

## Evaluating spectral results of spectroradiometer in outdoor and laboratory for identification of alteration minerals, case study; Kerman porphyry copper deposits

Mahdieh Hosseinjanizadeh<sup>1\*</sup>, Farzin Naseri<sup>1</sup>, Mehdi Honarmand<sup>1</sup>

1-Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

**Keywords:** Analytical Spectral Device (ASD), FieldSpec, TerraSpec, Remote Sensing, Spectroradiometer, Spectroscopy

### 1-Introduction

Spectroscopy, which is an incisive non-destructive tool, is the study of light as a function of wavelength that has been emitted, reflected or scattered from a solid, liquid, or gas. This tool provides valuable knowledge about chemical forces between atoms, vibrational frequencies found in molecules and bulk solids and electronic effects (Clark, 1999; King et al., 2004). Field spectrometry is the quantitative measurement of radiance, irradiance, reflectance or transmission using field portable spectrometers and spectroradiometers that acquire a continuous spectrum (Danner et al., 2015; ASD, 2010). Numerous spectrometer and spectroradiometer models such as TerraSpec and FieldSpec have been designed to measure wavelengths over the Visible Near Infrared (VNIR) and Short Wave Infrared (SWIR) regions (Curtiss and Goetz, 2001). In this research the spectral measurements were conducted indoors and outdoors at the Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences of Graduate University of Advanced Technology, Kerman using FieldSpec3 spectroradiometer to identify alteration minerals. The attempt is to investigate the accuracy of the extracted spectra, optimize the noise and offer suitable suggestion for improvement the results through implementation of processing methods.

### 2-Methodology

A field reconnaissance was carried out at the Sarcheshmeh, Darrehzar and Sereidun areas and 28 samples were collected through a systematic sampling from representative hydrothermally altered rocks located by global position system (GPS). The samples were clustered, dried and prepared for different analysis including; spectral measurements, XRD analysis and microscopic studies. VNIR-SWIR spectroscopic measurements were conducted indoors and outdoors at the Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences of Graduate University of Advanced Technology using FieldSpec3 spectroradiometer and TerraSpec® spectrometer from Basque University, Spain. Then spectral processing, calibration, noise removal and mineral identification were carried out on the measured spectra. Finally, the FieldSpec3 spectral results were compared to the extracted spectra of TerraSpec® spectrometer. To ensure the accuracy of spectral measurements the results were verified by microscopic studies and X-ray diffraction (XRD) analysis. The flowchart of the study procedure is shown in Fig. 1.

### 3- Results and discussion

This research investigate the accuracy of the extracted spectra from FieldSpec3 spectroradiometer exist at the Graduate University of Advanced Technology, optimize the noise and offer a suitable suggestion for improvement the results through implantation of processing methods. Spectral measurements in different situations at open space and laboratory revealed that many factors including atmospheric and environmental conditions (velocity and direction of wind, cloud cover, temperature and humidity), distance of electronic gun

\*Corresponding author: mh.hosseinjani@gmail.com

DOI: 10.22055/aag.2020.24874.1829

Received 2018-02-03

Accepted 2020-09-07

from samples, time of measurement, and field of viewing angle can effect on the spectral response. In addition, other factors such as the spectralon panel, calibration of spectrometer and time of spectrometer warm up can influence the spectral measurements. While these factor consider in spectral measurement and calibration were done precisely noise will be reduce. Therefore measurement conditions and noise reduction play an important role in providing the real and appropriate spectrum of the object. Spectra measurements were collected following the recommendations of the spectroradiometer manufacture and calibration was done with white spectralon panel (ASD, 2010). The remaining smaller noises eliminated by smoothing methods through Spectral Analysis and Management System (SAMS) software (Rueda and Wrona, 2003).

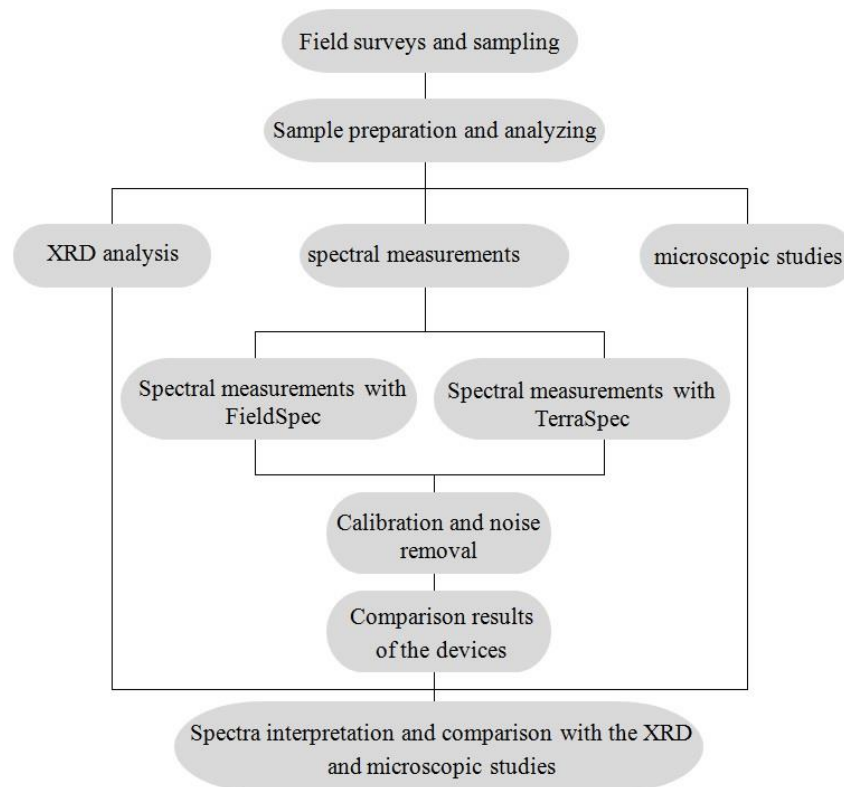


Fig. 1. Flowchart of the study procedure.

In order to mitigate the effects of mismatches between detectors, jump correction was applied at 1000 and 1830 nm. Finally, the spectra measurements by the FieldSpec3 spectroradiometer and TerraSpec® spectrometer were compared. For accurate comparison the spectral curves were investigated in normal and continuum removal state. Results showed that by applying spectral corrections, spectra noise was significantly reduced and the spectra of the both devices were similar. Mineral identification was implemented based on wavelength, intensity, and shape of the main absorption features in each spectrum by visual inspection and an automated computer programs such as PIMA View through comparing with reference spectra (Hosseinjanizadeh et al., 2014). The reference spectra of alteration minerals were extracted from existing spectral libraries such as USGS in SPECMIN program and the extracted spectra were used for creating a reference library of alteration minerals. Comparison of the results obtained from spectral analysis with petrological and mineralogical studies showed that there is general agreement between them.

#### 4-Conclusions

Spectral measurements in different situations revealed that many factors such as; the environmental conditions, the distance of electronic gun from samples, time of measurement, and field of view angle can effect on the spectral response. With implementation of this research an appropriate laboratory space were supplied for spectral measurement by FieldSpec3 spectroradiometer. In addition, the spectral analysis identified muscovite,

illite, halloysite, montmorillonite, dickite, kaolinite, chlorite, epidote, calcite, pyrophyllite, biotite, jarosite, goethite, and hematite.

### Acknowledgment

The authors would like to acknowledge Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran for their financial support during this study under contract number 7.3937.

### References

- ASD Inc., 2010. FieldSpect3 User Manual, ASD Document 600540.
- Clark, R.N., 1999. Chapter 1: Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In Manual of Remote Sensing, Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences, (A.N. Rencz, ed.) John Wiley and Sons, New York, pp. 3-58.
- Curtiss, B., Goetz, A.F.H., 2001. Field Spectrometry: Techniques and instrumentation. In Technical guide, 4th edition, ed. Hatchell DC, Analytical Spectral Devices Inc, Boulder CO, USA. Section 12-1 to 12-10.
- Danner, M., Locherer, M., Hank, T., Richter, K., 2015. Spectral Sampling with the ASD FieldSpec 4- Theory, Measurement, Problems, Interpretation. EnMAP Field Guides Technical Report, GFZ Data Services.
- Hosseinjanizadeh, M., Tangestani, M.H., Velasco, R.F., Yusta, I., 2014. Spectral characteristics of minerals in alteration zones associated with porphyry copper deposits in the middle part of Kerman copper belt, SE Iran. Ore Geology Reviews 62, 191-198.
- King P.L., Ramsey M., Swayze G.A., 2004. Infrared Spectroscopy in Geochemistry, exploration Geochemistry and Remote Sensing. Mineralogical Association of Canada, London, Ontario, Canada, Short Course Series 33, 284 p.
- Rueda, C.A., Wrona, A.F., 2003. Spectral Analysis and Management System (SAMS) Version 2.0, University of California.

### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Hosseinjanizadeh, M., Naseri, F., Honarmand, M., 2021. Evaluating spectral results of spectroradiometer in outdoor and laboratory for identification of alteration minerals, case study; Kerman porphyry copper deposits. Adv. Appl. Geol. 11(1), 183-197.

DOI: 10.22055/aag.2020.24874.1829

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_15847.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_15847.html?lang=en)

## بررسی نتایج طیفی دستگاه اسپکترومتر در فضای باز و آزمایشگاه به منظور شناسایی کانی‌های دگرسانی، مطالعه موردی؛ کانسارهای مس پورفیری کرمان

مهديه حسينجانی‌زاده\*

گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

فرزین ناصری

گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

مهدي هنرمند

گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۷

\*mh.hosseinjani@gmail.com

### چکیده

دستگاه‌های اسپکترومتر و اسپکترومتر دارای مدل‌های مختلفی مانند TerraSpec® و FieldSec هستند که برای اندازه‌گیری انرژی‌های تابشی در محدوده مرئی - فروسرخ نزدیک (VNIR) و فروسرخ موج کوتاه (SWIR) استفاده می‌شوند. در این تحقیق نتایج حاصل از دستگاه اسپکترومتر مدل فیلدسپک ۳ موجود در پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان در فضای باز و آزمایشگاه مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج طیفسنجی بدست آمده با طیف‌های استخراج شده از دستگاه اسپکترومتر مدل تراسپک دانشگاه باسک اسپانیا، مطالعات میکروسکوپی و تجزیه پراش پرتو ایکس (XRD) مورد مقایسه قرار گرفتند. سعی بر این است که صحت طیف‌های بدست آمده از دستگاه بررسی و با اعمال روش‌های مختلف کاهش نوفه (Noise)، نتایج بهینه و راهکار مناسب ارائه شود. اندازه‌گیری طیف در شرایط محیطی مختلف حاکی از آن است که متغیرهای مختلفی نظیر شرایط جوی (وزش باد، رطوبت، زاویه تابش خورشید، دما)، فاصله تنگ الکترونی با نمونه، زمان اندازه‌گیری و زاویه دید بر روی واکنش طیفی تأثیر می‌گذارند. با اجرای این تحقیق یک فضای آزمایشگاهی مناسب برای اندازه‌گیری دقیق طیفی با دستگاه فیلدسپک ۳ فراهم شد. به کمک بررسی‌های طیفی همچنین کانی‌های موسکویت، ایلیت، هالوسیت، مونتوریلونیت، دیکیت، کائولینیت، کلریت، اپیدوت، کلسیت، پیروفیلیت، بیوتیت، ژاروسیت، گوتیت و هماتیت شناسایی شدند.

**کلمات کلیدی:** دستگاه تجزیه طیفی (ASD)، اسپکترومتر، طیف‌نمایی، تراسپک، فیلدسپک

### مقدمه

و ثبت می‌شود. برای ثبت ویژگی‌های طیفی مواد مختلف و تهیه‌ی منحنی طیفی، دستگاه‌های اسپکترومتر مختلفی مانند تجزیه‌گر کانی فروسرخ قابل حمل<sup>۲</sup> (PIMA) و دستگاه تجزیه طیفی<sup>۳</sup> (ASD) وجود دارد (Hosseinjanizadeh, 2013).

اسپکترومترها برای جمع‌آوری طیف‌های صحرایی در هر محیطی ایده‌آل هستند و بوسیله بسیاری از محققین در زمینه‌های مختلف مانند تجزیه و تحلیل‌های کشاورزی، سنجش از دور هواپرد، تغییرات محیط زیست، پیکره‌های آبی و بسیاری از موارد دیگر استفاده شده‌اند. مجموعه طیف‌های بازتابی مواد صحرایی که معمولاً به عنوان مجموعه داده‌های واقعیت زمینی شناخته می‌شوند برای تفسیر مواد ناشناخته در سنجش از دور چندطیفی و ابرطیفی و اعتبارسنجی عملکرد سنجنده‌ها نیز مهم هستند. کاربرد ابزارهای ASD در

طیف‌نمایی<sup>۱</sup> در واقع مطالعه نور به عنوان تابعی از طول موج است که از مواد جامد، مایع و یا گاز پخش، بازتاب و یا گسیل یافته است (King et al., 2004). طیف‌نمایی یک روش غیر مخرب برای بررسی کانی‌ها بوده و اطلاعات با ارزشی در مورد نیروهای شیمیایی بین اتم‌ها و فرکانس ارتعاشی موجود در ملکول‌ها، جامدات و تأثیرات الکترونی فراهم می‌کند (Clark, 1999). در طیف‌نمایی زمینی به کمک یک دستگاه قابل حمل و متصل به یک نوت بوک از ارتفاعی کمتر از دو متر، بازتاب پدیده مورد نظر دریافت، اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. این دستگاه‌ها به طور معمول دارای بیش از صدها کانال طیفی با پهنای باند باریک هستند و ویژگی‌های طیفی مواد را در یک دامنه وسیع از طول موج (به عنوان مثال ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر) در آزمایشگاه و یا محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری می‌نمایند. حاصل اندازه‌گیری طیفی، مقادیر اندازه‌گیری شده بازتاب در هر طول موج است که به صورت منحنی بازتاب طیفی نمایان

2-Portable Infrared Mineral Analyser  
3-Analytical Spectral Device

1-Spectroscopy

است و در فعالیتهای اکتشافی کاربرد زیادی دارد. پروب تماسی یک منبع روشنایی قابل کنترلی را ایجاد می کند و می توان طیف نمونه را در تماس مستقیم و بدون نیاز به نور خورشید اندازه گیری کرد. توسط این ابزار خطاهای اندازه گیری همراه با نور هز به حداقل می رسد و امکان اندازه گیری توسط سطح پلاستیکی شفاف فراهم می شود (Pfitzer et al., 2011). در تعدادی از مدل ها مانند فیلدسپیک این ابزار وجود ندارد و می توان آن را به عنوان یک ابزار جانبی خریداری نمود. بر طبق اطلاعات نویسندگان در حال حاضر این دستگاه تنها در دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشگاه تهران و پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان موجود است. در مدل فیلدسپیک موجود در پژوهشگاه کرمان قبل از اجرای این تحقیق، دستگاه به فضای آزاد انتقال و در معرض نور خورشید اندازه گیری طیفی انجام می شد که این امر سبب ایجاد خطا در نتایج و آسیب رساندن به دستگاه می گردید. با توجه به کاربرد بالا و محدود بودن این دستگاه در ایران حفظ، نگهداری و اطلاع از درستی نتایج آن دوچندان احساس می شود.

هدف اصلی این تحقیق بررسی نتایج طیفی حاصل از دستگاه اسپکترومتر موجود در پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان در فضای باز و آزمایشگاه به منظور شناسایی کانی های دگرسانی و مقایسه نتایج با طیف های استخراج شده از دستگاه اسپکترومتر مدل تراسپیک دانشگاه باسک اسپانیا است. سعی بر این بوده تا با اعمال روش های مختلف اندازه گیری طیف و اجرای پردازش مناسب روی طیف های اندازه گیری شده، نوفه حاصل از دستگاه کاهش یافته و داده های دقیق تری بدست آید. همچنین به منظور افزایش طول عمر مفید دستگاه شرایط مورد نیاز مشخص شده تا بتوان فضای مناسبی برای آن فراهم آورد.

#### منطقه مورد مطالعه

با توجه به اینکه طیف نمایی برای شناسایی کانی های دگرسانی بسیار مناسب است به منظور بررسی عملکرد دستگاه و ارزیابی نتایج حاصله، از طیف نمونه های دگرسان شده استفاده شده است. نمونه برداری از مناطق دگرسانی مهم در معدن سرچشمه و همچنین ذخایر مس پورفیری دره زار و سریدون انجام شده است. این مناطق در بخش میانی کمربند دهج - ساردوئیه در غرب استان کرمان قرار گرفته اند و از نظر تقسیمات ساختاری ایران در کمربند آتشفشانی رسوبی ایران مرکزی و در زون ارومیه - دختر واقع شده اند (شکل ۱).

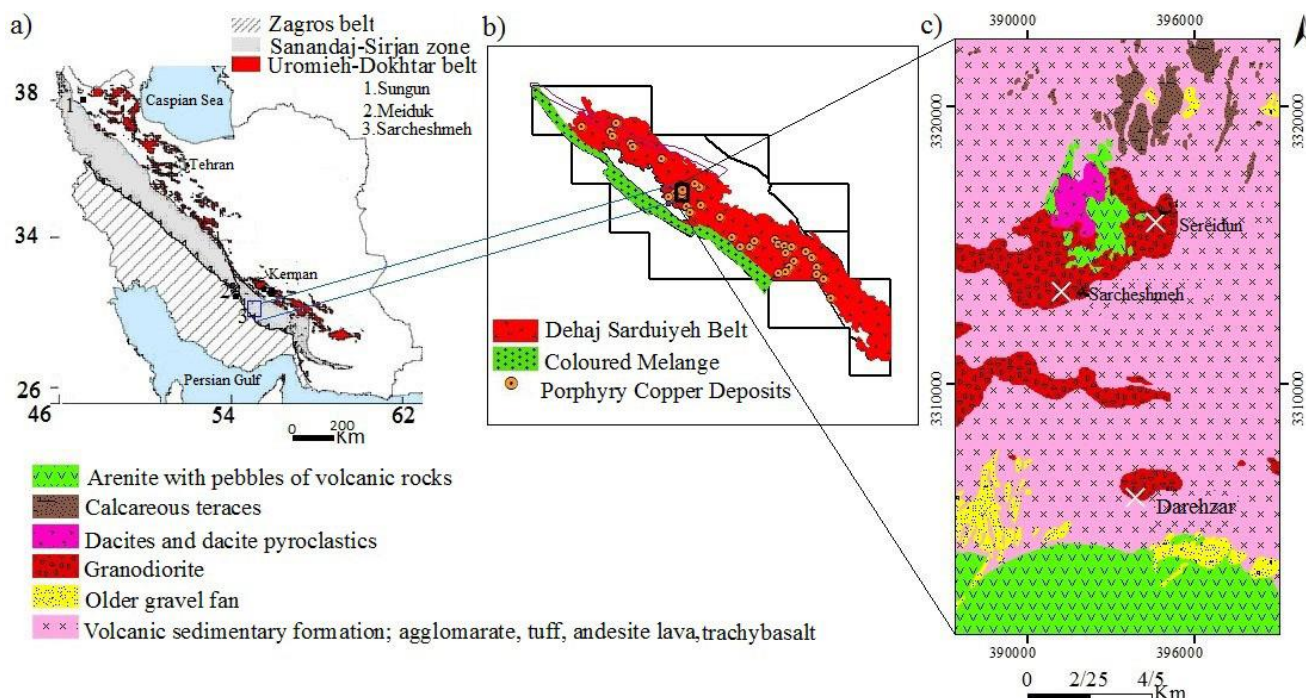
دگرسانی و کانه زایی در سرچشمه در استوک پورفیری متمرکز شده که دگرسانی گرمایی اولیه عمدتاً پتاسیک و پروپیلیتیک بوده و به دنبال آن دگرسانی فیلیک، فیلیک و آرژیلیک نیز رخ داده است (Waterman and Hamilton, 1975). دگرسانی و کانه زایی در دره زار در اطراف استوک پورفیری متمرکز شده و با جایگیری آن همزمان است. دگرسانی های گرمایی اولیه عمدتاً پتاسیک و پروپیلیتیک بوده که در مراحل بعدی دگرسانی های فیلیک، آرژیلیک و سیلیسی ایجاد شده اند (Derakhshani and Abdolzadeh, 2009a,b).

جمع آوری واقعیت های زمینی و ارزیابی تصاویر سنجش از دور مانند داده های آستر، لندست و هایپریون توسط مطالعات زیادی تأیید شده است (Crosta and Filho, 2003; King et al., 2004; Gabr et al., 2010; Mars and Rowan, 2010; Bishop et al., 2011; Hosseinjani and Tangestani, 2011; Crosta, 2012; Kruse, 2012; Carrino et al., 2015). علاوه بر این در مقیاس های جزئی تر با استفاده از طیف نمایی زمینی مرئی - فروسرخ می توان اطلاعات مفیدی درباره ویژگی های طیفی زون های دگرسانی، شناسایی کانی ها، گیاهان و بسیاری مواد زمینی دیگر بدست آورد (Clark et al., 2007; Gabr et al., 2010; Kerr et al., 2011; Rangzan et al., 2012; Hosseinjanizadeh, et al., 2014a). دستگاه های اسپکترومتر و اسپکترومتر قابل حمل توسط شرکت خصوصی دستگاه تجزیه طیفی که سال ۱۹۹۰ در کلرادو تاسیس شده، به جامعه محققین معرفی شده است. این دستگاه ها دارای مدل های مختلفی مانند تراسپیک و فیلدسپیک هستند که برای اندازه گیری های انرژی تابشی در محدوده مرئی - فروسرخ نزدیک (VNIR) و فروسرخ موج کوتاه (SWIR) استفاده می شوند. دستگاه های تراسپیک و فیلدسپیک طیف داده ها را با سرعت بالا (۱/۰ ثانیه بر طیف) اندازه گیری می کنند. بنابراین داده های زیادی را در مدت زمان کم می توان تهیه کرد. علاوه بر آن میزان خطا در آن بسیار پایین بوده و برای اندازه گیری های طیفی احتیاج به تخریب و آماده سازی نمونه نیست. با توجه به کاربرد طیف نمایی در بسیاری از رشته ها از جمله سنجش از دور، معدن، اکتشاف نفت، کشاورزی و محیط زیست اطمینان از صحت نتایج بدست آمده توسط این دستگاه ها می تواند بسیار موثر و راهگشای محققین مختلف باشد. محققین دانشگاهی، سازمانی، دولتی و آزمایشگاهی برای اندازه گیری های طیفی از مدل های مختلف این دستگاه استفاده می کنند (Clark, 1999; Calvin et al., 2005; Velasco et al., 2007; Rangzan et al., 2012, Hosseinjanizadeh et al., 2014a, b).

بر طبق مطالعات انجام شده توسط محققین مختلف برای جمع آوری صحیح طیف ها باید نور کافی به هر نمونه تابانده شود و فاکتورهای تاثیرگذار در طیف مانند شرایط جوی و محیطی، ارتفاع تفنگ الکترونی با نمونه، زمان اندازه گیری، زاویه دید، محیط مورد آزمایش، صفحه مرجع و کالیبراسیون طیف سنج مدنظر قرار گیرد (Milton and Goetz 1997; Salisbury, 1998; Curtiss and Goetz, 2001). در برخی موارد از لامپ های هالوژن برای ایجاد روشنایی استفاده می کنند. در مواردی هم می توان از نور خورشید بهره برد و در طی روز در بیرون از آزمایشگاه با شرایط جوی مناسب و بدون ابر طیف را اندازه گیری نمود. در اندازه گیری طیف نمونه مورد نظر برای کم کردن اثر مواد زمینه ای بهتر است نمونه در تماس نزدیک با دستگاه قرار گیرد و یا میدان دید لحظه ای مناسب برای آن مشخص گردد. برای این منظور در برخی از مدل های این دستگاه مانند تراسپیک یک ابزار اضافی دیگر به نام پروب تماسی تعبیه شده است. این ابزار برای اندازه گیری طیف کانی ها، سنگ ها، مواد دانه ای و پودری بسیار مناسب

گسترده در طول ذخیره توسعه یافته و دگرسانی‌های آرژلیک حدواسط و پیشرفته به صورت پراکنده در بین آن متمرکز شده‌اند (Barzegar, 2007).

دگرسانی‌های عمده در سریدون شامل دگرسانی‌های پروپیلیتیک (کلریت - اپیدوت)، فلیک (کوارتز - سریسیت)، آرژلیک حدواسط (کوارتز - رس)، آرژلیک پیشرفته (کوارتز - پیروفیلیت - آلونیت)، سیلیسی (کوارتز - پیروفیلیت) می‌باشند. دگرسانی فلیک به صورت



شکل ۱- (a) موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و کمرند ارومیه - دختر، (b) موقعیت ذخایر مس پورفیری در کمرند دهج - ساردوئیه، با تغییرات از Dimitrijevic (۱۹۷۳) و (c) نقشه زمین‌شناسی منطقه و موقعیت ذخایر مس پورفیری در آن، با تغییرات از Geological Survey of Iran (۱۹۷۳).

Fig. 1. (a) Geographical location of the study area in Iran, (b) Geographical locations of porphyry copper deposits in Dehaj - Sarduiyeh belt, modified after Dimitrijevic (1973), and (c) Geological map of the study area and locations of copper occurrences. Modified from Geological Survey of Iran (1973).

یک فرد انجام شده است، در اندازه‌گیری طیفی سعی بر این بود که شرایط یکسانی در زمان اندازه‌گیری‌ها رعایت شود. اندازه‌گیری طیف در شرایط محیطی مختلف در فضای باز و آزمایشگاهی نشان داد که فاکتورهای زیادی مانند ارتفاع تفنگ الکترونی با نمونه، زمان اندازه‌گیری، زاویه دید، صفحه مرجع، کالیبراسیون طیف‌سنج، عوامل جوی مانند وجود بخار آب و ابر روی پاسخ طیفی حاصله تاثیرگذار می‌باشند. گرم شدن دستگاه و منبع نورانی (در آزمایشگاه) قبل از شروع به اندازه‌گیری طیف‌ها نیز باعث کاهش نوفه می‌شود. به منظور ایجاد شرایط یکسان در کلیه اندازه‌گیری‌ها نمونه در تماس نزدیک با تفنگ الکترونی و زاویه قائم اندازه‌گیری شدند. برای اینکه دستگاه قابلیت انعطاف داشته باشد و بتوان تفنگ الکترونی را بسته به اندازه نمونه تنظیم و آنرا در تماس با نمونه قرار داد از یک پایه قابل انعطاف استفاده شد. بدین صورت که تفنگ الکترونی بر روی پایه تعبیه و با تنظیم سه پایه تا حد امکان نمونه به تفنگ الکترونی نزدیک شده است. در فضای باز، نمونه‌ها در زیر نور خورشید و در شرایطی که پوشش ابر و باد

## روش مطالعه

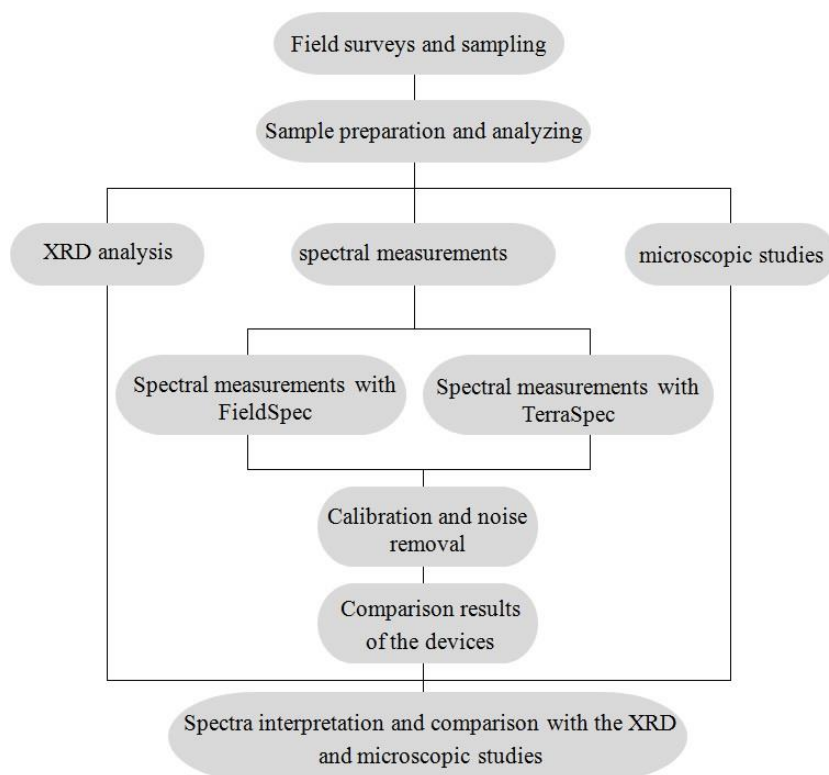
پس از بررسی‌های صحرایی، جمع‌آوری نمونه‌ها و انتقال آنها به آزمایشگاه، نمونه‌ها ابتدا دسته‌بندی و در معرض هوا قرار گرفته تا خشک شوند و در مرحله بعد اندازه‌گیری‌های طیفی روی آنها انجام گرفته است. در این تحقیق تعداد ۲۸ نمونه از سنگ‌های دگرسان و غیردگرسان ذخایر سرچشمه، دره‌زار و سریدون شامل دگرسانی‌های فلیک، آرژلیک متوسط و پیشرفته، پروپیلیتیک و زون اکسیدی انتخاب و طیف آنها توسط دستگاه اسپکترومتر فیلدسپیک پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان در فضای باز و آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند (شکل ۲). این دو دسته طیف اندازه‌گیری شده با یکدیگر مقایسه و مورد بررسی قرار گرفتند و مشخص شد که اندازه‌گیری طیفی در فضای آزمایشگاه دارای نوفه کمتری می‌باشد. برای اطمینان از صحت طیف‌های اندازه‌گیری شده، نتایج حاصل از طیف دانشگاه کرمان با نتایج دستگاه تراسپک دانشگاه باسک اسپانیا (EHU/UPV) در فضای آزمایشگاه نیز مقایسه شدند. با توجه به اینکه هر دو اندازه‌گیری‌ها توسط

دقیقه انجام شده که بلافاصله به طور خودکار توسط نرم افزار version 5.4.6 RS<sup>3</sup> موجود بر روی نوت‌بوک دستگاه میانگین‌گیری شده و به صورت منحنی طیفی بر روی صفحه نمایش نشان داده شده است. به طور معمول هر اندازه‌گیری طیفی بدون در نظر گرفتن زمان آماده سازی و کالیبراسیون دستگاه، کمتر از یک دقیقه طول می‌کشد. سپس طیف‌های اندازه‌گیری شده دستگاه پژوهشکده علوم محیطی با طیف‌های دانشگاه باسک اسپانیا مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای اطمینان از صحت بررسی‌های طیفی نتایج بدست آمده از آنالیزهای طیفی، با مطالعات میکروسکوپی و XRD (آنالیز XRD در دانشگاه باسک اسپانیا توسط پراش سنج مدل Philips PW1710 و شرکت کانساران بینالود با پراش سنج مدل Philips PW1800 انجام شده است) نیز بررسی و مقایسه شدند.

کم بود، اندازه‌گیری شدند. در حین اندازه‌گیری برخی نمونه‌ها، وزش باد باعث ایجاد نوفه بیشتر در طیف آنها می‌شد.

در شرایط آزمایشگاه بدلیل عدم وجود منبع نورانی در دستگاه فیلدسپیک از لامپ هالوژن استفاده شده است. زمانی که نور تابش شده با زاویه تقریباً ۴۵ و از پهلو و بالا به نمونه تابیده می‌شد، طیف مناسب‌تر و با نوفه کمتر بدست می‌آمد. در دستگاه تراسپیک اسپانیا همراه دستگاه پروب تماسی وجود دارد که در این صورت نیاز به منبع نور اضافی نیست. در اندازه‌گیری طیف با این دستگاه نیز نمونه در تماس نزدیک با تفنگ الکترونی اندازه‌گیری شد.

بازتاب‌های تابشی از نمونه‌ها در محدوده ۲۵۰-۳۵۰ نانومتر با فواصل طول موجی ده نانومتر توسط این دو دستگاه و با کمک نرم‌افزار RS<sup>3</sup> ثبت شدند. در اندازه‌گیری نمونه‌ها به کمک دستگاه به منظور کاهش اثر عوامل محیطی از هر نمونه ۳ اسکن پیاپی در کمتر از ۱



شکل ۲- فلوجارت روش کار.

Fig. 2. Flowchart of the study procedure.

دستگاه نیاز به کالیبراسیون بیشتری داشت و همچنین باید در ساعات مشخصی که زاویه خورشید مناسب و به طور مستقیم تابش می‌کرد اندازه‌گیری طیفی انجام می‌شد و در مواقعی که شرایط جوی مناسب نبود امکان اندازه‌گیری وجود نداشت. از طرفی حمل و قرارگیری دستگاه در معرض آفتاب در درازمدت ممکن است باعث آسیب رساندن به آن شود. برای ثابت کردن تفنگ الکترونی از یک سه پایه استفاده و با زاویه عمود بر سطح نمونه اندازه‌گیری‌های طیفی انجام شدند (شکل ۳).

## بحث و بررسی

### اندازه‌گیری طیف نمونه‌ها در فضای باز و آزمایشگاه

بدلیل اینکه دستگاه موجود در پژوهشکده علوم محیطی کرمان مکان ثابتی نداشت نمونه‌ها ابتدا در فضای باز و در برابر اشعه خورشید اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری در فضای باز با مشکلاتی همراه بود به طوری که در برخی موارد نور آفتاب مانع از دیدن صفحه مانیتور می‌شد و برای تهیه طیف نمونه‌ها، باید چندین ساعت مقابل اشعه آفتاب به اندازه‌گیری طیفی پرداخت. برای اندازه‌گیری طیفی در این شرایط



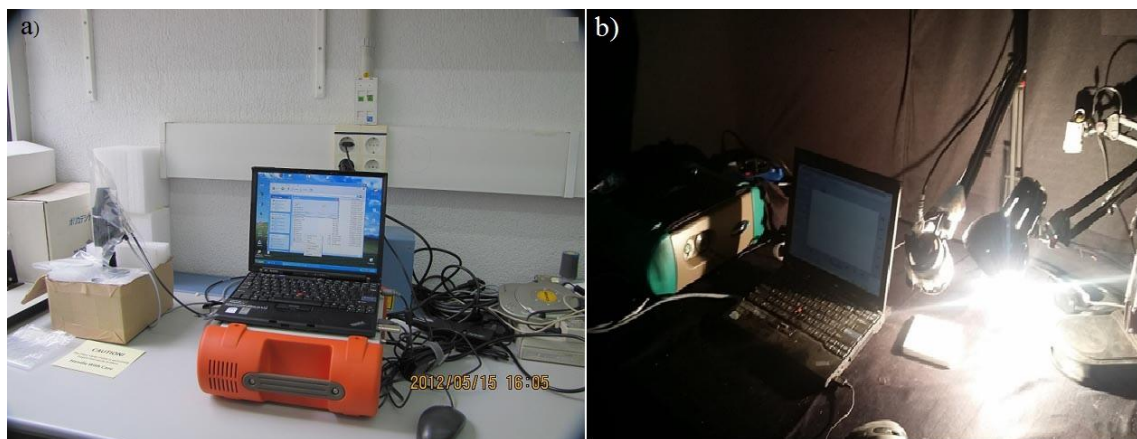
شکل ۳- دستگاه اسپکترورادایومتر فیلدسپیک ۳ و شرایط اندازه‌گیری نمونه در فضای باز.

Fig.3. FieldSpec3 spectroradiometer and spectral measurement conditions in outdoor.

حتی نیاز به نمونه‌برداری نمی‌باشد ولی زمانی که نمونه از منطقه مطالعاتی برداشت شده باشد، بهتر است دستگاه در شرایط آزمایشگاه قرار داده شود تا آسیب به آن کمتر شود و شرایط اندازه‌گیری طیفی بهینه‌تری فراهم شود. شرایطی که در این تحقیق بررسی شده مربوط به مواقعی است که نمونه از منطقه مطالعاتی برداشت شده که در این وضعیت بهتر است نمونه به جای اندازه‌گیری در فضای باز در آزمایشگاه اندازه‌گیری شود. برای بدست آوردن شرایط بهینه یک فضای آزمایشگاهی فراهم و سعی شد تا حد امکان مجهز گردد. برای این منظور تمام فضای اتاق شامل سقف و دیوارها با پارچه مشکی پوشانده شد تا بازتاب اضافی از مواد زمینه دریافت نشود و منبع نور اضافی حذف شود. سپس دستگاه را روی یک میز قرار داده و سطح میز نیز با پارچه مشکی پوشانده شد. برای اینکه دستگاه قابلیت انعطاف داشته باشد و بتوان تفنگ الکترونی را بسته به اندازه نمونه تنظیم کرد از یک پایه انعطاف‌پذیر استفاده شد. نمونه در زیر این پایه قرار داده می‌شود و می‌توان بسته به اندازه نمونه فاصله تفنگ الکترونی را با نمونه تنظیم کرد. برای ایجاد منبع نورانی نیز از لامپ هالوژن استفاده شد که برای این منظور با کمک یک چراغ مطالعه و اعمال تغییراتی در آن لامپ هالوژن روی آن تعبیه گردید. لامپ فلورسانس بدلیل اینکه در محدوده ۸۰۰-۳۵۰ نانومتر دارای واکنش طیفی است نباید استفاده شود. منبع نورانی از زوایای مختلف روی نمونه تابانده شد که بهترین آن زمانی بود که نور با زاویه ۴۵ درجه و در فاصله نزدیکی به دستگاه قرار داشت (شکل b۴). برای اندازه‌گیری طیف توسط دستگاه تراسپیک بدلیل دارا بودن پروب تماسی و منبع نورانی، نیاز به ایجاد شرایط خاص نیست و می‌توان طیف را به راحتی و در شرایط اتاق اندازه‌گیری نمود (شکل a۴).

اندازه‌گیری نمونه‌ها در فضای باز و در شرایط محیطی و جوی متفاوت نشان داد که موارد مختلفی مانند فاکتورهای جوی (سرعت و جهت باد، پوشش ابر، دما و رطوبت)، زاویه دید و تغییر در میدان دید لحظه‌ای، منبع نورانی و تغییر در زمان اندازه‌گیری نمونه، موقعیت و ارتفاع خورشید، کالیبراسیون دستگاه و صفحه مرجع روی طیف حاصله اثر می‌گذارند و سبب تغییر آن می‌شوند. به عنوان مثال زمانی که اندازه‌گیری طیفی در ساعات بعدازظهر انجام می‌شد و یا باد می‌وزید، دستگاه قادر به ثبت نمونه طیفی نبود. تغییر در میدان دید لحظه‌ای باعث می‌شود سطح مقطع متفاوتی از نمونه در معرض اندازه‌گیری طیفی قرار گیرد که در این تحقیق سعی شده با نزدیک کردن تفنگ الکترونی به نمونه تا حد امکان زاویه میدان دید لحظه‌ای کمتر شود. همچنین در صورت کالیبره نکردن دستگاه، گرم نشدن کافی و عدم استفاده از صفحه مرجع شکل سیمای طیفی مناسب نخواهد بود که در راهنمای استفاده از دستگاه نیز به این موارد اشاره شده است (ASD Inc, 2010). نمونه‌گیری در فضای باز از ساعت ۱۰ صبح تا حدود ۳ عصر (فصل تابستان) که زاویه خورشید مناسب و به طور مستقیم تابش می‌کند نتایج دقیق‌تری ارائه می‌نمود. لازم به ذکر است که دستگاه فیلدسپیک برای مطالعه و بررسی نمونه‌ها در صحرا بسیار مناسب بوده و یکی از سریعترین و دقیق‌ترین روش‌های اندازه‌گیری طیفی، استفاده از این دستگاه در فضای باز و محل نمونه‌برداری است. در این مورد می‌توان در منطقه مطالعاتی بدون نیاز به برداشت و تخریب نمونه اندازه‌گیری طیفی را انجام داد و با توجه به اینکه دستگاه در یک مکان ثابت قرار نمی‌گیرد و به محل نمونه‌برداری حمل می‌شود، مدت زمان قرارگیری آن در برابر آفتاب نیز کمتر است. بنابراین ایده‌آل‌ترین شرایط زمانی است که امکان استفاده دستگاه در منطقه مطالعاتی وجود داشته باشد که در این شرایط





شکل ۴- نحوه قرارگیری دستگاه در آزمایشگاه؛ (a) تراسپک و (b) فیلداسپک.  
Fig. 4. Conditions of devices in outdoor; (a) TerraSpec and (b) FieldSpec3.

### پردازش داده‌های طیفی

داده‌های بدست آمده از طیف‌نمایی صحرایی به طور معمول دارای نوفه می‌باشند. با روش‌های هموارسازی نوفه‌های کوچکتر را می‌توان حذف کرد ولی بخش‌های مشخصی از طیف که به عنوان جذب بخار آب شناخته شده‌اند دارای نوفه‌های زیادی می‌باشند که در بسیاری از موارد این محدوده‌ها را به طور کامل از داده‌ها حذف می‌کنند. اندازه‌گیری نمونه در فضای آزمایشگاه و کاهش بخار اتمسفر نیز سبب کاهش این نوفه‌ها می‌شوند. علاوه بر این اسپکترومترها خطاهای سیستماتیک نیز ایجاد می‌کنند که باید قبل از استفاده از این داده‌ها آنها را تصحیح کرد. بنابراین در پردازش طیف‌ها باید تصحیحات لازم را انجام داد. با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف مانند SAMS و اعمال محاسبات مناسب بر روی طیف‌های اندازه‌گیری شده عدم ناپیوستگی و بسیاری از خطاهای موجود را می‌توان از بین برد. در این تحقیق برای تصحیح این نوفه‌ها از نرم افزار SAMS استفاده شده است. طیف‌های اندازه‌گیری شده ابتدا با نرم افزار ViewSpec Pro V6.0 به فرمت متنی ASCII تبدیل شدند. سپس این طیف‌ها وارد محیط نرم‌افزار SAMS V3.2 شده و تصحیحات و محاسبات مختلف مانند جهش یا پرش و هموارسازی طیف روی آنها انجام و طیف‌های اندازه‌گیری شده به فرمت کتابخانه طیفی ENVI تبدیل شدند. برای حذف ناپیوستگی در طول موج ۱۰۰۰ و ۱۸۳۰ نانومتر تصحیح جهش روی داده‌ها اجرا شده است. بعد از اجرای تصحیح جهش فیلتر هموارسازی ساوزکی- گولای<sup>۵</sup> اعمال شد و برخی از نوفه‌های موجود در طیف از بین رفتند. در نهایت طیف‌های اندازه‌گیری شده توسط دو دستگاه با هم مقایسه و مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور مقایسه دقیق‌تر منحنی‌های طیفی در حالت معمولی<sup>۶</sup> و همچنین حذف پیوستار<sup>۷</sup> مورد بررسی قرار گرفتند.

پس از اندازه‌گیری‌های طیفی مشخص شد که طیف‌های تهیه شده با دستگاه فیلداسپک پژوهشکده علوم محیطی در مقایسه باطیف‌های دستگاه تراسپک دانشگاه باسک و طیف کتابخانه‌های استاندارد مانند USGS در بخش‌های مختلف بویژه محدوده تقریبی ۱۹۰۰-۱۸۰۰ و ۱۴۰۰-۱۳۰۰ نانومتر دارای نوفه می‌باشند (مستطیل‌های سبز رنگ نشان داده شده در شکل ۵). این نوفه‌ها احتمالاً بدلیل وجود بخارات آب موجود در اتمسفر و عدم وجود پروب تماسی ایجاد شده است. همچنین در طول موج ۱۰۰۰ و ۱۸۳۰ نانومتر عدم پیوستگی و یا جهش در طیف‌ها مشاهده می‌شود که به ترتیب بدلیل نوفه‌های حاصل از گذر از آشکارسازهای بخش مرئی - فروسرخ موج کوتاه با فروسرخ ۱ و فروسرخ ۱ با ۲ است. این دستگاه دارای سه آشکارساز مرئی- فروسرخ موج کوتاه (۳۵۰-۱۰۰۰ nm)، فروسرخ ۱ (۱۰۰۰-۱۸۳۰ nm) و فروسرخ ۲ (۱۸۳۰-۲۵۰۰ nm) می‌باشد (ASD Inc, 2010). در مجموع طیف‌های اندازه‌گیری شده در فضای باز و آزمایشگاه توسط دستگاه فیلداسپک مشابه بوده ولی نوفه حاصل از بخار آب و جهش یا پرش<sup>۴</sup> در طیف در محدوده‌های ۱۰۰۰ و ۱۸۳۰ نانومتر در فضای باز نسبت به فضای آزمایشگاه بیشتر قابل ملاحظه می‌باشد (شکل ۵).

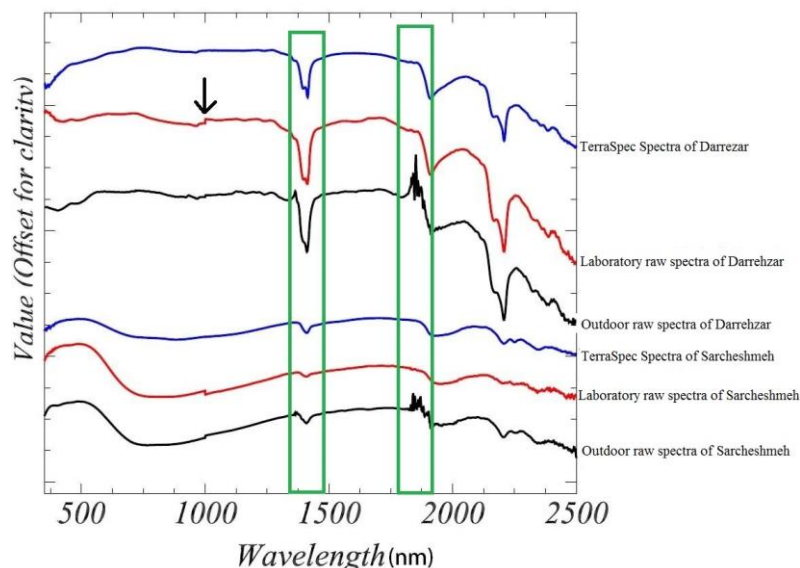
همچنین بررسی شرایط مختلف اندازه‌گیری طیف نشان داد زمانی که شرایط آزمایشگاه نامناسب بوده و در محیط آن دستگاه‌های دیگر مانند آب مقطرگیری استفاده شوند و بخار آب وجود داشته باشد، نوفه دستگاه بالاتر می‌رود و بویژه در محدوده جذب آب (۱۴۵۰ و ۱۸۵۰ نانومتر)، منحنی به صورت سینوسی در می‌آید (شکل ۶). بنابراین باید دقت کرد در زمان کار با دستگاه شرایط مناسب فراهم آید و اثر مواد زمینه و آلودگی‌های محیطی کم شود. کالیبره نمودن، گرم شدن دستگاه قبل از شروع اندازه‌گیری طیفی و منبع نور نقش مهمی در تهیه طیف مناسب و بهینه دارد. دستگاه باید حداقل نیم ساعت قبل از اندازه‌گیری طیف روشن گردد تا بتوان طیف‌های دقیق‌تر و با نوفه‌های کمتری را اندازه‌گیری کرد.

5-Savitzky-Golay

6-Normal

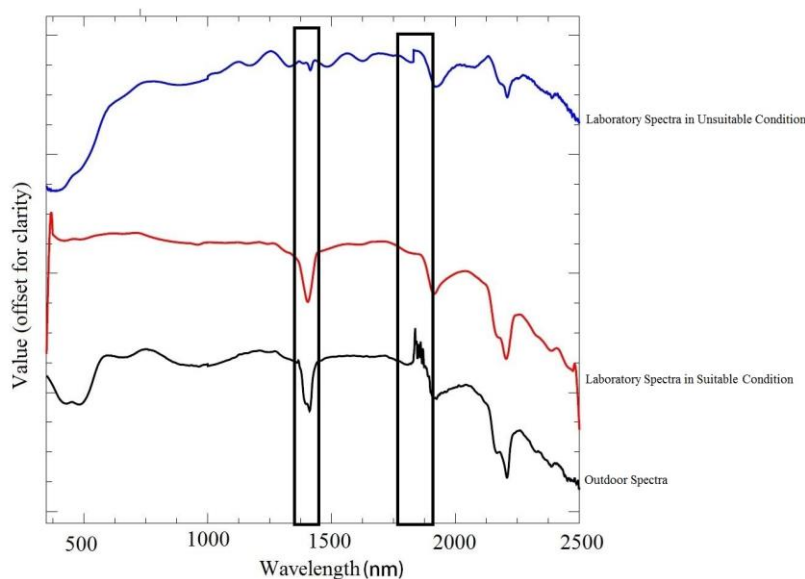
7-Continuum Removal

4-Jump



شکل ۵- طیف اندازه گیری شده با اسپکترو رادیومتر مدل فیلدسپک از دو نمونه سنگ از معادن سرچشمه و دره زار در فضای باز و آزمایشگاه و مقایسه آن با طیف تراسپک دانشگاه باسک. فلش سیاه بیانگر موقعیت ناپیوستگی ۱۰۰۰ nm است. مستطیل های سبز رنگ نشان محدوده تقریبی جذب آب می باشند.

Fig. 5. Measured spectra by FieldSpec<sup>3</sup> spectroradiometer from two samples of Darrehzar and Sarcheshmeh mines in outdoor and laboratory conditions and their comparison with TerraSpec. The black arrow and green rectangles indicate location of jump in 1000 nm and absorption features of water respectively.



شکل ۶- طیف یک نمونه اندازه گیری شده توسط دستگاه اسپکترو رادیومتر فیلدسپک ۳ در فضای باز و آزمایشگاه در شرایط مناسب و نامناسب (وجود بخار آب و اثر مواد زمینه). مستطیل روی شکل محدوده جذب آب را نشان می دهد.

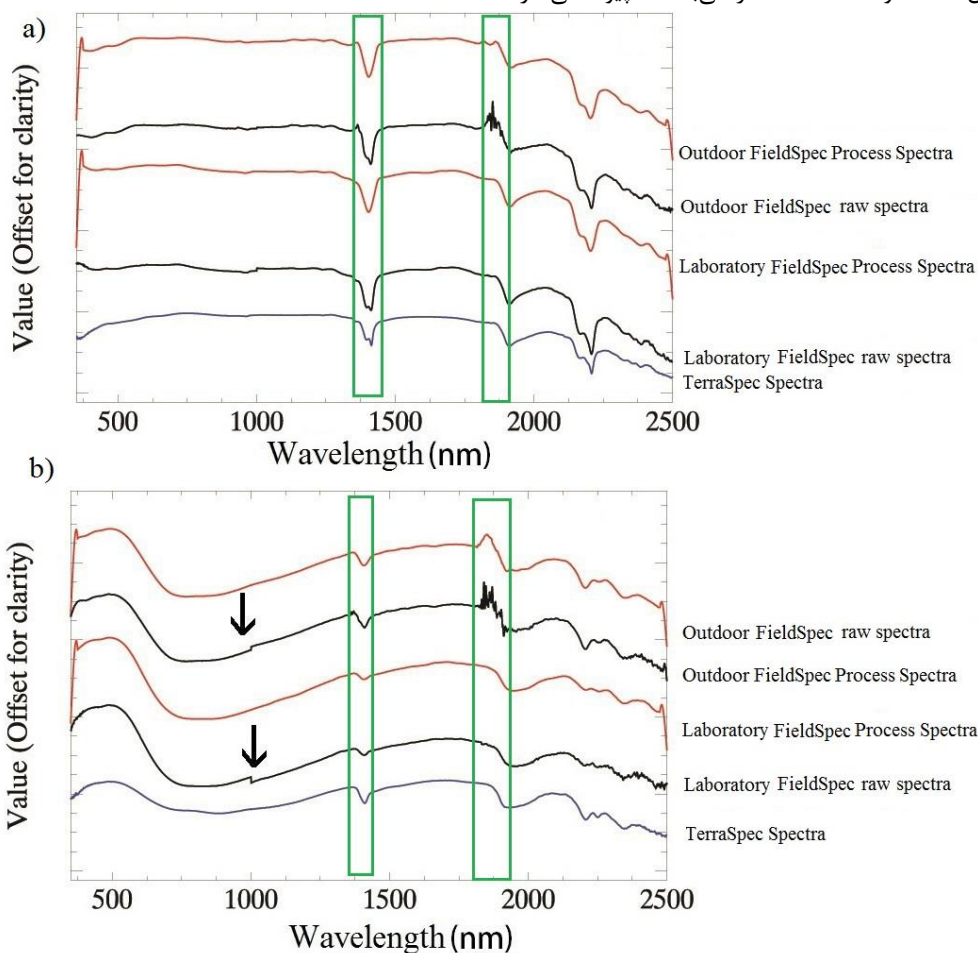
Fig. 6. Measured Spectra by FieldSpec<sup>3</sup> spectroradiometer in outdoor and laboratory with suitable and unsuitable (with water vapor and effect of background material) conditions. The black rectangles indicate absorption features of water.

شده در فضای باز و آزمایشگاهی قبل و بعد از انجام تصحیح برای دو نمونه نشان داده شده است. بررسی منحنی های طیفی حاصل از نمونه های مختلف در فضای باز و آزمایشگاه نشان داد که در شرایطی که

با اجرای این تصحیحات خطای موجود در طیف ها به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافت و طیف دستگاه پژوهشگر علوم محیطی مشابه نتایج طیفی دستگاه باسک اسپانیا گردید. در شکل ۷ طیف اندازه گیری

طیف بدلیل نوفه‌های حاصل از گذر از آشکارسازهای بخش مرئی-فروسرخ موج کوتاه با فروسرخ ۱ و فروسرخ ۱ با ۲ (طول موج ۱۰۰۰ و ۱۸۳۰ نانومتر) در هر دو شرایط بویژه در فضای باز مشاهده می‌شود که پس از اعمال پردازش‌های لازم روی طیف این نوفه‌ها حذف شدند.

دستگاه در فضای باز استفاده شود طیف‌های حاصله بدلیل تاثیرات جوی و وجود بخارات موجود در جو دارای نوفه بیشتری بویژه در محدوده جذب آب (۱۴۰۰ و ۱۹۰۰ نانومتر) هستند. در شرایط آزمایشگاه بدلیل کم بودن بخار آب و امکان کنترل بیشتر شرایط محیطی نتایج بهتری بدست آمد و در این حالت نوفه دستگاه کمتر می‌باشد. ناپیوستگی در



شکل ۷- طیف اندازه‌گیری شده با اسپکترورادیمتر مدل فیلدسپک از دو نمونه سنگ قبل و بعد از انجام تصحیح در فضای باز و فضای آزمایشگاه و مقایسه آن با طیف تراسپک؛ (a) نمونه دره‌زار و (b) نمونه سرچشمه.

Fig. 7. Measured Spectra by FieldSpec<sup>3</sup> spectroradiometer from two samples before and after corrections in outdoor and laboratory conditions and their comparison with TerraSpec; (a) Darrehzar sample and (b) Sarcheshmeh sample.

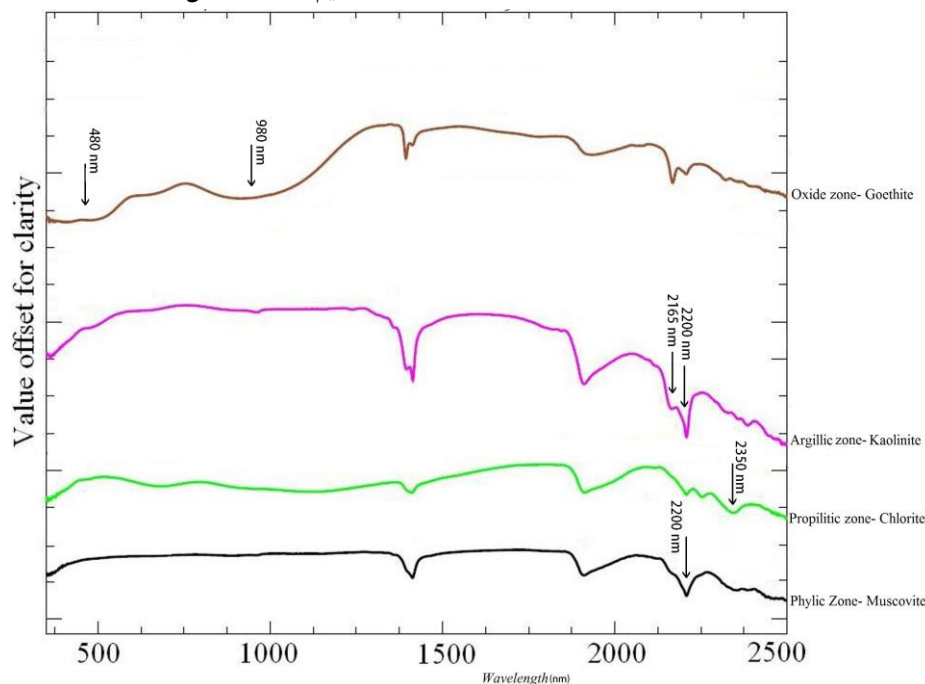
سازمان یافته ذخیره می‌شوند. شناسایی بصری طیف‌ها بویژه زمانی که تعداد طیف‌ها زیاد می‌باشد، بسیار مشکل است. در شناسایی به کمک نرم‌افزار، طیف ناشناخته با همه طیف‌های مرجع موجود در کتابخانه مقایسه و بیشترین شباهت آن با طیف‌های مرجع مشخص و در نهایت طیف مورد نظر شناسایی می‌شود. از برنامه‌های کامپیوتری می‌توان به منظور تسهیل و سرعت بخشیدن به روند شناسایی طیف، شناسایی کانی‌های تشکیل دهنده و همچنین افزایش دقت استفاده نمود. برای شناسایی طیف سنگ‌ها و نمونه‌های زمینی و مشخص کردن کانی‌های تشکیل دهنده آنها می‌توان از نرم افزارهایی مانند The Spectral Geologist (TSG), PIMA View, Specmin, و SpecWin استفاده کرد.

## تفسیر نتایج طیفی و مقایسه با مطالعات میکروسکوپی و

### XRD

تفسیر داده‌های طیفی یکی از بزرگترین چالش‌ها در مطالعات طیف‌نمایی محسوب می‌شود و سبب بسیاری از ابهامات در نتایج می‌گردد. بر اساس طول موج، شدت و شکل باندهای جذبی و مقایسه با کتابخانه‌های طیفی استاندارد می‌توان طیف را شناسایی نمود (Hosseinjanizadeh, 2013). به طور معمول شناسایی یک طیف ناشناخته به صورت بصری و یا به کمک نرم افزارهای خاص و استفاده از کتابخانه طیفی استاندارد انجام می‌گیرد. کتابخانه طیفی حاوی طیف‌های مرجع از مواد شناخته شده است که در یک پایگاه داده‌ای

به کمک بررسی‌های طیفی، کانی‌های موسکویت، ایلیت، هالوسیت، مونتموریلونیت، دیکیت، کائولینیت، کلریت، اپیدوت، کلسیت، ژاروسیت، گوتیت، هماتیت و فری‌هیدریت شناسایی شده‌اند. نتایج نشان داد که سریسیت و کلریت فراوانترین کانی دگرسانی در نمونه‌ها می‌باشند، اغلب نمونه‌ها دارای اختلاط هستند و بیش از یک نوع کانی تشکیل شده‌اند. بر اساس کانی‌های شناخته شده در هر طیف، نمونه‌ها به ۴ گروه اصلی که شامل زون‌های فیلیک، پروپیلیتیک، آرژیلیک، و زون اکسیدی هستند، تقسیم شده‌اند (شکل ۸).



شکل ۸- طیف زون‌های مختلف دگرسانی که توسط روش‌های طیف‌نمایی شناسایی شده‌اند.

Fig. 8. Spectral of alteration zones which were identified by spectroscopic studies

ترتیب در ۲۱۶۵، ۲۲۶۰ و ۲۳۵۰ نانومتر می‌باشند را تأیید کرده‌اند. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی وجود ذرات بسیار ریز رس، ژاروسیت و کلریت تشخیص داده شده است (شکل ۹، e و f). بر اساس نتایج XRD نمونه معدن سرچشمه (S8) به طور عمده از کوارتز، بیوتیت و مقدار کمی، کلریت و کالکوپیریت تشکیل شده است. مطالعات طیف‌نمایی نیز وجود بیوتیت، کلریت را در این نمونه تأیید کرده‌اند. همچنین بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی این نمونه از بیوتیت، کوارتز، کلریت، پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده است (شکل ۹، g و h). در مجموع در اندازه‌گیری طیفی کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی به خوبی شناسایی شده‌اند. در برخی از نمونه‌ها که مقادیر کانی‌های دگرسانی و اکسیدهای آهن موجود در آنها کم است، این کانی‌ها توسط XRD تشخیص داده نشده‌اند. در صورتیکه در مطالعات طیف‌نمایی بواسطه توانایی بالای این فناوری در شناسایی و تشخیص مقادیر اندک کانی‌های دگرسانی و اکسیدهای آهن، این کانی‌ها شناسایی شده‌اند.

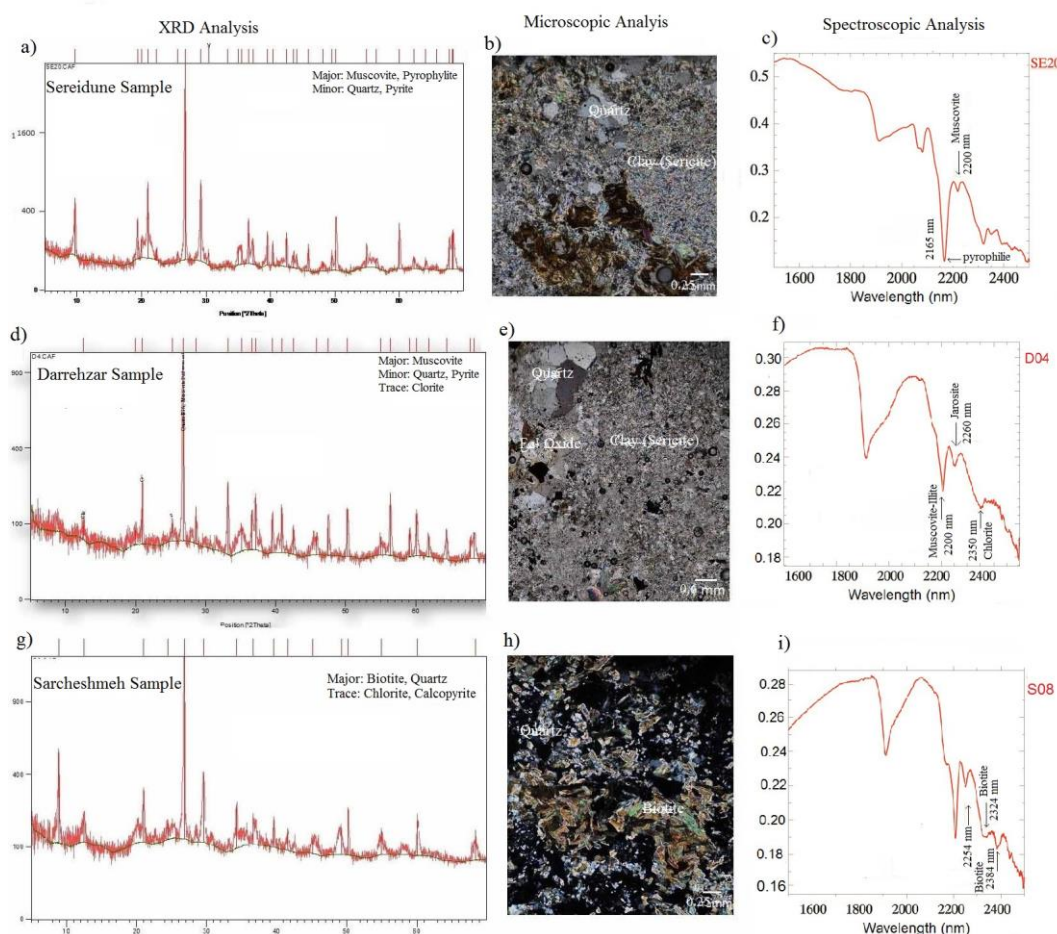
بهره برد. از بین نرم‌افزارهای مذکور PIMA View قابلیت بالایی در شناسایی طیف‌ها با سرعت بالا دارد و می‌توان به کمک منوی الگوریتم شناسایی کانی، کانی‌های موجود در طیف را شناسایی و مقدار اختلاط کانی‌های تشکیل دهنده را مشخص کرد. در این تحقیق برای شناسایی کانی‌ها، طیف‌ها بر اساس شکل باند و موقعیت باند جذبی به صورت بصری و همچنین به کمک نرم‌افزارهای SPECMIM و PIMA View مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

بررسی و مقایسه نتایج بدست آمده از مطالعات میکروسکوپی و XRD با نتایج طیفی نشان داد که توافق و سازگاری قابل قبولی بین این داده‌ها وجود دارد (جدول ۱، شکل ۹). با توجه به اینکه ذکر جزئیات تمام نمونه‌های برداشت شده زیاد است، برای روشن شدن مطلب سه نمونه که از مناطق سرچشمه، دره‌زار و سریدون برداشت شده‌اند با جزئیات بیشتر بحث می‌شوند (شکل ۹). در نمونه مربوط به ذخیره سریدون (SE20) بر اساس نتایج XRD موسکویت، پیروفیلیت و کوارتز تشخیص داده شده است. مطالعات طیف‌نمایی نیز وجود پیروفیلیت و موسکویت در نمونه و جذب اصلی ناشی از این کانی‌ها در ۲۱۶۵ و ۲۲۰۰ نانومتر را تأیید کرده‌اند. همچنین بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی وجود موسکویت و ذرات بسیار ریز رس تشخیص داده شده است (شکل ۹، a، b و c). در نمونه معدن دره‌زار (D4) بر اساس نتایج XRD موسکویت به عنوان کانی اصلی، پیریت، کوارتز کانی‌های فرعی و کلریت کانی کمیاب تشخیص داده شده‌اند. مطالعات طیف‌نمایی نیز وجود کائولینیت، ژاروسیت، کلریت و جذب اصلی این کانی‌ها که به

جدول ۱- نتایج حاصل از آنالیزهای XRD، طیف نمایی و مطالعات میکروسکوپی.

Table 1. Results of XRD, spectroscopic and microscopic studies.

Alteration Zone	Microscopic studies ( ) indicate low amount	XRD proportions $\geq 40\%$ in bold; 10–40% as plain text; ( ) indicates trace phase 10%.	Spectroscopic studies proportions $\geq 50\%$ in bold; 10–50% as plain text; ( ) indicates $bc < 10\%$ .
Phyllic	Quartz, chlorite, muscovite, altered plagioclase, pyrite, and (chalcopyrite)	<b>Muscovite, quartz, Illite,</b> pyrite, chalcopyrite, (kaolinite), and (chlorite)	<b>Muscovite, Illite,</b> kaolinite, and (chlorite)
Propylitic	Epidote, chlorite, quartz, plagioclase, clay minerals, pyrite, altered biotite, and carbonate	<b>Quartz, chlorite, epidote,</b> and plagioclase	<b>Chlorite,</b> (epidote), (biotite), (illite), and muscovite
Argillic	Quartz and clay minerals	<b>Quartz, kaolinite,</b> muscovite, and illite	<b>Kaolinite,</b> (illite), (muscovite), (halosite), and (dickite)
Oxide	Quartz, Oxide, clay minerals, and (pyrite)	<b>Quartz,</b> muscovite, pyrite, (kaolinite), (dickite), (jarosite), and (goethite)	<b>Jarosite, hematite, goethite,</b> pyrite, illite, dickite, and kaolinite



شکل ۹- مقایسه نتایج XRD، طیف نمایی و میکروسکوپی؛ (a, d, g) نمودار XRD تعدادی از نمونه‌ها، (b, e, h) تصویر میکروسکوپی تعدادی از نمونه‌ها در نور پلاریزه متقاطع و (c, f, i) نمودار طیفی تعدادی از نمونه‌ها.

Fig. 9. Comparison of the results of XRD, spectroscopic and microscopic analysis; (a, d, g) XRD analysis, (b, e, and h) Photomicrographs as of samples as observed in crossed polarized light, and (c, f, and i) spectral features of samples.

## نتیجه گیری

فیلدسپیک نشان داد که پس از اجرای تصحیحات بر روی نتایج فیلدسپیک نوفه حذف و دو دستگاه نتایج طیفی مشابهی ارائه می دهند. در مجموع می توان بیان کرد که با اعمال پردازش مناسب روی طیف های حاصله، طراحی و فراهم آوردن شرایط آزمایشگاهی بهینه، امکان کاهش و در مواردی حذف بسیاری از نوفه ها وجود دارد و می توان نتایج دقیق تری بدست آورد. بنابراین در اندازه گیری طیف ها باید دقت لازم را به عمل آورد و فاکتورهای موردنظر و عوامل محیطی که می توانند روی کیفیت طیف تاثیر بگذارند را به حداقل رسانند. تفسیر منحنی های طیفی و مقایسه با مطالعات میکروسکوپی و XRD نیز نشان داد که مطالعات طیف نمایی برای شناسایی کانی های شاخص دگرسانی مانند موسکویت، ایلیت، هالوسیت، مونتوریلونیت، دیکیت، کائولینیت، کلریت، اپیدوت، کلسیت، پیروفیلیت، بیوتیت، ژاروسیت، گوتیت و هماتیت بسیار مفید است.

## قدردانی

نویسندگان این مقاله از همکاری پژوهشکده علوم محیطی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان و مساعدت های مالی در طی انجام پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایند. این پژوهش حاصل انجام یک طرح پژوهشی با شماره قرارداد: ۷/۳۹۳۷ مورخ ۹۳/۸/۷ است.

در این تحقیق به منظور استخراج طیف مناسب و مشخص کردن شرایط بهینه اسپکترومتر موجود در پژوهشکده علوم محیطی پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان، دستگاه در فضای باز و آزمایشگاه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بر اساس اندازه گیری طیف در شرایط محیطی مختلف در فضای باز و آزمایشگاه مشخص شد که فاکتورهای زیادی روی پاسخ طیفی حاصله تاثیرگذار می باشند. برخی از فاکتورها به شرایط جوی و محیطی (مانند سرعت و جهت باد، پوشش ابر، دما و رطوبت)، فاصله تفنگ الکترونی با نمونه، زمان اندازه گیری، زاویه دید و محیط مورد آزمایش بستگی دارند. علاوه بر شرایط محیطی، عوامل دیگری مانند صفحه مرجع، واکنش طیف سنج و کالیبراسیون آن نیز اندازه گیری های طیفی را تحت تاثیر قرار می دهند. گرم شدن دستگاه و منبع نورانی (در آزمایشگاه) قبل از شروع به اندازه گیری طیف ها باعث کاهش نوفه در طیف می شود. بنابراین برای تهیه طیف واقعی و مناسب از جسم موردنظر نحوه اندازه گیری و فراهم آوردن شرایط بهینه نقش مهمی ایفا می کنند و باید به منظور استخراج طیف مناسب عوامل منفی شناسایی شوند تا بتوان تمهیدات و ملاحظات لازم برای رفع آنها را در نظر گرفت و طیف مناسب و صحیحی را استخراج نمود. بررسی و مقایسه طیف نمونه های دستگاه تراسپیک و

## منابع

- ASD Inc., 2010. FieldSpect3 User Manual, ASD Document 600540.
- Barzegar, H., 2007. Geology, petrology and geochemical characteristics of alteration zones within the Seridune prospect, Kerman, Iran. RWTH Aachen University, Germany, p.180.
- Bishop, C.A., Liu, J.G., Mason, P.J., 2011. Hyperspectral remote sensing for mineral exploration in Pulang, Yunnan Province, China. *International Journal of Remote Sensing* 32(9), 2409-2426.
- Calvin, W.M., Kratt, C., James, E.F., 2005. Infrared spectroscopy for drillhole lithology and mineralogy. In *proceedings of Thirtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, SGP-TR-176*.
- Carrino, T.A., Crósta, A.P., Toledo, C.L.B., Silva, A.M., 2015. Unveiling the hydrothermal mineralogy of the Chapi Chiara gold prospect, Peru, through reflectance spectroscopy, geochemical and petrographic data. *Ore Geology Reviews* 64, 299-315.
- Clark, R.N., 1999. Chapter 1: Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In *Manual of Remote Sensing, Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences*, (A.N. Rencz, ed.) John Wiley and Sons, New York, pp. 3- 58.
- Clark, R.N., Swayze, G.A., Wise, R., Livo, E., Hoefen, T., Kokaly, R., Sutley, S.J., 2007. USGS digital spectral library splib06a: U.S. Geological Survey, Digital Data Series 231.
- Crosta, A.P., 2010. Unveiling mineralogical information in ore deposits: The use of reflectance spectroscopy for mineral exploration in South-America. In *Art, Science and Applications of Reflectance Spectroscopy Symposium sponsored by ASD Inc. and IEEE GRSS, February 23-25, Boulder, Colorado*.
- Crosta, A.P., Filho, C.R., 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International Journal of Remote Sensing* 24 (21), 4233-4240.
- Curtiss, B., Goetz, A.F.H., 2001. Field Spectrometry: Techniques and instrumentation. In *Technical guide, 4<sup>th</sup> edition, Hatchell DC, Analytical Spectral Devices Inc, Boulder CO, USA. Section 12-1 to 12-10*.
- Derakhshani, R., Abdolzadeh, M., 2009a. Geochemistry, mineralization and alteration zones of Darrehzar porphyry copper deposits, Kerman, Iran. *Journal of Applied Science* 9(9), 1628-1646.

- Derakhshani, R., Abdolzadeh, M., 2009b. Mass change calculations during hydrothermal alteration/mineralization in the porphyry copper deposit of Darrehzar, Iran. *Research journal of environment Science* 3(1), 41-51.
- Dimitrijevic, M., 1973. *Geology of Kerman region*, Institute for geological and mining exploration and investigation Beograd Yugoslavia, Ministry of Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Gabr, S., Ghulam, A., Kusky, T., 2010. Detecting areas of high-potential gold mineralization using ASTER data. *Ore Geology Reviews* 38(1-2), 59-69.
- Geological Survey of Iran., 1973. *Geological map of Pariz, 1:100000 SHEET 7149* in Ministry of Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Hosseinjani, M., Tangestani, M.H., 2011. Mapping alteration minerals using sub-pixel unmixing of ASTER data in the Sarduiyeh area, SE Kerman, Iran. *International Journal of Digital Earth* 4(6), 487-504.
- Hosseinjanizadeh, M., 2013. Evaluating relationship between alteration and mineralization using spectral analysis and processing of multispectral and hyperspectral data, a case study from central part of Dehaj-Sarduiyeh belt, Kerman Province, SE Iran. Ph.D Thesis, University of Shiraz.
- Hosseinjanizadeh, M., Tangestani, M.H., Velasco, R.F., Yusta, I., 2014a. Spectral characteristics of minerals in alteration zones associated with porphyry copper deposits in the middle part of Kerman copper belt, SE Iran. *Ore Geology Reviews* 62, 191-198.
- Hosseinjanizadeh, M., Tangestani, M.H., Velasco, R.F., Yusta, I., 2014b. Sub-pixel mineral mapping of a porphyry copper belt using EO-1 Hyperion data. *Advances in Space Research* 53 (3), 440-451.
- Kerr, A., Rafuse, A., Sparkes, G., Hinchey, J., Sandeman, H., 2011. *Visible/Infrared Spectroscopy (VIRS) as a Research Tool in Economic Geology: Background and Pilot Studies from Newfoundland and Labrador*. Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources Geological Survey, Report 11-1, p. 145-166.
- King, P.L., Ramsey, M., Swayze, G.A., 2004. *Infrared Spectroscopy in Geochemistry, exploration Geochemistry and Remote Sensing*. Mineralogical Association of Canada, London, Ontario, Canada, Short Course Series Volume 33, 284 p.
- Kruse, F.A., 2012. Mapping surface mineralogy using imaging spectrometry. *Geomorphology* 137, 41-56.
- Mars, J.C., Rowan, L.C., 2010. Spectral assessment of new ASTER SWIR surface reflectance data products for spectroscopic mapping of rocks and minerals. *Remote Sensing of Environment* 114(9), 2011-2025.
- Milton, E.J., Goetz, A.H., 1997. Atmospheric influences on field spectrometry: Observed relationships between spectral irradiance and the variance in spectral reflectance. In *Seventh International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing (ISPRS)*, Courchevel, France, p. 109-114.
- Pfiftner, K., Bartolo, R., Carr, G., Esparon, A., Bollhöfer, A., 2011. Standards for reflectance spectral measurement of temporal vegetation plots. *Supervising Scientist Report 195*, Supervising Scientist, Darwin NT.
- Rangzan, K., Saki, A., Hassanshahi, H., Mojaradi, B., 2012. Spectral Analysis and classification of igneous and metamorphic rocks of Hamadan region for remote sensing studies; using laboratory reflectance spectra (350-2500 nm). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 20(1), 81-96.
- Salisbury, J.W., 1998. *Spectral Measurements Field Guide*, Earth Satellite Corporation, Defence Technology Information Centre Report No: ADA362372.
- Velasco, F., Alvaro, A., Suarez, S., Herrero, J. M., 2007. Mapping Fe-bearing hydrated sulphate minerals with short wave infrared (SWIR) spectral analysis at San Miguel mine environment, Iberian Pyrite Belt (SW Spain). *Journal of Geochemical Exploration* 87, 45-72.
- Waterman, G., Hamilton, N., 1975. The Sarcheshme Phorphyry copper deposit. *Economic Geology* 70, 568-576.

