5

# Investigation of effective factors in mineralization at Dalli porphyry Cu-Au deposit, Markazi province: base on geological, mineralogical and geochemical evidences

### Mehdi Daneshjou<sup>1</sup>, Alireza Zarasvandi<sup>1</sup>\*, Houshang Pourkaseb<sup>1</sup>, Mohsen Rezaei<sup>1</sup> and Houshang Asadi Harooni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University, Khuzestan, Iran <sup>2</sup> Department of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

### Abstract

The Dalli porphyry Cu-Au deposit is located in Delijan city, Markazi province, Iran. The deposit, structurally, is placed in the central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc (UDMA) and consists of two parts, the South Part and the North Part with andesite to andesite basalt wall-rock intruded by granitoids (diorite, quartz diorite and monzodiorite). The aim of this study is the investigation of geologic, mineralogic and geochemical characteristics of the Dalli deposit in order to understand the mineralization factors effective in productive parts. For this purposes, in addition to field observations as well as mineralogical investigations, sampling was done from unaltered, mineralized and less-altered portions for geochemical studies using LA-ICP-MS. Mineralogical and geological evidences indicate that the presence of phyllic, argillic and supergene alterations with more abundance of hornblende, biotite and magnetite in the South Part are effective parameters in increasing the mineralization potential of the Southern Part. As the presence of hornblende, magnetite and lesser abundance of plagioclase indicate high  $fH_2O$  and  $fO_2$  during magma evolutions and the phyllic and supergene alterations provide conditions for copper precipitation by creating heat loss and copper solution, respectively. This is also supported by high Eu/Eu<sup>\*</sup>, [Dy/Yb]<sub>n</sub>, [La/Sm]<sub>n</sub> values and REEs trend with a upward concavity for the South Part.

**Keywords:** Mineralization, Productive and sub-productive, Mineralogy, Geochemistry, Dalli porphyry deposit, Urumieh-Dokhatr belt

<sup>\*</sup> zarasvandi\_a@scu.ac.ir

Copyright©2016, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

پتــرولوژی، سال هفتم، شماره بیست و هشتم، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۷۳ –۹۴ تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۲ تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۲

بررسی عوامل مؤثر بر کانهزایی در کانسار مس– طلای پورفیری دالی، استان مرکزی: بر پایه بررسیهای زمینشناسی، کانیشناسی و زمینشیمی

مهدی دانشجو <sup>۱</sup>، علیرضا زراسوندی <sup>۱</sup>\*، هوشنگ پورکاسب <sup>۱</sup>، محسن رضایی <sup>۱</sup> و هوشنگ اسدیهارونی <sup>۲</sup> <sup>۱</sup> گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران ۲ دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

### چکیدہ

کانسار مس – طلای پورفیری دالی در شهرستان دلیجان، استان مرکزی در بخش مرکزی کمان ماگمایی ارومیه – دختر جای گرفته است. این کانسار دارای دو بخش بهنامهای جنوبی و شمالی با سنگ دیواره آندزیتی تا آندزی.بازالتی است و گرانیتوییدها (دیوریت، کوارتزدیوریت و مونزودیوریت) به درون آنها نفوذ کردهاند. هدف این پژوهش، بررسی ویژگیهای زمین شناسی، کانی شناسی و زمین شیمی کانسار دالی برای درک پیامد عوامل کانهزایی در بخشهای بارور است. در این راستا، افزون بر بر بازدیدهای صحرایی و بررسی کانی شناسی، از بخشهای غیردگرسان، کانهزا و کمتر دگرسان شده نمونه برداری شد. سپس برای بررسیهای زمین شیمیایی، نمونه ها به روش ICP-ICP بررسی شدند. شواهد کانی شناسی و زمین شناختی نشان دهنده این است که حضور دگرسانی های آرژیلیک و فیلیک همراه با فراوانی بیشتر هورنبلند، بیوتیت و مگنتیت در بخش جنوبی عوامل مؤثر در افزایش پتانسیل کانهزایی بخش جنوبی هستند. به گونهای که حضور هورنبلند، مکنتیت و فراوانی کمتر پلاژیوکلاز نشان دهنده 20 و IDy بالا هنگام تحول ماگما هستند و دگرسانی های فیلیک و برونزاد، به ترتیب با پیدایش افت دما و انحلال مس، شرایط را برای ته نشست مس فراهم کردهاند. بر پایه مقدارهای بالای الی الی ای الی ای الی ای او وروند عناصر خاکی نادر (REB) با تعر رو به بالا، این یافته ایرای بخش جنوبی مقدارهای بادی و بدین های در این ای ای ایست و وروند عناصر خاکی نادر (REB) با تعر رو به بالا، این یافته ایرای بخش جنوبی نیز تأیید می شوید. و ورونه کلیمی کانهزایی، بارور و نیمه بارور، کانی شناسی، زمین شیمی، کانسار یو ولی دلی یه از ورمیه - دختر

#### مقدمه

سنگهای دگرسانی بر روی استوکهای پورفیری پدید میآیند و ممکن است دارای اسکارن، سنگ میزبانهای رسوبی و کانهزایی فلزهای پایه و گرانبها از نوع اپیترمال سولفیداسیون بالا تا حدواسط باشد ( John *et* 

امروزه کانسارهای مس نوع پورفیری از مهم ترین منابع برخی مواد معدنی هستند که بهصورت حجمهای بزرگی (۱۰ تا بیش از ۱۰۰ کیلومتر مکعب) در

\* zarasvandi\_a@scu.ac.ir

Copyright©2016, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

مس هستند. از اینرو، در این پژوهش عوامل مؤثر بر انباشتهشدن ماده معدنی در بخشهای ویژهای از کانسار پورفیری دالی (بهویژه تودههای جنوبی آن) از دیدگاه زمینشناسی، کانیشناسی و زمینشیمی بررسی میشود.

# زمينشناسى

از دیدگاه زمینشناسی، پهنه کوهزایی هیمالیا- تبت که بخشی از محدوده فلززایی تتیس خاوری (ETMD) است، از پهنههای کلاسیک برای رخداد اندوختههای پورفیری بهشمار میرود (Hou et al., 2011). این پهنه دارای پنج پهنه Cu-Mo و Cu-Au پورفیری بزرگ مانند پهنههای مس پورفیری Yulong و Gangdese در ناحیه تبت، پهنه مس Chagai در پاکستان و پهنه مس ارسباران- کرمان یا همان کمان ماگمایی ارومیه- دختـر (UDMA) و یا پهنه ولکانیک- پلوتونیک ایرانمرکزی Hou et al., 2003; Cook et ) در ایران است (CIVB) al., 2005; Hezarkhani, 2006a, 2006b; Zarasvandi *et al.*, 2007; Hou and Cook, 2009). پہنےہ ماگمـایی ارومیه- دختر بخشی از این کوهزایی است و برپایه اندوخته مس، از شمال باختری به سوی جنوب خاوری، به سه بخـش ردهبنـدی شـده اسـت ( Zarasvandi et al., 2005; Samani, 1998). اين منطقه در بخـش مركـزى این کمان به نام ناحیه اردستان - ساوه است. برپایه بررسیهای سنگزایی و ساختاری Mohajjel و Nadri ،(۲۰۰۵) Proohan و همکــــاران (۲۰۱۰)، Babaahmadi و همکاران (۲۰۱۱) و Bobaahmadi در پی عملکرد گسلهای منطقه، سنگهای آذرین با ترکیب حدواسط در بازه زمانی نئوژن در سنگهای رسوبی کهن تر نفوذ کردهاند. سنگ های آتشفشانی و نیم. ه آتشفشانی نئوژن در دو مرحله ماگمایی پدید آمدهاند. مرحله نخست فورانهای پس از برخوردی در میوسن میانی تا بالایی بوده است. سنگهای این مرحله شامل گدازهها و آذرآواریها با ترکیبی از بازالـتآنـدزیت

al., 2010; Sillitoe, 2010). در دهههای اخیر، بسیاری از رخدادها و اندوختههای (ذخایر) مس ایران آمیختگی چشمگیری با نقره و طلا نشان دادهاند ( Samani, 1998). منابع با توان استحصال طلا در پهنههای ماگمایی ترسیری به اندوخته مس پورفیری بستگی دارند (Lescuyer et al., 2003). از میان آنها می توان محور طلادار ساوه- کاشان- نایین در بخش مرکزی كمان ماگمايي اروميـه-دختر (Moritz et al., 2006) و کانسار مس- طلای پورفیری امروزی در دالی را نام بـرد. این کانسار در ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی خاوری و ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی در استان مرکزی (شهرستان دلیجان) و ۹ کیلومتری شمال باختری روستای راوه در همین بخش از ارومیه-دختر جای دارد. درباره بررسیهای انجامشده بر روی كانسار دالي مي توان گزارش هاى اكتشافي و پژوهشهایی را برشمرد که ویژگیهای سنگشناسی، ویژگیهای سیالهای درگیر و شیمی برخی کانیهای ویژه آنها (مانند بیوتیت) را بررسی کردهاند (مانند: Harooni, 2008; Ayati et al., 2008, 2012a, 2012b, 2013; Darabi-Golestan *et al.*, 2012). از مهـم تـرين ویژگیهایی که درباره این اندوخته از دیدگاه زمین شناسی اقتصادی همواره بررسی شده اند، عوامل مؤثر در اقتصادی بودن این اندوخته است . پژوهشگران بسیاری آن را بررسی کردهاند که می توان به آنها استناد كرد ( Stringham, 1960; Sillitoe, 1979; Baldwin and Pearce, 1982; Shafiei and Shahabpour, 2008; Zarasvandi et al., 2015). بود و یا نبود برخی کانی ها در کانسار میتواند نشاندهنده شرایط ویژهای در هنگام تحول ماگما باشد و در پایان می تواند در بارورشدن توده نفوذی مؤثر باشد؛ به گونهای که معمولاً کانهزایی های مس پورفیری بیشتر از ماگمای کالک آلکالن آبدار ریشه مى گيرند. همچنين، شرايط اكسيدان، جـدايش بلـورين (تفریق) پیشرفته ماگما و تبلوربخشی کانی آبداری مانند هورنبلند از فاکتورهای مهم در پیدایش تودههای بارور

استوک کمابیش هماندازه است؛ اما بخش جنوبی دارای استوک همراه با رخنمون هایی از دو استوک بسیار کوچکتر است (شکل ۱). استوکها ترکیبی از دیوریت تا کوارتزدیوریت پورفیری همراه با نشانههایی از مونزودیوریت، بهویژه در بخش جنوبی، با بافت پورفیری نشان میدهند. سنگهای آتشفشانی حدواسط با ترکیب آندزیت تا آندزیت بازالت یورفیری همراه با مواد آذرآواری این استوکها را فراگرفتهاند و نقش سنگ دیواره کانسار را دارند. از دیدگاه ساختاری سنگهای یادشده در درون سیستم گسلی به عرض ۱ تا ۲ کیلومتر با روند NE-SW نفوذ کردہاند. رگھھای کوارتز کانےدار و بے کانےزایے همراه با کانههای ثانویه اکسید آهن و کربنات مس نشاندهنده کارکرد محلولهای گرمابی و جوی در محدوده کانسار هستند (Harooni, 2008). از نشانههای دیگر در منطقه، رخداد فرایندهای دگرسانی مانند سیستمهای پورفیری (پتاسیک، فیلیک (بیشتر به گونه محلی)، پروپلیتیک و همراه با مقدارهای ناچیزی دگرسانی آرژیلیک) هستند که بهصورت هم مرکز از درون به بیرون گسترش یافتهاند.

تا آندزیت (بازیک- حدواسط) بوده و استراتوولکان هایی مانند سخت حصار را ساخته است. فاز دوم با فوران های آندزیتی- داسیتی نشاندهنده اسیدی ترشدن فعالیت های ماگمایی منطقه است و دارای نشانه های آواری، مانند گسترش دهانه آتشفشانی کوه خستک است (Monsef, 2011). نهشته های کنگلومرایی و رسوبهای آواری- تبخیری سازند قرمز زیرین، رسوب های دریایی سازند قم و رسوب های تبخیری-قارهای سازند قرمز بالایی رسوب های الیگو- میوسن منطقه و جوان ترین رسوبهای آبرفتی کواترنری بخش بزرگی از منطقه را در برگرفتهاند. نمای کلی کانسار نشاندهنده دهانه آتشفشانی (کالدرا) با ترکیب آنـدزیتی تا آندزیت بازالت است که استوکهای حدواسط گرانیتوییدی به درون آنها نفوذ کردهاند؛ از اینرو مے توان کانسار را برپایے Shafiei و Shahabpour (۲۰۰۸) بخشیی از اندوختیه پورفیری نوع ولکانیک (PVD) بهشمار آورد. برپایه بازدیدهای صحرایی، این محـدوده را مـیتـوان بـه دو بخـش شـمالی و جنـوبی ردهبندی کرد. در بخش شمالی سنگ میزبان شامل دو



شکل ۱- نقشه زمین شناسی ساده شده از کانسار دالی در استان مرکزی (Harooni, 2008).

روش انجام پژوهش

برپایه اهداف این پژوهش، بررسیها در سه بخــش زمــين شناسـي صـحرايي و نمونـهبرداري، بررسیهای آزمایشگاهی و زمینشیمیایی انجام شـد. در تابسـتان ۱۳۹۱، بررسـیهـای زمـینشناسـی صحرایی و نمونه برداری از بخش های کانه دار، دگرسان و کمتر دگرسان در دو بخش سطحی و گمانیههای حفاری انجام شد. برای انجام بررسی های کانه نگاری و سنگ شناسی، ۲۰ مقطع نازک و ۱۰ مقطع صیقلی در کارگاه مقطع گیری دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شد. برای شناسایی کانی های رسی، ۷ نمونه تجزیه پراش اشعه X (XRD) در آزمایشگاه کانساران بینالود تهران انجام شد. برپایه جدول ۱، برای بررسیهای زمینشیمیایی، نمونههایی از بخـشهـای نادگرسـان و با دگرسانی کم برگزیده شد. این نمونهها نخست با دستگاه آسیاب خردایش و پودر آنها تهیه شد. برای کاهش اثر آلودگی، پیش از آمادهسازی هر نمونه، دستگاهها به خوبی با آب مقطر شستشو داده شدند. پودرهای بهدست آمده در اندازههای ۱۰۰ گرمی بستهبندی شده و ۱۴ نمونه برای تجزیه به آزمایشـگاه زمـینشـیمی دانشـگاه New Brunswick در کشور کانادا فرستاده شدند.

برای تجزیههای زمینشیمیایی، نمونههای پودری نخست با گرم کننده کربنی به شیشههای همگن تبدیل شدند. در ادامه برای شناسایی عناصر اصلی، دستگاه EMPA به همراه روش ریزکاو الکترونی (EMPA) به کار برده شد. روش تجزیه در پژوهش Zarasvandi و همکاران (۲۰۱۵) گفته شده است. افزونبر این، برای سنجش عناصر خاکی نادر و کمیاب، روش پرتوسنجی جرمی پلاسمای جفتیده القایی با پرتو لیزری (-LA ICP-MS) به کار برده شد. روش تجزیه نمونههای کل

سنگ با بهره گیری از تجزیه LA-ICP-MS برپایه روش McFarlane و LOI (۲۰۱۲) بوده است. گفتنی است که در هنگام تجزیه، شیشه سنتزشدهٔ NIST 612 برای مرجع خارجی و نیز شیشه T1-GMPI-DING برای استاندارد کنترل کیفیت به کار برده شد.

سنگشناسی و دگرسانی

(۱) بخش جنوبی کانسار دالی الف- سنگ دیواره: برپایه بازدیدهای صحرایی و بررسیهای سنگنگاری، سنگهای اصلی سنگ دیـواره کـه در هـر دو بخـش شـمالی و جنـوبی کانسـار دیـده می شود، گدازه های آتشفشانی آندزیتی تا آندزیبازالت پورفیری (شکل ۲- A) هستند. گدازه های آندزیتی سنگ دیوارہ دارای بافت پورفیری تا هیالوپورفیریتیک هستند. ترکیب کانی شناسی آنها پلاژیوکلاز (۴۵-۵۰ درصد حجمی)، هورنبلند (۱۰ – ۵ درصد حجمی) و بیوتیت (۲۰-۱۵ درصدحجمی) بهصورت درشت بلور است. این کانیها در زمینهای (مجموعاً ۱۰–۱۵ درصد حجمی) از کانی های ریزتر پلاژیوکلاز، اپیدوت، کلریت و مقدار کمتری کوارتز پراکنده شدهاند. کانیهای کلریت و بیوتیت بهصورت رگچهای در نمونههای دستی و مقاطع نازک میکروسکوپی نیز دیده مے شوند و باز گوکنندهٔ ثانویه بودن آنها هستند (شکل ۲- B). فراوانی کلریت به میزان بیوتیت (و به میزان کمتری با هورنبلند) در سنگ پیش از دگرسانی بستگی دارد .(Schwartz, 1966)

ب- سنگ میزبان: کانه زایی در کانسار دالی
به گونه چشمگیری به سنگهای حدواسطی بستگی
دارد که ترکیبی مانند گدازههای آندزیتی سنگ
دیواره دارند. این تودههای نیمه ژرف را می توان هم ارز
درونی سنگ دیواره دانست. برپایه ترکیب
کانی شناسی می توان گفت سنگ میزبان دارای ترکیب
دیوریت، مونزودیوریت تا کوارتز مونزونیت با بافت
پورفیری بوده است (شکلهای ۲- C و ۲ - D).



شکل ۲- تصویرهایی از نمونههای دستی و مقاطع میکروسکوپی کانسار دالی (استان مرکزی). A و B) نمونه آندزیتی با رگچههای کلریت و بیوتیت؛ C و D) نمونههای دستی سنگ میزبان گرانیتوییدی با رگههای کوارتز؛ E) بلورهای شکلدار پلاژیوکلاز در نمونههای کوارتز دیوریتی؛ (F) بیوتیتیشدن بلورهای پلاژیوکلاز؛ G) درشتبلورهای بیوتیت نخستین و هورنبلند؛ H) نمونه دارای رگچه کوارتز و بلورهای سرسیت بهدستآمده از دگرسانی کانیهای نخستین. نام اختصاری کانیها از Whitney و Koro (۲۰۱۰) برگرفته شده است (Bt: بیوتیت؛ Ch! کلریت؛ Hbl: هورنبلند؛ qz: کوارتز؛ Py: پیریت؛ Pt: پلاژیوکلاز؛ Ser: سرسیت).

کانی شناسی استوک جنوبی شامل پلاژیوکلاز (۴۵-۳۵ درصد حجمی)، هورنبلند (۵–۱۰ درصد حجمی)، بیوتیت (۱۰–۱۵ درصد حجمی) و کوارتز (۱۵–۲۰ درصد حجمی) است. این کانی ها به صورت در شتبلور در زمینه ای دانه ریز از کوارتز و پلاژیوکلاز یافت می شوند (شکل های ۲– ۲، ۲– ۲ و ۲– ۵). در بخش های مرکزی این استوک کانی های ارتوکلاز نیز دیده می شود و از میزان کانی های بیوتیت نخستین کاسته می شود.

ارتوکلازها بهصورت رگهای و بهرنگ صورتی روشن دیده میشوند. فلدسپارها شکل دار هستند و منطقهبندی و دوقلویی دارند. این موضوع نشان دهنده پیدایش آنها Best and ( ماگمای گرانیتوییدی است ( Best and نزدیک به در ماگمای گرانیتوییدی است ( Christiansen, 2001) ۴ تا ۵ میلیمت ر و در مرکز توده ۷ میلیمت ر است. ۴ ما ۵ میلیمت ر و در مرکز توده ۷ میلیمت ر است. ۱ می دهای دگرسانی و بلورهای کوچک با ماکل کارلسباد در این درشت بلورها نشان دهنده پیدایش آنها در شرایط سدیک است (Hezarkhani, 2006b). پلاژیوکلازهای سنگ میزبان ترکیبی از الیگوکلاز تا آندزین را نشان می دهند؛ اما در آندزیت ها ترکیبی آندزین دارند ( Ayati می دهند؛ اما در آندزیت ها ترکیبی آندزین دارند ( نشان

هورنبلند بهصورت درشتبلورهای شکلدار با رنگ سبز دیده میشود که در پهنههای با دگرسانی بالا به کانیهای ثانویه مانند کلریت و بیوتیت ثانویه تبدیل شده است (شکل ۲– G). درشتبلورهای هورنبلند در نمونههای نادگرسان، نشان دهنده فاز سیال نخستین و ماگمای گرانودیوریتی با بیش از ۳ درصدوزنی H<sub>2</sub>O و آمیختگی هنگام تبلور است ( ۳ درصدوزنی Whitney, 1975; Burnham, 1979; Whitney and Stormer, 1985; یا یوتی یا رنگ مکاران (۲۰۱۳)، کمابیش همه هورنبلندهای منطقه از آمفیبولهای کلسیک هستند. کانیهای بیوتیت با رنگ قهوهای تیره تا قهوهای روشین در سنگ

میزبان به دو صورت پراکنده و رگهای دیده می شوند که نشاندهنده دو نسل متفاوت از آنهاست. نسل اول به صورت درشت بلورهای شکل دار با بر گوار گی آشکار و بهرنگ قهوهای تیره هستند. این کانیها که بهصورت پراکنده در مقاطع نازک دیده می شوند را بیوتیتهای ماگمایی میدانند. نسل دوم یا گونههای گرمابی آنها دارای رنگ قهوهای کمرنگ بوده و آمیبی شکل هستند. این گروه از بیوتیت ها به صورت رگهای یا جانشینی کانی های نخستین مانند هورنبلند دیده می شوند. کانی کوارتز به سه صورت در نمونهها دیده می شود: (۱) درشتبلورهایی با شکل هندسی آشکار تا نیمهشکلدار که نشان دهنده نسل اول کوار تزها هستند؛ (۲) بلورهای دانهریز به صورت پراکنده و فراوان زمینه را ساختهاند؛ (۳) کانی های کوارتز رگهای که می توانند نشان دهنده کارکرد و پیامد فرایندهای گرمایی پایانی باشند (شکل .(H -۲

پ– **دگرســانی:** چگــونگی گســترش دگرســانی در کانسار دالے بدین ترتیب است کے در بخے ش جنوبی، از بیرون به درون، دگرسانی های پروپلتیک، آرژیلیک، سرسیتی و پتاسیک را میتوان دید. دگرسانی های آرژیلیک و سرسیتی بیشتر بهصورت محلی و نزدیک به سطح بوده و گاه دگرسانی های پیشین را می پوشانند. دگرسانی پروپلتیک دارای بیشترین گسترش در کانسار دالی است؛ به گونهای که پیامد آن را می توان به صورت هالهای سبز رنـگ دیـد کـه در هـر دو بخـش شـمالی و جنوبی بیشترین همراهی را با سنگ دیواره آندزیتی منطقه دارد. از دیدگاه کانی شناسی، بیشتر کانی های این دگرسانی عبارتند از اپیدوت (۳۰-۴۰ در صححمی)، کلریست (۲۵-۲۰ درصد حجمي) و به اندازه كمتر كلسيت (۵> درصدحجمی). این کانیها بیشتر به صورت پراکنده در زمینهای دانهریز از میکرولیتهای پلاژیوکلاز پدید آمدهاند (شکل ۲– H). نشانههای تخریب فلدسیپارها به سرسیت بیشتر در هسته و شکستگیهای درون درشت بلورهای فلدسپار دیده میشود.

در بخش جنوبی این کانسار دگرسانی پتاسیک با حضور کانیهای بیوتیت ثانویه، پتاسیمفلدسپار، مگنتیت و کوارتز در بخش مرکزی استوکهای نفوذی شناسایی میشوند. کانیهای بیوتیت به دو صورت پراکنده و رگچهای با رنگ قهوهای روشن که نشاندهنده Mg/Fe بیشتر است؛ اما کانیهای پتاسیمفلدسپار بیشتر بهصورت رگه و رگچههای صورتی رنگ آشکار و بیشتر در بخشهای کوارتزمونزونیتی بخشهای جنوبی شناسایی شدند.

۲- بخش شمالی کانسار دالی

سنگ دیوارہ بخش شمالی کانسار ویژگے، های سینگنگاری مانند بخیش جنوبی را دارد. می توان گفت کـه ســنگهـای آنـدزیتی تـا آنـدزیبـازالتی، در هر دو بخـش، نقـش سـنگ ديـواره را دارنـد؛ امـا از سوی دیگر، سنگ میزبان بخش شمالی به صورت دو استوک کمابیش هماندازه به درون سنگهای آندزیتی نفوذ کردهاند. استوکه ای بخش شمالی با تركيب كانى هاى پلاژيوكلاز، كوارتز، هورنبلند و بیوتیت به صورت در شت بلور در زمینه ای دانه ریز تا دانهمتوسط از کوارتز بیشتر ترکیب کوارتزدیوریت با بافت پورفیری را نشان میدهند. در سنگ میزبان بخش شمالی، کانی ارتوکلاز بسیار ناچیز و میــزان درشــتبلورهـای هورنبلنـد و بیوتیـت در مقایسه با بخش جنوبی کانسار کمتر است. نشانه های دگرسانی کانی های نخستین (پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت) نیز در این بخش بسیار کمتر از بخش جنوبی است.

چگونگی گسترش دگرسانی در بخش شمالی کانسار دالی بیشتر با داشتن نشانههای دگرسانی

هستند. كانى كلريت افرونبر حالت پراكنده، بهصورت رگچه نیز همراه با بیوتیت ثانویه دیده م\_یش\_ود. نش\_انهه\_ای دگرس\_انی آرژیلی\_ک بیش\_تر بهصورت تخريب سنگ های سنگی و تبدیل کانیهای سیلیکاته به کانیهای رسبی در نمونههای دستی و دادهای XRD شناسایی می شوند. از کانی های فراوان این دگرسانی در کانسار دالی م\_\_\_\_ موريليني\_ت وان ك\_وارتز، آلبي\_ت، مون\_ت موريليني\_ت و كائولينيت (به صورت فاز اصلى) و كلريت، ايليت و میکروکلین (بهصورت فاز فرعی) را نام برد. این ترکیب کانی شناسی نشاندهنده دگرسانی آرژیلیک متوسط است. دگرسانی آرژیلیک متوسط گویای تجمعهای رسداری است که در پسی دگرسانی هیدرولیکی و دماهای کمتر و pH کمابیش کمتر از دگرسانی سرسیتی پدید آمدهاند؛ امــا pH بــالاتر از دگرســانی آرژیلیــک پیشــرفته در دماهای همانند پدید میآید.

اجتماعهای سفید تا خاکستری کوارتز-سرسیت-پیریت که تا اندازهای در تخریب بیشتر بافت سنگ نقش دارند، در شناسایی دگرسانی سرسیتی در اندوخته پورفیری کاربرد دارند (2000 , 2000). این دگرسانی در محدوده کانسار دالی بیشترین پیامد خود را در بخشهای جنوبی نشان میدهد. نشانههای آن بهصورت سنگهای کمابیش سست بهرنگ سفید تا سبز کمرنگ با گسترشی در مقیاس محلی و بیشتر همراه با حضور رگچههای کوارتز دیده میشوند.

برپایه بررسیهای کانی شناسی در چهارچوب مقاطع ناز ک و XRD، کانیهای سازنده این دگرسانی عبارتند از کلریات (۱۰–۱۵ درصد حجمی)، سرسیت (۲۵–۳۵ درصد حجمی)، کوارتز (۵۰–۴۵ درصد حجمی) که بیشتر آنها از تخریب و دگرسانی کانیهای مافیک نخستین مانند بیوتیت و هورنبلند و همچنین، پلاژیوکلاز

پروپلتیک وابسته به سنگهای آندزیتی سنگ دیواره و دگرسانی پتاسیک وابسته به سنگ میزبان شناسایی میشود. در بخشهای شمالی کانسار کمابیش نشانههایی از دگرسانی سرسیتی و بهویژه آرژیلیک را نمیتوان یافت و یا شدت آنها بسیار کم است. دگرسانی آرژیلیک (بهویژه در بخش جنوبی کانسار) بیشتر به گونه محلی گسترش یافته و در ژرفا دارای شدت کمتری هستند؛ اما شدت پیامد این دگرسانی در بخش شمالی از بخش جنوبی بسیار کمتر و ناچیزتر است.

# كانەزايى

کانهزایی در این سیستمها در توالیهای آشکاری از رگچههای کوارتز و همچنین، به شکل پراکنده در سنگ دگرسان میان آنها رخ مےدھ۔د (Sillitoe, 2010). اگر شرایط دگرسانی و هوازدگی افزایش یابـد چـهبسـا ایـن اندوخته دچار فرایند غنیسازی برونزاد شود و در پایان پیدایش توالی ویژهای از دیدگاه کانیشناسی را در پی داشته باشد. این توالی از پایین به بالا عبارت است از بخـش درونزاد، بخـش غنـیشـده سـولفیدی، منطقـه اکسیدی و در پایان کلاه ک آهنی. این توالی ممکن است ستبرایی نزدیک به بیش از ۱ کیلومتر داشته باشد؛ البته اگر دچار فرسایش نشود ( Sillitoe, 2010; John et al., 2010). در همـه ايـن محـدوده بخـش درونزاد گسترش خوبی را نشان میدهند و برپایه بررسی گمانههای حفاری، تا ژرفای متوسط ۲۰۰ تا ۲۵۰ متری نفوذ کرده است. دیوریت- مونزودیوریتهای پورفیری بیشترین نشانه های کانهزایی را در خود جای دادهاند. بخـش درونزاد کانسـار دارای کانـههـای فلـزی بیشـتر پیریت و کالکوپیریت به همراه مقدار کمتری بورنیت و مگنتیت، به صورت پراکنده و رگچه، دیده می شوند (شکلهای ۳- A و ۳- B). کالکوپیریت کانه اصلی مس در کانسار دالی (۴۰ درصد کانه های فلزی) به شمار می رود و به صورت دانه های در شت و متوسط، به حالت

پراکنده در زمینه و رگه و رگچهای، بیشتر در بخش درونزاد دیده می شود (شکل های ۳- A، ۳- B و ۳-C). فراوانی کالکوپیریت در بخش جنوبی در مقایسه با بخش شمالی بسیار بیشتر است و برپایه بررسیهای SEM بهدست Harooni (۲۰۰۸)، میزبان اصلی طلا در کانسار دالی است. پیریت از کانههایی است که در بخـش درونزاد پس از کالکوپیریت بهفراوانی یافت میشود (۲۰-۳۰ درصد حجمی کانههای فلزی). این کانه نیز بهصورت دانههای پراکنده و رگهای در مقاطع صیقلی دیده می شود و فراوانی آن در بخش جنوبی بیشتر است (شکل های D -۳ و E -۳). کانه مگنتیت (D -۱۰ درصد حجمی کانههای فلزی) به صورت رگهای و شکاف پرکن و به مقدار کمتر به صورت پراکنده بیشتر در بخس های جنوبی دالی دیدہ می شود (شکل ۳- A). ایـن کانـه گـاه در یی یدیده مارتیتی شدن به هماتیت تبدیل شده است. کانه مگنتیت نشان دهنده شرایط اکسیدانی است که برای پیدایش اندوخته مـس- طـلای پـورفیری مناسـب است (Shafiei and Shahabpour, 2008). از کانے ہے ای دیگر بخش درونزاد که به مقدار بسیار کم و تنها در بخش جنوبی یافت می شود می توان بورنیت (۵ درصد حجمی کانه های فلزی) را نام برد. این کانه با رنگ صورتی تا صورتی کمرنگ بیشتر همراه با پیریت و گاه کوولیت (کمتر از ۵ درصد حجمی کانهای فلزی) به صورت رگچه دیده می شود (شکل ۳- B). طلا و نقره، به صورت محصول های همراه یا جانبی نزدیک به ۳۰ درصد اندوختهها هستند. گمان می شود این عنصرها در اندوخته پورفیری بیشترین همراهی را با کانههای کالکوپیریت و بورنیت دارند و به صورت ادخال در آنها يافت مے شوند ( Kesler et al., 2002; John et al., ) يافت مے شوند 2010). همان گونه که گفته شد در کانسار دالی میزبان اصلی طلا کالکوپیریت و همچنین، رگههای کوارتز است که می تواند نشان دهنده ورود آن از محیط پیرامون باشد. با وجود این، فراوانی آن در هر دو محدوده شمالی، و جنوبی کمابیش یکسان است.



شکل ۳- A) نمونه دستی از سنگ میزبان کانسار دالی (استان مرکزی) با کانههای کالکوپیریت و مگنتیت؛ B، C و D) مقاطع میکروسکوپی از کانههای سولفیدی که بهصورت رگچه و پراکنده در بخش درونزاد دیده می شوند (در نور انعکاسی)؛ E) مقطع میکروسکوپی از کانههای سولفیدی که بیشتر بهصورت پراکنده در بخش برونزاد (در نور انعکاسی)؛ F) نمونه دستی دارای کانههای مالاکیت و آزوریت؛ G) دادههای XRD مربوط به نمونه کلاهک آهنی. نام اختصاری کانیها از Whitney و ۲۰۱۰ (۲۰۱۰) برگرفته شده است (Kfs: پتاسیمفلدسپار؛ Ccp؛ کالکوپیریت؛ Mag: مگنتیت؛ Cv؛ کوولیت؛ Bn: بورنیت؛ Cct؛ کالکوسیت؛ Py: پیریت).

نشاندهنده ترکیب شیمیایی یکسان آنهاست.

در این پژوهش برای شناسایی ترکیب شیمیایی و نام گذاری تودههای آذرین این منطقه، نمودارهای R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> (De la Roche et al., 1980) و نمودار Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O و نمودار برابر SiO<sub>2</sub> (Le Maitre *et al.*, 2002) SiO<sub>2</sub> برابر برپایه این نمودارها تودههای آتشفشانی در محدوده ترکیبی آندزیت تا آندزیت بازالت و درونی ها نیز در محدوده دیوریت، مونزودیوریت، با گرایش به گابرو دیوریت، جای می گیرند (شکل های ۴- A و ۴- B). برای شناسایی سری ماگمایی، نمودار Th در برابر Co (Hastie et al., 2007) به کار برده شده است (شکل ۴-C). در بررسی های سنگ شناسی، این نمودار برای پهنههایی که دگرسان شدهاند و برای کاهش پیامد دگرسانی معرفی شده که در آن Co جانشین SiO<sub>2</sub> و Th جایگزین K<sub>2</sub>O میںشوند. بریایے ایے نمودار سنگهای آذرین منطقه کمابیش همگی در محدوده سری کالکآلکالن تا شوشونیتی هستند. برپایه بررسی سرشت سنگزایی، این سنگها ویژگیهای گرانیتوپیـــدهای اکســـیدی- نـــوع I (هماننـــد متاآلومینوس بودن، SiO2 کمتر از ۷۰ درصد وزنی، Na<sub>2</sub>O بیشتر از ۳/۲ درصد وزنی) مانند داشتن مگنتیت و بیوتیت قهروهای مایل به سبز ( Maanijou et al., 2013) را نشان مےدھند. نمودارھای شناسایی پہنے زمینساختی نیز I-type بودن آنها را تأیید می کنند (شکل P-۴).

بسیاری از پژوهشگران از عناصر فرعی و اصلی در شناسایی پهنههای زمینساختی بهره می گیرند. در میان این عناصر، میزان ۲، Th/Yb، Nb، Tb و Ta/Yb بهعلت تحرک کم آنها در هنگام فرایندهای پیدایش سنگهای ماگمایی (مانند پدیده فرورانش) اهمیت بیشتری دارنـد Zarasvandi *et al.*, 2005; Pearce, 2005; Maanijou ) (*et al.*, 2013 ). در این نمودارها، کمابیش همه نمونههای کانسار دالی در محدوده کنارههای فعال قارهای (VGA) نشانههای فرایند برونزاد بهصورت کانههای اکسیدی آهـن و کربناتـه مـس در کلاهـک شسـتهشـده و یهنـه اکسیدی و همچنین، به صورت مقدار کمی کوولیت و کالکوسیت در پهنه سولفیدی دیده می شوند (شکل های E - T و E - T). کانههای مالاکیت و آزوریت (بیش از ۵۰ درصد کانههای بخش برونزاد) بیشتر در نمونههای دستی به رنگ سبز و آبی همراه با کانیهای اکسید آهن دیده می شوند (شـکل F - ۳). در کانسار دالی کلاهـک آهنی تنها در بخش جنوبی است و برپایه بررسیهای صحرایی و XRD کانی های شاخص آن ژاروسیت، هماتیت و گوتیت هستند (شکل ۳- G). در بررسی های میکروسکوپی با میکروسکوپ بیناکولار، کانه مس خالص نیز به صورت ذرات جداگانه دندریتی و بهرنگ قرمز تیره شناسایی می شوند. این کانه ها نشان دهنده منطقه اکسیدی در بخش برونزاد کانسارهای یورفیری هستند (John *et al.,* 2010). در کانسار دالی، بیشتر کانــههـای سولفیدی ثانویه، کالکوسیت و کوولیت هستند و در مقاطع صیقلی به صورت هاله های جانشینی در پیرامون کانه سولفیدی درونزاد شناسایی میشوند.

## زمينشيمى

دادههای بهدست آمده تجزیههای زمین شیمیایی شامل عناصر اصلی و عناصر فرعی در جدول ۱ آورده شده است. در تجزیه شیمیایی نمونهها، ۱۰ عنصر بهعنوان اکسیدهای اصلی دیده می شوند. از آنجایی که این عناصر بیشترین همراهی را با کانی های اصلی تودههای آذرین دارند، نقش مهمی در شناسایی ترکیب شیمیایی سنگها، تحول ماگمایی و حتی شناسایی پهنه زمین ساختی این سنگها دارد. محدوده SiO نیکهای این منطقه در محدوده ۴۹ تا ۶۳ درصد وزنی با میانگین (۵۶ درصد وزنی) با میانگین (۵۴/۲ درصد وزنی) هستند که نشان دهنده حدواسط بودن و سر شت وزنی) هستند که نشان دهنده حدواسط بودن و سر شت رانیتوییدی آنهاست. برای عناصر اصلی در سنگ دیواره

	High Productivity samples (South Part)						Low Productivity samples (North Part)							
Sample	DL-1	DL-2	DL-3	DL-4	DL-5	DL-6	<b>DL</b> -7	DL-8	DL-9	DL-10	DL-11	DL-12	DL-13	DL-14
			host rock	:		Wall	Rock			host rock			Wall	Rock
SiO <sub>2</sub>	51.1	58	57.5	53.1	63.7	53.5	59.6	53.8	59.8	54	49.5	55.9	59.1	51.2
TiO <sub>2</sub>	1	0.7	0.3	0.8	0.3	0.6	0.4	1.5	1.2	0.3	1.1	0.6	0.3	0.3
$Al_2O_3$	16.5	17.2	14.9	18.7	14.5	13.1	20.7	17	19.1	21.5	18.5	17.8	19.3	20.7
FeO	12.3	7	6.4	6.2	8.3	15.8	3.8	8.8	4.7	7.2	10.9	7.7	3.2	6.9
MnO	0.2	0.1	0.1	0	0	0.3	0	0.2	0	0	0.2	0.1	0	0.2
MgO C-O	3.2	3.4	6.1 c o	5	1.6	3	2	2.7	1.7	5.5	4.8	2.9	2.1	5.8
Va0	7.4	3.7	0.0	7.1	3.4	3.4	36	3.5	4.5	3	3.0	3.0	3.3 /1 1	0.5 3 1
K <sub>2</sub> O	2.4	2.1	15	19	3.1	19	3.0	2.1	27	12	2.2	19	7.1	1.2
K20	0.1	0	0.1	1.5	0	1.5	0.1	0	0.1	0	0	1.5	0.1	0.1
303 T:	0.1	10.2	0.1	22.0	60	01	12.1	14.1	10 5	57	14.1	96	0.1	12
Li Re	2.3	10.5	3.5	1	1.5	2.1	12.1	1.6	19.5	0.5	14.1	5.0 1 7	15	0.8
P	2478	1168	2790	436	708	1849	642	2786	1063	379.3	1216	1040	621	893
Sc	16.6	14.3	24.4	23.1	10.3	18	12.9	19	11.5	4.6	16.8	13.6	12.8	25.8
v	129.8	143.3	129.4	203.8	75.4	127.4	129.1	140.8	92.6	43	130.9	114	72.2	228.3
Cr	68.4	54	18.7	20.1	25	39.2	345	27.9	385	17.1	168.5	51.1	11.3	97.5
Co	15	15.6	17.3	21.3	11.2	15.8	18.2	19.2	10.4	3.6	18.1	12.6	11.2	35.3
Ni	19.7	240.5	18.1	12.3	88.1	16.7	60.8	19	39.4	6.6	65.6	34.7	8.5	36.4
Cu	582	175.9	668.5	2352	582	3661	4220	93	159.5	28	1522	441.7	1828	1461
Zn	243.2	104.1	146.7	206.9	63.3	166.5	223.2	89.9	107.9	50.7	199.4	100.8	172.5	279.7
Ga	67.3	54.4	26.4	36.8	36.7	55.8	53.9	53.7	57.8	9.4	62.2	48.9	67.7	29.2
Ge	4.7	1.7	3.1	2.2	1.5	4	2.4	2.5	2.6	0.5	2.7	2.1	2.2	1./
As Ph	79.4	51 /	37.9	1.5	1.2	2.0 69.4	2.5 68.2	61.8	5.7 91.1	0.8	56.7	2.0 65.6	1.5	2.4
Sr	643	724.2	388.1	472.7	314.2	482	500.3	489.3	674	128	518.2	534.2	416.8	414.5
Y	31	15.2	19.9	14.1	13.1	22.7	10.4	24	15.4	3.4	17.3	17.6	11.2	12.4
Zr	33	66	9.3	52	244	37.3	494	92.8	93.5	35.9	36.3	101.2	30.3	61
Nb	25.5	9.6	5.4	5	6	10	8.6	8.8	9.3	1.7	10	8	6.6	4.2
Sn	5.7	5	5.1	1.9	3.3	2.8	5.2	5.9	3.3	2.6	5.7	6.4	3.2	3
Sb	1	1.2	1	0.2	0.6	0.8	1.7	3.5	2	0.3	1.8	1.1	1.3	0.7
Cs	0.8	1.5	2.8	5.7	0.5	0.9	7.5	2.4	1.4	0.1	3.3	0.8	2.7	4.8
Ba	1045	902.7	239.1	329.7	584.3	888	896	906.5	945	104.8	1033	768.4	1290	216.7
La	44.5	56.9	21	16.8	14.7	25	18.8	35.2	19.1	7.4	21.1	38	29.3	7.3
Ce De	95	102.4	47.4	34.4	28.8	53.8	32.4	7.4	32	13.7	40.1	70	53.3	16.7
PT NA	375	373	5.4 22.7	3.5 14 5	12.5	24 3	3.3 17 /	78.9	3.3 13.7	53	4.5 18.8	7.1	25.5	2.2 9.9
Sm	7.3	5.7	4.5	2.7	2.7	5	2.4	5.7	2.9	1	3.9	4.4	4	2.5
Eu	1.8	1.4	1	0.9	0.7	1.2	0.7	1.3	0.9	0.3	1	1.2	0.9	0.8
Gd	6.1	4.1	4.1	2.8	2.2	4.3	2.1	4.7	2.6	0.7	3.5	3.6	2.6	2.5
ТЪ	0.9	0.5	0.6	0.4	0.3	0.6	0.3	0.7	0.4	0.1	0.5	0.5	0.3	0.4
Dy	5.7	2.9	3.9	2.5	2.1	4	2	4.3	2.8	0.6	3.2	3.3	2.1	2.4
Ho	1.1	0.6	0.8	0.5	0.5	0.8	0.4	0.9	0.5	0.1	0.6	0.6	0.4	0.5
Er	3.4	1.5	2.2	1.5	1.4	2.3	1.1	2.5	1.6	0.4	1.9	1.8	1.2	1.4
Tm	0.5	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2
Yb	3	1.5	2.2	1.4	1./	2.4	1.4	2.7	1.7	0.4	1.8	1.9	1.1	1.3
Lu	0.5	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	2.9	0.5	0.1	0.5	0.3	0.2	1.2
Ta	7.7	0.6	0.4	0.3	0.6	0.8	0.6	0.6	0.8	01	06	0.7	0.6	0.2
W	4.5	0.6	0.9	0.3	0.8	0.9	2.7	3.3	4.3	0.4	2	1.6	1.7	1.8
Au	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	87	27.9	33	38.4	23.3	65.9	41.4	15.8	25.2	38	58.3	23.6	32.5	72.8
Bi	1.1	0	0.2	1.7	0.1	1.6	0.2	0.1	0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4
Th	5.5	30.6	1.4	1.9	14.6	7.3	12.7	23.5	37.8	4.2	6.7	13.2	8.1	2
U	3.5	4.9	1.1	1.2	3.9	2.5	3	7.3	7.9	1.9	1.2	3.2	1.5	0.6
Eu/Eu*	0.8	0.9	0.7	1	0.9	0.8	1	0.8	1	1.1	0.8	0.9	0.9	0.9
$La_N/Yb_N$	10.1	24.8	6.5	8.3	5.8	7.1	9	8.8	7.3	11.6	8.1	13.3	17.5	3.9
$La_N/Sm_N$	3.9	6.3	3	3.9	3.5	3.2	4.9	3.9	4.2	4.9	3.4	5.4	4.6	1.8
$Dy_N/Yb_N$	1.1	1.2	1.2	1.1	0.7	1.1	0.9	1	0.8	0.8	1.1	1	1.1	1.1
∑REE	216.9	225.6	116.4	82.3	/1.4	130.3	11.7	161.7	81.5	31.6	101.4	159	138.1	48.2

جدول ۱- دادههای زمین شیمیایی تجزیـه LA-ICP-MS و SEM-EDS نمونـههای کانسار دالـی (اسـتان مرکـزی) (عناصـر اصـلی برپایـه درصد وزنی و عناصر فرعی برپایه N :ppm: مقدار بهنجار شده در برابر ترکیب کندریت (Boynton, 1984) است).



**شکل ۴**– جایگاه نمونههای کانسار دالی (استان مرکزی) در: A) نمودار ردهبندی سنگهای آذرین R۱ در برابر R2 (De la Roche *et al.*, 1980)؟ B) نمودار Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O در برابر SiO2 (Le Maitre *et al.*, 2002) SiO2)؛ C) نمودار شناسایی پهنـه زمینساختی Ta در برابر Yb (Pearce *et al.*, 1984) (مثلث: سنگهای آذرین آتشفشانی؛ مربع: سنگهای آذرین درونی).

شدند. نفوذی های کانه دار معمولاً در الگوی عناصر خاکی نادر (REEs) خود جدایش آشکاری را نشان می دهند؛ به گونه ای که عناصر خاکی نادر با شدت میدان بالا (HFSE) و ایتریم (Y) در برابر عناصر دیگر تهی شدگی نشان می دهند (John et al., 2010). همان گونه که در شکل ۵ دیده می شود، برپایه نمودار الگوی REE غنی شدگی عناصر خاکی نادر سبک (LREE) در برابر عناصر خاکی متوسط (MREE) و سنگین (HREE) در هر دو بخش دیده می شود. در مجموعههای گرانیتوییدی میزبان کانهزایی مس پورفیری، الگوی عناصر خاکی نادر (REEs) ابزار باارزشی برای بررسی منبع ماگما است. همچنین، در شناسایی توانایی ماگما در متمرکزکردن مس به ما کمک میکند (Zarasvandi *et al.*, 2005; 2015). از اینرو برای بررسی ویژگیهای زمینشیمیایی در بخشهای بارور (بخش جنوبی کانسار) و نیمه بارور کانسار (بخش شمالی کانسار) دالی، چگونگی توزیع



شکل ۶- نمودارهای جداکننده نمونههای بارو و کمبارور در کانسار دالی (استان مرکزی). A) نمودار \*Eu/Eu در برابر SiO2 ر برابر Richards et al., 2012) (ترکیب (2001)؛ B) نمودار [La/Sm] در برابر [Dy/Yb] (Dy/Yb] (C (Richards et al., 2012) (Dy/Yb))؛ B) نمودار ۲در برابر (Baldwin and Pearce, 1982) MnO)؛ (ترکیب کندریت پیشنهادی Boynton (۱۹۸۴))برای بهنجارسازی به کار برده شده است) (لوزی سبز: نمونههای بارور؛ لوزی بنفش: نمونههای کمبارور؛ توضیح کامل تر در متن آمده است).

در این زمینه، عناصر و نسبتهای عنصری کلیدی دیگر عبارتند از La, Sm, Dy, Yb عناصر LREE مناصر La)، (La) MREE و Csm, Dy) MREE و در (Yb) در برابر شرایط و فرایندهای ماگمایی رفتار حساسی نشان میدهند و در نمودار [La/Sm] در برابر مالا/Yb] به کار برده شدهاند (Ichards *et al.*, 2012) در این نمودار، نمونههای بارور، در مقایسه با انواع کم بارورتر، مقدارهای بیشتری از این نسبتها را نشان میدهد (شکل ۶- B).

LREE الگـوی عناصـر MREE و MREE در برابـر HREE نشان دهنده برخی کـانیهـا، ماننـد گارنـت و هورنبلنـد جدایش یافته یا به جامانده، هستند. حضور ایـن کـانیهـا MREE جدایش یافته یا به جامانده، هستند. حضور ایـن کـانیهـا MREE الگوهـای همـوار یـا منحنـیواری در ردهبنـدی MREE نشان می دهند که شیب آن از LREE بـهسـوی MREE رو به پایین است (نسبتهای بالای م[La/Sm] نزدیک به ۴ تا ۱۱). سپس الگو در میان MREE هموار میشـود و ۴ ممکن است حتی بهسوی MREE هموار میشـود و بالا شود و تقعر رو به بالا در آنها روی دهد (نسـبتهـای Klein *et al.*, 1997; Bachmann *et* ) ([Dy/Yb] $n \leq 1$ . (*al.*, 2005; Prowatke and Klemme, 2006

حالت هموار بیشتر برای اندوخته نابارور و حالت منحنی وار برای اندوخته بارور گزارش شده است (شکلهای ۵ و ۶- B). برپایه ۱۰۰ نمونه سنگ تازه و ناهوازده در مقیاسهای معدنی، محلی و ناحیهای در منطقه آند شیلی، مقایسه زمین شیمیایی دیگری به دست امان اید شیلی، مقایسه زمین شیمیایی دیگری به دست نابارور انجام شده است. در این مقایسه دریافتند که نابارور انجام شده است. در این مقایسه دریافتند که نابارور انجام شده است. در این مقایسه دریافتند که نابارور انجام شده است. در این مقایسه دریافتند که ازاین رو، انجام گرام است. در این مقایسه دریافتند که از این رو، انجام شده است. در این مقایسه دریافتند که از این رو، انجام شده است. در این مقایسه دریافتند که نابارور انجام شده است. در این مقایسه دریافتند که از این رو، انجام شده است. در این مقایسه دریافتند که از این رو، انجام شده است. در این مقایسه در از ۲ ماس کاری از ۲ ماس کاری از ۲ ماس کاری از مناسایی مان مودار، در نمونه های بارور، مقدارهای کم ۲ و Mn این نمودار، در نمونه های بارور، مقدارهای کم ۲ و Mn این نمودار، در نمونه های بارور، مقدارهای کم ۲ و Mn این نمودار، در نمونه های بارور، مقدارهای کم ۲ و Mn این نمودار، در نمونه های بارور، مقدارهای می در ۲ و Mn این نمودار، در نمونه های از می آبدار غنی در ۲ و ا

آزادشدن سیال غنی در Mn از ماگما توضیح داده می شود. مقدارهای کم Y ممکن است نشان دهندهٔ فرایندهای ماگمایی آشکار و لازم برای زایش مس پورفیری باشد؛ اما مقدار کم MnO ممکن است نشان دهنده اندازه و استحکام و توانایی گسترش یک سیستم گرمابی باشد (Baldwin and Pearce, 1982).

### بحث

از فاکتورهای مهم در پیدایش تودههای بارور مس، شرایط اکسیدان، جدایش پیشرفته ماگما و تبلوربخشی یک کانی آبدار (مانند هورنبلند) است ( Sun et al., ) 2013; Zarasvandi *et al.*, 2015). برپایـه بررسـیهـای سنگنگاری و کانیشناسی مهمترین کانیها و فرایندهایی که میتوانستند در کانهزایی و اقتصادیبودن کانسار مـس- طـلای پـورفيری دالـی نقـش بسـزايی را داشته باشند عبارت بودند از: هورنبلند، پلاژیو کلاز، مگنیتیت، پیریت، کالکوپیریت و رخداد دگرسانی برونزاد. میزان بالای آب ماگمایی پیششرط لازم بـرای جایگیری پوستهای کمژرف ماگماهای کمانی و پیـدایش سیستمهای ماگمایی- گرمابی با پتانسیل کانهزایی است. از اینن رو، Richard و همکاران (۲۰۱۲) پیشنهاد میکنند که باروری ماگماهای پدیدآمده در پهنه برخوردی و یا کمانی می تواند برپایه دارابودن درشت بلورهای هورنبلند یا بیوتیت شناسایی شود؛ زیـرا هورنبلند (۱ تا ۲ درصد وزنی آب) و بیوتیت (۲ تا ۴ درصد وزنی آب) عادی ترین فازهای ماگمایی آبدار در ماگماهای حدواسط هستند (Cloos, 2001). همچنین، دیدن هورنبلند بهصورت درشتبلور در نمونههای بسیار تازه در بخش ژرف استوک (یک فاز مایع نخستین) نشان دهنده ماگمای حدواسط با بیش از ۳ درصد وزنی H<sub>2</sub>O و اشباع بودن از آب در هنگام تبلور آغازین است Whitney, 1975; Burnham, 1979; Whitney and ) Stormer, 1985). از ویژگیهای دیگر پورفیریهای بهرهور، فراوانی مودال کانیهای روشن در برابر تیره و

برونزاد در بخش جنوبی کانسار دالی دیده میشوند. همچنین، سنگهایی که دچار دگرسانی فیلیک شدهاند بهترین سنگها برای اکسیدشدن و پیدایش منطقه Enders, 2000; Berger et al., ) برونزاد هستند 2008). از آنجایی که رخداد و پیامد دگرسانی فیلیک بیشتر در بخش جنوبی آشکارا دیده می شود؛ ازاینرو، یکی از عوامل مهم در گسترش دگرسانی برونزاد در بخش جنوبی را می توان به آن وابسته دانست. در کانسار دالی مهمترین تفاوت درباره دگرسانی درونزاد، دگرسانی های فیلیک و آرژیلیک در بخش جنوبی هستند که در مقیاس محلی و سنگ میزبان کانهزایی به گونه فراگیر دچار آنها شده است. درباره دگرسانی فیلیک و میزان طلا در اندوخته مـس- طـلای پـورفیری پیشنهادهای گوناگونی داده شده است، به گونهای که برخی، مانند Shafiei و Shahabpour (۲۰۰۸)، رخداد دگرسانی فیلیک و آرژیلیک را از عوامل مؤثر در کمبودن میزان طلای اندوخته پورفیری ناحیه کرمان دانستهاند؛ اما Sillitoe (۱۹۷۹، ۲۰۰۰) رخداد دگرسانی فیلیـک را عاملی محدودکننده در میزان طلای این اندوخته نمیداند؛ به گونهای که نمی توان آن را به همه اندوخته های پورفیری تعمیم داد. در کانسار دالی میزان طلای هر دو بخش بسیار نزدیک به هم است. پس رخداد این دگرسانیها در این کانسار عاملی محدودکننده در تمركز طلا نبوده است؛ اما برپایه بررسیهای Hezarkhani) درباره پیامد دگرسانی فیلیک بر میزان مس در یک ذخیره پورفیری، سه عامل کاهش در fO<sub>2</sub>، افزایش در pH و کاهش دما در تهنشست کالکوپیریت مؤثر هستند. در میان آنها، عامل سوم نقش مهمتری دارد؛ به گونهای که شورابه غنی از فلز تا هنگامی که به چند صد درجـه کمتـر از دمـای خـود در ماگمای مادر نرسد، مس را تهنشست نمیکند. از مواردی که کاهش دمای چشمگیری در آن رخ میده.د. میان دگرسانی فیلیک و پتاسیک است. این افت دما نیز با تخریب فلدسیار و مصرف <sup>+</sup>H، کاهش اسیدیته را در

همچنین، برتری مودال هورنبلند در برابر بیوتیت است (Shafiei, 2012). برپایه بررسیهای Zarasvandi و Liyaghat(۲۰۰۵)، همراه با تبلور هورنبلند چهبسا مس فراوانی از سیستم آزاد میشود؛ اما سنگهای گرانیتوییدی ہے کانہزایے مس دارای تبلور بخشے پلاژیوکلاز هستند. دگرسانی کوارتز- مگنتیت و حضور کانه مگنتیت نخستین که با رخداد کانهزایی همبستگی مثبتی دارند، از ویژگیهای آشکار اندوخته پورفیری با توان كانهزایی بالا هستند. فوگاسیته اكسیژن سیالهای بهرهور معمولاً در محدوده بافرهای اکسید نیکـل- نیکـل (NNO) و هماتیت- مگنتیت (HM) در دماهای مناسب است (Burnham and Ohmoto, 1980). فراوانیے مگنتيت، هماتيت و انيدريت نخستين در تعادل با کانیهای سولفید مس- آهـن (کالکوپیریت، بورنیت) و همراهی اندوخته مس پورفیری با گرانیتوییدهای اکسـیدی نـوع I یـا سـری مگنتیـت نشـاندهنـده ایـن فوگاسيته بالاي اکسيژن هستند (Rowins, 2000). همبســتگی مثبــت میـان مگنتیـت و هماتیـت بـا کانهزاییهای کالکوپیریت و بورنیت در بخش مرکزی همراه با دگرسانی پتاسیک بهویژه در بخش جنوبی می تواند نشان دهنده حالت اکسیدان در هنگام تحول ماگمایی باشد؛ زیرا شرایط بهتری برای گردآوری، حمل و در پایان تهنشست مس و طلا فراهم می کند. کلاه ک آهنے، منطقه اکسیدی و غنے سازی سولفیدی نشان دهنده تکامل این دگرسانی در کانسار دالی بهویژه در بخـش جنـوبی اسـت. برپایـه بررسـیهـای Sillitoe (۲۰۰۰) در اندوخته مس- طـلای پـورفیری، پوشـش و كلاهك شستهشده بهدستآمده بيشتر گوتيتي هستند و برخی دارای مس چشمگیری بهصورت مالاکیت، كريزوكولا، نئوتوسيت، ليمونيت pitch (گوتيت مسدار) و کانیهای اکسید مس همراه هستند. نشانههای گوتیت، لیمونیت، مالاکیت، همراه با کائولینتی شدن فلدسپارها و مارتیتی شدن مگنتیت (تبدیل مگنتیت به هماتیت) در کلاه ک آهنی و بخش اکسیدی پهنه

سنگهای گرانیتوییدی که همراه با کانهزایی شدید مس هســــتند مقـــدار Eu/Eu\*≥۱ را نشـــان مــــیدهـــد (Zarasvandi, 2004; Richards et al., 2012). ايسن وضعیت می تواند نشان دهنده جدایش ماگمایی و کنترل آن با تبلور بخشى هورنبلند باشد. اين پديده عامل اصلى تکامل ماگمایی در کانسارهای مس پورفیری است که در شرایط بالای اکسیدی در ماگما انجام می شود ( Lang and Titley, 1998). افزونبر اين، اين مقدار مي تواند نشاندهنده نبود جدایش پلاژیوکلاز از ماگمای نخستین، توقف جدایش و جدایش پلاژیوکلاز در پی میزان بالای آب ماگمایی، یا یک وضعیت اکسیداسیونی بالا (که Eu بیشتر در وضعیت سه ظرفیتی است) باشد. برپايه ديدن درشتبلورهاي پلاژيوكلاز با منطقهبندي آشکار، همراه با هورنبلند و بیوتیت و فراوانی بیشتر این دو کانی در کانسار دالی، بهویژه در بخش جنوبی، می توان نبود ناهنجاری آشکار Eu در این بخش از كانسار را پيامد توقف تبلور پلاژيوكلاز (در پي ميزان آب بالا و شرایط اکسیدان در مراحل پایانی تحول ماگمایی) دانست. روند عناصر خاکی نادر نمونههای بخش جنوبی که مقدارهای حدواسطی را برای LREE/MREE نشان مىدھند ([La/Sm] بالاتر)؛ اما غنے شدگى ضعيفى را برای HREEها دارند (Dy/Yb]n) بیشتر) نشان دهنده نقش بیشتر هورنبلند در هنگام تحول ماگمایی هستند. همچنین، جدایش نخستین و فراوان هورنبلند از یک ماگماهای آبدار ( Romick et al., 1992; Davidson et al., 2007; Rooney et al., 2011) ملى تواند ماگما را به گونه ترجیحی از MREE-HREE و Y تھی میکنند و در پی آن روندی منحنیوار با تقعر رو به بالا در الگوی REEها و غلظتهای کم Y و Yb (HREE) پدید آورد. از نمودارهای شناسایی به کاررفته دیگر، نمودار Y در برابر MnO است (شکل ۶- C) که در آن، تپه جنوبی مقدارهای کم Y و Mn را نشان میدهد. Baldwin و Pearce (۱۹۸۲) تفاوت در مقدارهای Mn و Y را به این علتها مىدانند:

پی خواهد داشت. همچنین، با هیدرولیزکردن SO<sub>2</sub> ماگمایی، محیط احیایی شده و کالکوپیریت تهنشست می شود. این پدیده در دماهای زیر ۴۰۰ درجه بیشتر رخ میدهد و محصول آن با مس و آهن نامحلول برای تەنشست كالكوپيريت تركيب مـىشـود. از ايـنرو شـايد بتواند مقدار بسیار کم کانی های مسدار در بخش شمالی را پیامد رخداد ضعیف دگرسانی سرسیت و در نتیجه نبود افت دمای مناسب دانست. از سوی دیگر، این پدیده نیز با مقدار کمتر مگنتیت در بخش شمالی که نشان دهنده فوگاسیته کم اکسیژن ماگمای مادر است، نیز سازگاری دارد؛ اما نکتهای که باید به یاد داشت این است که نسبت کـم Cu/Au در بخـش شـمالی در مقایسه با بخش جنوبی می تواند نشان دهنده جایگیری استوک شمالی در سطوح بالاتری در برابر به استوک جنوبی باشد زیرا نسبت Cu/Au با ژرفای جایگیری توده نفوذي وابستگي وارونه دارد (Murakami *et al.,* 2010). از سوی دیگر، این ژرفای کم جایگیری با  $fO_2$  کم در بخش شمالی که در بالا گفته شد متناقض است. در تفاوت نسبت Cu/Au در دو بخش باید این نکته را به یاد داشت که سردشدن و جداشدن طلا از سولفیدها و تفاوت در کانی شناسی سولفیدها در مقایسه با ژرفا تاثیر بیشتری را بر نسبت Cu/Au در اندوخته مـس- طـلای پورفیری دارند و همچنین، فرایندهای دما بالا مس را در برابر طلا از سیستمهای مس پورفیری حذف می کند؛ اما فرایندهای کمدما به گونه ترجیحی Au را حذف می کنند (Kesler et al., 2002) که فراوانی دگرسانی های دمابالا (پتاسیک و فیلیک) در بخش شمالی میتواند علت میرزان بالای Au/Cu در آن باشد. افرونبر این، همبستگی میان دگرسانی کمدما (آرژیلیک و پروپلیتیک) با دگرسانی برونزاد و تمرکز ثانویه مس که در بالا به آن گفته شد نیز میتواند عامل دیگری در تفاوت نسبت Cu/Au در دو بخش باشد. بر پایه نمودارها میتوان به شرایط متفاوت تحول ماگمایی میان اندوختههای بارور و اندوختههای نابارور پی بـرد. بیشـتر

 (۱) در هنگام جدایش بلوری: تبلور فازها از نفوذیهای بارور میتوانسته ضریب جدایش بیشتری باری Y و Mn در برابر تبلور فازها از نفوذیهای نابارور داشته باشد؛

(۲) در هنگام خروج فاز بخار و مواد فرار: خروج یک
فاز غنی در CO<sub>2</sub> در سطوح بالا در پوسته می توانسته Y
و Mn را از ماگما بیرون براند؛

(۳) در هنگام دگرسانی گرمابی: گذر سیالهای گرم ماگما یا سیالهای جوی میتوانسته دوباره با نفوذیهای بارور پس از تبلور واکنش داده و Y و Mn را در محلول حـذف کنـد. پـس مـیتوانـد نشاندهنـده دگرسانی (جانشینی هورنبلند) بیشـتر در بخـش جنـوبی در برابـر بخش شمالی باشد و بر میزان MnO تأثیر بیشتری دارد تا بر Y، و کاهش MnO.

در ایران نیز بررسیهایی درباره عوامل مؤثر بر

جـدول ۲- مقایسـه زمـینشـیمیایی کانسـار دالـی (اسـتان مرکـزی) بـا برخـی کانسـارهای پـورفیری ایـران (دادههـای جـدول از: Zarasvandi *et al.*, 2011, 2015; Asadi *et al.*, 2013, 2014; Richards *et al.*, 2012; Shafiei 2010; Shafiei *et al.*, 2009; Hezarkhani, 2006a, 2006b).

یک یا بیشتر هستند.

				.(TteZurkituili,	20000, 20000
Deposit	Index minerals	Eu/Eu*	[La/Sm] <sub>n</sub>	<b>REEs Pattern</b>	productivity
Sarchesmeh	Plagioclase,	≈ 1	4 - 11	Upward Concavity	High
	Quartz, Hornblende, K-feldspar				
Sungun	Plagioclase Hornblende, Biotite	1 &>1	6 - 9	Upward Concavity	High
Reagan	plagioclase, K-feldspar, quartz, rare	< 1	2 - 1	Flat	Low
	biotite & hornblende (<1 vol%)				
Daraloo	plagioclase, quartz, K-feldspar, minor olivine, hornblende & biotite	< 1	2	Flat	Low
Meiduk	plagioclase, quartz, Hornblende and biotite	1 &>1	4 - 7	Upward Concavity	High
Shadan	Hornblende ± Biotite, Plagioclase	≈ 1	5 - 8	Upward Concavity	High
Jebal Barez	Plagioclase + Olivine	$\approx 1 \& \le 1$	1 - 4	Flat	Low
Kuh panj	Hornblende phenocrystal	>1	4 - 10	Upward Concavity	High
Dalli $\frac{N \text{ part}}{S \text{ part}}$	plagioclase, quartz, minor Hornblende & Biotite	< 1	1 - 4	Flat	Low
	plagioclase, quartz, Hornblende and biotite	$\approx 1$	4 - 7	Upward Concavity	High

(پرعیارتر) است که درون یک ناحیه گسلی با روند شمال خاوری - جنوب باختری جای گرفتهاند و در کل نمای یک کالدرای آتشفشانی را دارند. ۲) مهم ترین تفاوت دو بخش از دیدگاه

نتیجهگیری یافتههای این پژوهش به گونه زیر است: ۱) برپایه بررسیهای صحرایی، کانی شناسی و دادههای زمین شیمیایی این کانسار دارای دو بخش شمالی (بزرگتر و کمعیار) و جنوبی

باروری تودههای نفوذی مرتبط با اندوختههای

پورفیری انجام شده است که برخی دادههای آنها در جـدول ۲ آورده شـده است. مقایسه کانسار دالی

با برخی کانسارهای پورفیری ایران نشاندهنده روندی همسان در شاخصهای شناسایی دیگر

کانسارهای پورفیری ایران است؛ به گونهای که از

دیـدگاه کـانیشناسـی، در کانسـارهای بـا بـاروری بـالا

(مانند سرچشمه، سونگون، کوه پنج، میدوک و

شادان) در مقایسه با انواع کم بارور (مانند ریگان، دارالو و جبال بارز)، کانی های آبدار (مانند هورنبلند

و بیوتیت) بسیار بیشتر است. همچنین، نسبتهای

عناصر فرعی بهعنوان شاخص جدایش خوبی را

نشان میدهند؛ به گونهای که انواع با باروری بالا

دارای [La/Sm] بالاتر از ۴ و <sup>\*</sup>Eu/Eu نزدیک به

(REE) در نمودار بهنجار شده در برابر ترکیب

کندریت و مقدارهای بیشتر [La/Sm] و

[Dy/Yb]n نشان میدهند کے تبلور ماگمای

استوک جنوبی با تبلور هورنبلند و چهبسا

یایانیافتن تبلور پلاژیوکلاز (در یے مقدار آب

بالا و یا شرایط اکسیدان بالا) کنترل می شود.

یــورفیری ایــران نشــان مـــیدهــد کــه

به کار گیری این ویژگی ها می تواند راهنمای

خوبی برای شناسایی بخش های با کانهزایی بالا و شناسایی آنها از بخش های

نابارور و حتی با باروری کمتر باشد که در

بررسے ہای زمین شناسے اقتصادی بسیار

اهمیت دارد.

۵) مقایسـه کانسـار دالـی بـا دیگـر کانسـارهای

سنگنگاری و کانهزایی، فراوانی کانیهای هورنبلند، بیوتیت و مگنتیت ماگمایی در بخش جنوبی است که نشاندهنده شرایط اکسیدان و میزان آب ماگمایی بیشتر در این بخش است

- ۳) از دیدگاه دگرسانی، بخشهای بارور کانسار دالی با رخداد دگرسانیهای فیلیک، آرژیلیک و دگرسانی برونزاد رابطه مستقیمی دارند که ترکیب این دگرسانی با ویژگیهای سنگنگاری نامبردهشده در بند ۲، از عوامل مهم در اقتصادی تربودن این بخش از کانسار دالی بهشمار میروند.
  ۹) نبود ناهنجاری منفی آشکار Eu/Eu)، الگوی
- قاشقی شکل (تقعر رو به بالا) عناصر خاکی نادر

منابع

- Asadi, S., Moore, F., Zarasvandi, A. and Khosrojerdi, M. (2013) First report on the occurrence of co2bearing fluid inclusions in Meiduk porphyry copper deposits, Iran: Implications for mineralizing processes in a continental collision setting. Geologos 19(4): 301-320.
- Asadi, S., Moore, F. and Zarasvandi, A. (2014) Discriminating productive and Barren porphyry copper deposits in the southeastern part of the Central Iranian Volcano-Plutonic Belt, Kerman region, Iran: A review. Earth-Science Reviews 138: 25–46.
- Ayati, F., Yavuz, F., Asadi, H. H., Richards, J. P. and Jourdan, F. (2013) Petrology and geochemistry of calc-alkaline volcanic and subvolcanic rocks, dalli porphyry copper–gold deposit, Markazi Province, Iran. International Geology Review 55(2): 1-27.
- Ayati, F., Yavuz, F., Noghreyan, M., Haroni, A. and Yavuz, R. (2008) Chemical characteristics and composition of hydrothermal biotite from the Dalli porphyry copperprospect, Arak, Central Province of Iran. Mineralogy and Petrology 94(1-2): 107–122.
- Ayati, F., Asadi Harouni, H., Bagheri, H. and Mansouri Isfahani, M. (2012b) Application of mineralography and fluid inclusion data to determine the formation conditions of porphyry copper deposit, NE Arak. Petrology 3(12): 15-32 (in Persian)
- Ayati, F., Noghreyan Kalimi, M. and Khalili, M. (2012a) Petrographic and mineral-chemistry of the magmatic-alteration zones south of salafchegan. Petrology 2(8): 1-19 (in Persian)
- Babaahmadi, A., Safaei, H., Yassaghia, A., Vafa, H., Naeimi, A., Madanipour, S. and Ahmadi, M. (2010) A study of quaternary structures in the Qom region, west Central Iran. Journal of Geodynamics 50(5): 355-367.
- Bachmann, O., Dungan, M. A. and Bussy, F. (2005) Insights into shallow magmatic processes in large silicic magma bodies: the trace element record in the Fish Canyon magma body, Colorado. Contributions to Mineralogy and Petrology 149(3): 338-349.

- Baldwin, A. J. and Pearce, A. J. (1982) Discrimination of productive and non-productive porphyritic intrusions in the Chilean Andes. Economic Geology 77(3): 664-974.
- Berger, B. R., Ayuso, R. A., Wynn, J. C. and Seal, R. R. (2008) Preliminary model of porphyry copper deposits. U.S. Geological Survey, open-file Report.
- Best, M. G. and Christiansen, E. H. (2001) Igneous petrology. Black Well Science Inc.
- Boynton, W. V. (1984) Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Rare earth element geochemistry (Ed. Henderson, P.) 63-114. Elsevier, Amesterdam.
- Burnham, C. W. (1979) Magmas and hydrothermal fluids. In: Geochemistry of hydrothermal ore deposits (Ed. Barnes, H. L.) 71-136. John Wiley and Sons, New York.
- Burnham, C. W. and Ohmoto, H. (1980) Late-stage processes in felsic Magmatism. Mining Geology Special 8: 1-11.
- Cloos., M. (2001) Bubbling Magma chambers, cupolas and porphyry copper deposits. International Geology Reviwe 43(4): 285-311.
- Cooke, D. R., Hollings, P. and Walshe, J. L. (2005) Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic control. Economic Geology 100(5): 801-818.
- Darabi-Golestan. F., Ghavami-Riabi. R., Asadi-Harooni. H. (2012) Alteration, zoning model, and mineralogical structure considering lithogeochemical investigation in northern Dalli Cu–Au porphyry. Arabian Journal of Geosciences 6(12): 4821-4831.
- Davidson, J., Turner, S., Handley, H., Macpherson, C. and Dosseto, A. (2007) Amphibole "Sponge" in arc crust? Geology 35(9): 787-790.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P. and Marchal, M. (1980) A classification of volcanic and plutonic rocks using r1r2- diagram and major element analyses its relationships with current nomenclature. Chemical Geology 29(1-4): 183-210.
- Enders, M. S. (2000) The evolution of supergene enrichment in the Morenci porphyry copper deposit, Greenlee County, Arizona: Tucson. Ph. D. Thesis, University of Arizona, USA.
- Harooni, H. (2008) Final exploration report of porphyry Cu-Au Dalli deposit, industries and mines organization of Markazi Province, Iran. Dorsa Pardaze Co. (in Persian).
- Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. and Mitchell, S. F. (2007) Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of The Th-Co discrimination diagram. Journal of Petrology 48(12): 2341-2357.
- Hezarkhani, A. (2006a) Alteration/Mineralization and controls of chalcopyrite dissolution/deposition in the Raigan porphyry system, Bam-Kerman, Iran. International Geology Review 48(6): 561-572.
- Hezarkhani, A. (2006b) Mineralogy and fluid inclusion investigations in the Reagan porphyry system, Iran, the path to an uneconomic porphyry copper deposit. Journal of Asian Earth Sciences 27(5): 598–612.
- Hou, Z. and Cook, N. J. (2009) Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: a review and introduction to the special issue. Ore Geology Review 36(1-3): 2-24.
- Hou, Z. Q., Ma, H. W., Zaw, K., Zhang, Y. Q., Wang, M. J., Wang, Z., Pan, G. T. and Tang, R. L. (2003) The Himalayan Yulong porphyry copper belt: product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet. Economic Geology 98(1): 125-145.
- Hou. Z., Zhang. H., Pan. X., Yang. Z. (2011) Porphyry Cu (-Mo-Au) Deposits related to melting of thickened mafic lower crust: examples from the eastern Tethyan metallogenic domain. Ore Geology Reviews 39(1-2): 21-45.

- John, D. A., Ayuso, R. A., Barton, M. D., Blakely, R. J., Bodnar, R. J., Dilles, J. H., Gray, F., Graybeal, F, T., Mars, J. C. McPhee, D. K., Seal, R. R., Taylor, R. D. and Vikre, G. P. (2010) Porphyry copper deposit model, chapter b of mineral deposit models for resource assessment. Scientific Investigations Report 2010–5070.
- Kesler, S. E., Chryssoulis, S. L. and Simon, G. (2002) Gold in porphyry copper deposits: Its abundance and fate. Ore Geology Reviews 21(1-2): 103- 124.
- Klein, M., Stosch, H. G. and Seck, H. A. (1997) Partitioning of high fieldstrength and rare-earth elements between amphibole and quartz-dioritic to tonalitic melts: an experimental study. Chemical Geology 138(3-4): 257–271.
- Lang, J. R. and Titley, S. R. (1998) Isotopic and geochemical characteristics of Laramide magmatic systems in Arizona and implications for the genesis of porphyry copper deposits. Economic Geology 93(2): 138-170.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B, Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J. Lameyre, J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sørensen, H., Woolley, A. R. (2002) A Classification and Glossary of Terms. Cambridge University Press.
- Lescuyer, J. L., Hushmandzadeh, A. and Daliran, F. (2003) Gold metallogeny in Iran: A preliminaryreview. In: Mineral exploration and sustainable development (Ed. Liopoulos, D. G.) 1185-1188. Millpress, Rotterdam, Netherlands.
- Maanijou, M., Aliani, F., Miri, M. and Lentz, D. R. (2013) Geochemistry and petrology of igneous assemblage in the south of Qorveh Area, West Iran. Chemie der Erde 73(2): 181-196.
- McFarlane, C. and Luo, Y. (2012) U–Pb Geochronology using 193 Nm Excimer LA–ICP-MS optimized for in situ accessory mineral dating in thin section. Geoscience Canada 39(3): 158–172.
- Mohajjel, M. and Proohan, N. (2005) Geometry and kinematics of the Qom-Zefreh fault system and its significance in transpression tectonics. Scientific Quarterly Journal, Geosciences 12: 72-83 (in Persian).
- Monsef, R. (2011) Geochemistry, petrogenesis and tectonomagmatic aspects of Neogene volcanic and sub-volcanic rocks in west of Salafchegan to north of Deligan (Central Iran). Ph. D. thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (in Persian).
- Moritz, R., Ghazban, F., Singer, B. S. (2006). Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan tectonic sitting zone, western Iran: A result of late stage extension and metamorphic basement rocks within the Zagros Orogen. Economic Geology 101(8): 1497-1524.
- Murakami, H., Seo, J. H. and Heinrich, C. A (2010). The relation between Cu/Au ratio and formation depth of porphyry-style Cu-Au± Mo deposits. Mineralium Deposita 45(1): 11-21.
- Nadri, R., Mohajjel. M. and Behrodi, A. (2010) Bidhend strike-slip fault (south Qom). Scientific Quarterly Journal, Geosciences 19: 184-177 (in Persian).
- Pearce, J. A. (2005) Mantle preconditioning by melt extraction during flow: theory and petrogenetic implications. Journal of Petrology 46(5): 973-997.
- Prowatke, S. and Klemme, S. (2006) Rare earth element partitioning between titanite and silicate melts: Henry's law revisited. Geochimica et Cosmochimica Acta 70(19): 4997-5012.
- Richards, J. P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A. and Fletcher, T. (2012) High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential: examples from the Tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan. Economic Geology 107(2): 295-332.
- Richards, J. R., Boyce, A. J. and Pringle, M. S. (2001) Geologic evolution of the Escondida area, northern Chile: A Model for spatial and temporal localization of porphyry copper mineralization. Economic Geology 96(2): 271-305.

- Romick, J. D., Kay, S. M. and Kay, R. W. (1992) The influence of amphibole fractionation on the evolution of calc-alkaline andesite and dacite tephra from the Central Aleutians, Alaska. Contributions to Mineralogy and Petrology 112(1): 101-118.
- Rooney, T. O., Franceschi, P. and Hall, C. M. (2011) Water-saturated magmas in the Panama Canal Region: A precursor to adakite-like magma generation? Contributions to Mineralogy and Petrology 161(3): 373-388.
- Rowins, S. M. (2000) Reduced porphyry copper-gold deposits: A new variation on an old theme. Geology 28(6): 491-494.
- Samani, B. (1998) Distribution setting and metallogenesis of copper deposits in iran. exploration division AEOI, in porphyry and hydrothermal copper and gold deposits: a global perspective. Proceedings of Australian Mineral Foundation, Glenside, South Australia.
- Schwartz, G. M. (1966). The natuer of primery and secondary mineralization in porphyry copper deposits, geology of the porphyry copper deposits southwestern North America. The University of Arizona press.
- Shafiei, B. (2010) Lead Isotope Signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic-metallogenetic implications. Ore Geology Reviews 38(1-2): 27–36.
- Shafiei, B. (2012) Discrimination between productive and non-productive granitoid intrusions in Kerman porphyry copper belt: Results of preliminary petrographic and mineralogical studies. Journal of Advenced Applied Geology 1: 1-7 (in Persian).
- Shafiei, B. and Shahabpour, J. (2008) Gold distribution in porphyry copper deposits of Kerman region, southeastern Iran. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 19(3): 247-260.
- Shafiei, B., Haschke, M., Shahabpour, J. (2009) Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. Mineralium Deposita 44: 265–283
- Sillitoe, R. H. (1979) Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits. Mineralium Deposita 14(2): 161-174.
- Sillitoe, R. H. (2000) Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. SEG Reviews 13(9): 315-345.
- Sillitoe, R. H. (2010) Porphyry copper systems, Economic Geology 105(1): 3-41.
- Stringham, B. (1960) Differences between barren and productive intrusive porphyry: Economic Geology 55: 1622–1630.
- Sun, W. D., Liang, H. Y., Ling, M. X., Zhan, M. Z., Ding, X., Zhang, H. and Yang, X. Y. (2013) The link between reduced porphyry copper deposits and oxidized magmas. Geochimica Et Cosmochimica Acta 103: 263–275.
- Whitney, D. L. and Evans, B. W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist 95(1): 185–187.
- Whitney, J. A. (1975) The effects of pressure, temperature and X<sub>H2O</sub> on phase assemblage in four synthetic rock compositions. Journal of Geology 83(1): 1–32.
- Whitney, J. A. (1975) Volatiles in magmatic systems, in fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems. Reviews in Economic Geology 1: 155-175.
- Whitney, J. A. and Stormer, J. C. (1985). Mineralogy, petrology, and magmatic conditions from the Fish Canyon tuff, Central San Juan volcanic field, Colorado. Journal of Petrology 26(3): 726-762.
- Zarasvandi, A. (2004) Magmatic and structural controls on localization of the Darreh-Zerreshk and Ali-

Abad porphyry copper deposits, Yazd Province, Iran. Ph. D. thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran.

- Zarasvandi, A., Liaghat, S., Zentilli, M. and Reynolds, P. H. (2007) <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology of alteration and petrogenesis of porphyry copper-related granitoids in the DarrehZerreshk and Ali-Abad area, Central Iran. Exploration and Mining Geology 16: 11–24.
- Zarasvandi, A., Liaght, S. and Zentilli, M. (2005) Porphyry copper deposits of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Iran, Super Porphyry Copper and Gold deposits: A global perspective. PGC publishing, Adelaide 2: 441-452.
- Zarasvandi, A., Rezaei, M., Sadeghi, M., Lentz, D., Adelpour, M. and Pourkaseb, H. (2015) Rare earth element signatures of economic and sub-economic porphyry copper systems in Urumieh-Dokhtar magmatic arc (UDMA), Iran. Ore Geology Reviews 70: 407-423.
- Zarasvandi, A., Shafiei, B., Pourkaseb, H. and Moridi, S. (2011) Effects of the supergene process in distribution of major and trace elements in the Darreh-Alu porphyry copper deposit, Kerman Province. First symposium of Copper, Kerman, Iran (in Persian).