

# فصل ششم

## خاستگاه و نحوه تشکیل

## کانی سازی

۶-۱- مقدمه

۶-۲- ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها

۶-۳- مقایسه کانی سازی منطقه مطالعاتی با ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها

یکی از نکات مهم در مطالعه یک کانسار، توجه به عوامل کنترل کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی در آن کانسار است. برای شناسایی فرآیندهای مؤثر در کانی‌سازی، لازم است تمامی پدیده‌هایی که به طریقی به تشکیل و تمرکز کانه مرتبط می‌شوند، مورد بررسی قرار گیرند. در این راستا، نوع و ماهیت سنگ درونگیر کانسار، ماهیت فیزیکوشیمیایی سیالات کانه‌ساز، تأثیرات متقابل سیالات کانه‌ساز و سنگ درونگیر، نقش ساختارهای تکتونیکی، نقش ماگماتیسم و همچنین نحوه پراکندگی و توزیع ژئوشیمیایی عناصر اصلی کانساری و مسائلی از این قبیل از جمله موارد با اهمیتی هستند که در مطالعه هر کانسار بایستی مورد توجه قرار گیرند. ولی واضح است که در هر کانسار با توجه به نمودهای زمین شناسی محدوده کانساری، برخی از پدیده‌های زمین شناسی از اهمیت قابل توجه تری برخوردار هستند.

در این بخش ابتدا توضیحاتی در ارتباط با کانی‌سازی طلای مرتبط با نفوذیه‌ارائه می‌گردد و سپس بر مبنای اطلاعات موجود و شواهد و مدارک ارائه شده، به بحث و بررسی عوامل کنترل کننده تشکیل و تمرکز کانه و ژنز کانی‌سازی در منطقه انیق- قره‌چیلر خواهیم پرداخت.

#### ۶-۲- ذخایر طلای مرتبط با نفوذیه‌ها

گروهی از ذخایر طلا که بصورت اولیه در داخل یا در مرز بلافضل توده‌های نفوذی قرار می‌گیرند تحت عنوان ذخایر پورفیری طلا (Hollister, ۱۹۹۲؛ Bakke, ۱۹۹۵)، ذخایر استوک‌ورکی و پراکنده در متن مرتبط با توده‌های نفوذی (Sillitoe, ۱۹۹۱)، ذخایر طلای مرتبط با پلوتون‌ها (Newberry و همکاران، ۱۹۸۸؛ McCoy و همکاران، ۱۹۹۷) و ذخایر طلای مرتبط با توده‌های نفوذی

( Thompson و همکاران، ۱۹۹۹ ) معرفی شده‌اند. Lang و همکاران (۲۰۰۰) اصطلاح سیستمهای مرتبط با توده‌های نفوذی را برای این کانی‌سازی‌ها ترجیح داده‌اند. نمونه‌هایی از ذخایر مهم این گروه کانسارها عبارتند از: Fort Knox (حدود ۲۱۰ تن طلا)، Donlin Creek (حدود ۳۱۵ تن طلا)، Pogo (حدود ۱۶۰ تن طلا)، Mokrosko واقع در جمهوری چک (حدود ۱۲۰ تن طلا) و Kidston (حدود ۱۴۰ تن طلا).

نوشتجات مهم ( Sillitoe، ۱۹۹۱؛ Hollister، ۱۹۹۲؛ Newberry و همکاران، ۱۹۸۸ و ۱۹۹۵؛ Lang و همکاران، ۱۹۹۷؛ McCoy و همکاران، ۱۹۹۷؛ Thompson و همکاران، ۱۹۹۹؛ Goldfarb و همکاران، ۲۰۰۰؛ Lang و همکاران، ۲۰۰۰ و Newberry، ۲۰۰۰ ) چندین ویژگی کلی را برای اکثر ذخایر طلای مرتبط با توده‌های نفوذی ارائه کرده‌اند:

- توده‌های نفوذی از نوع متاآلمینوس و ساب آلکالن با ترکیب حدواسط تا فلسیک بوده و در مرز بین سریهای ایلمنیت و مگنتیت قرار می‌گیرند.
- سیالات گرمابی آنها از نوع کربن دار می‌باشند.
- این کانسارها شامل مقادیر متغیر طلا همراه با تمرکز بالای Bi، W، As، Mo، Te و/ یا Sb و محتوای پایین فلزات پایه بوده و عموماً همبستگی بسیار خوبی بین طلا و بیسموت وجود دارد.
- محتوای پایین کانیهای سولفیدی که عموماً کمتر از ۰.۵٪ بوده و شامل مجموعه کانه‌های احیایی آرسنوپیریت، پیروتیت و پیریت می‌باشد. مگنتیت و هماتیت حضور ندارند.
- دگرسانی گرمابی عمدتاً ضعیف و محدود می‌باشد. به استثناء سیستم‌هایی که در اعماق کم تشکیل شده‌اند.

- موقعیت تکتونیکی مرز صفحات همگرا، جائیکه ماگماتیسیم قاره‌ای عموماً حاوی توده‌های نفوذی آلکالن، کالک آلکالن متاآلومینوس و ترکیبات پرآلومینوس بصورت همزمان می‌باشد.

- نقاطی در ایالت‌های ماگمایی که برای کانی‌سازی تنگستن و/یا قلع مناسب بوده و یا این کانی‌سازی‌ها در آن شناخته شده‌اند.

- بنظر می‌رسد که این ذخایر در گستره بزرگی از اعماق (کمتر از ۱ km تا شاید بیشتر از ۱۰ km) تشکیل شده باشند. در عین حال، بنظر می‌رسد که بسیای از ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها در محیط‌های عمیق‌تر (بیشتر از ۵ km) تشکیل شده باشند در حالیکه اکثریت ذخایر مس پورفیری در موقعیت‌های کم عمق‌تر (کمتر از ۵ km) تشکیل می‌شوند. ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها در موقعیت‌های کم عمق با استوکها، دایکها، سیلها و گنبد‌های ولکانیکی همراه بوده و دربرگیرنده سیستم‌هایی با رگه‌های مشابه ذخایر اپی‌ترمال تا برش و رگه‌های استوک‌ورکی مشابه سیستم‌های پورفیری هستند (جدول ۶-۱). محیط‌های عمیق‌تر، دربرگیرنده خصوصیات محیط‌های مزوترمال بوده و بوسیله پلوتونهای حاوی رگه‌های صفحه‌ای، گرایزن و کانی‌سازی پراکنده در متن پلوتون، میزبانی می‌شوند.

حالت بخصوص این نوع ذخایر عبارت از میزبانی توسط توده نفوذی و آرایش صفحه‌ای رگه‌های

کوارتزی کم سولفید با هاله آلتراسیونی باریک می‌باشد.

TABLE 1. Characteristics of Intrusion-Related Gold Deposits With Resources >0.5 M oz

Deposit	Size (Mt)	Grade (g/t Au)	Host Intrusion	Deposit style	Metal suite	Au/Bi $r^2$	Ore minerals	Alteration	Fluids (T = °C, S = wt % NaCl equiv)	Pressure (kb) /Depth (km)	References
Kori Kollo, Bolivia	64	2.3	Dacite domes, I?	Sheeted, veinlets	Ag, As, Sb, Sn, Bi, Cu, Zn, Pb, W	?	Py, Apy, Cep, Gal, Bim, Sbn, Sph	Argillic	Early H <sub>2</sub> O-NaCl brine S = 8-15, T > 300; later H <sub>2</sub> O-NaCl S = 5-15, T = 200-350	<0.5/ 0.4-0.8	Petersen and Fitzmeyer (1998)
Brewery Creek, Yukon	13.3	1.4	Monzonite sills, I > M	Disseminated and veinlets	As, Sb, (Hg)	Abs	Py, Po, Apy, Sbn	Qtz, Ser, Carb, Clay	Immiscible H <sub>2</sub> O-NaCl brine S > 40, vapor (CO <sub>2</sub> ) S < 3, T > 450; later H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> -NaCl, S < 10, T < 250	-0.5/-2.0	Diment (1996); Drunne (1995)
Doulin Creek, Alaska	323	2.9	Rhyolite sills/dikes, I	Veins, veinlets	Ag, As, Sb, Hg	Abs	Py, Apy, Sbn	Qtz, Ser, Carb, Clay	Immiscible H <sub>2</sub> O-NaCl brine and vapor (CO <sub>2</sub> ) T > 550; later H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> -NaCl, T = 150-260	-0.5/-2.0	Ebert et al. (2000)
Shotgun, Alaska	-1 M oz		Granite stock, I	Stockwork and breccia	Bi, Te, Mo, As, Cu	0.73	Apy, Po, Lo, Py, Cep, Sch	Ab, Ser, Qtz, Carb	Immiscible H <sub>2</sub> O-NaCl brine S > 40, vapor (CO <sub>2</sub> ) T = 350-650	-0.5/-2.0	Rombach and Newberry (2001)
Kidston, Australia	94	1.48	Rhyolite porphyry stock, I > M	Breccia and sheeted veins	Bi, Mo, W, As, Te, Zn, Cu, Pb, Sn	?	Py, Po, Apy, Bim, Cep, Sph, Mol, Gal	Qtz, Ser, Carb	Immiscible H <sub>2</sub> O-NaCl brine and vapor (CO <sub>2</sub> ) T = -400-540; late H <sub>2</sub> O-NaCl S < 10, T = 170-350	-0.8/-3.0	Baker and Andrew (1991)
Vasilkovskoe, Kazakstan	80	3.7	Granodiorite pluton, I	Sheeted	As, Sb, W, Pb, Cu, Bi, Te	?	Py, Po, Bim, Cep, Sph, Gal, Mol, Sbn, Sch	Ab, Qtz, Ser, Carb	CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-NaCl, S = <11, T = 250-370	>1.0/ >3.0	Spiridonov (1996)
Dublin Gulch, Yukon	50.3	0.93	Granodiorite pluton, I	Sheeted	Bi, Te, Mo, As, Sb, W, Pb, Cu	0.89	Py, Po, Apy, Bim, Sch, Gal, Pb-Bi-Te-S	Ksp > Ab, Qtz, Ser, Carb	Early CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-NaCl-CH <sub>4</sub> , T = 250-350, late low XCO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O-NaCl S = 5-15, T = 150-250	>1.1/ >3.5	Maloof et al. (2001)
Mokrsko, Czech Rep.	66	1.5	Granodiorite pluton, I	Sheeted	As, Bi, Te, Mo, W, Sb	?	Py, Po, Apy, Mol, Sch, Bim	Ab, Amp, Bt, Qtz	CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-NaCl, S = <10, T = 330 ± 20	-1.5/-5.0	Boiron et al. (1995)
Fort Knox, Alaska	158	0.83	Porphyritic granite pluton, I	Sheeted	Bi, Te, Mo, As, Sb, W	0.86	Apy, Py, Sbn, Sch, Po, Lo, Mol, Bim	Ab, Qtz, Ser, Carb	CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-NaCl-CH <sub>4</sub> , S = 2-8, T = 300-480	>1.5/ >5.0	McCoy et al. (1997)
Pogo, Alaska	10	-15	Granite, aplites, I	Flat lenses	Bi, Te, As, Ag, Cu, Pb	0.89	Apy, Py, Po, Lo, Bim	Bt, Qtz, Ser, Carb	CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-CH <sub>4</sub> , S < 10, T = 300-600	>1.7/ >5.0	Smith et al. (1999)
Salave, Spain	-15	-2	Granodiorite pluton, I	Disseminated (greison)	As, Sb, Mo, W, Zn, Cu	?	Py, Po, Apy, Bim, Mol, Sph, Gal, Cep	Ab, Ser, Carb	CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-NaCl	?	Harris (1990)
Timbarra, Australia	13	0.95	Granite pluton I > M	Disseminated	Bi, Mo, Sb, As, Ag	0.69	Mol, Bim, Py, Apy	Ab, Qtz, Ser, Carb	CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-NaCl, S < 10, T = 200-400	-2.0/ -7.0	Mustard (2001a, b)
Jilau, Tajikistan	54.0	1.1	Granodiorite pluton, I	Sheeted	Bi, Te, W, As, Cu	?	Bim, Sch, Cpy, Py, Apy	Qtz, Esp, Carb, Ser	Early CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-NaCl-CH <sub>4</sub> , T = 300-450, late H <sub>2</sub> O-NaCl S = 2-14, T = 130-300	-2.2/ -8.0	Cole et al. (2000)

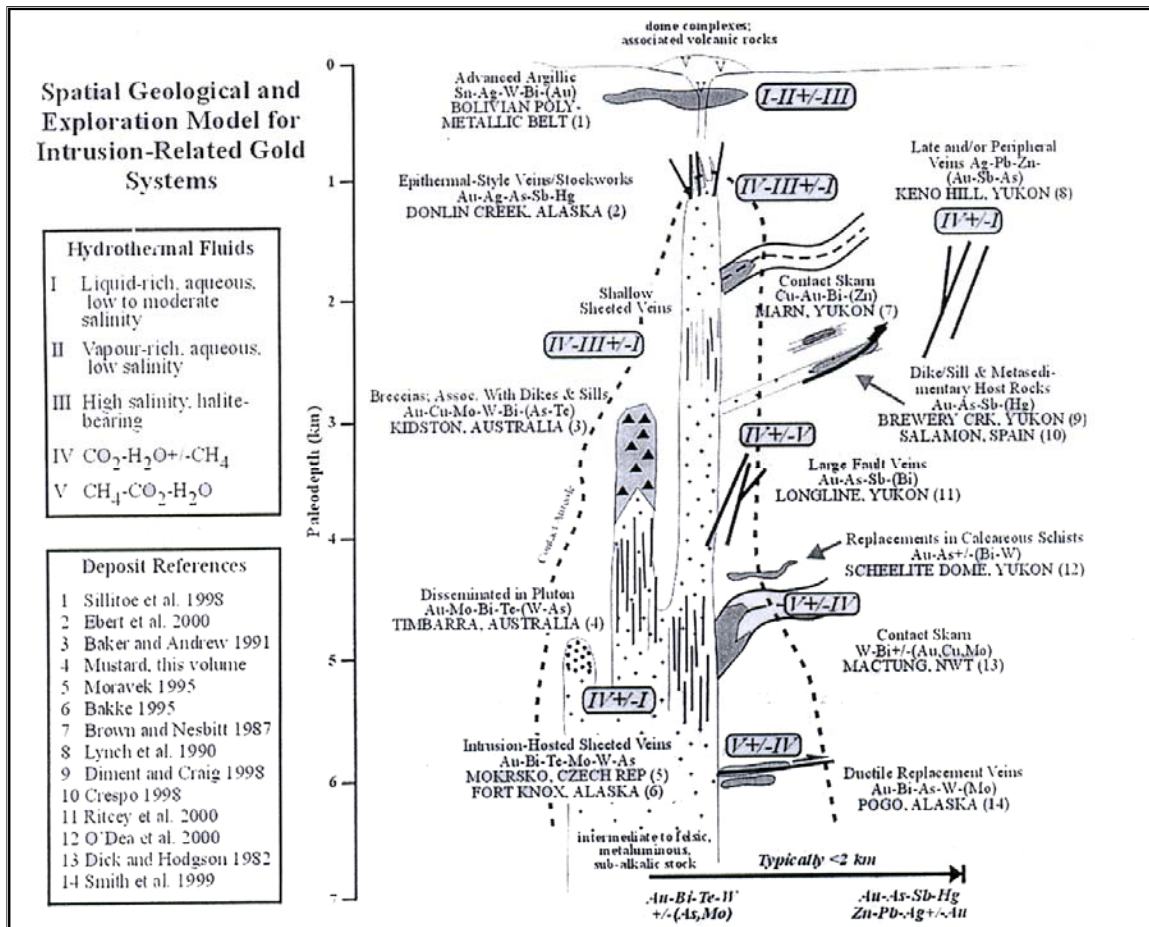
Abbreviations: Ab = albite, abs = no bismuth reported, Apy = arsenopyrite, Bim = bismuthinite, Bt = biotite, Carb = carbonate, Cep = calcopyrite, Esp = epidote, Gal = galeena, I = ilmenite series, I > M = ilmenite series more abundant than magnetite series, Ksp = K feldspar, Lo = loellingite, M = magnetite series, Mol = molybdenite, Po = pyrrhotite, Py = pyrite, Qtz = quartz, S = salinity, Sbn = stibnite, Sch = scheelite, Ser = sericite, Sph = sphalerite, T = temperature, ? = Au/Bi not reported

مراکز آذرین همراه با سیستم‌های طلای مرتبط با نفوذیها بطور معمول مجموعه‌های چند فازي را تشکیل می‌دهند که سریعاً جایگزین گشته و به سرعت سرد شده‌اند (Coulson و همکاران، ۲۰۰۱). این مجموعه‌های آذرین می‌توانند شامل باتولیت‌ها، پلوتونهای بزرگ یا کوچک، پلاگهای نامنظم، مجموعه‌های گنبدی یا دسته دایک‌ها و سیل‌ها باشند (Thompson و همکاران، ۱۹۹۹؛ Lang و همکاران، ۲۰۰۰؛ Newberry، ۲۰۰۰). توده‌های نفوذی توسط هاله‌های دگرگونی مجاورتی احاطه شده است که از نظر ابعاد بسیار متغیر هستند. سنگهای ولکانیکی همزمان با توده‌های نفوذی در سیستم‌هایی حفظ شده‌اند که سریعاً فرسایش نیافته‌اند (Thompson و همکاران، ۱۹۹۹؛ Lang و همکاران، ۲۰۰۰؛ Goldfarb و همکاران، ۲۰۰۰). ترکیب سنگ‌های آذرین در این مراکز ماگمایی بسیار متغیر است (McCoy و همکاران، ۱۹۹۷؛ Lang و همکاران، ۲۰۰۰؛ Newberry، ۲۰۰۰). بخش عمده سنگ‌ها از نوع متاآلومینوس و ساب آلكالن بوده و دارای ترکیب حدواسط تا فلسیک هستند. Newberry (۲۰۰۰) نشان داد که ترکیب این توده‌های نفوذی در کمربند طلای Tintina تغییرات زمانی و مکانی زیادی را نشان می‌دهند و شامل توده‌های داخل صفحه‌ای، برخوردی و کمان ولکانیکی بر روی نمودارهای تعیین محیط تکتونیکي هستند. همچنین، بیشتر ایالت‌ها حاوی تعداد محدودی توده‌های آلكالن فوق اشباع از سیلیس تا تحت اشباع از سیلیس هستند. بطور کلی، مشاهده همپوشانی زمانی و مکانی توده‌های آذرین آلكالن، متاآلومینوس و پراآلومینوس در داخل این ایالت‌های آذرین معمول است. حالت اکسیداسیون نسبی توده‌های نفوذی این سیستم‌ها توسط محققین مختلفی بحث شده است. هر چند که این پارامتر بطور قابل توجهی در بین سیستم‌ها تغییر می‌کند، بیشتر توده‌های نفوذی هم بر اساس ترکیب ژئوشیمیایی و هم بر اساس حضور مقادیر اندک تا قابل توجه ایلمنیت بدون همراهی مگنتیت یا

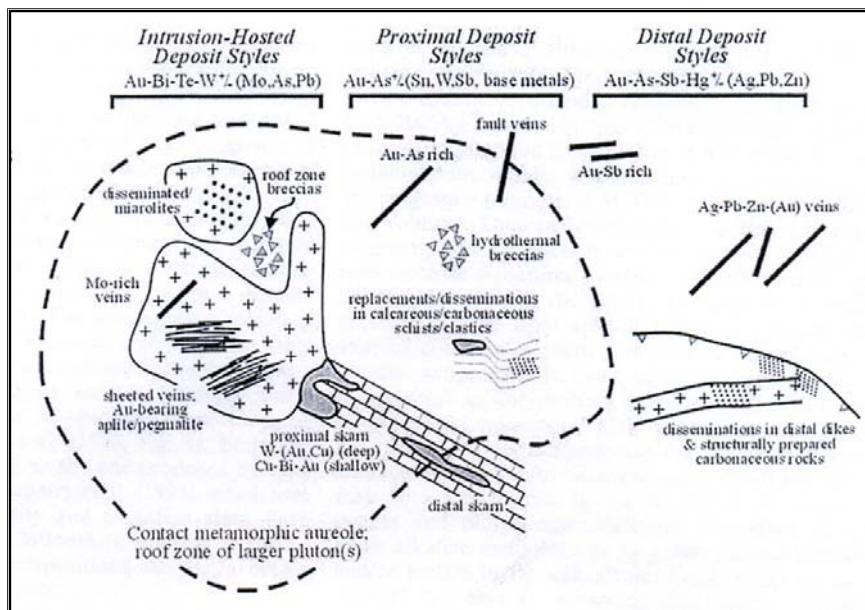
همراهی مقادیر اندک مگنتیت، بعنوان توده‌های نفوذی احیائی، ساب آلکالن، متاآلومینوس و نوع I تقسیم‌بندی می‌شوند (Thompson و همکاران، ۱۹۹۹). تعداد اندکی از توده‌های نفوذی حاوی مقادیر قابل توجهی مگنتیت و ایلمنیت بوده و نشانگر شرایط نسبتاً اکسیدان هستند. وجود چنین توده‌های اکسیدان در Timbarra ممکن است بیانگر جایگزینی ماگماها بداخل باتولیت موجود قبلی باشد تا نفوذ ماگما بداخل سنگهای رسوبی دگرگون شده احیائی (Mustard، ۲۰۰۱). توده‌های آلکالن در سیستمهای طلای مرتبط با توده‌های نفوذی، حاوی مجموعه مگنتیت-اسفن و اکسیده بوده در حالیکه، توده‌های پرآلومینوس به مقدار متغیری غنی از ایلمنیت و احیائی هستند. بیشتر توده‌های نفوذی حالت اکسیداسیون حدواسط دارند.

#### ۶-۲-۲- دگرسانی، کانی‌سازی و مجموعه فلزی

کانی‌سازی در سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیها محدوده بزرگی را از نظر حالت کانی‌سازی و موقعیت نسبی آن نسبت به مرکز توده نفوذی در بر می‌گیرند. McCoy و همکاران (۱۹۹۷)، Thompson و همکاران (۱۹۹۹)، Hart و همکاران (۲۰۰۰)، Lang و همکاران (۲۰۰۰) و Newberry (۲۰۰۰) الگوهای بسیار عمومی منطقه‌بندی در این کانی‌سازیها را توصیف کرده‌اند (اشکال ۶-۲ و ۶-۳).



شکل ۱-۶- مدل زمین شناسی و اکتشافی شماتیک برای سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیها با تأکید بر تغییرات عمودی و جانبی در حالت کانسار، ویژگیهای سیالات و مجموعه فلزی (Lang و همکاران، ۲۰۰۰).



شکل ۲-۶- مدل زمین شناسی و اکتشافی شماتیک برای ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها که نشاندهنده تغییرات از ذخایر با میزبان نفوذی به ذخایر پروکسیمال و دیستال می باشد (Hart و همکاران، ۲۰۰۰؛ Lang و همکاران، ۲۰۰۰).



Hart و همکاران (۲۰۰۰) این کانسارها را بر اساس موقعیت نسبی آنها نسبت به نفوذی‌ها به سه دسته تقسیم کرده‌اند. **ذخایر با میزبان نفوذی** دربرگیرنده ذخایر رگه‌ای عموماً صفحه‌ای شکل و به مقدار کمتر استوک‌ور کی غنی از طلا می‌باشند که بوسیله مجموعه فلزی  $Au-Bi \pm Te \pm As \pm Mo \pm W$  مشخص می‌شوند. همچنین می‌توان طلا را در داخل حفره‌های میارولیتی داخل پلوتون‌ها و در پگماتیت‌ها و/یا آپلیت‌هایی که توده نفوذی را قطع کرده‌اند، مشاهده نمود. **ذخایر پروکسیمال** در سنگهای میزبان مجاور توده‌های نفوذی یا با کمی فاصله از آنها ولی در داخل هاله دگرگونی قرار می‌گیرند. اسکارنهای  $W \pm Cu \pm Te$  و  $Cu-Bi-Au \pm w$ ، جانشینی، سولفیدیزاسیون پایین و سولفیدیزاسیون بالا در سنگهای کربناته، برشها و پایپ‌های غنی از مس و حاوی قلع و ذخایر رگه‌ای و پراکنده در متن در داخل سنگ‌های رسوبی دگرگون شده در این گروه قرار می‌گیرند. **ذخایر دیستال** در خارج از حاشیه خارجی هورنفلس‌ها قرار می‌گیرند. این نوع کانی‌سازی‌ها شامل رگه‌های کوارتز-سولفید مزوترمال تا اپی‌ترمال طلا دار در امتداد گسل‌های با شیب تند (Ebert و همکاران، ۲۰۰۰)، برشهای هیدروترمال و رگه‌های فلزات پایه غنی از  $Ag \pm Au$  و کانی‌سازی طلا بصورت پراکنده در متن سنگ‌های کربناته و آهکی میزبان که بطور قابل توجهی قابل مقایسه با ذخایر نوع کارلین می‌باشد (Poulsen، ۱۹۹۶)، هستند. این ذخایر حاوی مجموعه فلزی  $Au-As-Sb \pm Hg$  هستند. تغییرات عمودی در ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها کمتر مشخص شده است اما دربرگیرنده تفاوت‌هایی در اهمیت نسبی ساختارهای شکننده و شکل‌پذیر، مقدار انتشار جانبی یا تمرکز سیالات گرمایی، تمرکز فلزات و ترکیب سیالات هیدروترمال می‌باشد (Lang و همکاران، ۲۰۰۰؛ Newberry، ۲۰۰۰). ذخایر پلاسری طلا و پلاسرهای تنگستن و به مقدار بسیار کمتر قلع، عموماً از سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیها حاصل می‌شوند و یک نشانه تاریخی مهم برای پتانسیل طلای رگه‌ای در بسیاری از ایالت‌ها هستند (Goldfarb و همکاران، ۲۰۰۰).

ذخایر با میزبان نفوذی و ذخایر پروکسیمال دربر گیرنده ذخایری هستند که مشخصه سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیها می باشند. این ذخایر دربر گیرنده کانی سازی های کنترل شده توسط شکستگی ها و دگرسانی های بسیار ناچیز شامل مجموعه فلدسپاتی، سریستی، سیلیسی، گرایزن، کالک سیلیکات و/یا آرژیلی پیشرفته می باشد. دگرسانی فلدسپاتی که شامل کانیهای آلپیت و/یا فلدسپات آلکالن می باشد، تقریباً شایع بوده و بطور ثابتی اولین دگرسانی می باشد. این دگرسانی عموماً با کانی سازی تنگستن-مولیبدن همراه هستند و در بسیاری از حالات، ارتباط آن با کانی سازی طلا نسبتاً ضعیف است یا کمتر شناخته شده است. طلا و فلزاتی که همبستگی نزدیکی با آن دارند، عموماً با دگرسانی سریستی مرحله بعدی همراه بوده (Malooof و همکاران، ۲۰۰۱؛ Mustard، ۲۰۰۱)، یا در برخی موارد، با مجموعه های گرایزی که بطور معمول شامل کلریت، کربنات و آلپیت می باشد، همراه هستند (Yao و همکاران، ۱۹۹۹). دگرسانی سیلیسی بصورت موضعی شناسایی شده است. دگرسانی کالک سیلیکات به اسکارن های متاسوماتیک یا دگرگونی مجاورتی واحدهای کربناته مجاور کنتاکت نفوذی محدود است. دگرسانی آرژیلیک پیشرفته فقط در ذخایر ساب ولکانیک کمربند پلی متال بولیوی شناخته شده است (Sillitoe و همکاران، ۱۹۹۸). دگرسانی در داخل توده های نفوذی عموماً محدود به هاله های دگرسانی باریکی در اطراف رگه ها می باشد که بیانگر سیلان بسیار محدود سیال می باشد. در برخی مناطق و در مقادیر محدود، هاله های دگرسانی اطراف رگه ها می توانند به زونهای گسترده تر دگرسانی پیوندند. گسترش دگرسانی در موقعیت های پروکسیمال و دیستال بوسیله ساختارهای قبل و همزمان با نفوذ ماگما کنترل می شود.

یک ویژگی مهم تعدادی از ذخایر با میزبان نفوذی آن است که طلا در دمای نزدیک به سولیدوس شرایط هیدروترمال ته نشست می شود. سیستمهایی نظیر Emerald Lake واقع در Yukon یا بخش

Penedond واقع در پرتغال، حاوی طلا در داخل حفره‌های میارولیتیکی پگماتیت‌ها و آپلیت‌های تأخیری هستند و رگه‌های هیدروترمال متنوع از نظر کانی شناسی در دمای بیشتر از ۵۰۰ تا کمتر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل شده‌اند (Duncan، ۱۹۹۹؛ Baker and Lang، ۲۰۰۱؛ Zacharias و همکاران، ۲۰۰۱).

کانسارهای با میزبان نفوذی معمولاً فقط حاوی ۱-۳ درصد حجمی کانه هستند (کانسار Fort Knox؛ Bakke، ۱۹۹۵). تعدادی محدودی از این ذخایر می‌توانند حاوی بیشتر از ۲۰ درصد حجمی کانه باشند (مانند کانسار Salave واقع در اسپانیا؛ Fernandes-Catuxo، ۱۹۹۸). تمرکز کانیهای سولفیدی در ذخایر نوع پروکسیمال و دیستال، عموماً بیشتر است بویژه در رگه‌های تأخیری با فلزات پایه (Lynch و همکاران، ۱۹۹۰) و ذخایر جانشینی در سنگ‌های میزبان کربناته (Lilly، ۱۹۹۹؛ Mair و همکاران، ۲۰۰۰). مینرالوژی این ذخایر دربرگیرنده مجموعه پیچیده‌ای از کانیهای تلور و بیسموت‌دار، طلای طبیعی، آلیاژهای طلا، سولفوسالت‌ها و سولفیدها می‌باشد. مینرالوژی بیشتر ذخایر با شرایط حیاتی شدید تا متوسط سازگار است (McCoy و همکاران، ۱۹۹۷). در بسیاری از ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها، طلا همبستگی شدیدی را با بیسموت، در مقادیر کمتر ولی قابل توجه با تلور و همبستگی متغیری را با As، Mo، Ag و Pb نشان می‌دهد. تنگستن عموماً با طلا همراه است اما این دو عنصر همبستگی خوبی با یکدیگر ندارند. Maloof و همکاران (۲۰۰۱) دلیل این ناهمبستگی را به ته‌نشست اولیه شلیت در رگه‌های کوارتز-فلدسپاتی و ته‌نشینی مجموعه  $Au-Bi-As \pm Te$  در مرحله بعد همراه با دگرسانی سریسیت-کلریت-کربنات که شکستگی‌ها را پر کرده و رگه‌های اولیه را جایگزین کرده است، مرتبط می‌دانند.

یک ویژگی مهم ذخایر طلای با میزان نفوذی اینست که طلا در شرایط اولیه دما بالای نزدیک به سولیدوس تا سیالات هیدروترمال بعدی دما پایین تر نهشته می شود. اولین کانی سازی طلا در داخل حفرات میارولیتی، پگماتیت ها و آپلیت ها مشاهده می شود. در پگماتیت ها، طلا از نظر فضایی با مولیدنیت، پیروتیت، پیریت و مقدار کمی کالکوپیریت همراه است اما از نظر بافتی و زمانی، طلا همبستگی نزدیکی با بیسموتینیت، بیسموت ناتئو و تلورید بیسموت دارد. در آپلیت ها، طلا همراهی نزدیکی با همان مجموعه مینرالوژیکی پگماتیت ها دارد اما فراوانی آن کمتر است. هم پگماتیت ها و هم آپلیت ها عموماً به رگه های کوارتزی طلا دار تبدیل می شوند. اعتقاد بر اینست که حفره های میارولیتی قبل از تبلور کامل مذاب تشکیل می شوند (Duncan و همکاران، ۱۹۹۷). حفره های میارولیتی حاوی کانی سازی Au-Bi-Te بوده و طلا و تلوریدها با مجموعه مینرالوژیکی پیروتیت، کالکوپیریت، پیریت، بیسموتینیت، مولیدنیت و آرسنوپیریت همراه هستند که معمولاً به صورت انکلوزیونهایی در داخل کوارتز یافت می شوند (Duncan و همکاران، ۱۹۹۷).

رگه های کوارتزی و پگماتیت های حاوی مولیدنیت که ارتباط مشخصی با کانی سازی طلا ندارند، در بسیاری از سیستم های ماگمایی قابل مشاهده است.

#### ۶-۲-۳- ترکیب شیمیایی و منشأ سیالات

سیالات غنی از CO<sub>2</sub> در سیستم های رگه ای صفحه ای واقع در داخل توده های نفوذی در همه فشارها شایع هستند و بطور ثابتی شواهدی را برای جدایش فازهای غیر قابل امتزاج به سیالات غنی از CO<sub>2</sub> و سیالات فقیر از CO<sub>2</sub> نشان می دهند. بقیه سیالات (سیالات حاوی CH<sub>4</sub>، N<sub>2</sub> و غنی از نمک) با مقدار فشار مرتبط هستند. سیالات با شوری متوسط تا بالا تنها در سیستم های تشکیل شده در فشار ۰/۵-۱/۵ kb

مشاهده می‌شوند.  $\text{N}_2$  و  $\text{CH}_4$  در مقادیر بسیار جزئی در داخل سیالات کربنی بدام افتاده در فشار بیشتر از 1/5 kb مشاهده شده‌اند. سیالات شور در سیستم‌های دارای فشار نسبتاً بالا وجود ندارند. سیالات با شوری پایین که فاز بخار در آنها فراوان است، معمولاً در سیستم‌های کم عمق یا عمیق مشاهده نشده است. سیالات در گیر همه انواع سیالات عمدتاً در دمای بین ۲۰۰-۴۰۰ درجه سانتی‌گراد هموزن می‌شوند (Baker and Lang, ۱۹۹۹).

منشأ و تحول سیالات هیدروترمال در سیستم‌های طلای مرتبط با نفوذیها بطور گسترده‌ای بحث شده است. تعدادی از پژوهشگران یک منشأ دگرگونی را برای سیالات  $\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$  مطرح کرده‌اند (Moravek, ۱۹۹۵؛ Spiridinov, ۱۹۹۶)، در حالیکه McCoy و همکاران (۱۹۹۷)، Thompson و همکاران (۱۹۹۹) و Baker and Lang (۱۹۹۹) یک منشأ اساساً ماگمایی را برای سیالات شور و سیالات کربنی مطرح نموده‌اند. همراهی سیالات در گیر با شوری بالا با سیالات در گیر کربنی در سیستم‌های تشکیل شده در فشارهای کمتر از 1/5 kb با جدایش فازهای غیر قابل امتزاج از یک سیال هموزن سازگار بوده و با اختلاط دو سیال مجزا با یکدیگر ناسازگار است. منشأ ماگمایی سیالات، با ترکیب ایزوتوپی بدست آمده برای سیالات هیدروترمال سازگار بوده (McCoy و همکاران، ۱۹۹۷) و با ترکیب ایزوتوپی سرب کانسنگها و توده‌های نفوذی همپوشانی دارد (McCoy و همکاران، ۱۹۹۷). با بررسی ویژگیهای سیالات در گیر ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها مشخص می‌شود که یک تغییر سیستماتیک در نوع سیال هیدروترمال با عمق وجود دارد (شکل ۶-۱). سیستم‌های کم عمق، دربرگیرنده سیالهای در گیر اولیه متشکل از شورابه و بخار حاوی دی‌اکسید کربن غیر قابل امتزاج هستند که با منشأ ماگمایی در نظر گرفته می‌شوند. سیالات آبی با شوری پایین تأخیری ممکن است وجود داشته باشند و با منشأ جوی در نظر گرفته شوند. در محیط‌های عمیق‌تر، دی‌اکسید کربن فراوانتر است در حالیکه

شورابه‌ها کمتر معمول بوده و در جائیکه موجود هستند، معمولاً تأخیری می‌باشند. منشأ ماگمایی برای سیالات آبی غنی از دی‌اکسید کربن و با شوری پایین، به چند دلیل در مدل‌های ذخایر معدنی پذیرفته نشده است: ۱- بسیاری از توده‌های نفوذی فلسیک، فاقد کانیهای کربن‌دار ماگمایی هستند و از اینرو عموماً تصور می‌شود که این ماگماها نمی‌توانند دی‌اکسید کربن تولید کنند (Phillip and Zhou, ۱۹۹۹). ۲- بسیاری از پژوهش‌های اخیر در ارتباط با ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی، بر روی ذخایر مس پورفیری متمرکز شده‌اند که عموماً حاوی شورابه‌های با شوری بالا و بخار آبی با شوری پایین بدون دی‌اکسید کربن هستند. در نتیجه، اغلب در نظر گرفته می‌شود که این نوع سیالات شاخص سیالات هیدروترمال حاصل از ماگما باشند. ۳- سیالات غنی از دی‌اکسید کربن با شوری پایین همراه با ذخایر منحصرأطلا، عموماً تصور می‌شود که دارای منشأ دگرگونی باشند (Phillip and Powell, ۱۹۹۳).

نکته مهمی که بایستی در ارتباط با انواع سیالات مختلف مشخص شود این سؤال است که غنی‌شدگی طلا چگونه صورت می‌گیرد و طلا چگونه در ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها حمل می‌شود؟ Seward and Barnes (۱۹۹۷) دریافتند که کمپلکسهای فلز- کربنات معمولاً ناپایدار هستند. در ذخایر عمیق‌تر، بدلیل شرایط احیائی و شوری پایین سیالات، احتمالاً طلا بصورت کمپلکسهای بی‌سولفیدی حمل می‌شود (Seward, ۱۹۹۱). بخاطر همبستگی قوی بین طلا و بیسموت در ذخایر عمیق‌تر، احتمالاً بیسموت در حالتی مشابه، حمل و نهشته می‌شود. در سیستمهای کم‌عمق، احتمالاً کمپلکسهای کلریدی مهم هستند اما همبستگی قوی بین طلا و بیسموت در این ذخایر بدون توجه به نوع سیال، بیانگر مکانیسم انتقال مشابه با سیستمهای عمیق‌تر می‌باشد. داده‌های اخیر حاصل از نتایج آنالیزهای انجام یافته بر روی سیالات درگیر غنی از بخار در ذخایر مس- طلای پورفیری نشان می‌دهد که احتمالاً

طلا در فاز بخار بصورت کمپلکسهای بی سولفیدی حمل می شود (Ulrich و همکاران، ۱۹۹۹).

مکانیسم انتقال مشابهی ممکن است برای ذخایر کم عمق طلای مرتبط با نفوذیها استنباط شود.

بطور کلی، داده های سیالات درگیر و ایزوتوپی موجود از سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیها نشانگر

چندین ویژگی می باشد:

۱- سیالات غنی از  $CO_2$  تقریباً متداول هستند بغیر از تعدادی از سیستمهای کم عمق نظیر کمربند

پلی متال بولیوی.

۲- سیالات فوق اشباع از NaCl تا تحت اشباع از NaCl در سیستمهای تشکیل شده در اعماق

نسبتاً کم عمق در فشار زیر ۱/۵ کیلو بار بسیار معمول هستند.

۳- یک الگوی کلی مبنی بر اینکه سیالات اولیه کربنی به شورابه های مراحل بعدی تحول پیدا

می کنند، وجود دارد.

۴- مؤلفه های دیگری نظیر  $CH_4$ ،  $N_2$  و  $H_2S$ ، توسط اسپکتروسکوپی Roman شناسایی شده

است اما در ذخایر با میزبان نفوذی تشکیل شده در فشارهای بالاتر و ذخایر نوع پروکسیمال و

دیستال بسیار معمول هستند.

۵- فشار و دمای ته نشینی طلا و فلزات وابسته در گستره دمایی کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی گراد تا

بیشتر از ۶۰۰ درجه سانتی گراد و فشار کمتر از ۰/۵ تا بیشتر از ۳ کیلو بار می باشد.

۶- ارتباط بین ترکیب سیالات، ترکیب سنگ میزبان و فشار واضح است.

ذخایر رگه ای دارای فرم صفحه ای در سیستم های طلای مرتبط با نفوذیهای عمیق بسیار معمول هستند.

بزرگترین ذخیره مربوط به این نوع ذخیره عبارت از Fort Knox (آلاسکا) می باشد که بوسیله

پگماتیت ها و رگه های صفحه ای مینرالیزه واقع در داخل گرانیت و گرانودیوریت کرتاسه میانی مشخص

می‌شود ( Bakke، ۱۹۹۵؛ McCoy و همکاران، ۱۹۹۷). بررسی سیالات درگیر نشان داده که پگماتیت‌ها و رگه‌های کوارتزی در این منطقه حاوی سیالات غنی از دی‌اکسید کربن با شوری پایین (۸-۲٪ معادل وزنی NaCl) هستند که در فشار حدود ۱/۵ kb و دمای  $270^{\circ}\text{C}$  -  $330^{\circ}\text{C}$  بدام افتاده‌اند. تعداد زیادی ذخایر کوچک در داخل Yukon وجود دارند که چنین ویژگی‌هایی دارند. سیالات درگیر موجود در رگه‌های طلادار، حاوی مقدار زیادی سیالات درگیر اولیه غنی از دی‌اکسید کربن ( $\text{XCO}_2 = 0.18 - 0.75$ ) و سیالات درگیر تأخیری با شوری متوسط (کمتر از ۱۵٪ معادل وزنی NaCl) تا شوری بالا (در مقادیر جزئی؛ حاوی فاز هالیت) هستند. دمای هموژنیزاسیون سیالات درگیر،  $355^{\circ}\text{C}$  -  $141$  بوده و در فشار بیشتر از ۱/۱ kb بدام افتاده‌اند (Bakke and Lang، ۲۰۰۱). ذخیره طلای Mokrsko واقع در جمهوری چک، یکی دیگر از ذخایر رگه‌ای صفحه‌ای است که حاوی سیالات درگیر رقیق غنی از دی‌اکسید کربن می‌باشد که در حداقل دمای  $20^{\circ}\text{C}$  ±  $330^{\circ}\text{C}$  و فشار kb ۱-۱/۵ بدام افتاده‌اند (Boiron و همکاران، ۱۹۹۵). ذخیره طلای Vasilovskoe (قزاقستان) در داخل گرانودیوریت واقع شده و دربرگیرنده رگه‌ها و رگچه‌های کوارتزی صفحه‌ای با هاله دگرسانی سریسیتی واقع در داخل دگرسانی فلدسپاتی گسترده می‌باشد. کانی‌سازی در دمای  $370^{\circ}\text{C}$  -  $280$  و در فشار بیشتر از kb ۱ از یک سیال آبی رقیق (کمتر از ۱۱٪ معادل وزنی NaCl) حاوی دی‌اکسید کربن نهشته شده است (Spiridonov، ۱۹۹۶). ذخیره طلای Jilau (تاجیکستان) متشکل از رگه‌های صفحه‌ای در داخل توده نفوذی گرانودیوریتی تا کوارتز-مونزونیتی است (Cole و همکاران، ۲۰۰۰). مطالعه سیالات درگیر بیانگر اینست که سیالات اولیه کربنی حاوی متان و با شوری پایین در دو فاز غیر قابل امتزاج در فشار حدود ۲/۲ kb و دمای  $450^{\circ}\text{C}$  -  $300$  بدام افتاده‌اند. سیالات آبی تأخیری شور (۱۴-۲٪ معادل وزنی NaCl)، در دماهای کمتر بین  $130^{\circ}\text{C}$  تا  $300^{\circ}\text{C}$  هموژن شده‌اند.



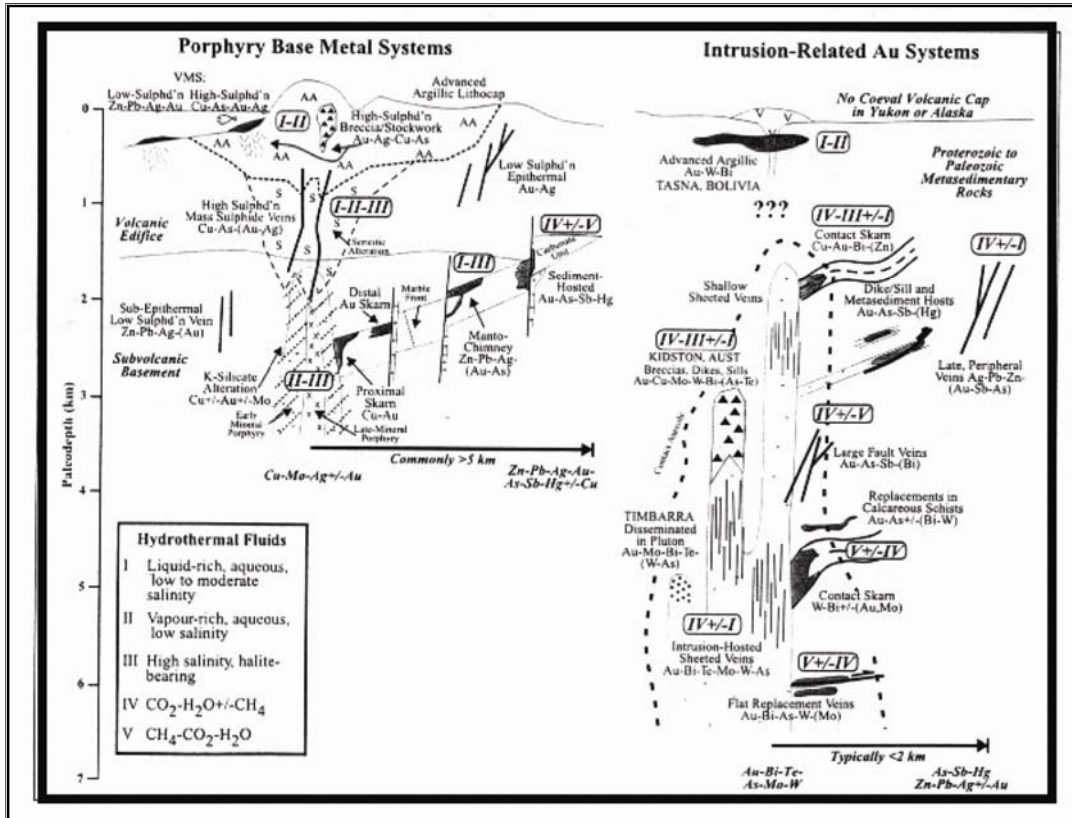
تشکیل سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیها، مشابه با دیگر کانسارها دربرگیرنده مؤلفه کنترل کننده‌های ساختاری است. در این سیستمها، ساختارها موقعیت و ژئومتری کانسار را در تمامی مقیاس‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهند. کارهای انجام شده بر روی کمربند طلای Tintina نشانگر اهمیت کنترل کننده‌های ساختاری بر روی جایگیری توده‌های نفوذی و موقعیت دگرسانی‌ها و کانی‌سازی‌ها می‌باشد (Mair و همکاران، ۲۰۰۰؛ Miller و همکاران، ۲۰۰۰). داده‌ها نشان می‌دهند که ساختارهای مرتبط با رژیم‌های تنش ناحیه‌ای و محلی برای جریان سیال و مشخص کردن موقعیت کانی‌سازی مهم هستند (Mair و همکاران، ۲۰۰۰).

ذخایر رگه‌ای صفحه‌ای واقع در داخل توده‌های نفوذی، تنها دربرگیرنده رگه‌های کوارتزی با عیارهای بسیار بالای طلا هستند که توسط سنگهای نفوذی غیر مینرالیزه سالم تا به مقدار کمی دگرسان شده از هم جدا شده‌اند. گسترش محدود دگرسانی و پراکندگی آن و عدم وجود شکستگیهای استوک‌ورکی و برش بیانگر اینست که سیالات در یک حالت غیر فعال از سیستم عبور کرده‌اند. بنظر می‌رسد که سیالات به مجاری ساختاری بخصوصی در یک محیط جریان پایین سیال محدود بوده‌اند حداقل زمانی که با ذخایر فلزات پایه تپیک مقایسه می‌شوند. جریان پایین سیال، همراه با مشاهده نکردن شواهدی برای درگیر بودن سیالات خارجی (McCoy و همکاران، ۱۹۹۷؛ Baker and Lang، ۱۹۹۹)، ممکن است عامل کلیدی در جلوگیری از رقیق شدن سیالات کانه‌دار شده و عیارهای بالای طلا را در داخل رگه‌های منفرد فراهم آورد.

۵-۲-۶ مدل اکتشافی ذخایر طلا مرتبط با نفوذیها

یک مدل فضایی برای سیستم‌های طلای مرتبط با نفوذیها همراه با مدل فضایی سیستمهای پورفیری در

شکل ۶-۳ نشان داده شده است. تعدادی از ویژگیهای اساسی این مدل نیز به قرار زیر می‌باشد.



شکل ۶-۳- مدل ژنتیکی شماتیک برای ذخایر طلا مرتبط با نفوذیها و مقایسه آن با سیستمهای پورفیری (Lang و همکاران، ۲۰۰۰).

۱- بسیاری از سیستمهای تشکیل شده در فشارهای بالاتر از حدود ۱/۵ kb گسترش جانبی زیادی

نداشته و بوسیله سیالات کربنی و تمرکز پایین فلزات پایه مشخص می‌شوند.

۲- سیستمهای تشکیل شده در فشارهای پایین‌تر، از نظر جانبی گسترده‌تر بوده و عموماً دربرگیرنده

سیالات با شوری متوسط تا بالا بوده و تمرکز فلزات پایه در آنها نسبتاً بالاست و بصورت بسیار

قابل توجهی با اسکارن‌های Au-Cu-Bi همراه هستند.

۳- سیالات حاوی  $CH_4$  در ذخایر تشکیل شده در سنگهای متاسدیمنتی کربناته، در همه اعماق بسیار متداول هستند ولی در تعدادی از سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیه‌های تشکیل شده در عمق زیاد به حداقل می‌رسند.

۴- ذخایر موجود در داخل یا مجاورت نزدیک پلوتونها، دربرگیرنده مجموعه فلزی  $Au-Bi-W \pm Te \pm Mo \pm As$  هستند، ذخایر پیرامون توده نفوذی بوسیله مجموعه فلزی  $Au-As-Sb \pm Hg$  مشخص می‌شوند و رگه‌های تأخیری و/یا رگه‌های پیرامون توده نفوذی دربرگیرنده مجموعه  $Ag-Zn-Pb \pm Cu \pm Au$  هستند.

۵- در اعماق کمتر (فشار کمتر از  $1/5 \text{ kb}$ )، گسترش جانبی در هر دو محیط سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیه‌ها و سیستمهای پورفیری، بزرگتر از اعماق است اما بیشترین مقدار گسترش جانبی در سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیه‌ها (حدود  $3 \text{ km}$ ) معمولاً کمتر از سیستمهای پورفیری (عمدتاً بیشتر از  $5 \text{ km}$ ) است.

۶- سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیه‌ها در مقایسه با سیستمهای پورفیری تا اعماق بیشتری ادامه دارند (عمق در زمان تشکیل بیشتر از  $6 \text{ km}$  در سیستمهای مرتبط با نفوذیه‌ها و کمتر از  $3 \text{ km}$  در سیستمهای پورفیری).

۷- در سیستمهای طلای مرتبط با نفوذیه‌ها، کاهش در گسترش جانبی ذخایر با افزایش عمق، مشابه تغییرات موجود در سیستمهای غنی از  $Sn$ ،  $W$  و  $Mo$  است.

### ۶-۳- مقایسه کانی سازی منطقه مطالعاتی با انواع ذخایر مرتبط با نفوذیها

اگر چه ترکیب کانی شناسی و درصد آنها در ذخیره متغیر است ولی ترکیب کانی شناسی هر ذخیره همواره منعکس کننده شیمی سیالات زاینده آنهاست و از اینرو شاید بتوان مناسبترین ملاک طبقه بندی را شیمی سیالات مربوطه دانست که تصویر آن در ترکیب کانی شناسی کانسنگ، باطله و محصولات دگرسانی گرمابی منعکس می‌باشد.

پس از مقایسه کانی سازی منطقه مطالعاتی با ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها، مشخص گردید که این کانی سازی شباهتهای بسیار زیادی را با ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها دارد. بطور خلاصه، مهمترین شباهتهای کانی سازی منطقه مطالعاتی با ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها عبارت است از:

#### ۶-۳-۱- مقایسه بر اساس مجموعه پلوتونیکي همراه

توده نفوذی میزبان رگه‌های کوارتزی و زونهای کانی سازی در منطقه مطالعاتی عبارت از گرانودیوریت می‌باشد که دارای ماهیت کالک آلکالن و پرآلومینوس بوده و در زمره گرانیتوئیدهای نوع I می‌باشد. این توده حالت اکسیدان داشته و تمرکز بالایی از مگنتیت دارد. لیکن همچنانکه گفته شد، تعدادی دایک ریولیتی-ریوداسیتی در مجاورت با رگه‌های کوارتزی وجود دارد که ماهیت کالک آلکالن داشته و نسبتاً پرآلومینوس می‌باشد. این دایکها حاوی مقادیر بسیار جزئی مگنتیت هستند و در حدواسط بین سری ایلمنیتی-مگنتیتی قرار می‌گیرند. بنظر می‌رسد که کانی سازی در این منطقه با یک استوک پنهان با ترکیب مشابه با این دایکها مرتبط است و این دایکها مظاهری از استوک یاد شده هستند.

مطالعات پترولوژیکی در قالب رساله دوره دکتری نویسنده ( در دست تدوین ) در ارتباط با محیط تکتونیکی باتولیت قره داغ که منطقه مطالعاتی بخش از آن می باشد، بیانگر اینست که بخش عمده باتولیت قره داغ در یک محیط فرورانشی قبل از برخورد تشکیل شده است ( فرورانش نئوتیس به زیر سکوی قاره ای یا جزیره قوسی قفقاز کوچک ). استوکه های کوارتز مونزونیتی و مونزوگرانیتی کوچکی در بخشهای مختلف این باتولیت مشاهده می شوند که جوانتر از بقیه بوده و بداخل آنها نفوذ کرده اند. این استوکه ها و دایکهای ریولیتی- ریوداسیتی موجود در منطقه قره چیلر در یک محیط همزمان با برخورد تا پس از برخورد تشکیل شده اند.

کانی سازی در منطقه مطالعاتی عمدتاً بصورت رگه های صفحه ای با شیب زیاد ( منطقه قره چیلر ) و شیب کم تا زیاد ( در منطقه زرلی دره ) می باشد. رگه های موجود در منطقه قره چیلر و تعدادی از رگه های منطقه زرلی دره هم راستا هستند ( N90-120E ) و بخش عمده رگه های کوارتزی منطقه زرلی دره نیز دارای امتداد مشابهی هستند ( N120-140E ). با توجه به مشاهدات صحرائی و امتداد کلی رگه های کوارتزی می توان گفت که کانی سازی در این منطقه عمدتاً توسط ساختارهای تکتونیکی ( گسلها ) کنترل شده است.

#### ۶-۳-۴- مقایسه بر اساس سیالات هیدروترمال

مطالعات مقدماتی سیالات در گیر رگه‌های کوارتزی منطقه مطالعاتی بیانگر حضور سیالات غنی از دی اکسید کربن با شوری پایین ( ۸-۲٪ معادل وزنی NaCl) و شوری متوسط ( کمتر از ۱۵٪ معادل وزنی NaCl) تا شوری بالا ( در مقادیر جزئی؛ حاوی فاز حالت ) در داخل این رگه‌ها می‌باشد.

#### ۶-۳-۵- مقایسه بر اساس ژئوشیمی

در نمونه‌های برداشته شده از منطقه مطالعاتی ( بویژه منطقه قره‌چیلر ) همبستگی بسیار خوبی بین طلا و بیسموت وجود دارد که یکی از مهم‌ترین شواهد ذخایر طلای مرتبط با نفوذیها می‌باشد.. همچنین، بررسی نتایج آنالیز نمونه‌ها نشان می‌دهد که عناصر مولیبدن، مس، آرسنیک، آنتیموان و نقره نیز تمرکزهای بالایی را در رگه‌ها نشان می‌دهند.

علاوه بر این، مطالعات کانی‌سنگین در قالب پایان‌نامه‌های دانشگاهی و نیز تعدادی از طرحهای اکتشافی، وجود طلا را بصورت پلاستی در رسوبات آبراه‌های تأیید کرده است.