1	0.2	150	45	150	0.7	69.3
Nb-A0-6	0.3	780	25	115	0.3	99	Nb-A6-10	0.1	340	20	150	0.7	33.7
Nb-A0-7	0.1	200	34	125	0.4	101	Nb-A6-11	0.1	145	22	110	0.4	18.2
Nb-A01-1	0.3	80	220	90	1.3	123	Nb-A6-12	0	140	27	135	0.4	15.4
Nb-A01-2	0.2	285	62	105	0.9	185	Nb-A6-2	0.1	160	31	140	0.4	58.4
Nb-A01-3	0.1	360	51	160	1.1	151	Nb-A6-3	0.1	130	35	135	0.3	29.4
Nb-A01-4	0.1	310	33	130	0.7	96.5	Nb-A6-4	0.1	105	19	120	0.2	29.4
Nb-A01-5	0.1	170	35	125	0.4	67.4	Nb-A6-5	0.2	1320	28	110	1.6	52
Nb-A1-1	0.1	105	95	200	0.9	103	Nb-A6-6	0	260	20	125	0.6	16.6
Nb-A1-2	0.1	90	60	135	0.5	92	Nb-A6-7	1.5	2575	24	120	2.1	49
Nb-A1-3	0	80	35	100	0.5	46.7	Nb-A6-8	0.5	800	22	100	0.9	41.2
Nb-A1-4	0	100	45	140	0.7	97.1	Nb-A6-9	0.2	730	45	195	1.1	35
Nb-A1-5	0	47	20	60	0.3	93.2	Nb-B0-1	0.1	100	24	100	0.2	35.7
Nb-A1-6	1	85	215	350	2.6	1684	Nb-B0-2	0	150	28	140	0.3	21.8
Nb-A1-7	0	45	28	240	0.6	300	Nb-B0-3	0.1	130	44	125	0.8	151
Nb-A1-8	0	90	18	180	0.3	200	Nb-B0-4	0	120	70	155	8.2	34
Nb-A1-9	0	135	45	600	0.8	232	Nb-B0-5	0	100	21	200	0.4	18
Nb-A101-1	1	75	45	67	1.4	210.5	Nb-B0-6	0.3	95	30	180	0.8	132
Nb-A101-2	1.4	55	50	50	1.5	182	Nb-B01-1	0.1	70	60	210	1.6	28.5
Nb-A101-3	2.2	28	35	37	1.5	227.3	Nb-B01-2	0.1	60	42	145	3.6	15.4
Nb-A101-4	2.9	42	28	50	1.5	206	Nb-B01-3	0.2	90	220	145	1.8	19.3
Nb-A101-5	1.1	130	38	75	0.8	483.2	Nb-B01-4	0.8	65	35	170	1.2	45.8
Nb-A101-6	0.7	160	38	65	0.8	165	Nb-B01-5	0.2	13	40	100	0.6	90.3
Nb-A2-1	0.1	105	47	305	1.1	270	Nb-B01-6	0.2	12	110	140	1.1	24.8
Nb-A2-2	0.3	115	78	450	1	366	Nb-B01-7	0.2	28	280	300	2.6	78.3
Nb-A2-3	0.2	122	800	800	9.9	443	Nb-B1-1	0.3	85	28	105	0.7	243
Nb-A2-4	0.1	90	520	630	5.5	350	Nb-B1-2	2.4	80	35	200	2.8	1614
Nb-A2-5	0.1	295	420	660	7.2	292	Nb-B1-3	2.2	68	38	140	2.8	1703
Nb-A3-1	0	100	25	170	0.5	19.6	Nb-B1-4	0.7	85	20	160	0.6	2332
Nb-A3-2	0	85	33	150	0.6	19.5	Nb-B1-5	0.8	90	190	180	13.7	1820
Nb-A3-3	0	90	28	205	0.4	26.2	Nb-B1-6	0.4	160	50	175	1.8	880
Nb-A3-4	0.1	90	29	200	0.4	24	Nb-B1-7	0.2	320	380	370	20	323
Nb-A4-1	0.4	640	220	470	2.9	120.5	Nb-B1-8	0.2	220	650	325	13.6	13.9
Nb-A4-2	0.5	750	210	460	7.5	113	Nb-B2-1	0.6	140	180	270	7.5	464
Nb-A5-1	0.1	1375	40	200	1.6	26.3	Nb-B2-2	0.1	120	35	285	1.1	206
Nb-A5-2	0.3	905	30	160	1.3	22.6	Nb-B2-3	0.5	230	42	205	1.5	425.3
Nb-B2-4	0.6	225	450	1350	4.2	955	Nb-B7-13	0	260	25	110	0.4	46.4
Nb-B3-1	0.2	190	50	175	0.9	81.4	Nb-B7-2	0.3	500	105	290	2.5	223
Nb-B3-10	0	105	125	320	10.7	199	Nb-B7-3	0.1	265	51	225	1.4	119
Nb-B3-2	0.1	170	30	140	0.6	38.6	Nb-B7-4	0	185	24	215	0.5	85.6
Nb-B3-3	0	110	25	95	0.2	17.1	Nb-B7-5	0	175	38	230	1	76.3
Nb-B3-4	0	85	15	110	0.3	20.5	Nb-B7-6	0.1	190	48	180	0.7	88.3
Nb-B3-5	0.1	125	350	180	1.9	180.6	Nb-B7-7	0.1	400	51	180	1.5	86.3
Nb-B3-6	2.9	180	4600	1565	26.5	6265	Nb-B7-8	0.2	265	48	130	1	126.5
Nb-B3-7	0.1	130	1500	1440	15.2	1149	Nb-B7-9	0.2	180	51	110	1.1	109
Nb-B3-8	0.1	80	160	310	1.6	478	Nb-B8-1	0	120	48	190	0.5	32.9
Nb-B3-9	0.1	50	90	150	0.4	161.5	Nb-B8-2	0	105	45	300	0.6	29.6
Nb-B4-1	0.4	350	45	165	0.6	31.9	Nb-B8-3	0	130	26	190	0.2	10.9
Nb-B4-2	0.1	210	33	115	0.3	27.5	Nb-B8-4	0	85	130	80	0.3	10.5
Nb-B4-3	0.1	170	25	110	0.3	35	Nb-B8-5	0	160	90	225	0.8	40.9
Nb-B4-4	0.2	245	31	145	0.4	28.6	Nb-B8-6	0.1	155	25	160	0.3	41.8
Nb-B4-5	0.1	170	28	120	0.3	23.3	Nb-Bc-1	0.1	1090	320	550	8.3	221
Nb-B4-6	0.1	130	23	115	0.3	21.7	Nb-Bc-2	0.1	365	65	265	1.6	128.6
Nb-B5-1	0.1	150	33	120	0.4	33.5	Nb-Bc-3	0.1	890	60	300	3.2	96.3

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- ادامه.

Samples	Au (ppm)	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Samples	Au (ppm)	Cu	Pb	Zn	Ag	As
Nb-B5-10	0	130	16	120	0.2	20.2	Nb-Bc-4	0.2	2395	305	290	16	225
Nb-B5-2	0.1	135	25	100	0.4	44	Nb-Bc-5	1	7120	1330	600	44.4	1118
Nb-B5-3	0	130	26	120	0.3	17	Nb-Bc-6	0.2	1800	500	635	12.1	582
Nb-B5-4	0.1	150	24	160	0.3	52.1	Nb-Bc-7	0.3	7595	150	400	26.7	532
Nb-B5-5	0	170	18	110	0.3	32.7	Nb-Bc-8	0.3	3820	500	550	48.4	1036
Nb-B5-6	0.1	320	110	340	0.4	69	Nb-Bc-9	0.2	2740	400	480	30.5	724
Nb-B5-7	0	150	31	160	0.3	21.4	Nb-C0-1	0.2	265	40	165	0.7	381
Nb-B5-8	0	170	43	160	0.4	22.7	Nb-C0-2	4.5	265	35	115	0.7	507
Nb-B5-9	0	180	20	120	0.7	29	Nb-C0-3	0.1	115	80	100	0.9	56
Nb-B6-1	0.1	315	53	180	1.1	91	Nb-C0-4	0.2	120	280	650	4	52.7
Nb-B6-2	0.1	260	38	190	0.8	84	Nb-C0-5	0.1	75	375	730	4.6	32.1
Nb-B6-3	0	130	19	140	0.4	50	Nb-C0-6	0	50	550	830	3	12.2
Nb-B6-4	0	140	22	150	0.4	44	Nb-C0-7	0.1	95	450	775	5.7	14.4
Nb-B6-5	0	150	23	185	0.9	92	Nb-C1-1	0.2	140	450	650	8.4	104.6
Nb-B6-6	0	205	22	205	1.2	124	Nb-C1-10	0.2	185	310	520	3.8	179
Nb-B6-7	0	185	22	145	0.6	44	Nb-C1-11	0.2	70	210	380	1.6	100
Nb-B6-8	0	190	20	115	0.1	63	Nb-C1-2	0.1	130	65	430	5	82.8
Nb-B6-9	0	180	17	115	0.3	37.3	Nb-C1-3	0.2	140	65	280	2	269.7
Nb-B7-1	0.7	430	125	275	2.5	220	Nb-C1-4	0.6	110	450	365	6.4	348.5
Nb-B7-10	0	190	25	90	0.7	60.6	Nb-C1-5	0.2	120	220	340	2.4	88.6
Nb-B7-11	0	180	48	135	0.8	57.3	Nb-C1-6	0.1	95	240	430	2.1	58.1
Nb-B7-12	0	160	35	150	0.4	38.8	Nb-C1-7	1.5	100	250	420	2.2	26.4
Nb-C1-8	0.4	67	185	450	2	92.8	Nb-C6-2	0.6	680	1785	2010	20.7	2385
Nb-C1-9	0.1	79	300	700	3.2	73.5	Nb-C6-3	1.2	855	9200	1710	48.1	2443
Nb-C2-1	1.1	170	340	605	5.9	871	Nb-C61-1	0.2	1165	330	870	15.8	836
Nb-C2-2	1	245	320	835	5	812	Nb-C61-2	0.6	1800	1115	720	20.6	1338
Nb-C2-3	0.8	225	500	1530	3	668	Nb-C61-3	0.3	575	545	1655	14.6	1671
Nb-C2-4	0.2	285	80	430	3.3	633.9	Nb-C61-4	0.6	745	805	1355	20.1	1441
Nb-C3-1	0	135	40	210	0.8	57.5	Nb-C61-5	0.6	2620	545	1265	31.5	1507
Nb-C3-10	0.1	130	65	450	0.3	128	Nb-C61-6	0.5	1695	805	1900	34.7	1873
Nb-C3-11	0	82	35	970	0.5	304	Nb-C61-7	0.4	985	1995	5325	29.1	1967
Nb-C3-12	6.7	980	10600	6590	150	0	Nb-C61-8	0.4	875	2405	4225	28	1999
Nb-C3-13	2	245	1330	3480	14.5	2552	Nb-C7-1	0.5	575	500	470	14.2	1554
Nb-C3-2	0.2	110	20	135	0.4	61.9	Nb-C7-2	0.4	2255	545	675	18.7	1628
Nb-C3-3	0	115	30	145	0.3	64.3	Nb-C7-3	0.5	2630	910	720	44	1914
Nb-C3-4	0	88	29	170	0.4	41.8	Nb-C7-4	0.3	1500	960	2010	11.8	1689
Nb-C3-5	0	105	38	165	0.3	31.8	Nb-C7-5	0.2	1295	650	895	14.2	1427
Nb-C3-6	0	100	28	180	0.3	29.5	Nb-C8-1	0.2	575	220	540	2.5	402
Nb-C3-7	0.1	115	20	170	0.4	47.7	Nb-C8-10	0	125	28	210	0.5	174
Nb-C3-8	0.1	98	35	180	0.3	46.2	Nb-C8-2	0.1	115	65	470	1.2	192
Nb-C3-9	0.1	155	20	160	0.4	63.1	Nb-C8-3	0.1	190	63	450	1.4	216
Nb-C4-1	0	245	35	400	1.6	290	Nb-C8-4	0.1	155	250	905	1.4	261
Nb-C4-10	0	110	19	150	0.3	14.8	Nb-C8-5	0.1	125	40	800	0.7	268
Nb-C4-11	0	115	18	150	0.3	17.3	Nb-C8-6	0	130	24	315	0.4	200
Nb-C4-12	0.1	170	40	225	1.4	312.5	Nb-C8-7	0	110	28	195	0.2	143
Nb-C4-2	0.1	205	45	210	2	228	Nb-C8-8	0	85	14	140	0.2	141
Nb-C4-3	0	115	25	155	0.8	97.9	Nb-C8-9	0.1	115	18	170	0.4	206
Nb-C4-4	0	133	62	200	0.8	26.8	Nb-C9-1	0.2	480	210	260	3.2	51.6
Nb-C4-5	0	95	37	150	0.5	15.3	Nb-C9-2	0.2	320	63	300	2.4	43.4
Nb-C4-6	0	260	25	130	0.6	17	Nb-C9-3	0.2	120	35	210	0.7	20.7
Nb-C4-7	0	110	18	185	0.3	14.5	Nb-D0-1	0.1	50	35	50	0.6	56.6
Nb-C4-8	0	135	14	170	0.3	13.5	Nb-D0-2	0.1	175	31	80	0.3	17.4
Nb-C4-9	0.1	115	19	160	0.4	17.2	Nb-D0-3	0.1	585	20	125	0.5	105
Nb-C5-1	0.9	3460	2665	2050	50.6	2401	Nb-D0-4	0.1	260	40	95	0.6	11.5
Nb-C5-2	0.3	1680	1010	1515	15.1	910	Nb-D0-5	0.1	185	40	85	0.5	18.8
Nb-C5-3	1	2280	3065	1665	38.1	2492	Nb-D1-1	0.2	90	70	120	1	47.6
Nb-C5-4	0.3	1690	2150	865	13.4	724	Nb-D1-2	0.4	290	100	165	1.8	143.9
Nb-C5-6	0.4	640	400	880	8.3	410	Nb-D1-4	0.4	115	600	450	15.5	147

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- ادامه.

Samples	Au (ppm)	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Samples	Au (ppm)	Cu	Pb	Zn	Ag	As
Nb-C5-7	0.2	700	1085	2330	12.1	797	Nb-D1-5	0.7	25	450	400	3.6	234
Nb-C5-8	0.3	1110	1425	3075	19.2	904	Nb-D1-6	0.1	115	500	675	3	53
Nb-C6-1	0.4	1340	600	550	20.4	859	Nb-D1-7	0.1	50	210	330	1.3	17.3
Nb-D1-8	0.1	15	200	350	1.1	20.4	Nb-E10-2	0.1	170	75	210	0.5	33.2
Nb-D1-9	0.1	115	180	350	2	43.5	Nb-E11-1	0	75	15	110	0.2	6.7
Nb-D10-1	0.3	240	115	220	1	37.2	Nb-E11-2	0	140	17	95	0.3	11.4
Nb-D10-2	0.4	240	160	240	1	49.9	Nb-E3-1	2.2	3895	925	1330	29.5	4533
Nb-D3-1	5.3	855	2150	270	82.9	6277	Nb-E3-2	1.9	2295	880	850	43.1	2667
Nb-D3-10	0.5	855	860	880	8	1496	Nb-E3-3	2.3	1165	1575	535	68.4	4608
Nb-D3-2	4.6	1040	1890	390	80	4130	Nb-E3-4	0.7	1435	1275	575	34.3	2845
Nb-D3-3	0.9	5380	450	380	75.5	4237	Nb-E3-5	0.3	235	480	790	2.5	688
Nb-D3-4	0.2	10900	190	570	39.3	734	Nb-E3-6	0.7	7305	1175	3300	41.2	1897
Nb-D3-5	0.5	12200	210	640	35.7	622	Nb-E32-1	1.6	6880	1175	2040	23.3	2524
Nb-D3-6	0.1	3720	58	510	16.2	311	Nb-E32-2	0.3	3750	300	1755	6.5	1147
Nb-D3-7	0.4	9825	600	670	24.2	806	Nb-E32-3	0.1	405	830	850	4.3	719
Nb-D3-8	2.2	3300	700	560	12	4590	Nb-E32-4	0.2	2220	180	980	3.2	589
Nb-D3-9	0.8	3270	500	730	7.5	1564	Nb-E32-5	0.4	2705	370	1540	7.4	1566
Nb-D7-1	0.5	5960	960	675	51.7	1712	Nb-E32-6	0.9	1625	1375	1935	14	2403
Nb-D7-2	0.2	2040	550	745	19.5	591	Nb-E5-1	0.6	2450	1275	1665	30.4	2763
Nb-D7-3	0.2	1750	805	940	15.3	795	Nb-E5-2	1.4	2915	640	1050	35.9	5180
Nb-D7-4	0.3	2655	410	885	27.6	747	Nb-E5-3	0.7	3240	500	725	31.6	3836
Nb-D7-5	0.2	1620	200	580	12.7	464	Nb-E5-4	0.6	3625	280	475	16.7	2554
Nb-D7-6	0.2	1460	220	500	10.3	331	Nb-E5-5	0.8	3535	210	650	11.9	1286
Nb-D7-7	0.2	1860	450	620	19.7	556	Nb-E6-1	0.2	1165	210	800	8.5	528
Nb-D8-1	0.3	2125	130	780	7.1	502	Nb-E6-2	0.4	4400	450	930	31.8	938
Nb-D8-2	0.4	2805	750	1040	24.6	1428	Nb-E7-1	0.3	3745	550	635	39.8	1563
Nb-D8-3	0.4	6020	280	550	37.3	902	Nb-E7-2	0.1	1080	120	435	8	394
Nb-D8-4	0.2	1535	295	360	14.1	710	Nb-E7-3	0.3	2565	600	800	27.7	1311
Nb-D8-5	0.1	650	65	335	2.3	199	Nb-E71-1	0.1	1230	60	620	7.8	417
Nb-D8-6	0.3	2510	660	500	11.2	878	Nb-E71-2	0.6	4805	220	1735	26.8	2805
Nb-D8-7	0.3	2420	480	795	11.3	805	Nb-E71-3	0.3	2050	160	670	12.8	1005
Nb-D9-1	0.1	260	100	210	2	48.6	Nb-E8-1	0.1	1935	85	1500	7.1	742
Nb-D9-2	0.1	260	70	200	1.2	46.5	Nb-E8-2	0.2	2375	165	1490	12.2	940
Nb-D9-3	0.1	220	75	205	1	37.6	Nb-E8-3	0.2	1440	280	1960	14	942
Nb-E1-1	0.9	25	70	130	1.1	67.1	Nb-E8-4	0.2	1980	300	2060	10	1311
Nb-E1-2	0.3	92	100	140	1.5	110	Nb-E9-1	0.1	160	40	220	0.7	69.5
Nb-E1-3	0.1	60	140	280	3.2	80.2	Nb-E9-2	0	135	30	160	0.7	56
Nb-E1-4	0.1	35	160	160	2.3	56.6	Nb-E9-3	0	110	18	175	0.7	55.1
Nb-E1-5	0.2	110	140	170	2.5	110	Nb-E9-4	0	185	15	230	0.9	55.1
Nb-E1-6	0.1	50	160	330	0.9	15.9	Nb-E91-1	0.2	450	380	550	2.6	407
Nb-E1-7	0.1	25	220	400	1.3	40.2	Nb-EF3-1	0.6	3075	2730	1670	30.8	2756
Nb-E1-8	7.8	30	155	300	1.6	20.8	Nb-EF3-2	0.4	2995	3075	1880	18.7	2756
Nb-E10-1	0.2	210	125	400	0.4	54.1	Nb-EF3-3	1.1	2845	8060	1275	39.3	4733
Nb-EF3-4	2.6	6090	2975	2330	74.8	2526	Nb-F9-1	0.2	600	150	500	1.3	60.7
Nb-F10-1	0	600	80	260	0.9	17.5	Nb-F9-2	0.2	530	140	510	1.3	59.7
Nb-F10-2	0.1	500	85	220	0.5	22.5	Nb-F9-3	0.1	1510	31	535	1.7	132
Nb-F10-3	0	500	33	180	0.7	11.8	Nb-F9-4	0.1	1385	75	530	2.8	149
Nb-F10-4	0.1	400	33	250	0.7	22.4	Nb-FG-1	0.4	4295	500	720	18.5	222
Nb-F2-1	1	1220	450	875	8.4	944	Nb-FG-2	0.4	1145	380	765	9.8	316
Nb-F3-1	0.2	2850	250	2610	9.6	1100	Nb-G23-1	1.3	860	580	2800	4.3	373
Nb-F3-2	0.1	3680	240	2795	11.4	1166	Nb-G23-2	0.5	650	245	2135	2.5	253
Nb-F3-3	0.1	2840	95	1790	4	651	Nb-G23-3	0.1	380	90	1645	2.2	184
Nb-F3-4	0.1	1970	150	1295	1.8	315	Nb-G23-4	0	155	72	1490	1.6	175
Nb-F3-5	0.1	2615	80	1295	0.9	201	Nb-G23-5	0.7	390	320	1420	13.3	1043
Nb-F3-6	0.3	7260	150	3000	2	830	Nb-G23-6	0.2	120	75	555	2.3	432
Nb-F3-7	0.4	2115	1075	10800	7.6	932	Nb-G3-1	1.2	1555	1130	2635	10.2	940
Nb-F3-8	0.2	650	260	3500	1.6	286	Nb-G3-10	0.1	280	200	1395	1.2	161
Nb-F3-9	3.2	790	980	3565	4	2511	Nb-G3-2	0.2	720	720	2535	7.2	388

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- ادامه.

Samples	Au (ppm)	Cu	Pb	Zn	Ag	As
Nb-F32-1	0.6	1240	650	2430	11.6	1076
Nb-F32-2	0.9	1040	630	1915	15.2	938
Nb-F32-3	0.2	1730	250	1975	13.1	615
Nb-F32-4	0.1	1805	160	1530	9.3	663
Nb-F32-5	0.5	2480	400	2140	7.6	989
Nb-F4-1	0.5	1870	500	2580	33.9	1088
Nb-F4-2	0.2	2120	200	1380	22.2	537
Nb-F4-3	0.1	2740	85	890	13.9	434
Nb-F45-1	0.3	1955	1755	1675	27.2	1582
Nb-F45-2	0.3	2395	400	860	15.9	878
Nb-F45-3	0.2	805	120	675	10.6	427
Nb-F45-4	0.1	1240	190	2190	5.3	532
Nb-F5-1	0.7	7655	480	950	48.8	2076
Nb-F5-2	0.4	4695	220	575	17.8	1022
Nb-F5-3	0.2	4215	700	620	17.6	475
Nb-F5-4	7.5	11500	21300	910	159	3612
Nb-F5-5	2.3	9355	32000	1400	215	3787
Nb-F6-1	0.5	605	420	460	8.2	452
Nb-F7-1	0.1	350	120	300	1.3	148
Nb-F7-2	0.3	825	210	400	4.3	334
Nb-F7-3	0.2	1680	150	380	11.7	226
Nb-F8-1	0.1	625	250	660	4.1	564
Nb-F8-2	0	585	90	560	1.7	257
Nb-F8-3	0	175	22	250	0.5	53
Nb-G3-3	2.5	900	4130	1895	27	2800
Nb-G3-4	1.3	450	1540	1335	7.4	2570
Nb-G3-5	0.9	5895	2425	1895	47.6	2012
Nb-G3-6	0.7	400	820	2840	4.1	612
Nb-G3-7	1.5	950	620	2165	6.8	1070
Nb-G3-8	0.4	400	360	1490	1.8	313
Nb-G3-9	0.2	300	200	1395	1.8	186
Nb-G4-1	0.4	1965	950	1460	19.5	724
Nb-G4-2	0.6	1730	850	1200	13.4	665
Nb-G4-3	0.2	535	220	480	4.4	167
Nb-G6-1	0.1	1340	115	375	2.8	131
Nb-G6-2	0.1	1710	35	250	1.7	63
Nb-G6-3	0	1740	50	350	1.4	52
Nb-G7-1	0	190	60	350	1.6	44.8
Nb-G7-2	0	130	38	155	0.5	24.4
Nb-G7-3	0	135	30	150	0.5	33
Nb-G7-4	0	90	55	150	0.3	23.3
Nb-G7-5	0	105	20	125	0.3	22
Nb-G7-6	0	255	20	135	0.2	17
Nb-G7-7	0	160	55	150	0.8	18.2
Nb-G8-1	0	110	33	180	0.4	16.7
Nb-G8-2	0	95	25	150	0.4	13.9
Nb-G8-3	0	110	40	135	0.6	28.3
Nb-G8-4	0	120	25	165	0.6	24.3

ویژگی‌های کانی‌شناسی انواع دگرسانی‌های گرمابی در منطقه

سنگ‌های منطقهٔ نبی‌جان، متأثر از سیالات گرمابی ناشی از نفوذ تودهٔ مونزودیوریتی بوده و هاله‌های دگرسانی ویژه‌ای را به‌وجود آورده است. انواع دگرسانی‌های شناسایی‌شده در محدوده، به‌ترتیب فراوانی، مشتمل بر موارد زیر است:

۱- دگرسانی پتاسیک

کانی‌های شاخص دگرسانی پتاسیک در محدودهٔ مورد بررسی پتاسیم فلدسپار و بیوتیت ثانویه است. این دگرسانی با جانشینی فلدسپارپتاسیم در سطح و پیرامون پلاژیوکلازها و کانی‌های پیروکسن توسط بیوتیت مشخص می‌شود (شکل ۴). متاسوماتیسم پتاسیم در واحد سنگی مونزودیوریتی به‌صورت انتخابی و در واحد گابرویی به‌سبب توسعه درزه‌ها و ریزشکاف‌های ناشی از فعالیت عوامل زمین‌ساختی، علاوه بر حالت انتخابی به‌صورت رگچه‌ای نیز قابل ملاحظه است (شکل ۵). در این دگرسانی کانی‌سازی اپاک، معمولاً مگنتیت هم‌زمان با تجزیه پیروکسن‌ها به بیوتیت به‌فرم پراکنده و به‌میزان اندک صورت می‌گیرد. در مجموع، فرآیند متاسوماتیسم پتاسیم در هر دو توده بی‌بار ازکانی‌سازی است.

۲- دگرسانی سریسیتی‌شدن

در منطقه مورد مطالعه، دگرسانی سریسیتی بر اثر هیدرولیز و هجوم سیالات اسیدی بر واحدسنگی مونزودیوریتی تشکیل شده است. این دگرسانی با پاراژنزهای کانیایی سریسیت (مسکوویت) + کوارتز ± کلریت ± کانی‌های رسی در محدوده مورد بررسی مشخص می‌شود. این فرآیند عمدتاً در نتیجه کاهش درجهٔ حرارت و تغییرات نسبت غلظت عنصر واکنش‌گر

Archive of SID

www.SID.ir

(K^+) بر غلظت یـون هیـدروژن (aK^+/aH^+) سـیالات در مراحل میانی و نهایی دگرسـانی و کـانی‌سـازی صـورت می‌گیرد. در مطالعات میکروسکوپی کانی‌های پلاژیوکلاز شدیداً به سریسیت و (یـا مسـکوویت) دگرسـانی نشـان می‌دهند (شکل ۶)، از نگاه دیگر، واکنش (۱) را می‌توان معلـول سریسـیتی‌شـدن و مسـکویت‌زایـی فلدسـپارها دانست (Meyer and Henly, 1967):

(۱) $4(NaAlSi_3O_8 - CaAl_2Si_2O_8) + 4H^+ + 2K^+ \rightarrow 2KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 + 8SiO_2 + 4Na^+ + Ca^{2+}$

افزون بر آن، در طی این دگرسانی تأثیر محلول‌ها بر روی کانی‌های بیوتیـت سـبب تبـدیل آن بـه کلریـت و پیدایش کانی کوارتز و آزادشدن یون‌های پتاسیم، آهن و منیزیم شده اسـت. کـانی‌کلریـت نیـز پایـدار نبـوده، در واکنش با یـون هیـدروژن تجزیـه و شکسـته شـده و در نتیجه، کانی‌های سریسیت و کوارتز تشـکیل مـی‌شـوند. واکنش (۲) رابطه تبدیل کانی‌ها (بیوتیت ← کلریـت) را نشان می‌دهد (Robb, 2005):

(۲) $K(Mg, Fe)_3\{(OH)_2/AlSi_3O_{10}\} + 4H^+ \rightarrow Mg_3(OH)_6(Mg, Fe)_2Al\{(OH)AlSi_3O_{10}\} + 2K^+ + 6SiO_2 + (Mg^{2+}, Fe^{2+})$

در عین حال، یون‌های پتاسیم، آهـن و منیـزیم آزاد شده وارد محلـول‌هـای گرمـابی بـاقی‌مانـده شـده و در تشکیل محصولات بعدی دگرسـانی شـرکت مـی‌کننـد؛ بدین‌ترتیب که یون K^+ آزاد شـده از بیوتیـت مـی‌توانـد موجب سریسـیتی شـدن پلاژیـوکلاز گـردد و Ca^{+2} آزاد شده از فلدسپارها به‌همراه یون آهن و تیتانیم آزاد شـده از تجزیه بیوتیت در تولیـد اسـفن (شـکل ۷) و اپیـدوت به‌کار می‌روند. برپایهٔ مشاهدات صحرایی و آزمایشـگاهی به‌تدریج درگذر از زون پتاسـیک بـه‌سـوی زون فیلیـک، علاوه بر افـزایش شـدت دگرسـانی سریسـیتی، بـه‌طـرز چشم‌گیری بر میزان و تراکم کانه‌زایی افزوده مـی‌شـود. دگرسانی در زون فیلیک از نوع انتخابی است. گسـترش این دگرسانی محدود به بخش‌های منطقهٔ حفـاری‌شـده است (شکل ۸).

۳- دگرسانی سیلیسی

این دگرسانی در محـدودهٔ مـورد مطالعـه بـه‌صـورت رگه-رگچه‌های کوارتز و کـوارتز-پیریـت در بخـش‌هـای فوقانی زون فیلیک مشاهده می‌شـود. در ایـن محـدوده، سیلیسی‌شدن بـه‌صـورت کوارتزهـای متبلـور بـی‌رنـگ، شیری‌رنگ و به‌علت وجود آغشتگی‌هایی از اکسـیدهـای آهن قهوه‌ای‌رنـگ مشـخص مـی‌گـردد. انـدازه بلورهـای کوارتز نیز از چند میلی‌متر تـا متجـاوز از ۵ سـانتی‌متـر متغیر است. توسعه و گسترش شکستگی‌هـا و درزه‌هـای ناشی از تنش‌های تکتونیکی در منطقـه و وجـود سـیال داغ آبگـین غنـی از سـیلیس، از عوامـل اصـلی افـزایش قابلیت انتشار یون‌ها بوده، از این رو، نرخ رشد بلورهـا را در فضاهای خالی ایجاد شده بـه‌مقـدار درخـور تـوجهی بیشتر خواهد نمود. این دگرسانی افزون بر قطـع‌نمـودن دگرسانی سریسیتی‌شدن (شکل ۹) باعـث تبلـور دوبـاره بلورهای کوارتز و سریسیت زون فیلیک نیز شده است.

۴- پدیدهٔ تورمالینی‌شدن

تورمـالینی‌شـدن در محـدودهٔ مطالعـاتی بـه‌صـورت محدود همـراه بـا کانـه‌زایـی مالاکیـت فضـاهای خـالی شـکاف‌هـا و ربـز درزه‌هـای حاصـل از تـنش‌هـای زمین‌ساختی بعدی را پر نموده‌است (شـکل ۹). فرآینـد متاسوماتیسم بور در منطقه بـا تشـکیل کـانی شـورلیت (نوع آهن‌دار تورمـالین) مشـخص مـی‌شـود. در بررسـی میکروسکوپی ایـن کـانی دارای بلورهـای خودشـکل تـا

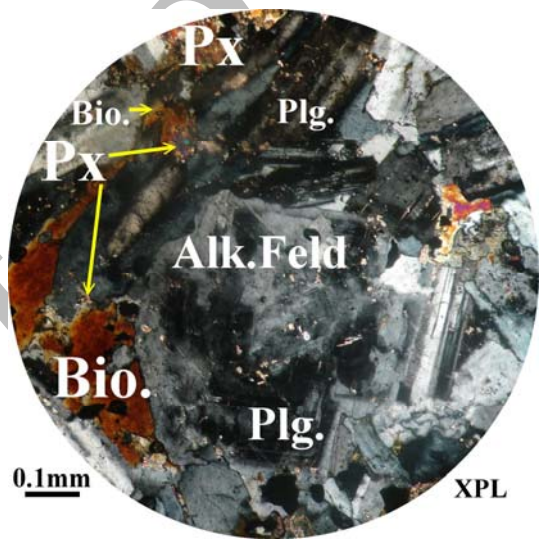
Archive of SID

www.SID.ir

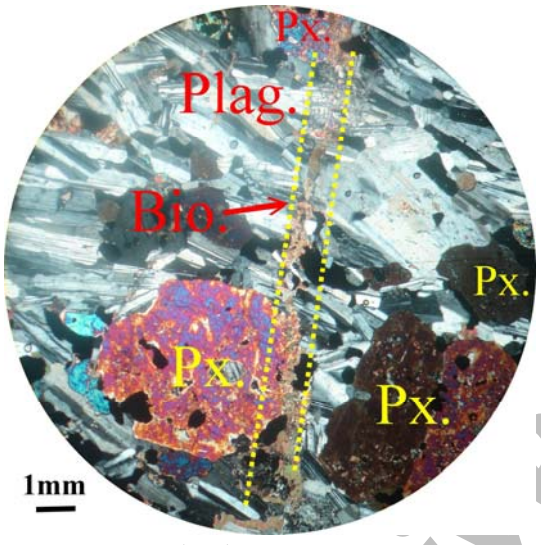
بی‌شکل و ابعاد ۰/۱mm تا حدود ۳mm است و دگرسانی‌های سریسیتی و سیلیسی را قطع نموده است.

۵- دگرسانی آرژیلیک

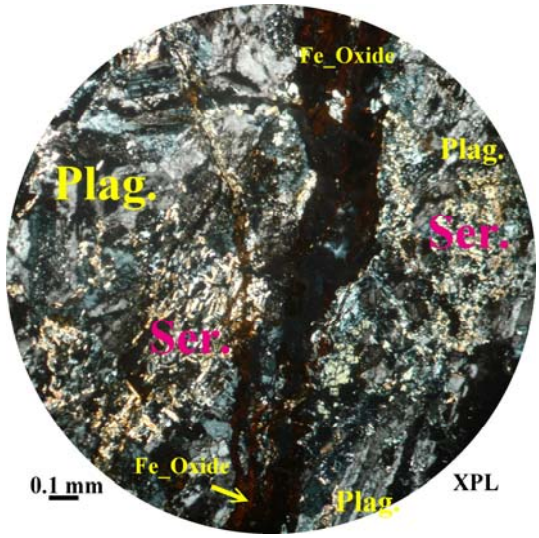
این دگرسانی با پاراژنز کانیایی کائولینیت، مونت‌موریونیت و ایلیت در منطقه قابل شناسایی است. گسترش کانی‌های رسی در اطراف رگچه‌های سیلیسی، منطقهٔ اکسیداسیون کانی‌های سولفوره و نیز در بخش‌هایی خارج از زون فیلیک با شدت‌های کاملاً ناهمسان و به‌صورت فراگیر مشاهده می‌شود. این استقرار از نظم و منطقه‌بندی معینی پیروی نمی‌کند، بنابراین، بین دگرسانی فیلیک و آرژیلیک نمی‌توان مرز و محدوده‌ای دقیق و شاخص ترسیم نمود.



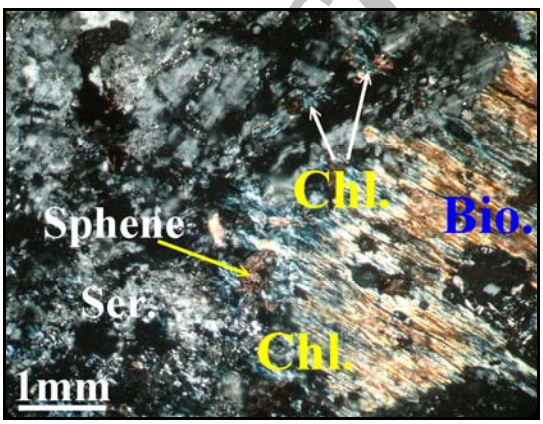
شکل ۴- سیمای میکروسکوپی از دگرسانی پتاسیک در مونزودیوریت.



شکل ۵- نفوذ بیوتیت‌های ثانویه (Bio.) به درون شکستگی ایجاد شده در گابرو (بزرگنمایی 10X، نورپلاریزه).

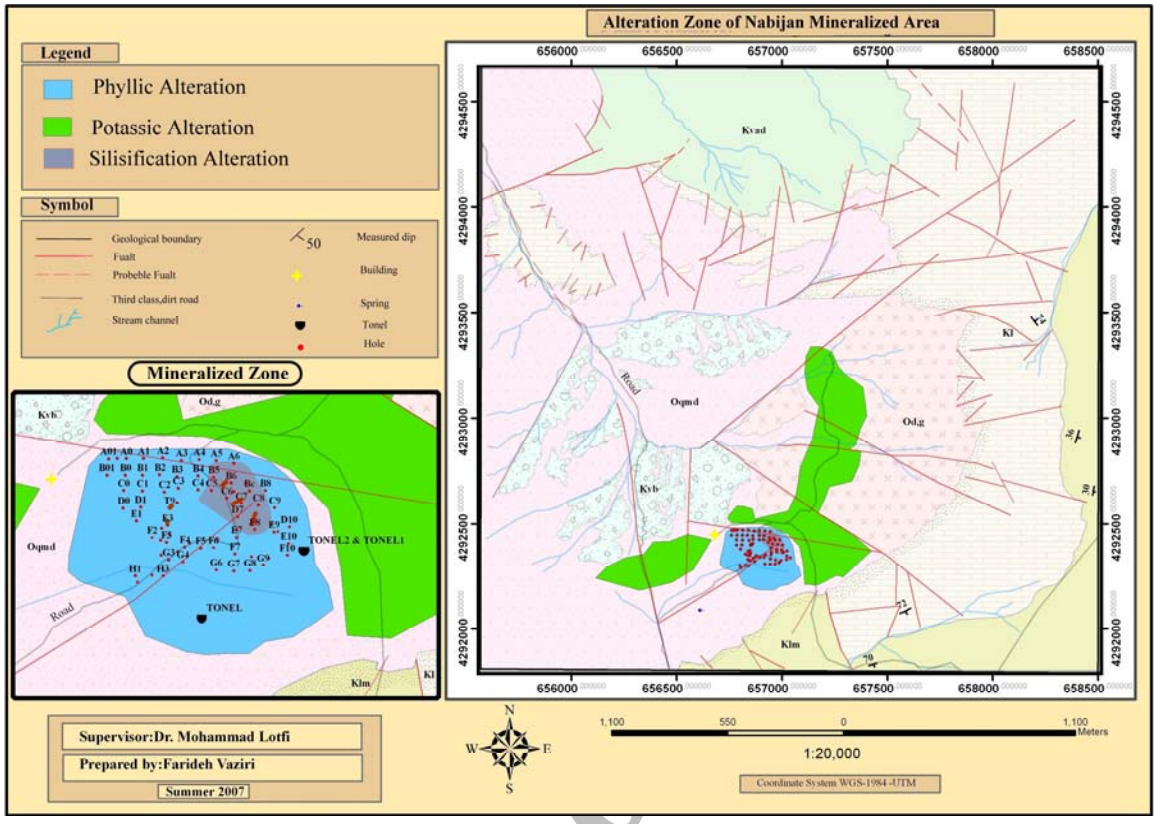


شکل ۶- سیمای میکروسکوپی از سریسیتی‌شدن کانی‌های پلاژیوکلاز به‌صورت فراگیر به‌همراه شکستگی‌های پر شده از هیدروکسید آهن.



شکل ۷- تجزیه بیوتیت به کلریت در حواشی کانی. شبکهٔ کانی بیوتیت اولیه، اسفن تولید نموده است.

www.SID.ir

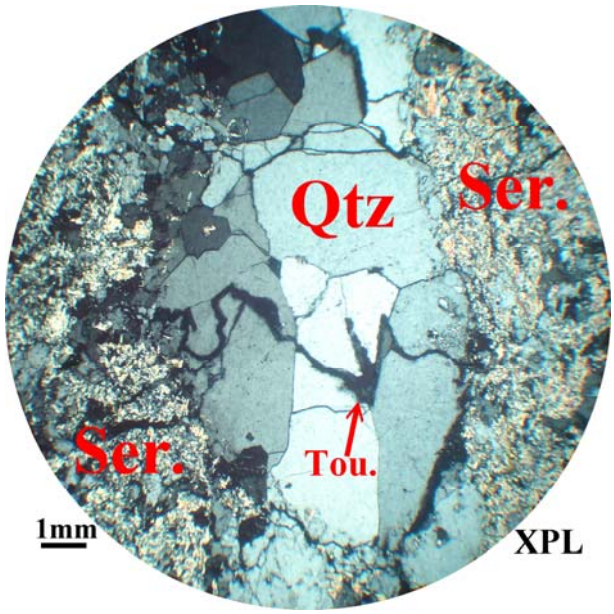


شکل ۸- توزیع موقعیت مکانی دگرسانی‌ها.

بررسی کانه‌زایی در منطقه (مطالعات کانه‌نگاری)

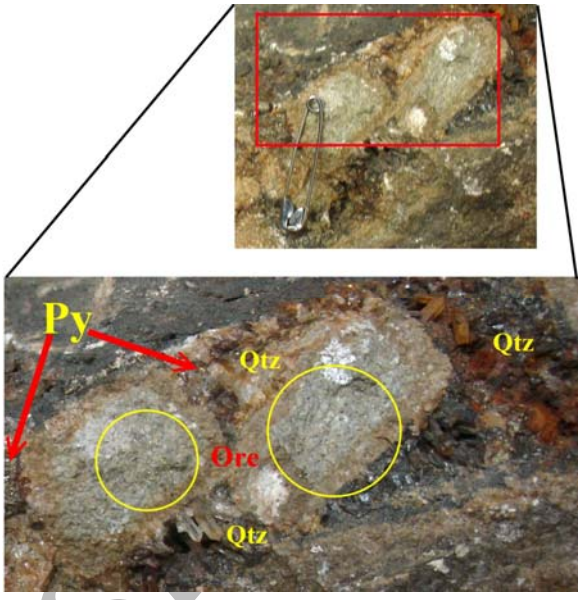
به‌طور کلی، فرآیند کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی، طی دو مرحله کانه‌زایی و به دو گونهٔ افشان و رگه-رگچه‌ای قابل شناسایی است (شکل ۱۰). چنین مشخص است که کانی‌سازی افشان در بخش‌های میانی و پایینی، و در بخش‌های فوقانی کانه‌زایی رگچه‌ای متقاطع و سازندهٔ ساخت استوک‌ورک، عمومیت دارد. فراوان‌ترین رگه‌های استوک‌ورک رگچه‌های کوارتز (دگرسانی سیلیسی‌شدن) هستند که عموماً کانی‌های پیریت آن را همراهی کرده، غالباً با هیدروکسیدها و اکسیدهای آهن و منگنز آغشتگی نشان می‌دهند.

پیریت: کانی پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی در منطقه است که به‌صورت شکل‌دار، نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و با بافت انتشاری و رگچه‌ای در مقاطع دیده می‌شود. شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی نسل‌های متفاوتی از پیریت را مشخص می‌نمایند.



شکل ۹- سیمای میکروسکوپی از دگرسانی‌های تورمالینی‌شدن و سیلیسی (رگه کوارتزی) که دگرسانی سریسیتی را قطع نموده‌است.

Archive
www.SID.ir

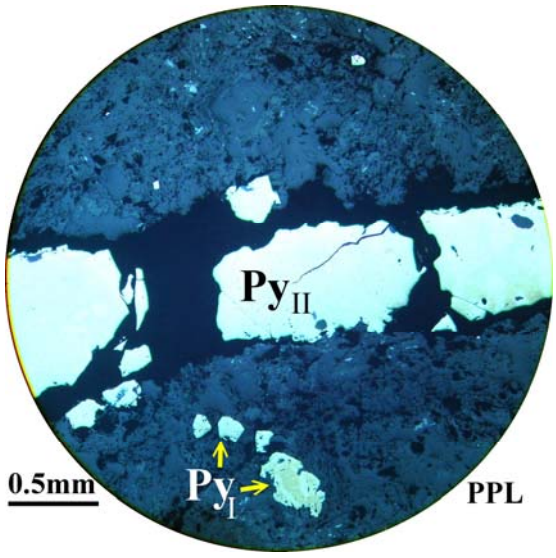


شکل ۱۰- نمایی از کانه‌زایی صورت‌گرفته به شکل افشان در بخش‌های سالم مونزودیوریت که رگچه‌های کوارتز حاوی کانی‌سازی پیریت آن را قطع نموده‌است.

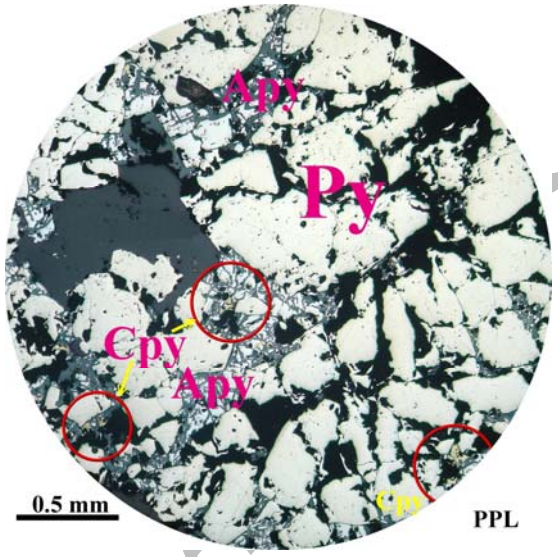
پیریت‌های نسل اول (پیریت I): در سنگ درونگیر به‌صورت بافت افشان و غالباً به‌فرم خودشکل قرار دارند (شکل ۱۱).

پیریت‌های نسل دوم (پیریت II): در آخرین مراحل فعالیت محلول‌های گرمابی و هم‌زمان با تشکیل بلورهای کوارتز به‌فرم رگچه‌ای تشکیل شده‌اند (شکل ۱۱). پیریت در بیشتر نمونه‌ها، به‌ویژه آنهایی که به‌فرم افشان در متن سنگ قرار دارند به‌شدت خردشدگی نشان می‌دهد. این مطلب گویای این مسأله است که این کانی پس از تشکیل متأثر از فشارهای تکتونیکی بوده است.

آرسنوپیریت: این کانی به‌صورت بی‌شکل، پراکنده به‌رنگ سفید با سایهٔ کرمی و قدرت انعکاس در حد ۵۱/۹-۵۲/۲ و بدون انعکاس داخلی در مقاطع میکروسکوپی مشخص است. آرسنوپیریت با بافت کاتاکلاستیک کانی‌های پیریت نسل اول را شکافته و وارد فضای بین آنها و شکستگی‌های خود بلورها شده‌است (شکل ۱۲).



شکل ۱۱- نمایی از حضور دو نسل پیریت در کنار یکدیگر. پیریت نسل اول (Py_I) با بافت افشان و نسل دوم (Py_{II}) با بافت رگچه‌ای.

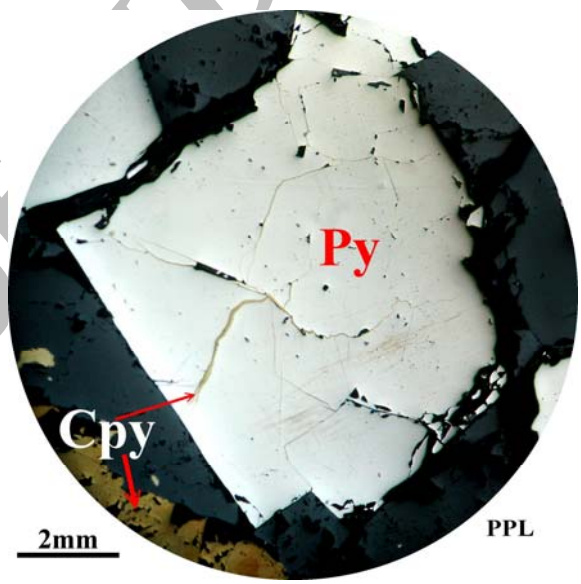


شکل۱۲- نمای از کانی آرسنوپیریت (Apy)، بزرگنمایی 10X.

کالکوپیریت: به‌صورت کاملاً بی‌شکل، به‌رنگ زرد و گاه به‌حالت افشان و گاه به‌صورت ادخال‌های بی‌شکل در درون کانی‌های آرسنوپیریت و یا در امتداد شکستگی‌ها و ریز درزه‌های موجود در پیریت به‌صورت فاز تزریقی (شکل ۱۳) دیده می‌شوند.

www.SID.ir

کانه‌های اسفالریت نیز به‌صورت بی‌شکل، به‌رنگ خاکستری و به‌صورت هم‌رشد با کالکوپیریت مشاهده شده‌اند. شایان ذکر است در مطالعات کانی‌سنگین اسفالریت‌ها دارای تنوع رنگی وسیعی هستند؛ به‌طوری که از رنگ زرد- عسلی تا سبز روشن- تیره به‌سمت قهوه‌ای و قرمز تا ارغوانی و قرمز تیره تا سیاه‌رنگ دیده می‌شوند. به‌نظر می‌رسد که اسفالریت‌ها از نظر ترکیبی فقیر از آهن و غنی از آهن تشکیل شده‌اند.



شکل ۱۳- سیمای میکروسکوپی از فاز تزریقی کالکوپیریت (Cpy) به درون پیریت (Py).

مگنیتیت: مگنیتیت با برجستگی قوی و انعکاس نوری ضعیف به‌مقدار نسبتاً فراوان در مقاطع دیده می‌شود. در برخی مقاطع، به‌صورت ادخال درون پیریت‌های نسل اول مشاهده می‌شوند و گاهی نیز به‌صورت افشان در متن سنگ حضور دارند. در نمونه‌های سطحی غالباً به هماتیت و گوتیت تبدیل شده‌اند.

طلا: از دیگر کانه‌زایی‌های صورت گرفته در محدودهٔ مورد بررسی است. بر پایهٔ مطالعات کانی سنگین، ۴۲۵ نمونه از ۷۴ چاهک اکتشافی حفر شده در منطقه، وجود طلا به‌صورت آزاد مشخص گردیده، و بیشترین تمرکز آن در افق‌های سطحی و عموماً در جبههٔ غربی محدودهٔ مطالعاتی است.

کانه‌زایی برونزاد (Supergene) و اکسیدان

این نوع کانه‌زایی بر نقش محلول‌های سطحی فرورو در اکسایش و فروشست کانه‌های سولفید و در نتیجه جایگزینی سولفیدهای اولیه به‌وسیلهٔ سولفیدهای ثانویه و در مراحل شدیدتر توسط کانی‌های اکسیدی دلالت دارد. کالکوسیت و کوولین، متداول‌ترین کانی‌های زون سوپرژن بوده، حضور مالاکیت و آزوریت در قسمت غربی محدودهٔ حفاری و همچنین کانی‌های لیمونیت، گوتیت، هماتیت و اکسیدهای منگنز به‌صورت انتشاری و عمدتاً رگچه‌ای، همراه با رگچه‌های سیلیسی به‌عنوان کانی‌های ویژهٔ زون اکسیدان در سراسر محدوده مشاهده می‌شود. کانی کوولین نیز درحاشیه‌های بیرونی کالکوپیریت و در داخل سطوح ضعف کانی‌های کالکوپیریت تشکیل شده‌است.

در برخی موارد، جانشینی کالکوپیریت توسط کوولین به‌گونه‌ای است که تنها آثاری از این کانی باقی مانده است. در مطالعات میکروسکوپی و در نور پلاریزه خطی، کانی کالکوسیت به‌رنگ سفید با وضوح ضعیف در اطراف کالکوپیریت مشخص می‌شود.

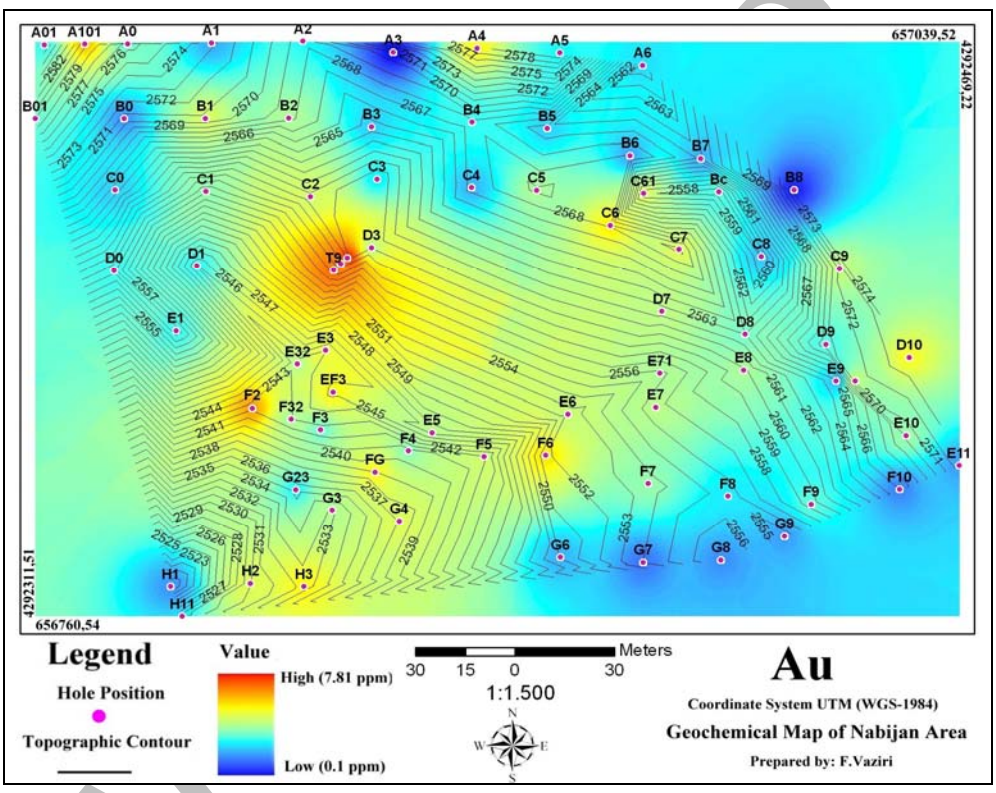
تهیه نقشه‌های هم عیار ژئوشیمیایی عناصر

به منظور بررسی و تعیین نقاط مستعد کانسارسازی عناصر مختلف (Ag ،Au ،As ،Zn ،Cu ،Pb) به‌ویژه طلا و مس و نیز پی‌بردن به غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی عناصر معرف در محدودهٔ تحت بررسی، نقشه‌های هم عیار

Archive of SID

www.SID.ir

(Isograde) طلا، مس، سرب، روی، نقره و آرسنیک، به‌صورت دوبعدی ترسیم شد. تهیه این نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار GIS و با روش کرجینگ (Kriging method) صورت گرفت. این نوع تکنیک، یکی از روش‌های زمین آماری است. به‌طورکلی، تخمین زمین‌آماری فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات نامعلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به‌دست آورد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷)، که متکی به مقدار شباهت نقطه با نقاط مجاور است و در آن فرآیند تخمین بر اساس ساختار فضایی موجود در محیط مورد نظر و بر پایهٔ توابع ریاضی صورت می‌گیرد. دراین روش، فرض نرمال‌بودن داده‌ها صادق است. گریدکردن داده‌ها به‌طور کامل توسط خود نرم‌افزار انجام می‌پذیرد.



شکل ۱۴- نقشه هم‌عیار ژئوشیمیایی طلا.

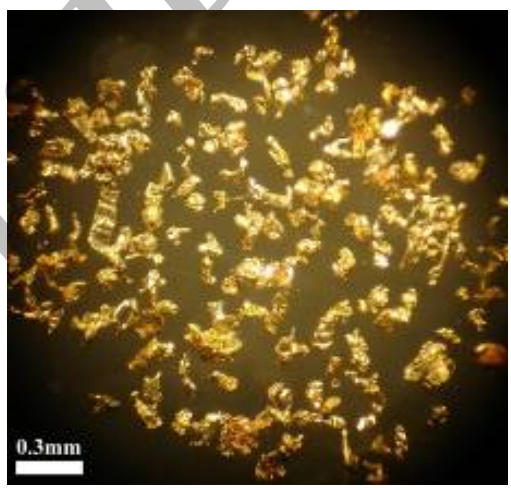
طلا: نقشه هم‌عیار ژئوشیمیایی طلا در شکل ۱۴ نشان داده شده است. بر پایهٔ این نقشه، روند گسترش بی‌هنجاری طلا روندی با امتداد شمال‌غربی-جنوب‌غربی را دنبال می‌کند (این روند به‌خوبی با گسل موجود در منطقه همگرایی نشان می‌دهد). حضور طلای آزاد در مطالعات کانی سنگین (شکل ۱۵) تأییدکنندهٔ این روند است. فراوانی و تراکم باهنجاری‌های به‌دست آمده عمدتاً در بخش‌های سطحی و افق‌های بالادست محدوده است.

علاوه بر آن، نقشه هم‌عیار این عنصر با هالهٔ ژئوشیمیایی عناصر نقره و آرسنیک هم‌پوشانی نشان می‌دهد.

مس: تمرکز و تراکم این عنصر عمدتاً در بخش‌های مرکزی محدودهٔ حفاری ما است (شکل ۱۶). حداکثر تراکم موجود در امتداد ترانشهٔ T9 (۴۱۲۰۰ ppm) است. با توجه به مطالعات کانی سنگین و مقاطع صیقلی

www.SID.ir

بررسـی‌شـده از ایـن بخـش، حضـور مقـادیر بـالایی از مالاکیت، آزوریت (ناشـی از فرآینـدهای سـوپرژن) و بـه مقدار اندک کالکوپیریت را تأیید می‌کند. مس در شرایط اسیدی حلالیت بسیار بالایی دارد و در زون‌های گوسان، مس عنصری است که به‌واسطه حلالیـت بـالای ترکیـب سولفاته آن و حلالیـت انـدک ترکیـب سـولفیدی‌اش در زون احیایی (زیر سطح ایستابی) غنـی‌شـدگی سـوپرژن وسیعی ایجاد می‌کند (Levinson, 1980).



شکل ۱۵- نمای میکروسکوپی از طلا، حاصل از مطالعهٔ نمونه‌هـای کانی سنگین محدودهٔ اکتشافی.

سرب: به‌واسطه قابلیت تحرک و حلالیت پایین ایـن عنصـر (Nickel, 1979) در محـدودهٔ مـورد بررسـی، ناهنجاری گسترده‌ای از آن مشاهده نمی‌شود، سـرب در pH خنثی به آسانی به‌صورت کربنـات (سـروزیت) و یـا سولفات (آنگلزیت) رسوب می‌کند. محدودهٔ تمرکـز ایـن عنصر بیشتر در بخش‌های حاشیهٔ غربی و مرکزی اسـت (شکل ۱۷). با توجه به اینکه حاشیهٔ غربی، شمال- غربی فرسایش کمتری یافته است، بنابراین، فراوانی این عنصر در این بخش احتمالاً به این سبب بوده است.

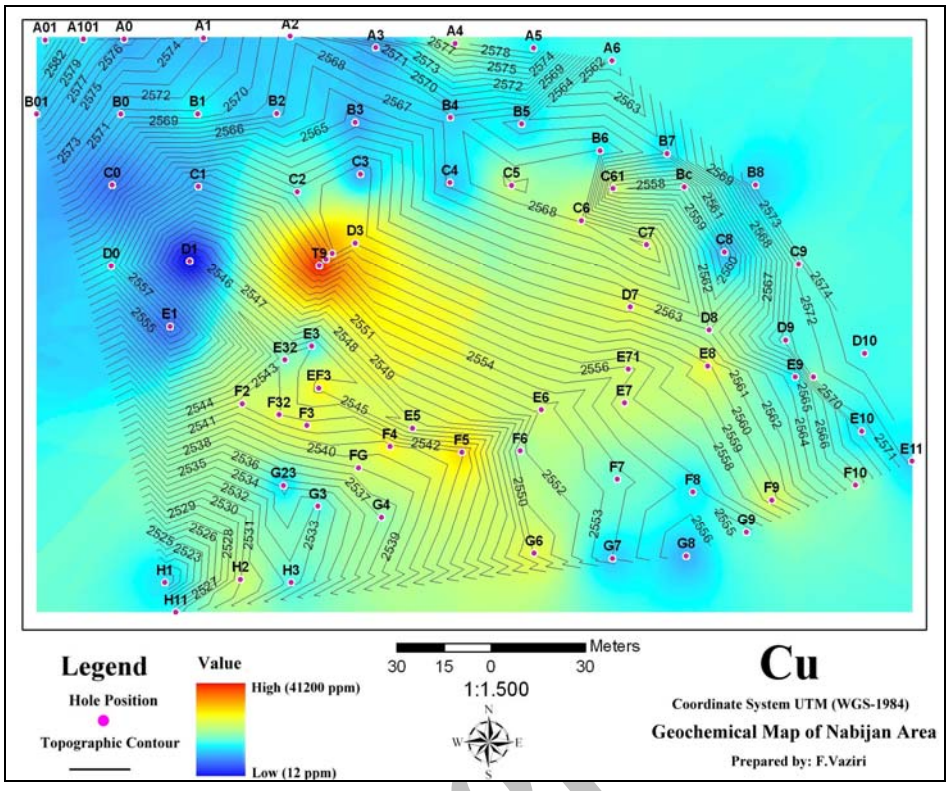
روی: نقشهٔ تراکم و توزیع این عنصر در (شـکل ۱۸) نشان داده شده است. روند گسترش آن منطبق با رونـد توزیع سرب است. البته، تراکم این عنصر کمی به‌سـمت افق‌های پایین‌تر توپوگرافی، به‌سمت حاشیهٔ جنوب‌غربی تمایل نشان می‌دهد که علـت آن را مـی‌تـوان بـه‌دلیـل وجود اسفالریت‌های غنـی از آهـن (معـرف دمـای بـالا) دانست. این عنصر به‌دلیـل قابلیـت تحـرک بسـیار بـالا، به‌ویژه در سیستم‌های گرمابی، همان‌گونه کـه در نقشـه نیز مشخص است، هالهٔ بزرگ‌تری نسبت به سرب برجای می‌گذارد.

نقره: بیشـترین تمرکـز ایـن عنصـر در (شـکل ۱۹) مشخص شده است. از مقایسه آن با نقشهٔ هم‌عیار سـرب انطباق بسیار خوبی حاصل می‌شـود. نقـره مـی‌توانـد در ساختار کانی‌های تترائدریت، کالکوپیریت،گالن و بورنیت قرار گیرد (Rankama and Sahama, 1950)، بنـابراین، با توجـه بـه توزیـع گسـتردهٔ عنصـر نقـره هـم‌رونـد بـا ناهنجاری‌های سـرب و نـاچیز بـودن کـانی‌هـای آن در مطالعات کانه‌نگاری و کانی سنگین، حضور این عنصر در شبکهٔ کانی‌های سرب محتمل به نظر می‌رسد.

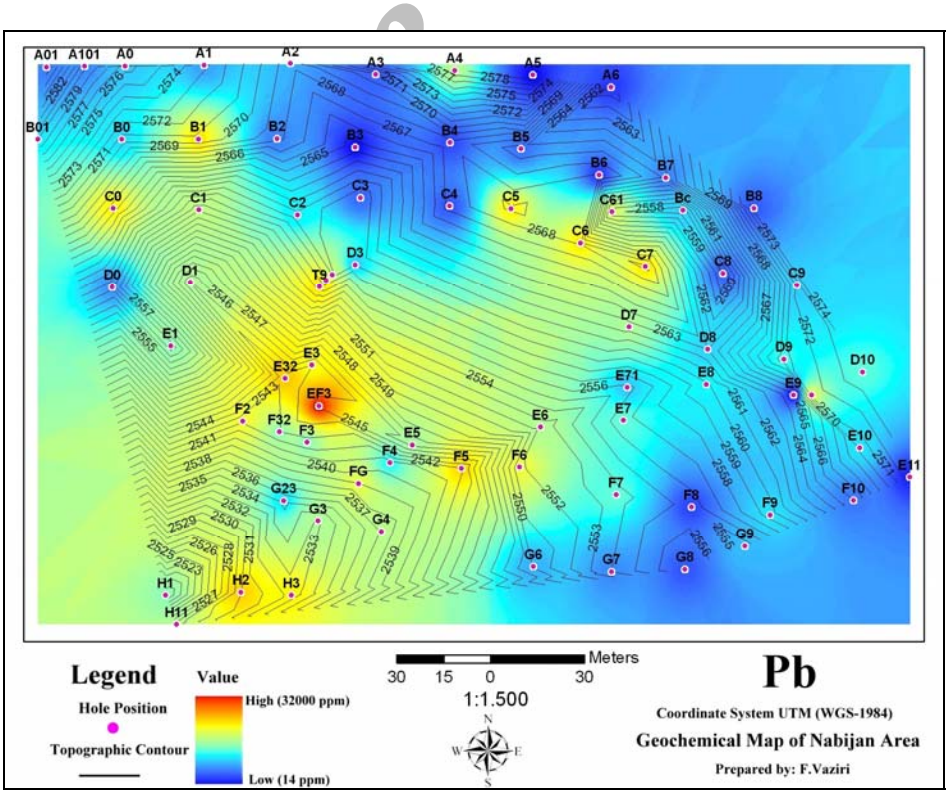
آرسنیک: رونـد گسـترش آرسـنیک در شـکل ۲۰ نشان داده شده است، مدل توزیع این عنصر همانند طلا است. تمرکز این عنصر از بخش جنـوب‌غربـی محـدوده آغاز شده، تا شمال‌غربی امتداد می‌یابد که این موضوع را می‌توان به تحرک بالای این عنصر مربوط دانست. انتقال آرسـنیک درمحلـول‌هـای گرمـابی عمـدتاً بـه‌صـورت کمپلکس‌های H_3AsO_3 و $HAs_3S_6^{-2}$ صورت می‌پـذیرد (Guillementte, 1993).

Archive of SID

www.SID.ir

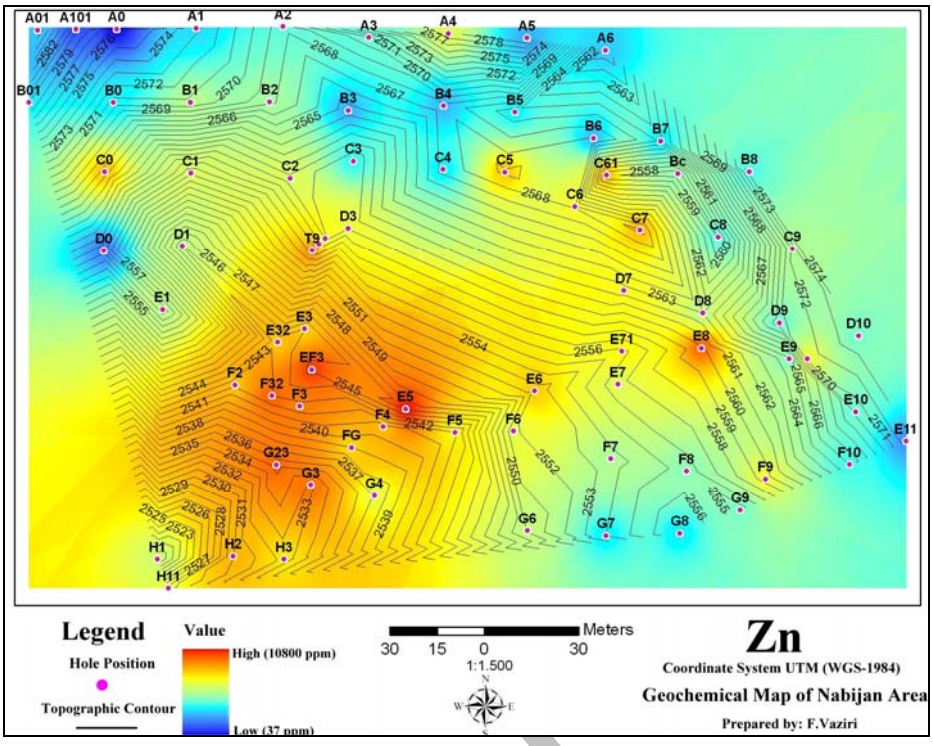


شکل ۱۶- نقشه هم‌عیار ژئوشیمیایی مس.

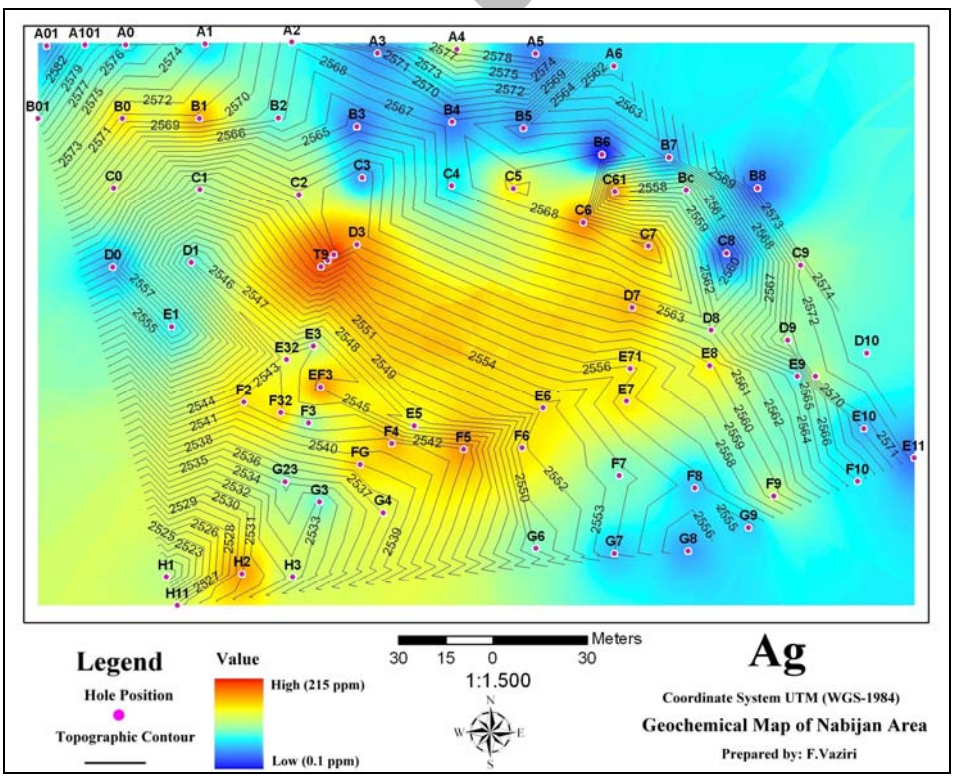


شکل ۱۷- نقشه هم عیار ژئوشیمیایی سرب.

www.SID.ir



شکل ۱۸- نقشه هم‌عیار ژئوشیمیایی روی.



شکل ۱۹- نقشه هم‌عیار ژئوشیمیایی نقره.

www.SID.ir

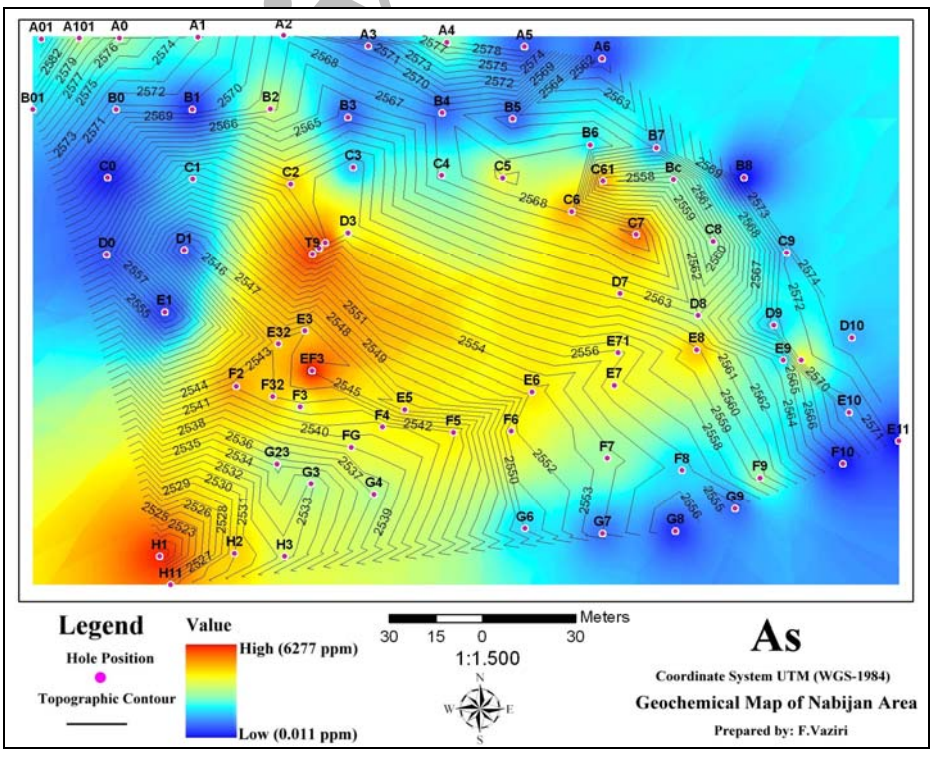
همبستگی ژئوشیمیایی عناصر

از آنجایی که برخی عناصر در یک سری از شرایط محیطی رفتار مشابهی را دارند، لذا در بررسی‌های ژئوشیمیایی شناخت ارتباط متقابل بین عناصر می‌تواند در فهم این شرایط و ارائه تفسیر دقیق‌تری از محیط‌های ژئوشیمیایی مؤثر باشد. به همین منظور، تعیین ضرایب همبستگی به روش اسپیرمن صورت گرفت (جدول ۲). از آنجایی‌که ضریب همبستگی اسپیرمن به نوع تابع توزیع حساس نیست، بنابراین، برای محاسبه آن از داده‌های خام استفاده شد (جدول ۳). مطابق جدول ۲ طلا بیشترین همبستگی را به‌ترتیب با نقره، آرسنیک و سرب دارد. بررسی نقشه‌های هم عیار ژئوشیمیایی، تأیید کننده این موضوع است. همبستگی مثبت موجود دلالت بر وجود شرایط فیزیکوشیمیایی و مکانیزم مشابه نهشت عناصر در کانه‌زایی دارد؛ بر عکس، همبستگی کم و یا منفی گویای عدم برقرار بودن این شرایط است. بر این اساس و بر پایهٔ بررسی‌های ژئوشیمیایی کانه‌زایی طلا در شرایطی تقریباً مشابه با سایر عناصر و به عبارتی، زایش آن در مراحل پایانی تکامل مظهر معدنی نبی‌جان صورت گرفته است.

جدول ۲- ماتریس همبستگی به روش اسپیرمن.

Correlations			Au	Cu	Pb	Zn	Ag	As
Spearman's rho	**Au**	Correlation Coefficient	1	.472(**)	.697(**)	.508(**)	.730(**)	.719(**)
	Cu	Correlation Coefficient	.472(**)	1	.548(**)	.621(**)	.684(**)	.611(**)
	Pb	Correlation Coefficient	.697(**)	.548(**)	1	.808(**)	.876(**)	.725(**)
	Zn	Correlation Coefficient	.508(**)	.621(**)	.808(**)	1	.770(**)	.703(**)
	Ag	Correlation Coefficient	.730(**)	.684(**)	.876(**)	.770(**)	1	.795(**)
	As	Correlation Coefficient	.719(**)	.611(**)	.725(**)	.703(**)	.795(**)	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



شکل ۲۰- نقشه هم‌عیار ژئوشیمیایی آرسنیک.

Archive of SID

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث ذکر شده، پنج نـوع دگرسـانی در محـدودهٔ مـورد نظـر قابـل تصـور اسـت کـه بـه انـواع دگرسانی‌های آرژیلیک، سریسیتی، پتاسیک، سیلیسی و پدیدهٔ تورمالینی‌شدن قابل تفکیک هستند. کـانی‌سـازی در منطقه اکتشـافی نبـی‌جـان نیـز در طـی دو مرحلـه صورت پذیرفته است.

مرحله نخست کانه‌زایی کـه بـه‌عنـوان مهـم‌تـرین و فـراوان‌تـرین کـانی‌سـازی در منطقـه اسـت، بـه‌صـورت انتشاری در قسمت ژرف‌زاد همراه با دگرسانی سریسیتی مشاهده می‌شود. بنابراین، با توجه به حضور بخش عمدهٔ کانه‌زایی در این زون، بخش‌های با دگرسانی سریسـیتی از مناطق با اهمیت برای اکتشاف است.

عیار میانگین مس (۱۲۲۴/۳۳ ppm) است و الگـوی توزیع و فراوانی آن غالبـاً محـدود بـه بخـش مرکـزی و سطحی منطقه است که وجـود کـانی‌سـازی مالاکیـت و آزوریت عامل افزایش تمرکز مس در ایـن قسـمت بـوده است. عیـار میـانگین طـلا (۰/۴۴) گـرم در تـن بـوده و غلظت‌های آن از عمق به سطح افزایش نشـان مـی‌دهـد (جدول ۳). مخلوط شدن سیال حامل طلا با یک سـیال خارجی (آب‌های جـوی)، در بخـش‌هـای فوقـانی تـودهٔ معدنی، بیشترین نقش را در نهشت طـلا بـر عهـده دارد (Crawe and Koons, 1989; Hagemann *et al.*, 1994) و با توجه به تمرکز طلا در بخـش‌هـای سـطحی کانه‌زایی نبی‌جـان بـه‌نظـر مـی‌رسـد ایـن مکانیسـم در ترسـیب طـلا در ایـن قسـمت مـؤثر بـوده باشـد.

جدول ۳- مشخصات چاهک‌های اکتشافی در رخداد معدنی نبی‌جان.

مشخصات چاهک‌های اکتشافی حفاری‌شده					
کد چاهک	عمق نهایی (m)	کد چاهک	عمق نهایی (m)	کد چاهک	عمق نهایی (m)
Nb-A0	22	Nb-E32	12	Nb-C8	20.5
Nb-Ac1	15	Nb-E5	10.5	Nb-C9	6
Nb-A1	18	Nb-E6	5	NB-D0	15
Nb-A101	18.5	Nb-E7	7	Nb-D1	28
Nb-A2	15.5	Nb-E71	6	Nb-D3	21
Nb-A3	13	Nb-E8	8.5	Nb-D7	15
Nb-A4	6	Nb-E9	8	Nb-D8	14.5
Nb-A5	13	Nb-E91	2.5	Nb-D9	6
Nb-A6	25	Nb-E10	4	Nb-D10	4
Nb-B0	18	Nb-E11	4	Nb-E1	24
Nb-B01	22	Nb-EF3	8	Nb-E3	12
Nb-B1	16.5	Nb-F2	3	Nb-G8	10.5
Nb-B2	8	Nb-F3	18.5	Nb-G9	18.5
Nb-B3	20.5	Nb-F32	12.5	Nb-H1	15
Nb-B4	12	Nb-F4	6	Nb-H11	5
Nb-B5	20.5	Nb-F45	9	Nb-H2	5
Nb-B6	18	Nb-F5	10	Nb-H3	5
Nb-B7	27	Nb-F6	3	Nb-T9	
Nb-B8	12.5	Nb-F7	6	Nb-C61	16.5
Nb-Bc	18.5	Nb-F8	8.5		
Nb-C0	22	Nb-F9	8.5		
Nb-C1	22	Nb-F10	9		
Nb-C2	8.5	Nb-FG	4		
Nb-C3	27	Nb-G23	12		
Nb-C4	24.5	Nb-G3	20		
Nb-C5	17	Nb-G4	6		
Nb-C6	6.5	Nb-G6	6		

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- ادامه.

Sample	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	As
	(ppm)					
Nb-G9-1	0.0	200.0	70.0	400.0	0.8	144.0
Nb-G9-2	0.0	135.0	60.0	205.0	0.9	115.0
Nb-G9-3	0.0	120.0	40.0	250.0	1.3	106.0
Nb-G9-4	0.0	78.0	20.0	120.0	0.7	36.9
Nb-G9-5	0.0	79.0	20.0	170.0	0.6	55.7
Nb-G9-6	0.0	1075.0	20.0	310.0	2.3	75.7
Nb-G9-7	0.0	640.0	25.0	160.0	0.7	36.0
Nb-G9-8	0.0	300.0	55.0	220.0	0.5	21.5
Nb-G9-9	0.0	150.0	50.0	160.0	0.4	19.6
Nb-H1-1	0.0	160.0	160.0	380.0	2.5	2468.0
Nb-H1-2	3.6	270.0	1000.0	845.0	10.4	5421.0
Nb-H1-3	1.7	200.0	2605.0	2605.0	13.8	3360.0
Nb-H1-4	0.1	95.0	200.0	450.0	1.9	281.0
Nb-H1-5	6.1	16600.0	450.0	300.0	85.0	861.0
Nb-H1-6	1.4	3470.0	200.0	150.0	25.5	240.0
Nb-H1-7	0.4	905.0	90.0	150.0	7.2	219.0
Nb-H11-1	0.2	1025.0	1045.0	850.0	11.2	529.0
Nb-H11-2	0.3	855.0	900.0	730.0	11.6	583.0
Nb-H2-1	0.2	1095.0	750.0	930.0	15.8	625.0
Nb-H2-2	0.4	1156.0	750.0	1180.0	12.4	608.0
Nb-H3-1	0.4	270.0	560.0	675.0	3.0	264.0
Nb-H3-2	0.8	240.0	655.0	700.0	3.2	525.0
Nb-T9-1	3.0	6235.0	200.0	500.0	52.8	2140.0
Nb-T9-2	0.9	26800.0	750.0	720.0	23.5	1144.0
Nb-T9-3	1.6	41200.0	655.0	1280.0	36.2	2427.0
Nb-F8-4	0.2	3350.0	140.0	1400.0	2.5	517.0
Nb-G8-5	0.0	90.0	20.0	135.0	0.3	35.3

وجود همبستگی قوی نقره با طلا و سرب می‌تواند نشان‌دهندهٔ حضور بخشی از نقره در ساختار کانی قابل رؤیت (Visible) طلا و ساختار کانی گالن باشد. با توجه به بالا بودن مقدار زمینه As (دامنه تغییرات از ۰/۱ تا ۶۲۷۷ گرم در تن و عیار میانگین ۶۱۳/۱۵ گرم در تن)، وجود همبستگی قوی طلا با آرسنیک و همراهی قوی این دو عنصر با یکدیگر در تمامی چاهک‌ها حضور کمپلکس‌های بی‌سولفیدی برای حمل و نقل طلا را محتمل می‌سازد. الگوی انتشار فلز روی، همچنین علاوه بر هم روند بودن با الگوی توزیع سرب نسبت به آن، هاله ژئوشیمیایی وسیع‌تری را ایجاد می‌کند. این ویژگی را می‌توان به‌سبب شسته‌شدن روی در مراحل پایانی تکاپوی محلول‌های گرمابی و رانده‌شدن آن به مناطق هم‌جوار حاشیه‌ای مربوط دانست. تشکیل استوک‌ورک‌های (شکستگی‌های داربستی) کوارتز-پیریت، وجود بافت کاتاکلاستیکی در پیریت‌های فاز اولیه و نیز تزریق کالکوپیریت و آرسنوپیریت به درون شکستگی‌های پیریت‌های مذکور، در حقیقت نقش عوامل ساختاری را به‌عنوان کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی در منطقه بارزتر می‌سازد.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد در پژوهشکده علوم زمین و با حمایت سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شده است. بدین وسیله، از همکاری و مساعدت معاونت محترم اکتشاف و مجری طرح اکتشاف سراسری موادمعدنی سپاسگزاری می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

بنی‌آدم، ف. (۱۳۸۳) بررسی زمین‌شناسی اقتصادی و خاستگاه احتمالی کانی‌سازی مس و طلا در محدوده اکتشافی نبی‌جان کلیبر. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد پژوهشکده علوم زمین، تهران، ایران.

شکوئی، ح. (۱۳۸۳) گزارش اکتشاف طلا درمحدوده شمال روستای نبی‌جان، طرح اکتشاف سراسری پروژه اکتشاف طلای زون ارسباران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حسنی‌پاک، ع. ا. (۱۳۷۷) زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

مهرپرتو، م.، امینی‌فضل آ. و ج. رادفر (۱۳۷۱) نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ورزقان. سازمان زمین‌شناسی کشور.

نبوی، م. (۱۳۵۵) دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.

وزیری‌هشی، ف. (۱۳۸۶) بررسی عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی مس و طلا با نگاه ویژه بر انتشار آن‌ها در افق‌های زیرسطحی و شرایط فیزیکوشیمیایی سیالات درگیر مربوطه در منطقه نبی‌جان، آذربایجان خاوری. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، پژوهشکده علوم زمین، تهران، ایران.

Crawe, D. and Koons, P. O. (1989) Tectonically induced hydrothermal activity and gold mineralization adjacent to major fault zones. Economic Geology Monograph 6: 463-47.

Guillementte, N. (1993) Genesis of the Sb-W-Au deposit at Ixtahuacan, Guatemala: evidence from fluid inclusion and stable isotopes. Mineralium Deposita 28: 167-180.

Hagemann, S. G., Gebre-Mariam, G. and Groves, D. L. (1994) Surface-water influx in shallow-level Archean lode gold deposits in Western Australia. Geology 22: 1067-1107.

Levinson, A. A. (1980) Introduction to Exploration Geochemistry. Applied pub-lishing Ltd, Wilmette, Illinois. U.S.A.

Meyer, C. and Hemley, J. J. (1967) Wall rock alteration. In Barnes H. L. (Eds.): Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. New York, United States, Holt, Rinehart and Winston.

Nickel, E. H. (1979) Gossan mineralogy viewed in the context of solution chemistry. In: Glover, I. E. and Smith, R. E. (Eds.): Pathfinder and multielement geochemistry in mineral exploration. Geology Department Extension Service Publication, University of Western Australia.

Rankama, K. and Sahama, T. G. (1950) Geochemistry. University of Chicago Press.

Robb, L. J. (2005) Introduction to ore- forming processes. Wiley-Blackwell.

Titley, S. R. (1982) Advances in geology of the porphyry copper deposits. University of Arizona Press.

Archive of SID

www.SID.ir