

## مطالعات ایزوتوپی گوگرد در پیریت های کانسار سنجد، منطقه معدنی موته

زهرا نوریان رامشه<sup>۱</sup>، محمد یزدی<sup>۲</sup>، سیده نرگس ساداتی<sup>۳</sup>

۱،۲- دانشگاه شهید بهشتی تهران

۳- استادیار دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

ZN5562@yahoo.com

### خلاصه

منطقه موته در قسمت مرکزی زون سنجد سیرجان واقع شده و دارای دو معدن فعال چاه خاتون و سنجد می باشد. واحد های سنگی منطقه شامل مجموعه ای از سنگ های آتشفشانی- رسوبی و آتشفشانی اسیدی دگرگون تا دگرشکل شده می باشد که میزان کانی سازی طلا هستند و پیریت کانی اصلی میزان طلا می باشد. به منظور بررسی منشا گوگرد، از کانی پیریت استفاده شد. مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  دامنه تغییراتی از +۳ تا +۱۸/۵% بر اساس CDT را نشان داد که با مقادیر ایزوتوپی سنگ های دگرگونی و رسوبی همپوشانی نشان می دهد و با توجه به حضور گسترده سنگ های رسوبی- آتشفشانی و دگرگون شدن آنها، هر کدام از دو منشا بالا می تواند به عنوان منشا گوگرد باشد.

**کلمات کلیدی:** ایزوتوپ گوگرد، پیریت، سنجد، موته

### ۱. مقدمه

هدف از مطالعات ایزوتوپی گوگرد بررسی منشا گوگرد موجود در سیستم کانه زایی است که به عنوان یکی از سازنده های اساسی کانه های سولفیدی در کانسار نهشته می شود. از آنجا که در سیالات با شوری پایین، طلا با کمپلکس های بی سولفیدی حمل شده و همراه با کانه های سولفیدی نهشته می شود؛ لذا تعیین منشا گوگرد، جهت پی بردن به منشا احتمالی طلا و فلزات همراه و ژنز نهشته مهم است (Chang et al., 2008). در کانسار سنجد پیریت فراوان ترین کانی سولفیدی می باشد که در ارتباط مستقیم با کانه زایی طلا می باشد، به همین علت، جهت انجام مطالعات ایزوتوپی گوگرد، از کانی پیریت موجود در سنگ های میزان و رگه های کوارتزی استفاده شد.

### ۲. زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه معدنی موته، بخشی از دروننهشته گلبایگان-موته با روند عمومی شمال خاوری-جنوب باختری است که در بخش مرکزی زون سنجد-سیرجان قرار گرفته است (شکل ۱). این زون با ۱۵۰ کیلومتر عرض و ۲۰۰۰ کیلومتر طول، هنگام فرورانش اقیانوس نئوتتیس در طول حاشیه غربی ایران تشکیل شده است (Alavi, 1994) و عمدتاً شامل سنگ های دگرگونی با سن پالئوزوئیک تا کرتاسه همراه با توده های نفوذی با سن ژوراسیک تا ائوسن می باشد (Masoudy, 1997).

واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه معدنی موته شامل مجموعه ای از سنگ های رسوبی، ولکانیکی و ولکانی کلاستیک دگرگون شده در حد رخساره شیب سبز تا مرز شیب سبز به آمفیبولیت با امتداد عمومی شمال خاوری-جنوب باختری می باشد که توسط توده های نفوذی بازیک (سیل و دایک) و به خصوص اسیدی و گرانیتی (استوک و باتولیت) بطور مکرر مورد هجوم واقع شده اند (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱). این کمپلکس های دگرگونه از پایین به بالا شامل کمپلکس گنایسی، کمپلکس شیب سبز و کمپلکس اسلیتی می باشد که با تماس تدریجی یا ناپوستگی هم شیب و/یا گاه با همبری گسلی در زیر واحد کربناتی پرمین قرار گرفته اند.

این توالی ها تحت تاثیر فازهای متعدد و شدید دگرریختی نظم و ترتیب اولیه خود را از دست داده و واحدهای لیتولوژی مختلف با ساختارها و فابریک های متفاوت را به وجود آورده اند. مطالعات ساختاری انجام گرفته، وقوع سه مرحله دگرشکلی ( $D_1-D_3$ ) را در منطقه مشخص ساخته است (صدیق، ۱۳۷۸). عملکرد دگرشکلی های چندمرحله ای ایجاد یک مجموعه دگرشکل شده همراه با برگواره، خطواره، چین خوردگی ها و گسل خوردگی های مختلف می باشد. دگرشکلی و ساختار اصلی منطقه تحت تاثیر دگرشکلی مرحله دوم ( $D_2$ )، رخ داده است.

در مقیاس ناحیه ای، کانه زایی طلا در منطقه معدنی موته در ارتباط با پهنه های برشی شکل پذیر و شکنا در سنگ های میزبان فلسیک شستی و متاریولیتی (توف ها و گدازه های ریولیتی دگرگون شده) کمپلکس شست سبز رخ داده است. از مهم ترین دگرسانی های موجود در پهنه های برشی می توان به دگرسانی های سریستی، کلریتی، اپیدوتی، کربناتی، سیلیسی و سولفیدی اشاره کرد که از این بین دگرسانی های سیلیسی و سولفیدی بیشترین انطباق را با بخش های کانه دار نشان می دهند. کانه زایی اصلی منطقه به صورت رگه های سیلیسی سولفیددار (طلادار) درون پهنه های برشی شکنا رخ داده است.

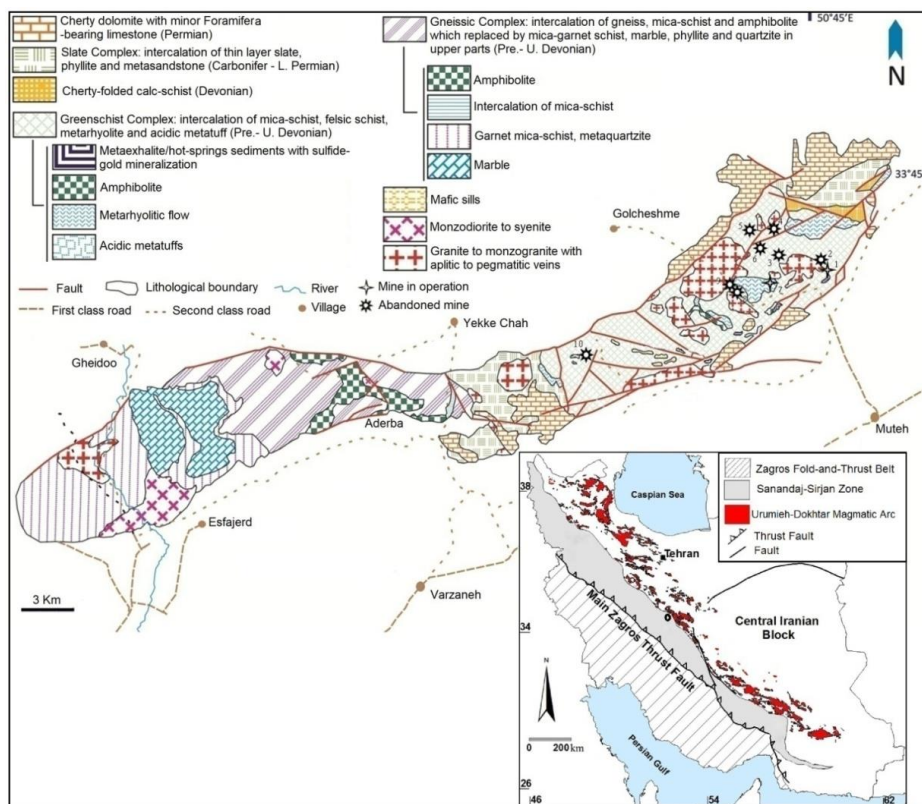
منطقه معدنی موته شامل دو معدن فعال چاه خاتون و سنجد و مهمترین منطقه معدنی فعال طلا در ایران می باشد. گزارش داخلی معدن یک توناژ کل ۱/۷۹ میلیون تن با عیار ۲/۵۷ ppm در چاه خاتون و ۱/۷۶ میلیون تن با عیار ۲/۵۸ ppm در سنجد گزارش کرده است (Moritz et al., 2006). معدن سنجد در ۵ کیلومتری شمالغرب کارخانه استحصال واقع شده است. سنگ میزبان معدن سنجد، گنبد ریولیتی و فلسیک شست کوه سیاه است که بخش های طلادار اقتصادی آن، در سه زون برشی با گسل های نرمال و ضخامت ۳ تا ۶ متر واقع شده اند. جنس این سنگ ها، متاریولیت خاکستری رنگ خرد شده و به شدت سیلیسی شده ای است که طلا در آنها متمرکز شده است. این قسمت ها همگی بخشی از کمپلکس شست سبز می باشند. در بعضی از زون ها، رگه های سیلیسی پیریت دار با ضخامتی نزدیک به یک متر وجود دارند. دگرسانی در سنگ های میزبان و فراگیر معدن سنجد، اغلب از نوع سیلیسی است که به صورت رگه ای و بیشتر در محل تراکم درزه ها شکل گرفته اند. علاوه بر این در بعضی نقاط دگرسانی سریستی و در بخش هایی از معدن نیز دگرسانی آرژلیک (کائولینیتی شدن) غالب است که به رنگ سفید دیده می شود، پیریتی شدن و لیمونیتی شدن، همچنین آثاری از فلدسپاتی شدن (از نوع آلپیت) نیز دیده می شود.

رگه های کوارتز به طور عمده میزبان کانه زایی طلا می باشد. بر اساس مطالعات کانه نگاری، پیریت، کالکوپیریت و گالن کانه های سولفیدی کانسار سنجد را تشکیل می دهد که پیریت فراوانترین و مهم ترین کانه در ارتباط با کانه زایی طلا می باشد.

### ۳. مواد و روش ها

به منظور مطالعات ایزوتوپی گوگرد تعداد ۱۵ نمونه از بخش های مختلف منطقه انتخاب گردید، پس از خردایش نمونه ها، کانی پیریت زیر میکروسکوپ بینوکولار از کانی های باطله جدا شد و در هاون آگاتی پودر گردید. مراحل آماده سازی نمونه در دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی انجام شد. اندازه گیری نسبت ایزوتوپی گوگرد مربوط به نمونه ها با استفاده از طیف سنج جرمی Finnegan MAT 252 در سازمان زمین شناسی آمریکا، دنور کلرادو انجام شد. نتایج مقادیر ایزوتوپی نسبت به استاندارد استفاده شده برای ایزوتوپ گوگرد CDT (متئوریت ترویلیت کانیون دیابلو<sup>۲۴</sup>) در جدول (۱) ارائه شده است.

<sup>24</sup> Canyon Diabolo Triolite



شکل ۱: نقشه زمین شناسی محدوده معدنی مونه. ۱. چاه خاتون ۲. دره اشکی ۳. چشمه گوهر ۴. سه کلوپ ۵. تنگه زر ۶. چاه علومه ۷. سنجده ۸. قروم قروم ۹. چشمه دستار ۱۰. چاه باغ. مواد و روش ها

جدول ۱- نتایج مقادیر ایزوتوپی پیریت های کانسار سنجده

Sample no.	Host rock	$\delta^{34}\text{S}(\text{CDT})$	Reference
SN- 03		9	This study
SN- 04		7.2	This study
SN- 07		13.9	This study
SN- 08		12.6	This study
SN- 09		16.5	This study
SN- 10		18.5	This study
SN- 11		16.3	This study
SN- 12		16.8	This study
SN- 13		3	This study
SN- 14		8.9	This study
SN- 15		10.6	This study
SN- 17		8.7	This study
SN- 25		12.3	This study
SN- 27		17.2	This study
SN- 30		14.1	This study
SE5-1	Biotite schist	16.9	Abdollahi et al. (2009)
SE5-2	Biotite schist	2.2	Abdollahi et al. (2009)
SE5-2	Metavolcanic	9.1	Abdollahi et al. (2009)

#### ۴. بحث

آزمایشات ایزوتوپی گوگرد در کانسار سنجده بر روی ۱۵ نمونه کانی پیریت موجود در رگچه های کوارتزی و سنگ های میزبان صورت گرفت (به علت نبود فازهای سولفیدی دیگر همراه پیریت، نمونه ها برای مطالعات ترمومتری ایزوتوپی گوگرد مناسب نبودند). مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  دامنه تغییراتی از ۳+ تا ۱۸/۵%+ را نشان می دهد (جدول ۱). این تغییرات وسیع در نسبت ایزوتوپی می تواند نشان دهنده حضور بیش از یک نسل پیریت در نمونه ها باشد و اینکه سولفور از یک منبع منشا نگرفته و ایزوتوپ های گوگرد در سیال هموزن نشده اند.

مقادیر ایزوتوپی گوگرد مربوط به نمونه های منطقه مورد مطالعه با مقادیر ایزوتوپی سنگ های دگرگونی و سنگ های رسوبی همپوشانی نشان می دهد. ترکیب ایزوتوپی در سیالات دگرگونی می تواند در محدوده وسیعی از ۲۰+ تا ۲۰- و در سنگ های رسوبی ۴۸+ تا ۴۰% - تغییر نماید و با توجه به حضور گسترده سنگ های رسوبی - آتش فشانی و دگرگون شدن آنها هر کدام از دو منشا بالا می تواند به عنوان منشا گوگرد باشد.

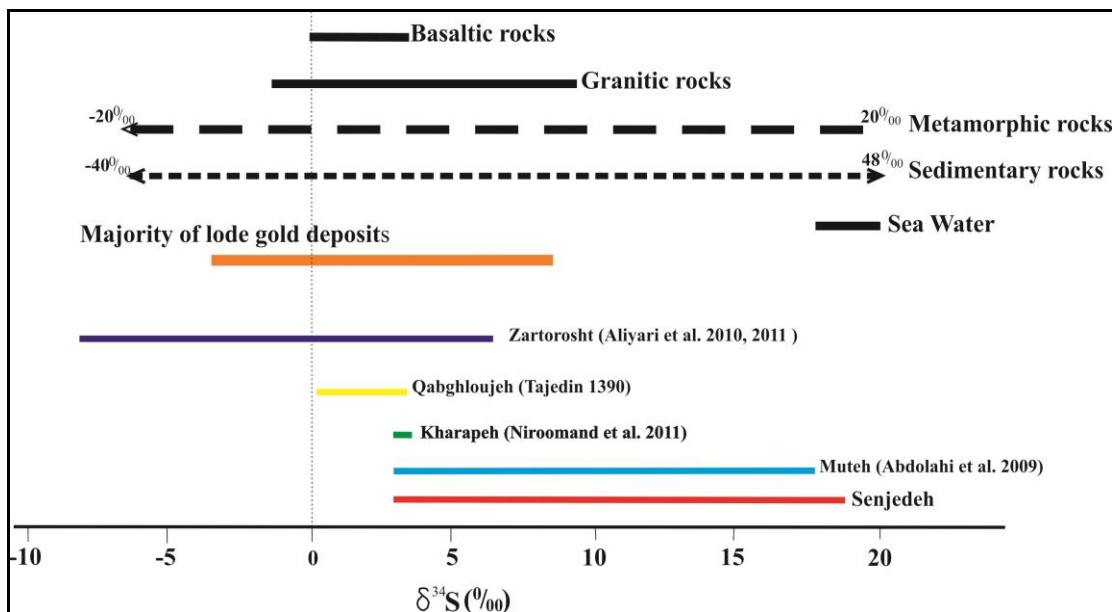
نسبت ایزوتوپی گوگرد در کانسار سنجده و چند کانسار موجود در زون سندج سیرجان در شکل (۲) رسم شده است. در مورد این کانسارها عقیده بر این است که گوگرد توسط یک سیال هیدروترمال با منشا دگرگونی تامین شده است و همان طور که در شکل ۲ دیده می شود این مقادیر همپوشانی خوبی با داده های گزارش شده از اکثر کانسارهای طلای رگه ای جهان دارد. بر اساس Goldfarb et al., (2005) مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  سولفیدها در کانسارهای طلای کوهزایی معمولاً بین ۰ تا ۱۰+ تغییر می کند، اما مقادیر بالاتر و پائین تر نیز مشاهده شده است که بیان کننده منشا غالب پوسته ای می باشد تا ماگمایی. مقادیر ایزوتوپی گوگرد در کانسار سنجده و منطقه موته نیز در محدوده کانسارهای طلای رگه ای می باشد، اما نکته قابل تامل در مقایسه داده های ایزوتوپی سنجده با دیگر کانسارها، وجود پیریت های سنگین و رنج تغییرات وسیع مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{34}\text{S}$  می باشد. به عقیده عبدالمهدی (۲۰۰۹ و ۱۳۸۷)، تغییرات وسیع  $\delta^{34}\text{S}$  نشان دهنده آن است که گوگردها از نظر منشاء ایزوتوپی یکنواخت نبوده و یا تشکیل پیریت ها فقط مربوط به یک رخداد نبوده است. عطرسابی (۱۳۸۷) با مطالعه کانسنگ های آهن موجود در جنوب منطقه موته، نسبت ایزوتوپی گوگرد ۱۹/۵+ تا ۲۷/۹%+ را برای باریت های همراه با مگنتیت گزارش کرده است و سولفات دریایی مرز پر کامبرین - کامبرین را به عنوان منشا گوگرد ذکر کرده است.

Li et al. (2014) برای پیریت های نهشته های طلای کوهزایی موجود در محدوده معدنی Hezuo-Xiahe در western Qinling

rogen چین، مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  ۲+ تا ۲۸%+ را گزارش کرده و عقیده دارد که گوگرد بیشتر از احیای ترموشیمیایی سولفات دریا منشا گرفته است.

Chang et al. (2008) ترکیب ایزوتوپی گوگرد را در مراحل پاراژنتیکی مختلف در نهشته طلای کوهزایی با میزبان رسوبی Sokholi

Log روسیه اندازه گیری کرد و به این نتیجه رسید که مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  در نهشته Sokholi Log و بسیاری از کانسارهای طلای کوهزایی با سنگ میزبان رسوبی و سن های مختلف، یک الگوی موازی با سولفات آب دریا را نشان می دهد که نشان دهنده آن است که سولفور در اکثر این نهشته ها احتمالاً از احیای سولفات آب دریا می باشد. به عقیده ایشان دگرگونی باعث هموزن شدن سولفور اولیه و آزاد شدن طلا از شبکه پیریت و نهشت دوباره آن به صورت انکلوزیون در پیریت های جدید می شود. Large et al. (2011) نیز چنین منبعی را برای منشا گوگرد نهشته های طلای کوهزایی با سنگ میزبان رسوبی بیان کرده است.



شکل ۲- مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{34}\text{S}$  در محیط های مختلف زمین شناسی (Chen et al., 2012) و در چند کانسار طلای موجود در زون سندج- سیرجان. مقادیر ایزوتوپی موجود در کانسار سنجد در مقایسه با کانسارهای طلای کوهزایی و کانسارهای زرتشت (در جنوب سندج- سیرجان) و خراپه (در شمالغرب) مقایسه شده است.

## ۵. نتیجه گیری

بر این اساس در مورد مقادیر ایزوتوپی گوگرد در کانسار سنجد و منطقه موه می توان گفت که گوگردها از یک منشا نبوده اند. این سولفورها یا به طور مستقیم از سیالات حاصل از دگرگونی ناحیه ای واحدهای رسوبی- آتش فشانی منطقه به وجود آمده اند و سنگ های دگرگونی موجود در منطقه کانساری (از جمله متاولکانیک ها و شیبست های سبز) سولفور مورد نیاز کانی های سولفیدی را در اختیار آنها قرار داده اند و یا با توجه به مقادیر ایزوتوپی گوگرد باریت گزارش شده توسط عطرسایی (۱۳۷۸) در نهشته های موجود در منطقه و همچنین سن سنگ میزبان کانه زایی در منطقه (Hassanzadeh et al 2008) توسط احیای سولفات دریایی مرز پر کامبرین - کامبرین تامین شده است.

## ۶. تشکر و قدر دانی

در اینجا لازم است که از جناب آقای Pro. Goldfarb از سازمان زمین شناسی آمریکا به جهت انجام آنالیز ایزوتوپ های پایدار گوگرد و راهنمایی های ارزنده در مسایل ایزوتوپی تشکر نمایم.

## ۷. مراجع

رشید نژاد عمران، ن. (۱۳۸۱). پترولوژی و ژئوشیمی سنگ های متاولکانو-سدیمنتی و پلوتونیک منطقه موه (جنوب دلجان) با نگرشی بر خاستگاه و کانی سازی طلا. "رساله دکتری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس. تهران.  
 صدیق، م. (۱۳۸۷). تحلیل ساختاری سنگ های دگرگونه در ناحیه موه. "پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.  
 عطرسایی، پ. (۱۳۸۷). زمین شناسی و شرایط تشکیل کانسنگ آهن و ارتباط آن با دگرگونی در ناحیه موه، شرق گلپایگان. "پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.



- Abdollahi, M.J., Karimpour, M.H., Kheradmand, A., Zarasvandi, A.R., (2009). Stable Isotopes (O, H, and S) in the Muteh Gold Deposit, Golpaygan Area, Iran. *Natural Resources Research*. 18, 137– 1510.
- Alavi, M., (1994). Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics*. 229, 211- 238
- Mohammadzadeh, H., & Clark, I. (2011). Bioattenuation in Groundwater Impacted by Landfill Leachate Traced with  $\delta^{13}\text{C}$ . *ground water*, 1-11.
- Chang, Z., Large R.R., Maslennikov, V., (2008). Sulfur isotopes in sediment-hosted orogenic gold deposits: Evidence for an early timing and a seawater sulfur source. *Geology*. 36, 971– 974.
- Chen, H.Y., Chen, Y.J., Baker, M., (2012). Isotopic geochemistry of the Sawayaerdun orogenic-type gold deposit, Tianshan, northwest China: Implications for ore genesis and mineral exploration. *Chemical Geology*, 1– 11.
- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, D.I., Hart, C.J.R., and Gosselin, P., (2005). Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes: *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 407– 450.
- Hassanzadeh, J., Stockli, D.F., Horton, B.K., Gary J. Axen, G.J., Stockli, L.D., Grove, M., Schmitt, A.K., Walker, J.D., (2008). U-Pb zircon geochronology of late Neoproterozoic-Early Cambrian granitoids in Iran: Implications for paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement. *Tectonophysics*, 1-26.
- Jiang, S., Nie, F., Hu, P., Lai, X., Liu, Y., (2009). Mayum: an orogenic gold deposit in Tibet, China. *Ore Geology Reviews*. 36, 160– 173.
- Large, R.R., Bull, S.W., Maslennikov, V.V., (2011). A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits. *Economic Geology*. 106, 331- 358.
- Li, J., Sui J., Jin X., Wen G., Chang J., (2014). A Magmatic Related Gold System in the Xiahe-Hezuo District, Western Qinling Orogen, China, *Acta Geologica Sinica* (English Edition). 88(supp. 2), 751- 752.
- Masoudy, F., (1997.) Contact metamorphism and pegmatite development in the region SW of Arak, Iran. Unpublished Ph.D., University of Leeds, UK.
- Moritz, R., Ghazban, F., Singer, B. S., (2006). Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan tectonic zone, Western Iran: A result of late-stage extension and exhumation of metamorphic basement rocks within the Zagros Orogen. *Economic Geology*. 101, 1497- 1524.