



<http://ui.ac.ir/en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan
Vol. 34, Issue 2, No. 71, Summer 2018
pp. 23-26
Received: 30.04.2018 Accepted: 11.09.2018

The effect of particle size distribution on the geochemistry of stream sediments and heavy minerals in the Kuh-Zar copper-gold mineralization, South of Damghan

Zahra Marousi

MSc. Student, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Masood Alipour-Asl*

Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Reza Ghavami-Riabi

Associate Professor, Faculty of Mining Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

**Corresponding author, e-mail: masoodalipour@shahroodut.ac.ir*

Introduction

The Kuh-Zar copper-gold mineralization is located in 110 km south of Damghan at Torud-Chah Shirin volcanic-plutonic belt. Stream sediments are used as useful technique in the regional geochemical exploration. Mineralogy, geochemistry and particle size of stream sediments reflecting the composition of source rocks, mechanical and chemical weathering, morphological and hydrological features of the basin, sorting, and climate, as well as several other factors. It is important to consider the influence of geochemical and mineralogical controls on particle size distribution of stream sediments. Studies of distribution of trace elements in relation to the size fraction of stream sediments generally show that several elements, including Mo, Cu, Zn, Mn, and Fe are concentrated in the finest fractions of the sediments. Therefore the majority of stream sediment surveys have been based on the collection of < 200 μm materials. The Forum of European Geological Survey standard sieve mesh is < 150 μm . However, in present study geochemical distribution of elements investigate in various size fractions of stream sediments to obtain optimum mesh size.

Material and Methods

In order to achieve the scope of this study were collected samples from stream sediments, igneous rocks, and silicic veins. The number of 11 thin, thin-polished, and polished samples was studied by optical microscope. To study the effect of particle size distribution on stream sediment geochemistry, 6 stations was selected on the base of lithological, alteration, mineralization, tectonic, and watershed criteria. Each silt sample in every site consisted of 25 sub-samples that were collected along some 30–50 m from active part of stream channel. Silt samples at the field have been screened by a sieve of 2 mm to remove coarse sand. Each sample has been screened with a series sieve from 0.063 to 2 mm (ASTM codes). The ratio of size fractions was determined by weighing of each fraction. All of size fractions were digested in HNO_3+HCl (aqua regia) and then analyzed for multi-elements by Varian 735-ES ICP-OES at Zarazma laboratory in Tehran. For measuring the concentrations of Au, fire assay preparation method was employed and the final aliquote was analyzed by Perkin-Elmer 5300 AAS at Zarazma laboratory. Along with silt geochemical samples, 6 heavy mineral and 3 lithochemical samples are also studied. Finally, based on the results interpretations have been made.

Discussion of Results & Conclusions

The Kuh-Zar is one of the most important prospecting areas for copper-gold in the northeast of Iran. Geology of the area consists of intermediate to mafic lava with middle-upper Eocene age. The Oligocene granodiorite and diorite were injected into Eocene volcanic series. Intrusive rocks lead to alteration and mineralization of copper and gold. The study of particle size distribution shows that 2-0.425 mm and 0.180-0.125 mm size fractions are forming the maximum and minimum weight percent of stream sediments, respectively. Geochemical data surveying demonstrate that the Au, Ag, As, Cu, Pb, Sb, Mo, and S are considerably enriched at the 4, 5, and 6 sampling stations. Concentration of these elements in 0.425-0.180 mm, 0.180-0.125 mm, and 0.125-0.063 mm mesh size is more than any other fraction. The < 0.150 mm is not representative size fraction of sediments in this area. Gold concentrate in a distance about 700 meters from mineralized source rocks in the Kuh-Zar stream sediments, whilst optimum distance for concentration of Cu, Pb, Ag, As, Sb, and Mo is about 1200 meters. The heavy mineral technique same geochemical surveys suggest that the 0.425 to 0.063 mm size fractions are useful for prospecting of gold and associated elements in the Kuh-Zar area.

Keywords: Stream Sediment, Geochemistry, Particle Size, Copper-Gold Mineralization, Kuh-Zar

References

- Aghajani H. 1996. Geochemical exploration in the Kuh Zar gold deposit, Damghan (Baghu prospect area), M.Sc. Thesis, Tehran University, Tehran, Iran, 209 p. (in Persian with English abstract)
- Aghamohseni A. 2012. Geochemical exploration of the base metals in Takab area, M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 223 p. (in Persian with English abstract)
- Ahmadi Shad A. 1998. Mineralogy, alteration and lithochemical study in gold of the Baghu area (Kuh Zar, Damghan), M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 201 p. (in Persian with English abstract)
- Alavi M. Houshmand Zadeh A. Etminan H. and Haghypour A. 1976. Geological map of Torud (1:250,000 scale): Geological Survey of Iran, H5 sheet.
- Cannon W.F. Woodruff L.G. and Pimley S. 2004. Some statistical relationships between stream sediment and soil geochemistry in northwestern Wisconsin. Can stream sediment compositions be used to predict compositions of soils in glaciated terranes?. *Journal of Geochemical Exploration*, 81(1): 29-46.
- Caspari T. 2006. Geochemical investigation of soils developed in different lithologies in Bhutan, Eastern Himalayas. *Geoderma*, 136: 436-458.
- Cohen D.R. 1999. Comparison of vegetation and stream sediment geochemical patterns in northeastern New South Wales. *Journal of Geochemical Exploration*, 66(3): 469-489.
- Deer W.A. Howie R.A. and Zussman J. 1992. An introduction to the rock-forming minerals. 2nd edition, London, Longman Group UK Limited, 712 p.
- Eshraghi S.A. and Jalali A. 2006. Geological map of Moalleman (1:100,000 scale): Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 6960 sheet.
- Geological Survey of Iran 1995. Explanatory text of geochemical map of Moalleman (1:100,000 Scale): Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Map 6960, Report 9, V. 1, 33 p.
- Grunsky E.C. Drew L.J. David M. and Sutphin D.M. 2009. Process recognition in multi-element soil and stream-sediment geochemical data. *Applied Geochemistry*, 24(8): 1602-1616.
- Guagliardi I. Apollaro C. Scarciglia F. and Rosa D.R. 2013. Influence of particle-size on geochemical distribution of stream sediments in the Lese river catchment, southern Italy. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 17(1): 43-55.
- Horowitz A.J. and Elrick K.A. 1987. The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. *Applied Geochemistry*, 2(4): 437-451.
- Maslennikova S. Larina N. and Larin S., 2012. The effect of sediment grain size on heavy metal content. *Lakes, Reservoirs and Ponds*, 6(1): 43-54.
- Ministry of Industries and Mines 2011. Instructions for large scale geochemical exploration of stream sediments (1 :25, 000). Mining Technical Criteria Benchmarking Program, Publication No. 540, 34 p. (in Persian with English title)
- Moore J.N. and Brook E.J.C. 1989. Grain size partitioning of metals in contaminated, coarse-grained river floodplain sediment: Clark Fork River, Montana, USA. *Environmental Geology*, 14(2): 107-115.
- Moradi S. Hassannezhad A.A. and Ghorbani Gh. 2017. Investigation of mineralogy and geothermometry of quartz and tourmaline veins at the Baghu area, southeast of Damghan. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 24(4): 661-674. (in Persian with English abstract)
- Najjaran M. 2000. Geochemistry and genesis of Baghu turquoise deposit (Damghan), M.Sc. Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran, 150 p. (in Persian with English abstract)
- Patino L.C. Velbel M.A. Price J.R. and Wade J.A. 2003. Trace element mobility during spheroidal weathering of basalts and andesites in Hawaii and Guatemala. *Chemical Geology*, 202(3): 343-364.
- Pietron J. 2017. Sediment transport from source to sink in the Lake Baikal basin impacts of hydroclimatic change and mining, PhD Thesis, Stockholm University, Sweden, 38 p.
- Pratt C. and Lottermoser B.G., 2007. Mobilisation of traffic-derived trace metals from road corridors into coastal stream and estuarine sediments, Cairns, northern Australia. *Environmental Geology*, 52(3): 437-448.
- Ranasinghe P.N. Chandrajith R.L.R. Dissanayake C.B. and Rupasinghe M.S. 2002. Importance of grain size factor in distribution of trace elements in stream sediments of Tropical High Grade Terrains. A case study from Sri Lanka. *Chemie Erde Geochemistry*, 62(3): 243-253.
- Ranasinghe P.N. Fernando G.W.A.R. Dissanayake C.B. and Rupasinghe M.S. 2008. Stream sediment geochemistry of the upper Mahaweli River Basin of Sri Lanka-Geological and environmental significance. *Journal of Geochemical Exploration*, 99(1): 1-28.
- Ranasinghe P.N. Dissanayake C.B. and Rupasinghe M.S. 2009. Statistical evaluation of stream sediment geochemistry in interpreting the river catchment of high-grade metamorphic terrains. *Journal of Geochemical Exploration*, 103(2-3): 97-114.
- Rudnick R.L. and Gao S. 2003. Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry*, 3: 1-64.
- Salminen R. 1998. FOREGS geochemical mapping. Field manual. Espoo, Finland: Geologian tutkimuskeskus, Opas - Geological Survey of Finland, Guide 47, 36 p.
- Shakeri A. 2000. Geochemistry and genesis of Kuh Zar Au deposit (Baghu), M.Sc. Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran, 295 p. (in Persian with English abstract)
- Singh A.K. and Hasnain S.I. 1999. Grain size and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the Damodar River – a tributary of the lower Ganga. *India Environmental Geology*, 39(1): 90-98.
- Singh P. 2010. Geochemistry and provenance of stream sediments of the Ganga River and its major tributaries in the Himalayan region, India *Chemical Geology*, 269(3), 220-236.
- Stöcklin, J. 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52: 1229-1258.

Stone M. and Droppo I.G. 1996. Distribution of lead, copper and zinc in size-fractionated river bed sediment in two agricultural catchments of southern Ontario, Canada. *Environmental Pollution*, 93(3): 353-362

Taghipour B. and Mackizadeh M.A. 2014. The origin of the tourmaline and turquoise association hosted in

hydrothermally altered rocks of the Kuh-Zar Cu-Au-Turquoise deposit, Damghan, Iran. *Geology and Palaontology, Abh. Stuttgart*, 272(1): 61-77.

Whitney D.L. Evans B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185-187.

اثر توزیع اندازه ذرات بر ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای و کانی‌های سنگین در محدوده کانسار

مس - طلای کوه زر، جنوب دامغان

زهرا ماروسی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود ایران

مسعود علی پوراصل، استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود ایران*

رضا قوامی ریابی، دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود ایران

چکیده

کوه زر از مناطق مستعد برای اکتشاف مس - طلا در شمال شرق ایران است. زمین‌شناسی این منطقه شامل سنگ‌های گدازه‌ای با ترکیب حدواسط تا مافیک به سن ائوسن میانی - بالایی است. گرانودیوریت، مونزونیت، دیوریت به سن اولیگوسن در سری آتشفشانی ائوسن تزریق شده است. سنگ‌های نفوذی سبب دگرسانی سنگ‌ها و کانه‌زایی مس و طلا شده است. برای مطالعه توزیع اندازه ذرات و ارتباط آن با تمرکز فلزها تعداد ۶ ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شد. نمونه‌های رسوب به ۶ بخش (۲ تا ۴۲۵، ۴۲۵ تا ۱۸۰، ۱۸۰ تا ۱۲۵، ۱۲۵ تا ۶۳، ۶۳ تا ۱۸۰ و ۱۸۰ تا ۶۳ میلی‌متر) سرنده شدند. مطالعه توزیع اندازه ذرات نشان می‌دهد ذرات با اندازه‌های ۴۲۵ تا ۶۳ و ۱۲۵ تا ۱۸۰ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین درصد وزنی رسوبات آبراهه‌ای را تشکیل می‌دهند. بررسی داده‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، سرب، آنتیموان، مولیبدن، و گوگرد در ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۴، ۵، و ۶ غنی‌شدگی درخور ملاحظه‌ای دارند. مقادیر این عناصر در جزء مش‌های ۶۳ تا ۱۲۵، ۱۲۵ تا ۱۸۰ و ۱۸۰ تا ۴۲۵ میلی‌متر بیشتر از سایر جزء مش‌هاست و جزء مش کوچک‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر معرف دامنه‌های مختلف غلظت عناصر در رسوبات آبراهه‌ای این منطقه نیست. در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر عنصر طلا در فاصله حدود ۷۰۰ متر از کان‌سنگ‌های منشأ دارای بیشترین تمرکز است؛ درحالی‌که این فاصله برای تمرکز بهینه مس، سرب، نقره، آرسنیک، آنتیموان و مولیبدن حدود ۱۲۰۰ متر است. روش کانی سنگین نیز همانند کاوش‌های ژئوشیمیایی جزء مش ۴۲۵ تا ۶۳ میلی‌متر را برای اکتشاف طلا و عناصر همراه در محدوده کوه زر پیشنهاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: رسوب آبراهه‌ای، ژئوشیمی، اندازه ذرات، کانسار مس - طلا، کوه زر

مقدمه

کانسار مس - طلای کوه زر در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شهرستان دامغان در استان سمنان و در کمربند آتشفشانی - نفوذی طرود - چاه شیرین قرار دارد (شکل ۱). رسوبات آبراه‌های ابرازی اکتشافی اند که در بررسی‌های ژئوشیمیایی ناحیه‌ای استفاده می‌شوند (Cohen et al. 1999; Cannon et al. 2004). رسوبات بخش فعال آبراه‌ها از مواد جامد با دانه‌بندی ریز، متوسط و درشت (رس - سیلت - ماسه) تشکیل شده‌اند و از فرسایش سنگ‌های هوازده در اثر آب جویبارها و یا رودخانه‌ها منشأ گرفته‌اند. این مواد بسته به اندازه ذرات و سرعت آب به شکل معلق، غلتان و خزشی در امتداد بستر آبراه حمل می‌شوند و معرف سنگ‌های حوضه آبریزند (Ranasinghe et al. 2008). کانی‌شناسی، اندازه ذرات و ژئوشیمی رسوبات آبراه‌های انعکاسی از ترکیب سنگ‌های منشأ، هوازگی مکانیکی و شیمیایی، ویژگی‌های مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی حوضه، جورشدگی، آب‌وهوا و چندین عامل مهم دیگرند (Pratt and Lottermoser 2007; Grunsky et al. 2009; Ranasinghe et al. 2009; Singh 2010; Pietron 2017); بسیار مهم است اثر توزیع اندازه دانه‌ها بر ژئوشیمی و کانی‌شناسی رسوبات آبراه‌های در نظر گرفته شود (Ranasinghe et al. 2002). مطالعه جزء مش‌های مختلف (Size fractions) در نمونه‌های رسوب آبراه‌های فرصت مناسبی برای تشخیص فرایندهای مختلف زمین‌شناسی فراهم می‌کند و این اطلاعات تأثیر بسزایی در تفسیرهای ژئوشیمیایی منطقه دارند (Grunsky et al. 2009). درحقیقت، برخی عناصر بستگی شدیدی به اندازه ذرات دارند و سرنوشت بعدی آنها به شدت از فرایندهای رودخانه‌ای تأثیر می‌پذیرد.

مطالعه توزیع عناصر کمیاب در دانه‌بندی‌های مختلف رسوبات آبراه‌های نشان می‌دهد عناصری مانند مولیبدن، مس، روی، منگنز و آهن در ریزترین بخش رسوب متمرکز می‌شوند (Horowitz and Elrick 1987; Moore and Brook 1989; Stone and Droppo 1996; Singh and Hasnain 1999); از این رو،

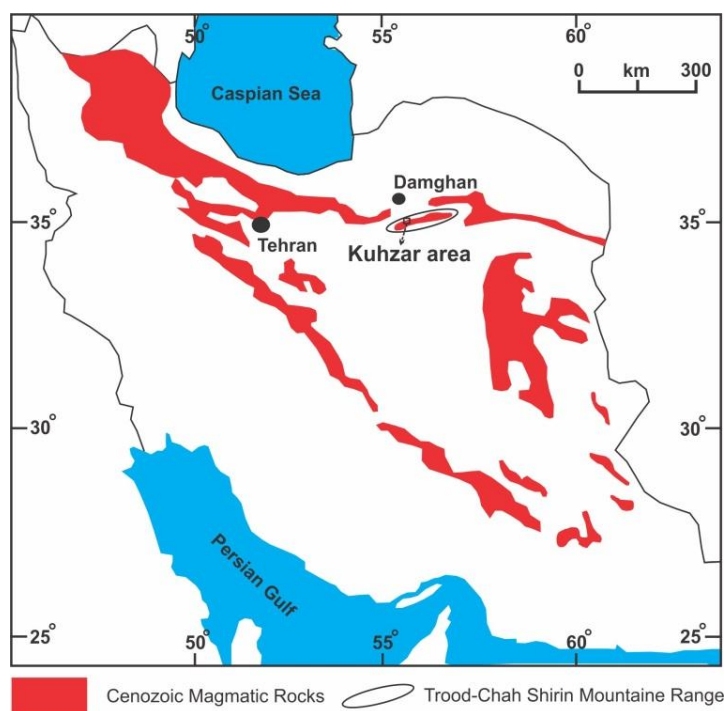
بیشتر بررسی‌های رسوبات آبراه‌های بر جمع‌آوری مواد کوچک‌تر از ۲۰۰ میکرومتر پایه‌ریزی شده‌اند. سازمان زمین‌شناسی اتحادیه اروپا اندازه کوچک‌تر از ۱۵۰ میکرومتر را مش استاندارد معرفی کرده است؛ این اندازه به قدر کافی ریز است که بخش‌های ماسه بسیار ریز، سیلت، رس و کلوئیدی را دربرگیرد و از طرفی به قدر کافی درشت است که مواد ریز کافی را در بیشتر شرایط به دست دهد (Salminen 2013; Guagliardi et al. 1998); بنابراین، اندازه کوچک‌تر از ۱۵۰ میکرومتر برای نمونه‌برداری ژئوشیمی آبراه‌های در مقیاس ناحیه‌ای مفید است؛ با وجود این، در مطالعه حاضر دانه‌بندی‌های دیگر نیز اندازه‌گیری شدند تا عناصر باندشده به دانه‌های درشت‌تر و یا ذرات درشت طلا و کانه‌های دیگر نیز آزمایش شوند.

پژوهش‌های موجود در زمینه اثر اندازه ذرات بر ژئوشیمی رسوبات آبراه‌های در ایران بسیار اندک هستند. در نشریه شماره ۵۴۰ برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن با عنوان دستورعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ‌مقیاس رسوبات آبراه‌های (۱/۲۵۰۰۰) به چگونگی انجام مطالعه‌های ژئوشیمی توجیهی در اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌های پرداخته شده است (Ministry of Industries and Mines 2011) و در پژوهش حاضر از این دستورعمل استفاده شده است. آقامحسینی (Aghamohseni 2012) در محدوده اثر معدنی آی‌قلعه‌سی مطالعه‌های ژئوشیمیایی توجیهی انجام داده و جزء مش کوچک‌تر از ۶۰ مش را برای اکتشافات ژئوشیمیایی عناصر پایه در محدوده تکاب بهینه معرفی کرده است.

مطالعه‌های متعددی در زمینه زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ریز کانسار طلای کوه زر - باغوی دامغان انجام شده است که همگی رخداد کانه‌زایی رگه‌ای گرمابی طلا و مس را در این محدوده اثبات کرده‌اند (Aghajani 1996; Ahmadi Shad 1998; Shakeri 2000; Moradi et al. 2017); برخی پژوهشگران نیز علاوه بر کانه‌زایی گرمابی، وجود سیستم کانه‌زایی مس پورفیری را برای منطقه متصور شده‌اند (Shakeri 2000).

طلب می‌کند. گام اولیه و اساسی در این بررسی‌ها انجام مطالعه‌های ژئوشیمی توجیهی است؛ از این رو، محدوده کانه‌زایی مس - طلای کوه زر برای مطالعه اثر توزیع اندازه ذرات بر ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای در منطقه طرود - چاه شیرین انتخاب شد. نتایج این بررسی‌ها اطلاعات باارزشی در زمینه جزء مش مناسب رسوب آبراهه‌ای، تراکم بهینه نمونه‌برداری، توزیع و پراکندگی عناصر و هاله‌های ژئوشیمیایی آنها در رسوبات آبراهه‌ای، همبستگی میان عناصر، نسبت اندازه ذرات و روش‌های مناسب تجزیه در اختیار می‌گذارند.

اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان و نواحی دیگر منطقه طرود - چاه شیرین به روش برداشت رسوبات آبراهه‌ای ناهنجاری‌های عناصر مس، سرب، روی، طلا، نقره، آهن و منگنز را نشان داده‌اند (Geological Survey of Iran 1995) و در مواردی مانند محدوده کوه زر، ناهنجاری‌های عناصر با آثار معدن‌کاری قدیمی انطباق داشته‌اند. پتانسیل معدنی زیاد منطقه طرود - چاه شیرین و وجود آبرفت‌های طلا در محدوده کوه زر انجام اکتشافات ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای در مقیاس‌های بزرگ‌تر (۱/۲۵۰۰۰ و بزرگ‌تر) را



شکل ۱- موقعیت محدوده کوه زر در ایران و سنگ‌های ماگمایی رشته‌کوه طرود- چاه شیرین (اقتباس از Stoklin 1968 با تغییر)

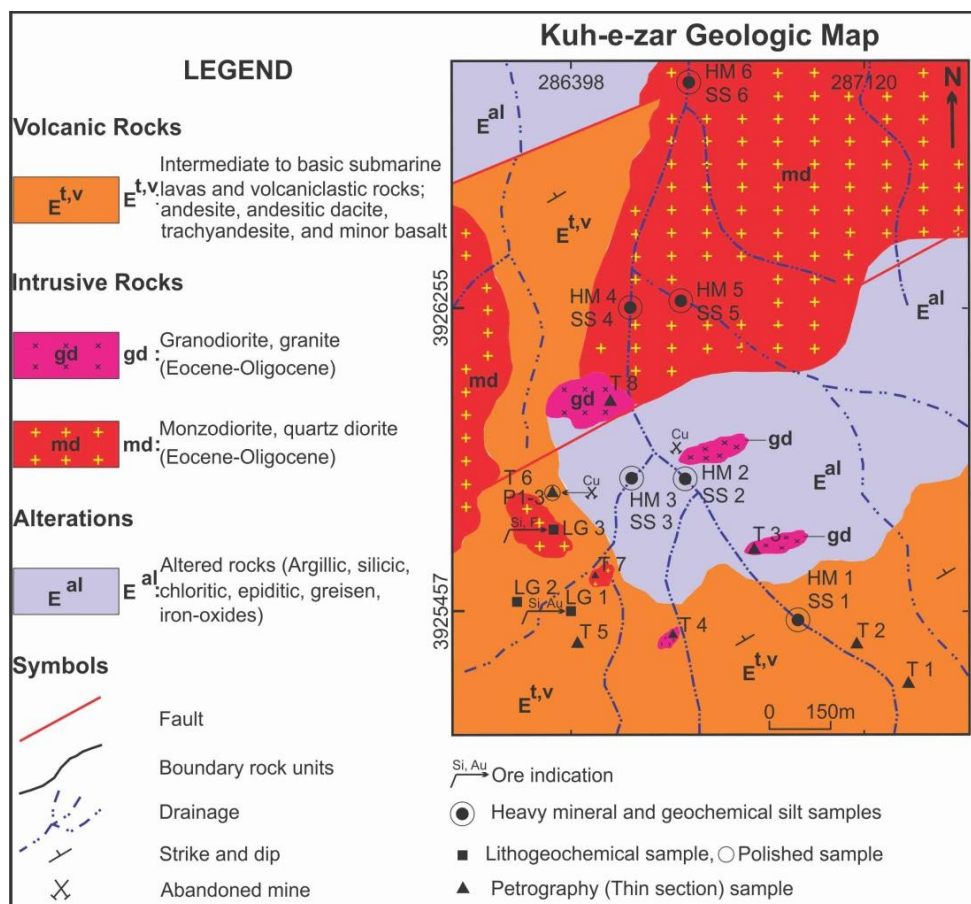
کانه‌نگاری آنها در آزمایشگاه کانی‌شناسی نوری دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. به منظور مطالعه اثر توزیع اندازه ذرات بر ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای تعداد ۶ ایستگاه بر اساس معیارهای سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی، تکتونیکی و حوضه‌های آبریز انتخاب شدند (شکل ۲). در هر ایستگاه، نمونه‌ای ژئوشیمیایی به وزن اولیه ۸ کیلوگرم از رسوبات

روش پژوهش

برای دستیابی به اهداف پژوهش حاضر از سنگ‌های آتشفشانی، نفوذی، رگه‌های سیلیسی و رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر نمونه‌برداری شد. تعداد ۱۱ نمونه مقطع نازک، نازک - صیقلی و صیقلی از سنگ‌های آتشفشانی، نفوذی و مناطق کانه‌زایی تهیه و مطالعه سنگ‌نگاری و

اصلی، فرعی و کمیاب به روش چهار اسید حل شد و با ICP-OES/MS در آزمایشگاه زرآما تجزیه شد. مقدار طلا نیز به روش غال‌گذاری جذب اتمی (FAAS) در آزمایشگاه زرآما تعیین شد. هم‌زمان با نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای، تعداد ۶ نمونه کانی سنگین برداشت و مطالعه شدند. تعداد ۳ نمونه لیتوژئوشیمیایی به وزن اولیه ۶ کیلوگرم نیز به روش شیاری از رگه‌های سیلیسی برداشت و همانند نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای تجزیه شدند. در نهایت، تفسیرهای لازم بر پایه نتایج ژئوشیمیایی و کانی سنگین انجام شدند.

بخش فعال بستر آبراهه برداشت شد. هر نمونه ترکیبی از ۲۵ جزء نمونه بود که در فاصله ۵۰ متری از محل ایستگاه به سمت بالادست آبراهه سرند شدند. نمونه‌ها در محل برداشت برای حذف ماسه‌های درشت با الک ۲ میلی‌متری (۱۰ مش) سرند شدند. در مرحله بعدی، هر نمونه با سری الک ۲ تا ۰/۰۶۳ میلی‌متری (کدهای ASTM) سرند شد. مقادیر کمی درصد دانه‌بندی‌های مختلف در رسوبات آبراهه‌ای با وزن‌کردن مقدار هر سرند تعیین شد. هر بخش از دانه‌بندی‌ها در هاون آگاتی در حد کمتر از ۲۰۰ مش آسیاب شد و برای عناصر



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده کوه زر که همبری واحدهای سنگی، مناطق دگرسانی، آثار معدنی و رگه‌های

سیلیسی طلا دار را نشان می‌دهد (اقتباس از Eshraghi and Jalali 2006 با تغییر)

زمین‌شناسی و کانه‌زایی

محدوده مس - طلای کوه زر در بخش شمالی ایران مرکزی و در کمربند آتشفشانی - نفوذی طرود - چاه شیرین واقع و به طول‌های جغرافیایی $54^{\circ}33'$ تا $54^{\circ}42'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ}24'$ تا $35^{\circ}29'$ شمالی محدود شده است (شکل ۱). کمربند طرود - چاه شیرین با گسترش تقریباً شمال‌خاوری - جنوب‌باختری به شکل بالآمدگی میان دو گسل آنجیلو در شمال و طرود در جنوب محصور شده است. این کمربند آتشفشانی - نفوذی حاوی هسته‌هایی از سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین - پالئوزوئیک و سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک است. کمربند طرود - چاه شیرین بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی فلسیک تا حدواسط و گاهی مافیک ترشیری تشکیل شده است. این سنگ‌ها ترکیب ریولیتی، ریوداسیتی، داسیتی، آندزیتی و آندزیت بازالتی دارند و توده‌های گرانیتوئیدی با ترکیبی از گرانیت، گرانودیوریت، مونزونیت و دیوریت و دایک‌های آندزیتی، داسیتی، لاتیتی، و دیابازی در آنها نفوذ کرده‌اند (Alavi et al. 2006; Eshraghi and Jalali 1976).

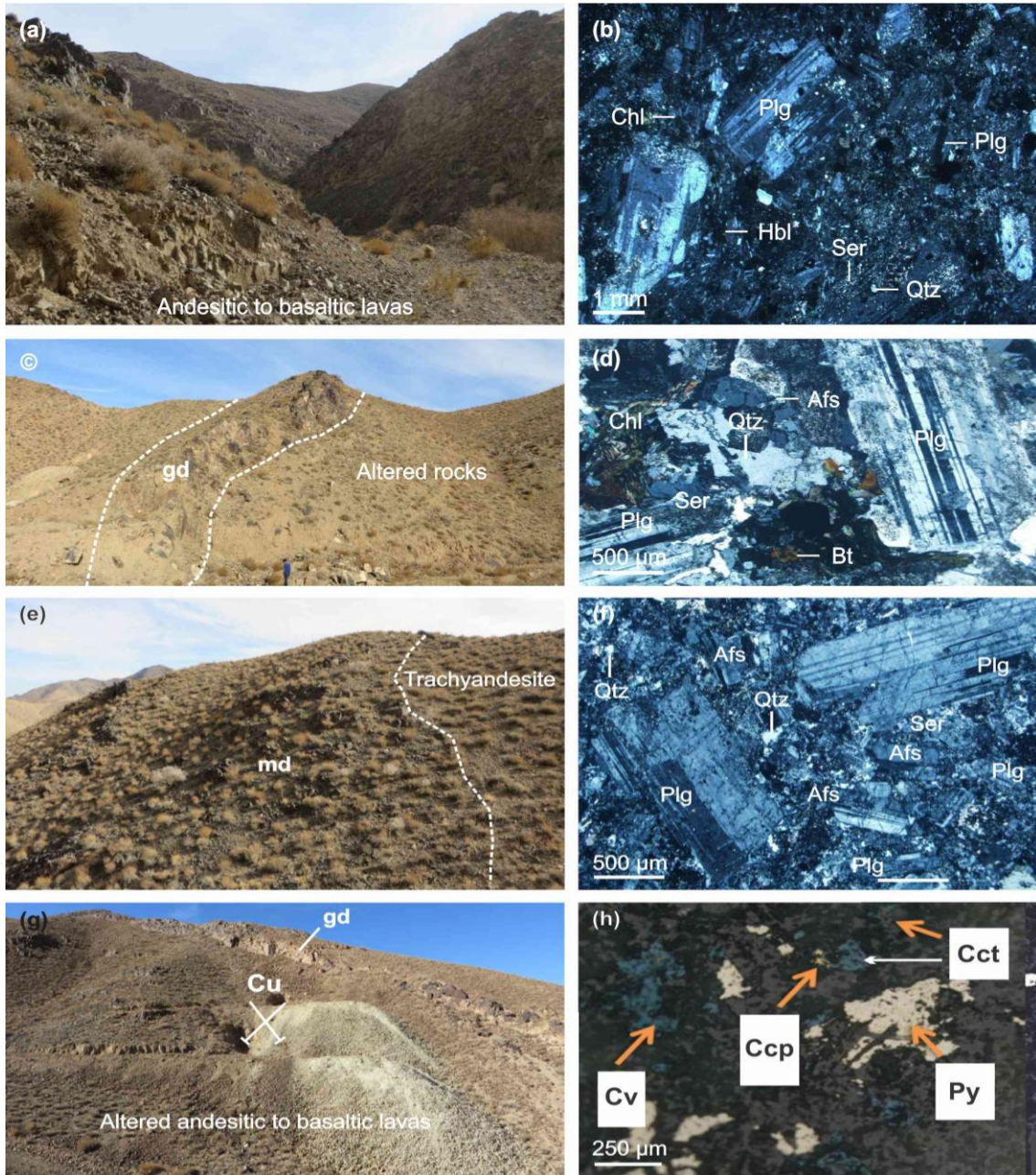
سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی - بالایی با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت، آندزیت بازالتی و بازالت بخش اعظم رخنمون‌های سنگی محدوده کوه زر را تشکیل داده‌اند. توده، استوک و دایک‌های مونزودیوریت، کوارتزیدیوریت، گرانودیوریت و گرانیت به سن ائوسن - اولیگوسن در سری آتشفشانی ائوسن تزریق شده‌اند (شکل‌های f-3a). سیالات با منشأ ماگمایی و جوی ضمن دگرسانی سنگ‌ها در کانه‌زایی فلزهای پایه (مس، سرب و روی) و گران‌بها (طلا و نقره) در منطقه نقش داشته‌اند. دگرسانی‌ها شامل آرژیلیتی، سریسیتی، کلریتی، اپیدوتی، سیلیسی، و اکسید آهنی (مگنتیت، الیژست و هماتیت) هستند (شکل‌های ۳g و ۸). اکسیدهای آهن از جمله هماتیت، گوتیت و لیمونیت در نتیجه هوازدگی در محدوده کوه زر ایجاد شده‌اند. آقاجانی (Aghajani 1996) و احمدی شاد (Ahmadi 1998) نیز دگرسانی یادشده را در محدوده کوه زر معرفی

کرده‌اند. کانه‌زایی به شکل طلا، کانه‌های مس (کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت، فیروزه، کریزوکولا، مالاکیت و آزوریت)، گالن، اسفالریت، پیریت، الیژست، هماتیت و تورمالین در این محدوده وجود دارد (شکل‌های ۳h و ۸) و به شکل‌های رگه - رگچه‌ای و انتشاری در سنگ‌های میزبان مشاهده می‌شود. در پژوهش‌های پیشین نیز این کانه‌ها در محدوده کوه زر - باغو گزارش شده‌اند (Najjaran 2000; Shakeri 2000; Taghipour and Mackizadeh 2014; Moradi et al. 2017). روند عمومی ساختمانی در منطقه کوه زر شمال‌خاوری - جنوب‌باختری است که با روند گسل‌های امتدادلغز آنجیلو و باغو در شمال و طرود در جنوب مطابقت دارد و کنترل‌کننده اصلی کانه‌زایی در محدوده کوه زر است. فرایندهای هوازدگی و فرسایش نیز با آزادسازی طلا و سایر کانی‌های سنگین از سنگ‌های منشأ آبرفت‌های طلا دار منطقه را به وجود آورده‌اند.

نتایج و بررسی

توزیع اندازه ذرات

مطالعه الگوی توزیع ذرات در رسوبات آبراهه‌ای مهم است زیرا آنها ویژگی‌های اولیه سنگ‌های منشأ را دارند. مطالعه توزیع ذرات در دانه‌بندی‌های مختلف نشان می‌دهد در همه نمونه‌ها بخش ماسه‌ای (۲ تا 0.63 میلی‌متر) حدود ۸۷ درصد کل درصد وزنی نمونه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد؛ در حالی که بخش سیلت و رس (جزء کوچک‌تر از 0.63 میلی‌متر) درصد کمتری دارد (جدول ۱)؛ به عبارتی به‌طور میانگین ۵۰ درصد ذرات دارای اندازه ۲ تا 0.425 میلی‌متر، ۱۸ درصد دارای اندازه 0.425 تا 0.180 میلی‌متر، ۹ درصد دارای اندازه 0.180 تا 0.125 میلی‌متر، ۱۰ درصد دارای اندازه 0.125 تا 0.63 میلی‌متر و ۱۳ درصد دارای اندازه کوچک‌تر از 0.63 میلی‌متر هستند. ذرات دارای اندازه 0.125 تا 0.180 میلی‌متر در تمام نمونه‌ها دارای کمترین درصد وزنی هستند.



شکل ۳- تصاویر صحرایی و میکروسکوپی سنگ‌های آتشفشانی، نفوذی، دگرسانی و کانه‌زایی محدوده کوه زر؛ a. توالی‌ای از سنگ‌های آندزیتی و بازالتی (دید به سمت جنوب شرق)، b. بافت پورفیری از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه میکرولیتی در آندزیت، c. نفوذ گرانودیوریت در سنگ‌های آتشفشانی دگرسان‌شده ائوسن (دید به سمت شرق)، d. گرانودیوریت با بافت درشت‌بلور و دگرسانی هورنبلند به کلریت و بیوتیت، e. نفوذ مونزودیوریت در سنگ‌های تراکی آندزیتی ائوسن (دید به سمت جنوب شرق)، f. مونزودیوریت در مقاطع میکروسکوپی بافت پورفیری نشان می‌دهد، g. آثار معدن‌کاری قدیمی مس و فیروزه در سنگ‌های آندزیتی و بازالتی دگرسان‌شده (دید به سمت شمال)، h. کانسنگ دارای کالکوپریت و پیریت که به وسیله کالکوسیت، کولیت و گوتیت در حال جانشینی است.

Afs: Alkali feldspar, Bt: Biotite, Cct: Chalcocite, Ccp: Chalcopyrite, Chl: Chlorite, Cu: Copper, Cv: Covellite, gd: granodiorite, Hbl: Hornblende, md: monzodiorite, PLg: Plagioclase, Py: Pyrite, Qtz: Quartz, Ser: Sericite

اختصاصی کانی‌ها از Whitney and Evans 2010

جدول ۱- وزن (گرم) و درصد وزنی (درصد) دانه‌بندی‌های مختلف هر نمونه رسوب آبراهه‌ای در محدوده کوه زر

نمونه	جزء مش رسوب (میلی‌متر)	وزن (گرم)	وزن (درصد)	نوع ذره
KZ-SS-1	<۲	۱۴۸۰	۱۰۰	-
KZ-SS-1A	۰/۴۲۵-۲	۵۴۱	۳۶/۶	ماسه دانه‌درشت
KZ-SS-1B	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	۲۱۲	۱۴/۳	ماسه دانه‌متوسط
KZ-SS-1C	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	۱۷۱	۱۱/۶	ماسه دانه‌ریز
KZ-SS-1D	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	۲۸۹	۱۹/۵	سیلت- رس
KZ-SS-1E	<۰/۰۶۳	۲۶۷	۱۸	-
KZ-SS-2	<۲	۱۸۲۶	۱۰۰	-
KZ-SS-2A	۰/۴۲۵-۲	۱۱۳۴	۶۲/۱	ماسه دانه‌درشت
KZ-SS-2B	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	۲۷۲	۱۴/۹	ماسه دانه‌متوسط
KZ-SS-02C	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	۱۳۸	۷/۶	ماسه دانه‌ریز
KZ-SS-2D	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	۱۲۷	۷	سیلت- رس
KZ-SS-2E	<۰/۰۶۳	۱۵۵	۸/۵	-
KZ-SS-3	<۲	۱۷۴۵	۱۰۰	-
KZ-SS-3A	۰/۴۲۵-۲	۷۳۹	۴۲/۳	ماسه دانه‌درشت
KZ-SS-3B	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	۳۴۵	۱۹/۸	ماسه دانه‌متوسط
KZ-SS-3C	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	۱۶۴	۹/۴	ماسه دانه‌ریز
KZ-SS-3D	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	۲۰۱	۱۱/۵	سیلت- رس
KZ-SS-3E	<۰/۰۶۳	۲۹۶	۱۷	-
KZ-SS-4	<۲	۱۷۹۴	۱۰۰	-
KZ-SS-4A	۰/۴۲۵-۲	۹۹۵	۵۵/۵	ماسه دانه‌درشت
KZ-SS-4B	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	۳۴۵	۱۹/۲	ماسه دانه‌متوسط
KZ-SS-4C	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	۱۳۴	۷/۵	ماسه دانه‌ریز
KZ-SS-4D	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	۱۴۷	۸/۲	سیلت- رس
KZ-SS-4E	<۰/۰۶۳	۱۷۳	۹/۶	-
KZ-SS-5	<۲	۲۳۷۸	۱۰۰	-
KZ-SS-5A	۰/۴۲۵-۲	۹۴۸	۳۹/۹	ماسه دانه‌درشت
KZ-SS-5B	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	۴۸۰	۲۰/۲	ماسه دانه‌متوسط
KZ-SS-5C	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	۲۳۵	۹/۹	ماسه دانه‌ریز
KZ-SS-5D	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	۲۶۳	۱۱/۱	سیلت- رس
KZ-SS-5E	<۰/۰۶۳	۴۵۲	۱۹	-
KZ-SS-6	<۲	۱۹۵۵	۱۰۰	-
KZ-SS-6A	۰/۴۲۵-۲	۱۰۳۸	۵۳/۱	ماسه دانه‌درشت
KZ-SS-6B	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	۳۵۸	۱۸/۳	ماسه دانه‌متوسط
KZ-SS-6C	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	۱۴۹	۷/۶	ماسه دانه‌ریز
KZ-SS-6D	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	۱۷۰	۸/۷	سیلت- رس
KZ-SS-6E	<۰/۰۶۳	۲۴۰	۱۲/۳	-

ژئوشیمی

است). ترکیب شیمیایی جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای از شیمی سنگ‌های منطقه، سرعت جریان آب، مورفولوژی بستر آبراهه‌ها و پایداری مکانیکی و شیمیایی کانی‌ها تأثیر می‌پذیرد؛ از این رو، امکان ارزیابی اثر این عوامل با مطالعه جزء مش‌های رسوب آبراهه‌ای وجود دارد.

غلظت عناصر اصلی و کمیاب در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر در جدول (۲) آورده شده است (به‌علت زیادی داده‌های ژئوشیمیایی، به‌جای مقادیر خام غلظت عناصر در ۳۰ نمونه شاخص‌های آماری آنها ارائه شده

جدول ۲- شاخص‌های آماری غلظت عناصر اصلی و کمیاب (ppm) و طلا (ppb) در دانه‌بندی‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر

Particle size (mm)	Statistic	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg
۲-۰/۴۲۵	Min	۳۶	۰/۳	۶۵۴۹۶	۱۱	۴۸۵	۱/۷	۱۷۱۶۸	۰/۳	۳۹	۱۴	۲۱	۱۶۴	۳۳۳۶۱	۲۷۴۵۸	۲۲	۱۶	۸۶۲۹
	Max	۱۳۹	۰/۶	۸۱۵۵۲	۲۶	۶۵۸	۲	۲۷۲۸۷	۰/۳	۵۸	۲۷	۵۹	۳۲۱	۴۹۴۰۹	۳۵۹۶۳	۳۰	۲۷	۱۹۰۰۷
	Mean	۶۷	۰/۴	۷۴۴۸۴	۱۹	۵۷۰	۱/۹	۲۱۲۶۷	۰/۳	۴۷	۲۲	۳۳	۲۵۵	۴۳۶۰۶	۳۰۵۸۰	۲۵	۲۱	۱۲۳۵۵
	St.Dev.	۴۰	۰/۱	۶۶۵۷	۷	۶۰	۰/۱	۴۳۵۸	۰	۷	۶	۱۴	۶۰	۷۸۶۳	۳۰۶۱	۳	۴	۳۸۱۳
۰/۴۲۵-۰/۱۸۰	Min	۲۸	۰/۴	۶۸۸۹۶	۱۷	۴۲۴	۱/۷	۲۱۱۴۱	۰/۳	۵۰	۲۶	۴۰	۱۴۴	۴۵۵۷۹	۲۲۴۳۱	۲۶	۲۰	۱۱۵۹۰
	Max	۵۵۶۶	۱	۷۶۹۰۳	۳۸	۶۸۴	۲/۱	۳۸۱۳۶	۰/۴	۶۰	۳۸	۶۹	۵۲۱	۵۹۸۴۵	۳۲۲۲۳	۳۰	۳۱	۱۸۸۳۴
	Mean	۱۰۹۲	۰/۵	۷۲۹۶۷	۲۶	۵۶۶	۱/۹	۲۶۳۶۸	۰/۳	۵۴	۳۲	۴۷	۳۲۷	۵۱۵۵۴	۲۶۶۷۲	۲۸	۲۵	۱۴۰۴۷
	St.Dev.	۲۲۰۳	۰/۲	۲۹۰۹	۷	۹۵	۰/۲	۶۶۳۰	۰	۴	۵	۱۱	۱۲۸	۵۳۸۶	۳۴۸۱	۲	۴	۲۶۲۸
۰/۱۸۰-۰/۱۲۵	Min	۲۸	۰/۳	۶۳۴۵۲	۱۲	۳۹۱	۱/۵	۲۳۷۶۸	۰/۳	۵۳	۲۵	۴۷	۹۷	۳۸۵۱۴	۱۸۹۶۳	۲۷	۲۳	۱۲۳۸۹
	Max	۱۲۳۶	۱/۲	۷۲۴۴۳	۵۱	۶۰۴	۱/۹	۴۲۷۶۳	۰/۴	۵۹	۳۶	۷۰	۵۳۵	۶۰۱۴۱	۲۵۶۷۲	۳۰	۲۸	۱۶۳۵۲
	Mean	۵۱۴	۰/۵	۶۸۲۸۴	۲۶	۵۱۹	۱/۷	۳۱۲۳۵	۰/۳	۵۶	۳۱	۵۷	۳۰۰	۵۰۹۸۷	۲۳۱۴۷	۲۸	۲۶	۱۴۱۲۳
	St.Dev.	۵۴۵	۰/۳	۳۰۹۷	۱۴	۷۶	۰/۱	۷۳۸۶	۰	۳	۴	۹	۱۵۸	۸۵۰۴	۲۳۰۰	۱	۲	۱۳۵۲
۰/۱۲۵-۰/۰۶۳	Min	۱۲	۰/۳۰	۵۱۰۴۳	۱۱	۳۴۰	۱/۳۰	۳۲۵۷۴	۰/۳۰	۴	۱۷	۵۲	۶۵	۳۲۴۱۷	۱۶۸۵۱	۲۳	۲۲	۱۲۰۱۶
	Max	۱۱۰۰	۱/۲۰	۶۴۹۲۱	۴۰	۴۹۵	۱/۴۰	۴۸۵۴۱	۰/۴۰	۵۲	۲۲	۷۰	۳۳۰	۴۴۰۱۷	۲۰۱۳۸	۲۷	۲۵	۱۴۶۸۲
	Mean	۳۸۶	۰/۵۰	۵۸۶۰۲	۱۸	۴۱۷	۱/۴۰	۳۹۸۸۵	۰/۳۰	۴۹	۲۰	۵۷	۱۷۶	۳۹۳۴۲	۱۸۶۴۸	۲۵	۲۴	۱۳۲۷۲
	St.Dev.	۴۵۱	۰/۳۰	۴۵۲۸	۱۲	۵۳	۰/۱۰	۶۳۹۰	۰	۴	۲	۷	۹۵	۴۷۷۹	۱۲۲۷	۱	۱	۸۵۳
<۰/۰۶۳	Min	۱۴	۰/۳۰	۵۷۹۲۲	۸	۳۱۳	۱/۳۰	۴۲۸۹۶	۰/۳۰	۵۳	۱۶	۷۸	۵۷	۳۱۵۰۰	۱۶۳۱۹	۲۶	۲۷	۱۵۷۹۰
	Max	۳۶۸	۰/۷۰	۶۴۷۶۴	۲۲	۴۰۰	۱/۴۰	۵۲۰۶۳	۰/۳۰	۵۶	۱۷	۸۵	۲۳۴	۳۷۵۶۷	۱۷۷۷۲	۲۸	۲۸	۱۶۶۲۴
	Mean	۱۱۲	۰/۴۰	۶۱۷۹۸	۱۲	۳۶۲	۱/۳۰	۴۸۴۰۱	۰/۳۰	۵۴	۱۷	۸۱	۱۲۶	۳۵۱۱۳	۱۷۷۷۲	۲۷	۲۷	۱۶۱۳۱
	St.Dev.	۱۴۹	۰/۲۰	۲۶۲۶	۵	۳۱	۰/۱۰	۳۵۰۴	۰	۱/۳	۱	۳	۶۲	۲۴۴۲	۱۰۵۷	۱	۰/۴۰	۲۹۰
<۰/۱۵۰	Min	۲۰	۰/۳۳	۵۹۶۴۵	۱۰	۳۴۸	۱/۳۷	۳۳۵۴۲	۰/۲۷	۴۹	۱۹	۶۱	۷۳	۳۴۱۴۴	۱۷۳۷۸	۲۶	۲۴	۱۳۴۳۴
	Max	۷۸۹	۱/۰۴	۶۶۳۹۳	۳۷	۵۰۰	۱/۵۷	۴۷۷۸۹	۰/۳۶	۵۵	۲۵	۴۵	۳۶۶	۴۶۷۰۲	۲۱۳۰۱	۲۸	۲۷	۱۵۷۲۱
	Mean	۳۳۷	۰/۵۰	۶۲۸۹۵	۱۹	۴۳۳	۱/۴۶	۳۹۸۴۰	۰/۳۰	۵۳	۲۲	۶۵	۲۰۰	۴۱۵۱۴	۱۹۸۵۶	۲۷	۲۶	۱۴۵۰۹
	St.Dev.	۳۵۷	۰/۲۷	۲۵۴۵	۱۰	۵۳	۰/۰۷	۵۶۲۹	۰/۰۳	۲	۲	۵	۱۰۵	۵۰۹۹	۱۴۵۰	۱	۱	۷۲۹

ادامهٔ جدول ۲

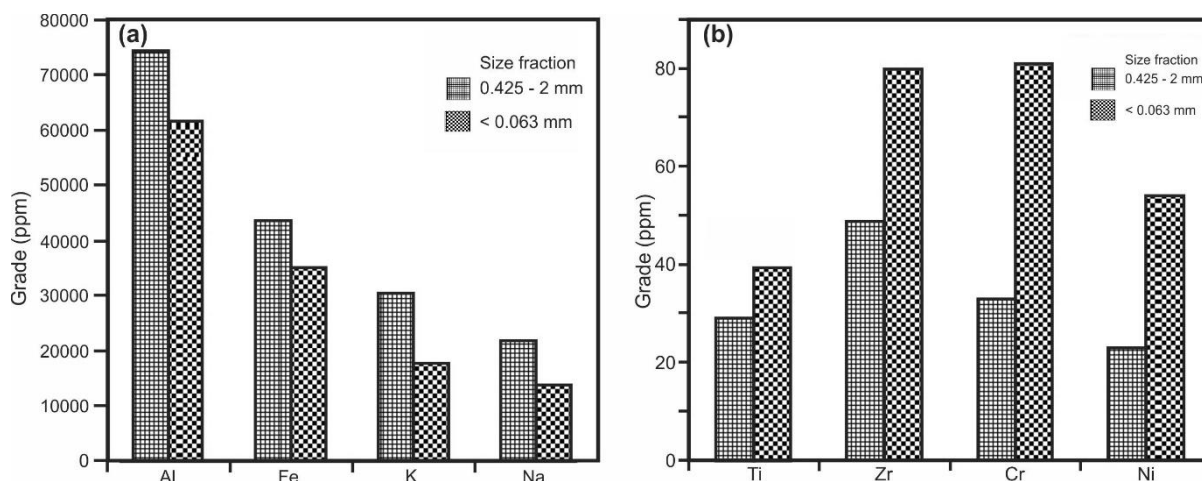
article size (mm)	Statistic	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr	Th	Ti	V	Y	Yb	Zn	Zr
۲-۰/۴۲۵	Min	۵۵۲	۱/۶	۱۸۱۲۳	۱۷	۸۳۴	۷۱	۵۵۳	۰/۹	۶/۸	۴۶۳	۱۷	۲۲۱۰	۶۹	۱۱	۱/۴	۶۹	۲۳
	Max	۱۳۲۹	۲/۶	۲۴۲۳۸	۳۲	۱۲۱۴	۲۲۴	۱۴۳۲	۹/۶	۱۷	۵۲۵	۱۹	۳۸۰۲	۱۷۶	۲۰	۲/۵	۱۶۶	۹۹
	Mean	۸۷۳	۲/۱	۲۱۷۷۷	۲۳	۱۰۲۸	۱۰۸	۹۳۲	۲/۵	۱۱/۴	۴۹۷	۱۷	۲۹۱۰	۱۳۷	۱۵	۲	۱۰۳	۴۹
	St.Dev.	۲۹۲	۰/۳	۲۵۲۱	۵	۱۲۷	۶۱	۳۵۳	۳/۵	۳/۸	۲۴	۰/۷	۶۲۹	۳۳	۴	۰/۴	۳۵	۲۹
۰/۴۲۵-۰/۱۸۰	Min	۹۶۲	۱/۶	۱۶۷۱۶	۲۶	۱۰۱۰	۸۶	۵۶۸	۱	۱۰/۷	۳۵۷	۱۵	۲۸۸۱	۱۴۰	۱۵	۱/۹	۱۰۱	۲۹
	Max	۱۶۱۸	۱۰/۴	۲۱۴۳۲	۴۸	۱۱۸۶	۶۰۳	۱۹۷۸	۳۴/۶	۱۵/۶	۵۱۷	۱۹	۳۷۱۳	۱۶۷	۲۰	۲/۴	۱۳۳	۸۸
	Mean	۱۲۹۷	۳/۹	۱۸۸۶۰	۳۵	۱۱۰۰	۲۱۱	۱۱۹۲	۸/۶	۱۲/۷	۴۶۵	۱۷	۳۲۳۰	۱۵۴	۱۸	۲/۲	۱۱۷	۵۱
	St.Dev.	۲۷۶	۳/۳	۱۸۹۲	۷	۷۳	۲۰۱	۵۴۶	۱۳/۶	۱/۹	۵۸	۲	۳۰۱	۱۱	۲	۰/۲	۱۳	۲۲
۰/۱۸۰-۰/۱۲۵	Min	۱۰۶۴	۱/۴	۱۴۰۳۹	۳۲	۹۴۲	۶۳	۴۵۴	۱	۱۱/۶	۳۰۴	۱۴	۳۳۱۵	۱۲۳	۱۶	۲/۲	۱۰۵	۳۳
	Max	۱۴۹۹	۲۰/۶	۱۸۶۲۲	۵۰	۱۲۱۰	۷۶۰	۲۱۵۱	۴۴/۴	۱۳/۲	۴۵۹	۱۸	۳۵۹۵	۱۸۷	۱۹	۲/۴	۱۳۲	۸۲
	Mean	۱۳۲۴	۶/۹	۱۶۴۶۳	۴۰	۱۰۵۵	۲۴۹	۱۱۷۱	۱۱	۱۲/۶	۴۰۹	۱۷	۳۴۴۶	۱۵۷	۱۸	۲/۳	۱۱۴	۶۰
	St.Dev.	۱۶۹	۷/۸	۱۶۸۱	۶	۹۵	۲۷۶	۶۴۹	۱۷/۶	۰/۶	۵۸	۰/۵	۱۲۰	۲۵	۱/۲	۰/۱	۱۰	۲۰
۰/۱۲۵-۰/۰۶۳	Min	۸۹۰	۱/۴۰	۱۴۰۸۳	۳۲	۸۰۱	۳۷	۳۷۷	۰/۹۰	۹/۸۰	۲۸۱	۱۳	۳۳۱۱	۱۰۱	۱۶	۲	۸۶	۴۸
	Max	۱۰۶۶	۳۱/۴۰	۱۵۸۴۶	۴۷	۱۰۷۲	۵۷۲	۱۵۸۶	۲۶/۴۰	۱۱/۶۰	۳۷۸	۱۶	۳۶۶۴	۱۴۱	۱۷	۲/۲۰	۱۱۱	۷۸
	Mean	۹۸۳	۸/۷۰	۱۴۹۵۳	۳۹	۹۰۶	۱۷۶	۸۱۸	۶/۹۰	۱۰/۷۰	۳۳۰	۱۴	۳۴۷۸	۱۲۳	۱۷	۲/۱۰	۹۴	۶۴
	St.Dev.	۷۰	۱۲/۳۰	۷۶۱	۵	۹۴	۲۱۳	۴۶۰	۱۰/۴۰	۰/۶۰	۳۲	۱	۱۱۹	۱۷	۰/۴۰	۰/۱۰	۹	۱۰
<۰/۰۶۳	Min	۷۹۶	۱/۲۰	۱۳۲۸۹	۴۹	۸۹۰	۳۰	۳۶۹	۰/۹۰	۱۱	۲۵۶	۱۳	۳۷۴۲	۹۷	۱۸	۲/۲۰	۸۹	۷۴
	Max	۸۶۷	۱۲/۸۰	۱۴۱۷۳	۵۷	۱۰۹۱	۳۱۸	۱۰۴۳	۱/۵۰	۱۲/۵۰	۳۱۶	۱۵	۴۰۳۵	۱۱۸	۱۹	۲/۳۰	۱۰۹	۸۳
	Mean	۸۳۰	۳/۶۰	۱۳۷۵۷	۵۴	۹۸۰	۱۰۳	۶۳۷	۱/۲۰	۱۱/۷۰	۲۸۶	۱۴	۳۹۳۵	۱۰۸	۱۹	۲/۲۰	۹۶	۸۰
	St.Dev.	۳۳	۴/۶۰	۳۴۹	۳	۷۸	۱۱۴	۲۷۲	۰/۳۰	۰/۶۰	۲۳	۱	۱۰۷	۹	۰/۵۰	۰/۱۰	۷	۴
<۰/۱۵۰	Min	۹۱۸	۱/۳۲	۱۳۸۶۲	۳۸	۸۷۸	۴۳	۴۰۹	۰/۹۳	۱۱/۱۰	۲۸۰	۱۴	۳۵۳۲	۱۰۷	۱۶/۶۷	۲/۱۳	۹۳	۵۲
	Max	۱۱۴۴	۲۱/۶۰	۱۶۲۱۴	۵۱	۱۱۲۴	۵۵۰	۱۵۹۳	۲۴/۱۱	۱۲/۱۷	۳۸۱	۱۶	۳۷۳۸	۱۴۹	۱۸/۳۳	۲/۳۰	۱۱۷	۸۱
	Mean	۱۰۴۶	۶/۳۸	۱۵۰۵۸	۴۴	۹۸۰	۱۷۶	۸۷۵	۶/۳۵	۱۱/۶۷	۳۴۲	۱۵	۳۶۲۰	۱۲۹	۱۷/۸۹	۲/۱۹	۱۰۱	۶۸
	St.Dev.	۸۷	۸/۱۶	۹۱۷	۵	۸۸	۲۰۱	۴۵۸	۹/۴۰	۰/۳۹	۳۶	۱	۶۹	۱۶	۰/۶۲	۰/۰۶	۹	۱۱

درشت به ریزدانه با افزایش مقدار کانی‌های رسی و کاهش فلدسپار مقادیر عناصر یادشده کاهش می‌یابد (جدول ۲ و شکل ۴a). تمرکز زیاد این عناصر در جزء مش درشت‌دانه با وجود سنگ‌های آذرین اسیدی- حدواسط دارای بافت پورفیری مطابقت دارد؛ زیرا ترکیب این سنگ‌ها را پلاژیوکلازهای سدیم‌دار، آلکالی فلدسپار، هورنبلند و پیروکسن بلورهای درشت‌دانه تشکیل می‌دهند. میانگین مقادیر زیرکونیوم، تیتانیوم، کروم و نیکل در جزء مش کوچک‌تر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر بیشتر از جزء مش ۰/۴۲۵ تا ۲ میلی‌متر است (جدول ۲ و شکل ۴b)؛ زیرا زیرکن، روتیل و اسفن بیشتر در

مقدار کانی‌های رسی، کوارتز و فلدسپار در جزء مش‌های رسوب آبراهه‌ای تابع اندازه ذرات و شکل دانه‌هاست؛ به طوری که به سمت رسوبات دانه‌ریز، کانی‌های رسی افزایش و کوارتز و فلدسپار کاهش می‌یابند. به منظور بررسی اثر اندازه ذرات و کانی‌شناسی بر غلظت عناصر در محدوده کوه زر، جزء مش‌های ۰/۴۲۵ تا ۲ میلی‌متر و کوچک‌تر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر به ترتیب نماینده‌ای از رسوبات درشت و ریزدانه انتخاب شدند. میانگین مقادیر آلومینیوم، آهن، پتاسیم و سدیم در جزء مش ۰/۴۲۵ تا ۲ میلی‌متر بیشتر از جزء مش کوچک‌تر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر است؛ به عبارتی از جزء مش

می‌بایند. عناصر یادشده در شبکه بلوری کانی‌های رسی و یا اکسیدهای آهن وجود دارند و با جذب شدن به سطح آنها رسوب می‌کنند (Patino et al. 2003; Caspari 2006).

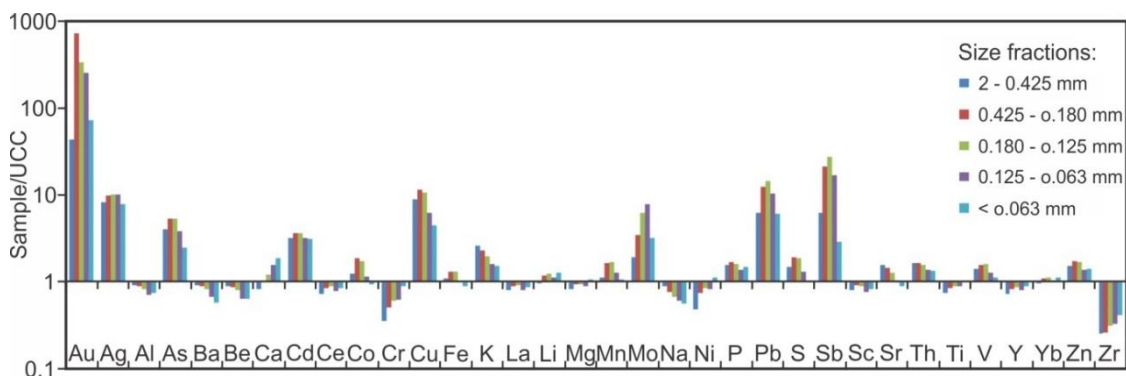
بخش ریزدانه رسوبات متمرکز می‌شوند (Deer et al. 1992; Maslennikova et al. 2012) و مقادیر کروم و نیکل در محیط‌های رسوبی از قطب ماسه‌ای به سمت رسی افزایش



شکل ۴- مقایسه غلظت برخی عناصر در جزء مش‌های درشت (۰/۴۲۵ تا ۲ میلی‌متر) و ریزدانه (کوچک‌تر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر) رسوبات آبراهه‌ای؛ a. غلظت Al, Fe, K, Na در جزء مش درشت بیشتر از ریز است، b. غلظت Ti, Zr, Cr, Ni در جزء مش ریز بیشتر از درشت است.

(طلا، نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن، سرب، آنتیموان و روی) درخور توجه است؛ چنین غنی‌شدگی‌ای با رخداد کانه‌زایی گرمابی مس، طلا و عناصر همراه در این محدوده مطابقت دارد (شکل ۵)؛ از این رو، اثر توزیع اندازه ذرات بر ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر در مورد عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن، سرب، آنتیموان و روی بررسی شد. غلظت عناصر یادشده در رسوبات آبراهه‌ای در ۶ ایستگاه نمونه‌برداری در نمودارهای ستونی شکل (۶) نشان داده شده است.

به منظور بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر، میانگین غلظت عناصر در هر جزء مش رسوبات آبراهه‌ای به ترکیب شیمیایی پوسته قاره‌ای بالایی نرمال‌سازی شد (Rudnick and Gao 2003). عناصر طلا، نقره، آرسنیک، کلسیم، کادمیوم، کبالت، مس، آهن، پتاسیم، لیتیوم، منگنز، مولیبدن، سرب، فسفر، گوگرد، آنتیموان، استرانسیوم، توریوم، وانادیوم و روی در محدوده کوه زر نسبت به ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی غنی‌شدگی نشان می‌دهند و در این میان، میزان غنی‌شدگی عناصر کانسار ساز



شکل ۵- الگوی ژئوشیمیایی نرمال‌سازی شده میانگین غلظت عناصر در هر جزء مش از رسوبات آبراهه‌ای کوه زر به ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی (Rudnick and Gao 2003)

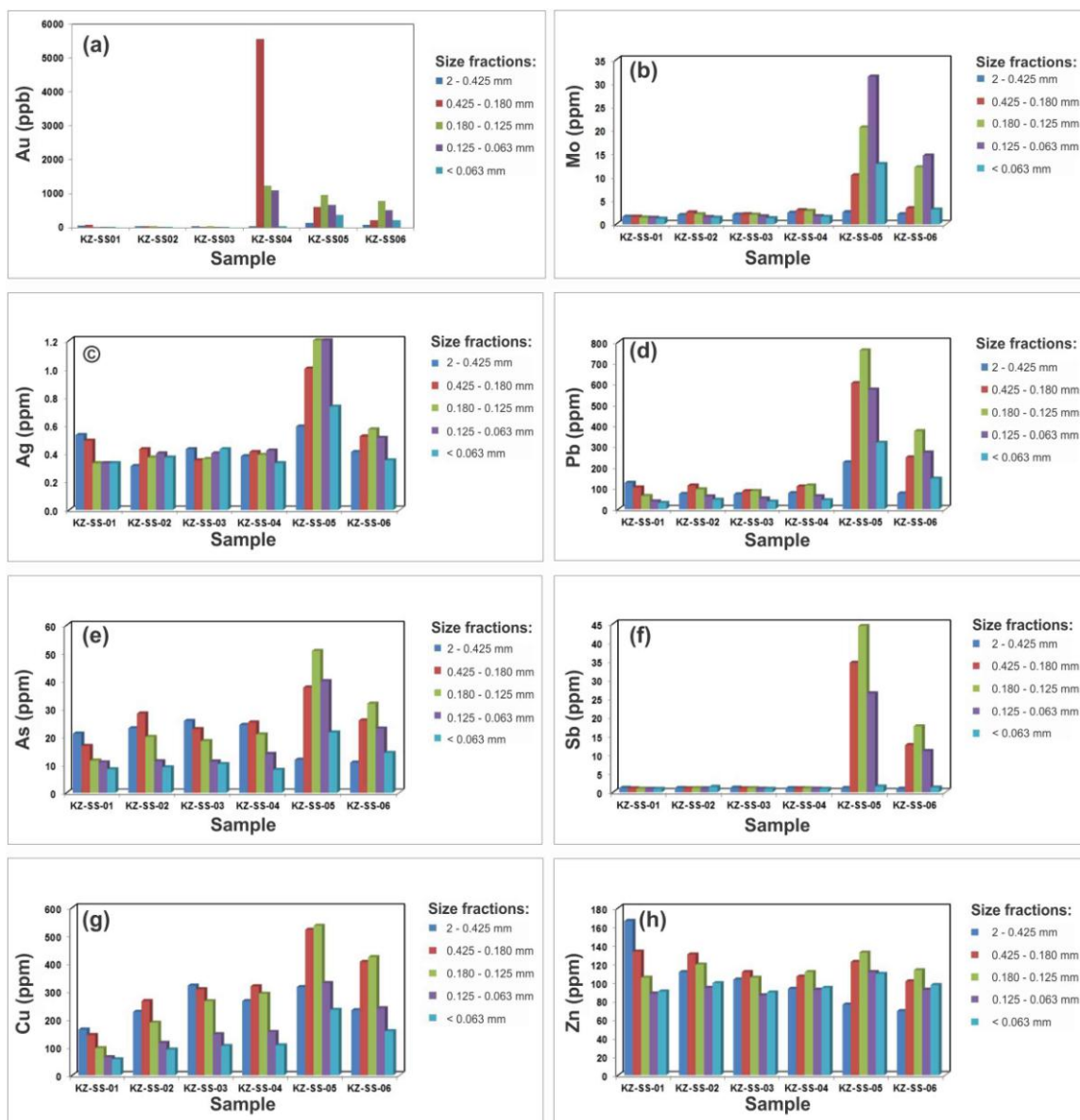
۰/۱۲۵، ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰ و ۰/۱۸۰ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر بیشتر از سایر جزء مش هاست (شکل ۶a)؛ از این رو جزء مش بهینه رسوب آبراهه‌ای برای اکتشاف طلا در محدوده کوه زر ۰/۶۳ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر توصیه می‌شود. مقدار طلا در جزء مش ۰/۱۸۰ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر از ایستگاه KZ-SS-04 به سمت KZ-SS-06 با افزایش فاصله از منشأ کمتر می‌شود؛ زیرا تعداد ذرات طلا با فاصله از منشأ بیشتر می‌شود ولی ابعاد آنها کاهش می‌یابد در حالی که مقدار طلا در جزء مش کوچک‌تر از ۰/۶۳ میلی‌متر به سمت پایین دست آبراهه زیاد می‌شود (شکل ۶a).

عناصر Ag, As, Cu, Mo, Pb و Sb غنی‌شدگی درخور توجهی در محدوده کوه زر دارند؛ شاخص‌های آماری (کمینه، بیشینه، میانگین و انحراف معیار) آنها در جدول (۲) ارائه شده است. بیشترین غلظت این عناصر در ایستگاه‌های نمونه‌برداری KZ-SS-05 و KZ-SS-06 اندازه‌گیری شد که قابلیت تحرک زیاد عناصر یادشده را نسبت به عنصر طلا نشان می‌دهد. ایستگاه KZ-SS-06 در فاصله حدود ۱۲۰۰ متری پایین دست مناطق کان‌زایی قرار دارد و جزء مش‌های مختلف این نمونه بیشترین غلظت عناصر یادشده را دارند. مقادیر این عناصر مانند طلا در جزء مش‌های ۰/۶۳ تا ۰/۱۲۵، ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰ و ۰/۱۸۰ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر بیشتر از سایر جزء مش هاست (شکل‌های ۶b-g)؛ از این رو غلظت عناصر یادشده در این جزء

طلا یکی از عناصر مهم در محدوده کوه زر است و غلظت کمینه، بیشینه و میانگین آن در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای به ترتیب ۱۲، ۵۵۶۶ و ۴۳۴ میلی‌گرم در تن است (جدول ۲). بیشترین مقدار طلا در ایستگاه‌های نمونه‌برداری KZ-SS-04، KZ-SS-05 و KZ-SS-06 اندازه‌گیری شد (شکل ۶a). این نمونه‌ها از مناطق پایین دست رگه‌های سیلیسی طلا دار و مناطق کان‌زایی برداشت شدند (شکل ۲). گفتنی است ایستگاه KZ-SS-03 در فاصله حدود ۳۰۰ متری پایین دست رگه‌های سیلیسی طلا دار برداشت شد ولی کمترین میزان طلا و عناصر همراه را داشت؛ در واقع طلا و عناصر همراه در این فاصله فرصت لازم برای آزاد شدن از خرده‌سنگ‌های میزبان و تمرکز در بخش ریزدانه (کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر) رسوب را نداشته‌اند اما غلظت طلا در ایستگاه‌های نمونه‌برداری KZ-SS-04، KZ-SS-05 و KZ-SS-06 بسیار درخور توجه است. ایستگاه KZ-SS-04 در فاصله حدود ۷۰۰ متری پایین دست رگه‌های سیلیسی طلا دار و مناطق کان‌زایی قرار دارد و بیشینه مقادیر طلا در جزء مش‌های مختلف این نمونه ثبت شد؛ در نتیجه فاصله بهینه برای تمرکز طلا در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر حدود ۷۰۰ متر از سنگ منشأ است که باید در طراحی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به این موضوع توجه شود. در ضمن، غلظت طلا در جزء مش‌های ۰/۶۳ تا

به منظور شناخت همبستگی میان عناصر مهم در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراه‌ای، جزء مش‌های ۰/۴۲۵ تا ۲، ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰ و کوچک‌تر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر به ترتیب نماینده‌ای از رسوبات دانه‌درشت، متوسط و ریز انتخاب شدند. مقادیر ضرایب همبستگی برای هر یک از این جزء مش‌ها به روش پیرسون و بر پایه لگاریتم داده‌های ژئوشیمیایی ۶ ایستگاه نمونه‌برداری محاسبه شد (جدول ۳).

مش‌ها ردیاب و معرف کانه‌زایی در محدوده کوه زر است. فاصله و جزء مش بهینه برای مجموعه این عناصر در رسوبات آبراه‌ای کوه زر به ترتیب حدود ۱۲۰۰ متر و ۰/۰۶۳ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر است. عنصر روی تغییراتی در جزء مش‌های رسوبات آبراه‌ای ایستگاه‌های مختلف نشان نمی‌دهد و در مقام ردیاب کانسارهای طلا و مس در محدوده کوه زر دارای اهمیت نیست (شکل ۶h).



شکل ۶- تغییرات غلظت عناصر در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراه‌ای در ۶ ایستگاه نمونه‌برداری در محدوده کوه زر: a. طلا،

b. مولیبدن، c. نقره، d. سرب، e. آرسنیک، f. آنتیموان، g. مس، h. روی

Ca	-۰/۹۳	-۰/۷۱	-۰/۸۸	۱										
Co	۰/۳۰	-۰/۳۰	۰/۰۴	-۰/۳۶	۱									
Cu	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۹۴	-۰/۹۲	۰/۳۰	۱								
Fe	۰/۸۹	۰/۴۵	۰/۶۹	-۰/۹۴	۰/۶۲	۰/۷۹	۱							
K	۰/۶۳	۰/۲۸	۰/۵۷	-۰/۷۳	۰/۸۰	۰/۶۸	۰/۸۷	۱						
Mo	۰/۷۶	۰/۹۴	۰/۹۵	-۰/۸۶	-۰/۱۳	۰/۸۷	۰/۶۵	۰/۳۸	۱					
Pb	۰/۷۴	۰/۹۶	۰/۹۶	-۰/۸۴	۰/۱۶	۰/۸۷	۰/۶۱	۰/۳۷	۰/۹۹	۱				
Sb	۰/۶۵	۰/۹۴	۰/۹۱	-۰/۷۶	-۰/۳۰	۰/۷۹	۰/۴۹	۰/۲۱	۰/۹۸	۰/۹۸	۱			
Sr	۰/۷۷	۰/۶۰	۰/۸۳	-۰/۹۲	۰/۵۵	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۶۱	۱		
V	۰/۹۰	۰/۴۵	۰/۶۸	-۰/۹۵	۰/۵۸	۰/۸۰	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۸۸	۱	
Zn	۰/۵۲	۰/۸۵	۰/۸۴	-۰/۶۰	-۰/۱۴	۰/۶۲	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۷۵	۰/۷۹	۰/۷۲	۰/۵۰	۰/۳۹	۱

جزء مش رسوب (۰/۰۶۳ میلی‌متر <)

Au	۱													
Ag	۰/۵۹	۱												
As	۰/۹۰	۰/۸۴	۱											
Ca	-۰/۹۵	-۰/۶۸	-۰/۸۹	۱										
Co	۰/۰۳	-۰/۵۳	-۰/۲۷	-۰/۱۰	۱									
Cu	۰/۸۶	۰/۷۴	۰/۹۰	-۰/۹۳	۰/۰۴	۱								
Fe	۰/۷۱	۰/۴۰	۰/۵۹	-۰/۸۵	۰/۵۵	۰/۸۰	۱							
K	۰/۶۷	۰/۳۵	۰/۵۱	-۰/۸۳	۰/۵۷	۰/۷۵	۰/۹۸	۱						
Mo	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۹۵	-۰/۹۵	-۰/۲۱	۰/۸۹	۰/۶۸	۰/۶۵	۱					
Pb	۰/۹۷	۰/۷۴	۰/۹۶	-۰/۹۷	-۰/۰۴	۰/۹۳	۰/۷۶	۰/۷۰	۰/۹۷	۱				
Sb	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۷۱	-۰/۷۱	۰/۱۸	۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۷۶	۱			
Sr	۰/۸۹	۰/۴۰	۰/۷۴	-۰/۹۲	۰/۴۲	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۸۷	۰/۶۶	۱		
V	۰/۸۲	۰/۳۴	۰/۶۵	-۰/۸۹	۰/۵۴	۰/۸۲	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۷۰	۰/۸۲	۰/۷۲	۰/۹۸	۱	
Zn	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۷۹	-۰/۸۹	۰/۰۸	۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۷۸	۱

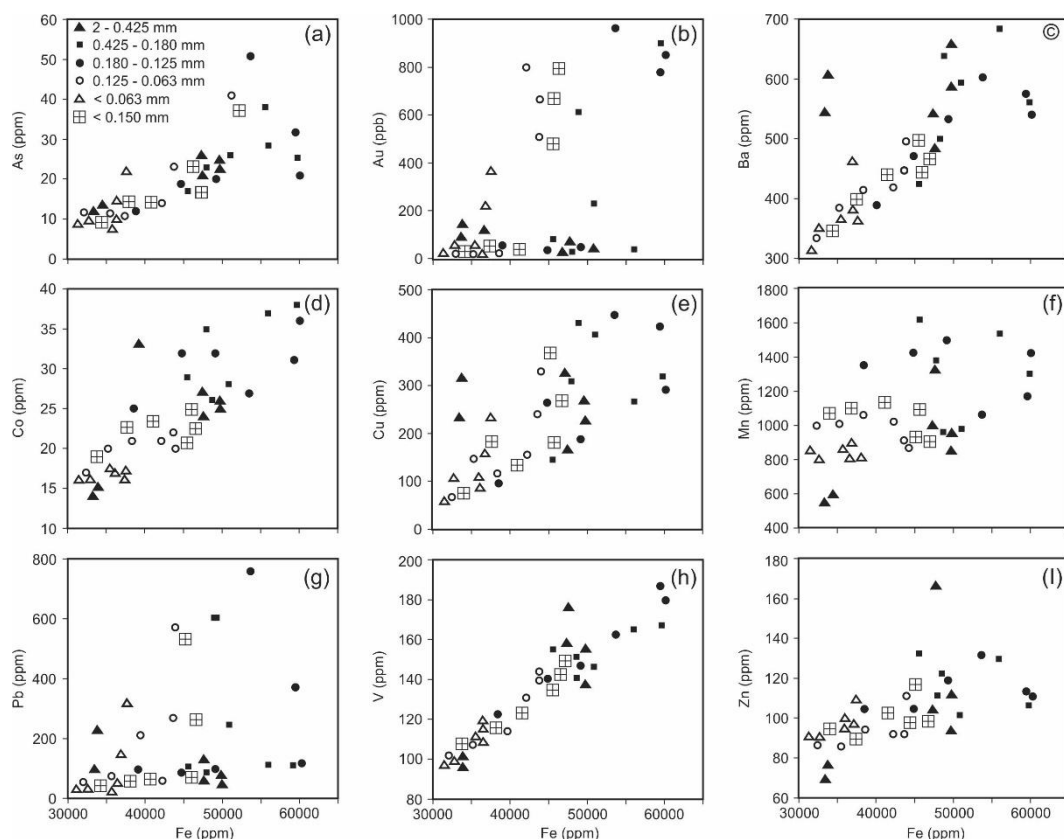
۰/۱۲۵، ۰/۱۲۵ تا ۰/۰۶۳ و کوچک‌تر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر) و همچنین جزء مش کوچک‌تر از ۰/۱۵۰ میلی‌متر رسوبات آبراهه‌ای آزمایش شد تا جزء مش پیشنهادی FOREGS برای به‌کارگیری در کاوش‌های ژئوشیمیایی محدوده کوه زر ارزیابی شود. به این منظور غلظت برخی عناصر مهم (از جمله آرسنیک، طلا، باریم، کبالت، مس، منگنز، سرب، وانادیم و روی) در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای کوه زر در برابر آهن ترسیم شد. عنصر آهن در محیط‌های ژئوشیمیایی بی‌تحرك است و تغییرات چندانی در غلظت آن در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای منطقه کوه زر مشاهده

آیا جزء مش کوچک‌تر از ۰/۱۵۰ میلی‌متر برای اکتشافات ژئوشیمیایی در محدوده کوه زر بهینه است؟

سازمان زمین‌شناسی اتحادیه اروپا (FOREGS) جزء مش کوچک‌تر از ۰/۱۵۰ میلی‌متر را مش استاندارد برای تجزیه‌های شیمیایی معرفی کرده است. این اندازه به قدر کافی ریز است که بخش‌های ماسه بسیار ریز، سیلت، رس و کلوئیدی را دربرگیرد و به قدر کافی درشت است که در بیشتر شرایط مواد ریز کافی را به دست دهد (Salminen et al. 1998; Guagliardi et al. 2013). در پژوهش حاضر، این فرضیه با برداشت و تجزیه ۵ جزء مش (۲ تا ۰/۴۲۵، ۰/۴۲۵ تا ۰/۱۸۰، ۰/۱۸۰ تا ۰/۱۸۰ تا

بنابراین جزء مش کوچک‌تر از ۰/۱۵۰ میلی‌متر برای اکتشافات ژئوشیمیایی در منطقه کوه زر و نواحی مشابه در نوار طرود-چاه شیرین بهینه نیست و جزء مش ۰/۶۳ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر برای این منطقه مناسب توصیه می‌شود.

نمی‌شود. نتایج عمده این مقایسه‌ها در نمودارهای شکل (۷) نشان داده شده‌اند؛ همان‌طور که در این نمودارها مشخص است جزء مش کوچک‌تر از ۰/۱۵۰ میلی‌متر تمام دامنه‌های غلظت عناصر (به‌ویژه غلظت‌های زیاد) را پوشش نمی‌دهد؛



شکل ۷- مقایسه غلظت برخی عناصر مهم در همه جزء مش‌ها و در بخش کوچک‌تر از ۰/۱۵۰ میلی‌متر در برابر عنصر آهن. بر پایه این نتایج جزء مش کوچک‌تر از ۰/۱۵۰ میلی‌متر معرف همه دامنه‌های غلظت در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر نیست.

آبراهه طراحی و برداشت شدند که برای تمرکز کانی‌های سنگین مناسب بودند. در هر ایستگاه، نمونه کانی سنگین به وزن ۲۵ کیلوگرم از رسوبات بخش فعال بستر آبراهه انتخاب شد. در مرحله بعد، نمونه‌ها به ترتیب عملیات سرند کردن با الک ۱۰ مش (۲ میلی‌متر) در محیط آب، گل‌شویی، لاک‌شویی، عبور از مایع سنگین و جدایش مغناطیسی را پشت سر گذاشتند و برای مطالعه کانی‌شناسی آماده شدند.

کانی‌های سنگین در محدوده کوه زر به دو دسته سنگ‌ساز و کانسارساز تقسیم می‌شوند: کانی‌های سنگ‌ساز شامل کوارتز، فلدسپار، آمفیبول، پیروکسن، اسفن، اپیدوت، کلریت،

کنسانتره کانی‌های سنگین

در اکتشافات ژئوشیمیایی، مطالعه کانی‌های سنگین به‌عنوان روش مکملی برای اعتبارسنجی یافته‌های ژئوشیمیایی استفاده می‌شود. غلظت‌های زیاد غیرعادی عناصر در کاوش‌های ژئوشیمیایی همواره بیان‌کننده کانه‌زایی نیست و عواملی از جمله فرایندهای سنگ‌ساز، آلودگی‌ها و ناهمگنی نمونه‌ها در مراحل آماده‌سازی و تجزیه سبب بروز غلظت‌های غیرعادی می‌شوند. در پژوهش حاضر، تعداد ۶ نمونه کانی سنگین برای ارزیابی درستی داده‌های ژئوشیمیایی برداشت و مطالعه شدند (شکل ۲). نمونه‌های کانی سنگین در مکان‌هایی از بستر

آبراهه‌های KZ-SS-5 دارای غلظت زیادی از طلا و عناصر همراه است. بیشترین تعداد ذرات طلا در نمونه‌های کانی سنگین KZ-HM-5، KZ-HM-4 و KZ-HM-6 به ترتیب ۱۱۲، ۲۶ و ۲۰ ذره است (جدول ۴). اندازه ذرات طلای آزاد در رسوبات آبراهه‌ای کوه زر از حدود ۰/۰۸۲ تا ۱ میلی‌متر متغیر است و در این میان، ذرات دارای اندازه‌های ۰/۰۸۲ تا ۰/۱۷۷ میلی‌متر غالب هستند. ذرات طلای مشاهده‌شده در محدوده کوه زر از نظر گردش‌گی زاویه‌دار (Angular)، نیمه‌زاویه‌دار (Sub-angular)، نیمه‌گردشده (Sub-rounded) و خوب‌گردشده (Well-rounded) و از نظر کرویت منشوری (Prismoidal)، نیمه‌منشوری (Sub-prismoidal)، صفحه‌ای (Discoidal) و نیمه‌صفحه‌ای (Sub-Discoidal) هستند؛ هرچند اغلب ذرات طلا زاویه‌دار، نیمه‌زاویه‌دار و از نظر کرویت منشوری تا نیمه‌منشوری هستند. انطباق بسیار خوبی میان نتایج مطالعه‌های کانی سنگین و ژئوشیمیایی مشاهده می‌شود و روش کانی سنگین همانند کاوش‌های ژئوشیمیایی جزء مش‌های ۰/۱۸۰ تا ۰/۴۲۵، ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰ و ۰/۰۶۳ تا ۰/۱۲۵ میلی‌متر را برای اکتشاف طلا و عناصر همراه در محدوده کوه زر پیشنهاد می‌کند.

زیرکن، آپاتیت، گارنت، آناتاز، روتیل، بیوتیت و کانی‌های دگرسان‌شده هستند. این مجموعه کانی‌شناسی و نیز داده‌های صحرایی بیان‌کننده رخنمون سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت بازالتی) و توده‌های نفوذی (گرانیت، گرانودیوریت و مونزودیوریت) در این محدوده هستند (شکل ۲). کانی‌های کانسار ساز شامل طلا، گالن، کالکوپیریت، پیریت، مگنتیت، اولیژیست، هماتیت، باریت، سینابر، استینیت، مالاکیت، آزوریت، بروکانتیت، کریزوکولا، فیروزه، سروزیت، اسمیت زونیت، ولفنیت، میمیت، وانادینیت، رنالگار و اورپیمنت هستند که رخداد کانه‌زایی اپی‌ترمال و یا اپی‌ترمال-پورفیری را نشان می‌دهند. در پژوهش‌های پیشین نیز رخداد این نوع کانه‌زایی‌ها در محدوده کوه زر- باغو اثبات شده است (Aghajani 1996; Ahmadi Shad 1998; Shakeri 2000; Moradi et al. 2017). گفتنی است کانی‌های کانسار ساز عموماً در نمونه‌های کانی سنگین KZ-HM-4، KZ-HM-5 و KZ-HM-6 مشاهده شدند؛ بر اساس نتایج ژئوشیمیایی نیز این نمونه‌ها مستعد هستند.

طلا از کانی‌های سنگین مهم در محدوده کوه زر است و تعداد ذرات آن از ۳ ذره در نمونه KZ-HM-1 تا ۱۱۲ ذره در نمونه KZ-HM-5 تغییر می‌کند. نمونه ژئوشیمی رسوب

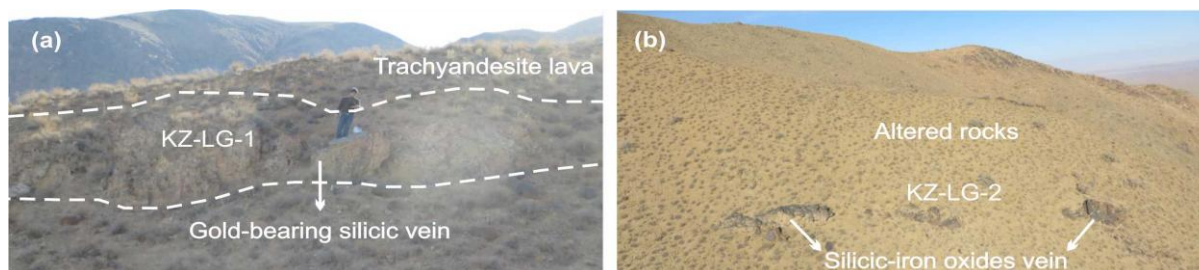
جدول ۴- تعداد و اندازه ذرات طلای قابل‌رؤیت در ۶ نمونه کانی سنگین از آبرفت‌های محدوده کوه زر

اندازه ذره طلا (میلی‌متر)	جزء مش‌های رسوب (میلی‌متر)	KZ-HM-1	KZ-HM-2	KZ-HM-3	KZ-HM-4	KZ-HM-5	KZ-HM-6
<۰/۰۸۲	<۰/۰۶۳	-	-	-	-	-	-
۰/۰۸۲-۰/۰۸۸	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	۱	۳	۱	۴	۷۰	۷
۰/۰۸۸-۰/۱۲۵	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	۱	۳	۱	۵	۱۷	۸
۰/۱۲۵-۰/۱۷۷	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	-	۲	۱	۱۰	۱۰	۴
۰/۱۷۷-۰/۲۵۰	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	۱	۱	۱	۴	۱۰	۱
۰/۲۵۰-۰/۳۵۰	-	-	-	-	۱	۴	-
۰/۳۵۰-۰/۵۰۰	-	-	-	-	۱	-	-
۰/۵۰۰-۰/۷۱۰	-	-	-	-	-	۱	-
۰/۷۱۰-۱	۰/۴۲۵-۲	-	-	-	۱	-	-
۱-۱/۴۱۰	-	-	-	-	-	-	-
۱/۴۱۰-۲	-	-	-	-	-	-	-

رگه‌های سیلیسی

تعدادی رگه سیلیسی در محدوده کوه زر و بالادست نمونه‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای KZ-SS-3 تا KZ-SS-6 برونزد دارد. این رگه‌ها سنگ‌های تراکی - آندزیتی و مونزودیوریتی منطقه را قطع می‌کنند و با امتداد N46E حدود ۷۵ درجه به سمت شمال غرب شیب دارند. طول رخنمون سطحی رگه‌ها از ۴۰ تا بیش از ۲۰۰ متر متغیر است و ضخامت متوسط آنها حدود ۸۰ سانتی‌متر برآورد می‌شود. رگه‌های سیلیسی از کوارتز تشکیل شده‌اند که به شکل توده‌ای، نواری و ژئود شکستگی سنگ میزبان را پر کرده است. برخی رگه‌های سیلیسی دارای آثار

پراکنده‌ای از پیریت، کالکوپیریت، مالاکیت و اکسیدهای آهن (اولیژیست و هماتیت) هستند و مقدار طلای آنها زیاد است و در برخی دیگر، درصد اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت، لیمونیت)، کلریت و اپیدوت درخور توجه است. به احتمال زیاد اکسیدهای آهن محصول دگرسانی کانی‌های سولفیدی از جمله پیریت هستند. نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی KZ-LG-1، KZ-LG-2 و KZ-LG-3 به روش شیاری از رگه‌های سیلیسی برداشت شدند (شکل‌های ۲ و ۸). نتایج تجزیه‌های شیمیایی مقادیر درخور توجه طلا (۸۳۴ میلی‌گرم‌درتن) را در نمونه KZ-LG-1 نشان می‌دهند (جدول ۵).



شکل ۸- a. نمایی از رگه‌های سیلیسی که دارای آثار پراکنده‌ای از پیریت و کالکوپیریت و غنی از طلا هستند (دید به سمت جنوب شرق).
b. رگه‌های سیلیسی که دارای مقادیر درخور توجهی از اکسیدهای آهن هستند (دید به سمت شمال غرب)

جدول ۵- غلظت عناصر اصلی و کمیاب (ppm) و طلا (ppb) در رگه‌های سیلیسی محدوده کوه زر. طلا به روش FAAS و سایر عناصر به روش ICP OES/MS تجزیه شده‌اند.

عنصر	X	Y	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca
KZ-LG-1	۲۸۶۳۹۸	۳۹۲۵۴۵۷	۸۳۴	۰/۶۹	۲۷۳۱۶	۱۱/۵	۷۴	۰/۷۵	۳۹۵۱
KZ-LG-2	۲۸۶۳۸۴	۳۹۲۵۴۸۳	۱۶۲	۰/۴	۴۷۳۴۷	۱۹/۳	۵۰	۱	۵۷۳۹
KZ-LG-3	۲۸۶۴۴۲	۳۹۲۵۶۲۵	۶۱	۰/۶۳	۷۱۹۱۵	۵۸/۸	۴۶۱	۱/۹	۴۸۳۷
عنصر	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Li
KZ-LG-1	۰/۲۲	۸	۵	۳۱	۴۷	۲۴۷۹۵	۲۲۹۱	۴	۱۹
KZ-LG-2	۰/۲۳	۱۵	۷	۴۶	۱۳	۳۳۷۴۷	۱۸۷۷	۷	۱۳
KZ-LG-3	۰/۲۸	۴۲	۴	۴۷	۲۶۵	۳۳۶۶۳	۲۲۵۳۱	۱۹	۱۹
عنصر	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb
KZ-LG-1	۵۸۹۷	۷۴۱	۲۱/۳	۲۳۹۴	۱۷	۲۵۶	۱۰۳	۵۳۰	۱/۴۱
KZ-LG-2	۱۱۷۶۶	۶۳۵	۳/۶۵	۴۲۳۴	۱۹	۲۹۶	۱۴۲	۸۳۶	۱
KZ-LG-3	۱۱۲۷۷	۳۵۷	۳/۴۳	۶۰۲۸	۱۴	۸۲۶	۱۸	۶۳۷۰	۱۸
عنصر	Sc	Sr	Th	Ti	V	Y	Yb	Zn	Zr
KZ-LG-1	۴/۸	۲۰۹	۴/۱	۹۶۸	۶۳	۴	۰/۸	۲۸	۲۷
KZ-LG-2	۷/۸	۵۵۷	۵/۸	۲۰۲۹	۸۹	۷	۱/۴	۵۵	۶۶
KZ-LG-3	۸/۴	۳۹۰	۱۵/۱	۲۱۸۸	۹۷	۱۲	۱/۹	۱۷	۶۸

نتیجه

موافقت و امکانات بازدید صحرایی را فراهم کرد سپاسگزاری می‌کند. از دست‌اندرکاران مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی دانشگاه اصفهان و داورانی که ارزیابی مقاله حاضر را قبول فرمودند تشکر می‌شود.

References

- Aghajani H. 1996. Geochemical exploration in the Kuh Zar gold deposit, Damghan (Baghu prospect area), M.Sc. Thesis, Tehran University, Tehran, Iran, 209 p. (in Persian with English abstract)
- Aghamohseni A. 2012. Geochemical exploration of the base metals in Takab area, M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 223 p. (in Persian with English abstract)
- Ahmadi Shad A. 1998. Mineralogy, alteration and lithochemical study in gold of the Baghu area (Kuh Zar, Damghan), M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 201 p. (in Persian with English abstract)
- Alavi M. Houshmand Zadeh A. Etminan H. and Haghypour A. 1976. Geological map of Torud (1:250,000 scale): Geological Survey of Iran, H5 sheet.
- Cannon W.F. Woodruff L.G. and Pimley S. 2004. Some statistical relationships between stream sediment and soil geochemistry in northwestern Wisconsin. Can stream sediment compositions be used to predict compositions of soils in glaciated terranes?. *Journal of Geochemical Exploration*, 81(1): 29-46.
- Caspari T. 2006. Geochemical investigation of soils developed in different lithologies in Bhutan, Eastern Himalayas. *Geoderma*, 136: 436-458.
- Cohen D.R. 1999. Comparison of vegetation and stream sediment geochemical patterns in northeastern New South Wales. *Journal of Geochemical Exploration*, 66(3): 469-489.
- Deer W.A. Howie R.A. and Zussman J. 1992. An introduction to the rock-forming minerals. 2nd edition, London, Longman Group UK Limited, 712 p.
- Eshraghi S.A. and Jalali A. 2006. Geological map of Moalleman (1:100,000 scale): Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 6960 sheet.
- Geological Survey of Iran 1995. Explanatory text of geochemical map of Moalleman (1:100,000 Scale): Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Map 6960, Report 9, V. 1, 33 p.

توزیع اندازه ذرات و توزیع ژئوشیمیایی عناصر در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراه‌ای بسیار متغیر است و توجه به آنها در اکتشافات ژئوشیمیایی اهمیت بسیاری دارد. حوضه‌های آبریز کوه زر فرصت بسیار خوبی برای بررسی اثر اندازه ذرات بر توزیع ژئوشیمیایی عناصر در رسوبات آبراه‌ای فراهم می‌کنند. مطالعه حاضر نشان می‌دهد میان غلظت عناصر و اندازه ذرات ارتباط معناداری وجود دارد. در تمام نمونه‌های رسوب آبراه‌ای ذرات دارای اندازه‌های ۰/۴۲۵ تا ۲ و ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین درصد وزنی رسوبات را تشکیل می‌دهند. غلظت آلومینیوم، آهن، پتاسیم و سدیم از جزء مش‌های درشت به ریز کاهش و مقادیر زیرکونیوم، تیتانیوم، کروم و نیکل افزایش می‌یابد. غلظت بیشتر عناصر در جزء مش‌های ۰/۰۶۳ تا ۰/۱۲۵، ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰ و ۰/۱۸۰ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر بیشتر از سایر جزء مش‌هاست و همبستگی ژئوشیمیایی خوبی میان عناصر در این جزء مش‌ها مشاهده می‌شود. جزء مش کوچک‌تر از ۰/۱۵۰ میلی‌متر معرف دامنه‌های مختلف غلظت عناصر در رسوبات آبراه‌ای کوه زر نیست. طلا و عناصر دیگر به ترتیب در فاصله‌های حدود ۷۰۰ و ۱۲۰۰ متری از کان‌سنگ‌های منشأ تمرکز یافته‌اند. روش کانی سنگین همانند ژئوشیمی جزء مش ۰/۴۲۵ تا ۰/۰۶۳ میلی‌متر را برای اکتشاف طلا و عناصر همراه در محدوده کوه زر پیشنهاد می‌کند. در نهایت، به‌کارگیری نتایج پژوهش حاضر در اکتشافات ژئوشیمیایی آتی به روش رسوب آبراه‌ای در محدوده کوه زر و مناطق دیگر در محور طرود- چاه شیرین بسیار ارزشمند هستند.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود که شرایط مناسبی برای انجام پژوهش آماده کردند و از شرکت طلای کوه زر که با انجام پژوهش در این محدوده

- grain size factor in distribution of trace elements in stream sediments of Tropical High Grade Terrains. A case study from Sri Lanka. *Chemie Erde Geochemistry*, 62(3): 243-253.
- Ranasinghe P.N. Fernando G.W.A.R. Dissanayake C.B. and Rupasinghe M.S. 2008. Stream sediment geochemistry of the upper Mahaweli River Basin of Sri Lanka- Geological and environmental significance. *Journal of Geochemical Exploration*, 99(1): 1-28.
- Ranasinghe P.N. Dissanayake C.B. and Rupasinghe M.S. 2009. Statistical evaluation of stream sediment geochemistry in interpreting the river catchment of high-grade metamorphic terrains. *Journal of Geochemical Exploration*, 103(2-3): 97-114.
- Rudnick R.L. and Gao S. 2003. Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry*, 3: 1-64.
- Salminen R. 1998. FOREGS geochemical mapping. Field manual. Espoo, Finland: Geologian tutkimuskeskus, Opas - Geological Survey of Finland, Guide 47, 36 p.
- Shakeri A. 2000. Geochemistry and genesis of Kuh Zar Au deposit (Baghu), M.Sc. Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran, 295 p. (in Persian with English abstract)
- Singh A.K. and Hasnain S.I. 1999. Grain size and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the Damodar River – a tributary of the lower Ganga. *India Environmental Geology*, 39(1): 90-98.
- Singh P. 2010. Geochemistry and provenance of stream sediments of the Ganga River and its major tributaries in the Himalayan region, *India Chemical Geology*, 269(3), 220-236.
- Stöcklin, J. 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52: 1229-1258.
- Stone M. and Droppo I.G. 1996. Distribution of lead, copper and zinc in size-fractionated river bed sediment in two agricultural catchments of southern Ontario, Canada. *Environmental Pollution*, 93(3): 353-362
- Taghipour B. and Mackizadeh M.A. 2014. The origin of the tourmaline and turquoise association hosted in hydrothermally altered rocks of the Kuh-Zar Cu-Au-Turquoise deposit, Damghan, Iran. *Geology and Palaontology*, Abh. Stuttgart, 272(1): 61-77.
- Whitney D.L. Evans B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185-187.
- Grunsky E.C. Drew L.J. David M. and Sutphin D.M. 2009. Process recognition in multi-element soil and stream-sediment geochemical data. *Applied Geochemistry*, 24(8): 1602-1616.
- Guagliardi I. Apollaro C. Scarciglia F. and Rosa D.R. 2013. Influence of particle-size on geochemical distribution of stream sediments in the Lese river catchment, southern Italy. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 17(1): 43-55.
- Horowitz A.J. and Elrick K.A. 1987. The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. *Applied Geochemistry*, 2(4): 437-451.
- Maslennikova S. Larina N. and Larin S., 2012. The effect of sediment grain size on heavy metal content. *Lakes, Reservoirs and Ponds*, 6(1): 43-54.
- Ministry of Industries and Mines 2011. Instructions for large scale geochemical exploration of stream sediments (1 :25, 000). Mining Technical Criteria Benchmarking Program, Publication No. 540, 34 p. (in Persian with English title)
- Moore J.N. and Brook E.J.C. 1989. Grain size partitioning of metals in contaminated, coarse-grained river floodplain sediment: Clark Fork River, Montana, USA. *Environmental Geology*, 14(2): 107-115.
- Moradi S. Hassannezhad A.A. and Ghorbani Gh. 2017. Investigation of mineralogy and geothermometry of quartz and tourmaline veins at the Baghu area, southeast of Damghan. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 24(4): 661-674. (in Persian with English abstract)
- Najjaran M. 2000. Geochemistry and genesis of Baghu turquoise deposit (Damghan), M.Sc. Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran, 150 p. (in Persian with English abstract)
- Patino L.C. Velbel M.A. Price J.R. and Wade J.A. 2003. Trace element mobility during spheroidal weathering of basalts and andesites in Hawaii and Guatemala. *Chemical Geology*, 202(3): 343-364.
- Pietron J. 2017. Sediment transport from source to sink in the Lake Baikal basin impacts of hydroclimatic change and mining, PhD Thesis, Stockholm University, Sweden, 38 p.
- Pratt C. and Lottermoser B.G., 2007. Mobilisation of traffic-derived trace metals from road corridors into coastal stream and estuarine sediments, Cairns, northern Australia. *Environmental Geology*, 52(3): 437-448.
- Ranasinghe P.N. Chandrajith R.L.R Dissanayake C.B. and Rupasinghe M.S. 2002. Importance of

