



## Research Article

### Geology, remote sensing and geochemical studies of the potash deposit of Syahoo salt dome, north Bandar Abbass

Susan Ebrahimi\*<sup>1</sup> , Moin Alddin Yassari<sup>1</sup>

1-Department of Mineral Exploration, Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 07 May 2023 Accepted: 19 Nov 2023

#### Extended Abstract

**Introduction:** The Syahoo salt dome is in the north of Bandar-Abbas in Hormozgan province and structurally it is located in the geological zone of the Zagros. Potash prospecting studies in the south of Zagros have identified the Syahoo salt dome as an important area. Some of them, such as Angore, are currently active and there is still salt extraction in them, and in some, such as Pahl, Kouh Namac, and Siha, the salt extraction has been completed or is in the final stages. The purpose of this research is geological, remote sensing and geochemical studies on potash mineralization along with salt domes, which can be a potential for this type of deposits in southern Iran.

**Materials and methods:** In order to find the areas of accumulation of potash mineral in the area of Syahoo salt dome, satellite images of ASTER were first used to identify promising mineral areas for sampling and geochemical studies. Then, based on remote sensing studies, sampling was done for XRF, XRD chemical analysis.

**Results and discussion:** In order to identify rock units and areas containing salt and iron oxide, ester satellite images and methods of false band composition (RGB), spectral angle mapper (SAM) and principal component analysis (PCA) were used. The results of these studies show that all three methods have worked well in highlighting iron oxide areas and areas containing salt and show a good agreement with the geological map. Meanwhile, the spectral angle mapper method has better and higher accuracy. The results of remote sensing studies show that the west and east areas of the Syahoo salt dome contain a higher potential for potash mineralization. Also, in order to determine the potassium mineral, 17 samples were chemically analyzed by XRD method; the results show that potassium mineral was sylvite.

**Conclusion:** According to the geological, telemetry and geochemical studies, the grade of potash in many parts of the Syahoo salt dome, such as north, south and south-east are of less than one percent and have no exploratory value. Based on the studies, the proposed areas for exploration will be limited to the west (Target 1) and east (Target 2) of the salt dome. The highest grade of potash is related to the samples of the western part of the salt dome, on the other hand, secondary potash is also observed in this part; therefore, more attention has been paid to the potential of the western part. Based on the results of geochemical analysis, the western edge of the dome shows a high potash potential compared to other areas of the dome. The highest grade of potash in this section is 16.6%. The small outcrop of potash in this ridge and its low expansion in this section, with an average grade of 2.4%, makes this ridge the second priority, the highest grade of potash in this section is 10%.

**Keywords:** Potash, Remote Sensing, Syahoo, Salt Dome, Hormozgan.

**Citation:** Ebrahimi, S. and Yassari, M.A., 2024. Geology, remote sensing and geochemical studies of the potash deposit of Syahoo salt dome, *Res. Earth. Sci.* 15(1), (1-15) DOI: 10.48308/esrj.2023.103060

\* Corresponding author E-mail address: ebrahimisusan@shahroodut.ac.ir



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## مطالعات زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوشیمی ذخیره پتاس گنبد نمکی سیاهو، شمال بندرعباس

سوسن ابراهیمی\*<sup>1</sup>، معین‌الدین یساری<sup>1</sup>

۱- گروه اکتشاف معدن، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۱۷ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸

### چکیده گسترده

**مقدمه:** گنبد نمکی سیاهو در شمال بندرعباس و در استان هرمزگان قرار دارد و از نظر ساختاری در زون زمین‌شناسی زاگرس واقع شده است. بیش از ۲۰۰ ساختار گنبد نمکی در کوه‌های جنوب زاگرس وجود دارد که بعضی از آنها مانند انگوره در حال حاضر فعال بوده و همچنان خروج نمک در آنها وجود دارد و در بعضی مانند پهل، کوه نمک و سیاهو خروج نمک به اتمام رسیده و یا در مراحل انتهایی است. هدف از انجام این پژوهش، مطالعات زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوشیمیایی بر روی کانی‌سازی پتاس همراه با گنبد‌های نمکی است که می‌تواند پتانسیل بالقوه‌ای برای این نوع ذخایر در جنوب ایران باشد.

**مواد و روش‌ها:** جهت دستیابی به مناطق تجمع ماده معدنی پتاس در محدوده گنبد نمکی سیاهو ابتدا از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده استر جهت تعیین مناطق امیدبخش معدنی استفاده شد سپس جهت مطالعات ژئوشیمیایی و براساس مطالعات دورسنجی نمونه‌برداری جهت آنالیزهای شیمیایی XRF, XRD صورت گرفت.

**نتایج و بحث:** جهت شناسایی واحدهای سنگی و مناطق حاوی نمک و اکسید آهن از تصاویر ماهواره‌ای استر و روش‌های ترکیب بانندی کاذب (RGB)، نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده گردید. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد، هر سه روش در بارزسازی نواحی اکسید آهن و مناطق حاوی نمک به خوبی عمل کرده است و مطابقت خوبی با نقشه زمین‌شناسی نشان می‌دهند. در این میان روش نقشه‌برداری زاویه طیفی دقت بهتر و بالاتری داشته است. نتایج حاصل از مطالعات دورسنجی نشان می‌دهد، نواحی غرب و شرق گنبد نمکی سیاهو، حاوی پتانسیل بالاتری از کانی‌سازی پتاس است. همچنین جهت تعیین نوع کانی پتاس ۱۷ نمونه به روش XRD مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت، این نتایج نشان می‌دهد کانی‌سازی پتاس از نوع سیلوایت بوده است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به مطالعات زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوشیمی (مطابق با نتایج آنالیزها) و با توجه به نقشه زمین‌شناسی عیار پتاس در بسیاری از بخش‌های گنبد نمکی سیاهو از قبیل بخش‌های شمالی، جنوبی و جنوب‌شرقی با مقدار کمتر از یک درصد فاقد ارزش اکتشافی است. براساس مطالعات انجام شده، محدوده‌های پیشنهادی جهت اکتشاف محدود به غرب (تارگت ۱) و شرق (تارگت ۲) گنبد نمکی سیاهو خواهد شد. بالاترین عیار پتاس مربوط به نمونه‌های بخش غربی گنبد نمکی است، از طرفی پتاس ثانویه نیز در این بخش مشاهده می‌شود؛ لذا در این تحقیق به پتانسیل بخش غربی بیشتر توجه شده است. براساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی، یال غربی گنبد پتانسیل بالایی از پتاس را نسبت به سایر نواحی گنبد، نشان می‌دهد. بیشترین عیار پتاس در این بخش ۱۶/۶ درصد است که به صورت کانی سیلویت نمود پیدا کرده است. رخنمون کوچک پتاس در این یال و گسترش کم آن در این بخش، با عیار میانگین ۴/۲ درصد این یال را در اولویت دوم قرار می‌دهد، بیشترین عیار پتاس در این بخش ۱۰ درصد می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** پتاس، دورسنجی، سیاهو، گنبد نمکی، هرمزگان.

**استناد:** ابراهیمی، س. و یساری، م.، ۱۴۰۳. مطالعات زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوشیمی ذخیره پتاس گنبد نمکی سیاهو،

پژوهشهای دانش زمین: ۱۵(۱)، (۱-۱۵)، DOI: 10.48308/esrj.2023.103060

E-mail: ebrahimisusan@shahroodut.ac.ir

\* نویسنده مسئول:



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## مقدمه

واژه پتاس به سنگ‌ها، کانسنگ‌ها و محصولات تصفیه شده پتاسیم‌دار گفته می‌شود؛ که حاوی پتاسیم به شکل محلول در آب باشند (Warren, 1999). عنصر پتاسیم اغلب با عناصری مانند کلر، سولفات و نیترات همراه است و مهمترین کانی آن سیلوایت (KCl) می‌باشد که حاوی ۶۳٪ اکسید پتاسیم است. مهمترین کانسنگ طبیعی پتاس، ذخایر تبخیری موجود در سنگ‌های رسوبی هستند که همراه با لایه‌های کربنات، سولفات و نمک در حوضه‌های دریایی نهشته شده‌اند، پس از آن شورابه‌های هیدروترمال مرتبط با منابع آذرین منبع مهم پتاس می‌باشند (Talbot et al, 2009). سازمان زمین‌شناسی ایران طی سال‌های گذشته با هدف اکتشاف پتاس، نواحی مناسبی از این ماده معدنی را معرفی نموده است (Farhadi, 2004). در ابتدا نواحی بیابانی مرکز ایران به جهت کشف شورابه‌های پتاس مورد توجه قرار گرفت؛ سپس ذخایر دیابیری در شمال‌غرب و اخیراً در نواحی جنوب ایران (گنبد‌های نمکی هرمز) مورد توجه و اکتشاف قرار گرفته است. گنبد‌های نمکی بی‌شماری در جنوب ایران یافت شده است که بیشتر این ذخایر با کانی-سازی نمک همراه بوده و در تعداد کمی پتاس گزارش شده است (Talbot et al, 2009). گنبد نمکی سیاهو در ۹ کیلومتری شمال‌غرب سیاهو، ۷۰ کیلومتری شمال بندر-عباس و در استان هرمزگان قرار دارد و از نظر ساختاری در زون زمین‌شناسی زاگرس واقع شده است. مطالعات پی‌جویی پتاس در جنوب زاگرس، گنبد نمکی سیاهو را به‌عنوان منطقه با اهمیت معرفی کرده است (Borna, 2006)؛ لذا این منطقه جهت عملیات اکتشافات نیمه تفصیلی انتخاب گردید و توسط شرکت مهندسی مشاور کان ایران انجام یافته است. گنبد‌های نمکی در جنوب ایران صعود دیابیری قارچی شکل نمک و پتاس را نشان می‌دهند که در بیشتر این ذخایر، پتاس و نمک در نواحی سطحی و نیمه‌سطحی برونزد داشته‌اند؛ بنابراین استخراج این ماده آسان‌تر و مقرون به‌صرفه خواهد شد (Talbot et al, 2009). این پژوهش برای اولین بار به مطالعات جامع و هم‌زمان دورسنجی، زمین‌شناسی و ژئوشیمی در منطقه سیاهو پرداخته است. نتایج دورسنجی و ژئوشیمی، همچنین مشاهدات و برداشت‌های صحرایی حضور دیابیری قارچی شکل پتاس و نمک را در گنبد نمکی سیاهو تأیید می‌کند.

شناخت و توزیع ماده معدنی در این نوع ذخایر، می‌تواند پتانسیل بالقوه پتاس در جنوب ایران را نشان دهد و نقش مهمی در صادرات این محصول و تأمین نیاز داخلی ایفا نماید.

## منطقه مورد مطالعه

### زمین‌شناسی ناحیه‌ای

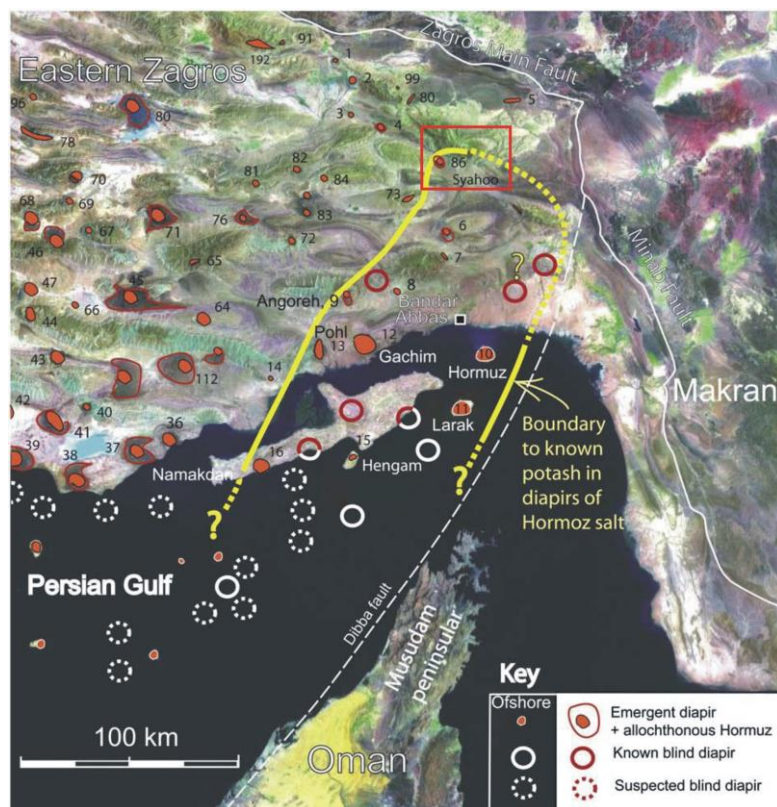
منطقه مورد مطالعه در زون زمین‌شناسی- ساختاری زاگرس واقع شده است. به‌طور کلی، قسمتی از ایران که در غرب راندگی زاگرس قرار دارد، زون زاگرس نامیده می‌شود؛ این زون از جنوب‌شرق به گسل میناب یا گسل زندان محدود می‌شود (شکل ۱) (Darvishzadeh, 1992) و با تلفیق دو دیدگاه زمین‌ریخت‌شناسی و ساختاری زاگرس به دو زیر پهنه زون راندگی‌ها و زاگرس چین‌خورده تقسیم-بندی می‌شود (Aghanabati, 2004). زیر پهنه راندگی‌ها با پهنای ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر، به صورت نواری، بلندترین قسمت کوه‌های زاگرس را تشکیل می‌دهد؛ که به آن زاگرس مرتفع نیز اطلاق می‌شود. زیر پهنه زاگرس چین‌خورده (زاگرس بیرونی) با پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر، گودال حاشیه‌ای و کراتونی سپر عربستان است؛ که در مرز مزوزوئیک و سنوزوئیک در حال نشست پیوسته بوده و سکانس‌های ستبر رسوبی در آن انباشته شده است (Aghanabati, 2004). در گستره زاگرس چین‌خورده، سنگ‌های پرکامبرین پسین تا تریاس میانی با رخساره‌های گندوانایی (قابل مقایسه با عربستان) مشابه با سایر نواحی ایران مرکزی است، ولی توالی‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک این زون با رسوبات هم‌زمان دیگر نواحی ایران، تفاوت‌های سنگی و زیستی متفاوتی دارند که بیشتر معرف رسوبات تتیس جوان هستند. رسوبات روی این پی‌سنگ پرکامبرین، با مجموعه‌ای از سنگ نمک، انیدریت، سنگ آهک، دولومیت و سنگ‌های آذرین (مجموعه هرمز) آغاز می‌شود؛ که دامنه سنی آن از پرکامبرین پسین تا کامبرین میانی است و بخشی از آن به صورت گنبد نمکی (بیش از ۲۰۰ گنبد)، از زمان ژوراسیک به بعد به سطح زمین رسیده‌اند (Aghanabati, 2004).

### جایگاه گنبد نمکی سیاهو در کمربند زاگرس

جزیره هرمز و شرق رشته کوه‌های زاگرس که مرتبط با تشکیلات زمین‌شناسی هرمز می‌باشند از دیابیرهای نمکی

شده است. بیش از ۲۰۰ ساختار گنبد نمکی در کوه‌های جنوب زاگرس وجود دارد (Bahroudi and Koya, 2003)؛ که در تعدادی از گنبد‌های نمکی جوان در نزدیکی بندرعباس، پتاس مشاهده شده است. بعضی از آنها مانند انگوره در حال حاضر فعال بوده و همچنان خروج نمک در آنها وجود دارد و در بعضی مانند پهل، کوه نمک و سیاهو خروج نمک به اتمام رسیده و یا در مراحل انتهایی است (Talbot et al, 2009).

فراوانی تشکیل شده‌اند که دارای اهمیت اقتصادی ویژه‌ای هستند (شکل ۱). تالبوت و علوی (Talbot and Alavi, 1996) تشکیلات هرمز را به دو سکانس غیر رسمی تقسیم‌بندی کرده‌اند؛ سکانس زیرین مربوط به نئوپروتوزوئیک که میان لایه‌های نمک همراه با انیدریت، دولومیت و شیل در محیط‌های سبخایی و پلایا تشکیل شده است و سکانس بالایی که مربوط به کامبرین زیرین تا میانی است و از میان لایه‌های نمک همراه با لایه‌های قرمز و سنگ‌های آتشفشانی تشکیل

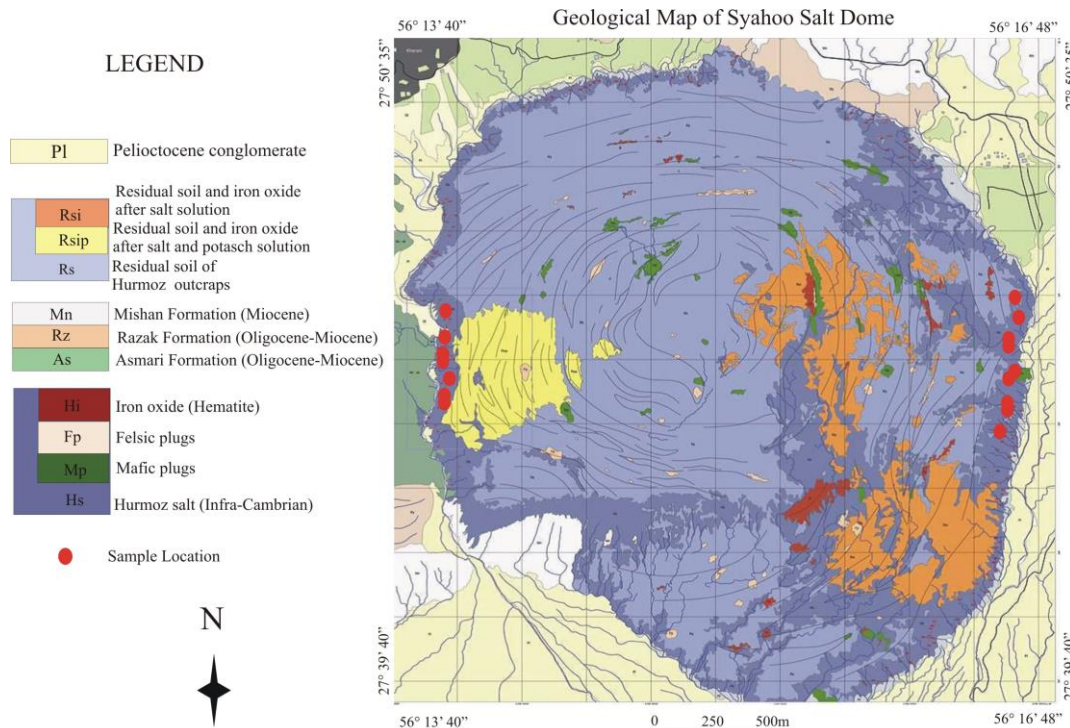


شکل ۱: موقعیت قرارگیری گنبد نمکی سیاهو در شمال بندرعباس (مستطیل قرمز رنگ) و دیاپیرهای نمکی هرمز بر روی تصویر ماهواره‌ای (Talbot et al, 2009) Google Earths.

#### زمین‌شناسی منطقه‌ای

کواترنری به دو گروه قابل تقسیم است، گروه اول از مجموعه رسوبات بدون ارتباط با نمک‌گیر تشکیل شده است و شامل رسوبات جوان بستر رودخانه‌ها، آبرفت‌های کواترنری (Qt) و کنگلومرای پلیوستوسن (Pl) می‌باشد؛ گروه دوم شامل رسوبات جوان همراه نمک‌گیر است که عمدتاً شامل خاک‌های باقیمانده رسوبات هرمز است. لازم به ذکر است بخش عمده محدوده گنبد سیاهو از تشکیلات هرمز و رسوبات جوان حاصل از آن تشکیل شده است که در زیر به شرح آنها پرداخته می‌شود.

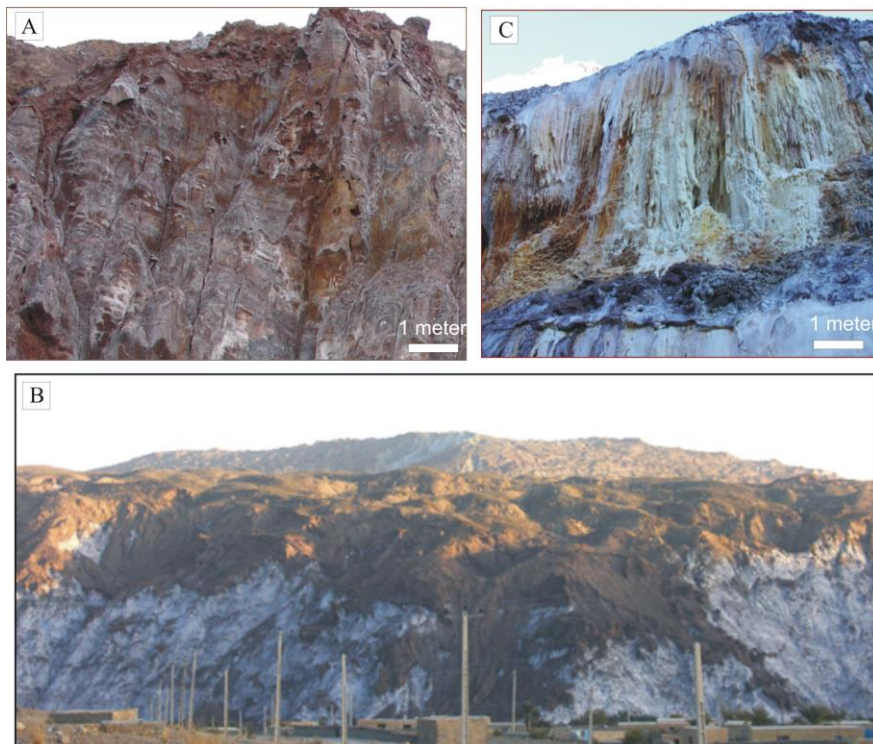
گنبد نمکی سیاهو با وسعت تقریبی ۱۶ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی طول شرقی "۴۰' ۱۳' ۵۶" و "۴۸' ۱۶' ۵۶" و عرض شمالی "۳۵' ۵۰' ۲۷" و "۴۰' ۳۹' ۲۷" واقع شده است. این منطقه از نظر زمین‌شناسی در برگیرنده ۱:۲۵۰۰۰۰ بندرعباس و در زون زمین‌شناسی زاگرس واقع شده است. بر اساس نقشه ۱:۵۰۰۰ زمین‌شناسی، گنبد نمکی سیاهو دارای چینه‌شناسی (از قدیم به جدید) سری هرمز، تشکیلات آسماری، رازک و میشان، کنگلومرای پلیوستوسن و رسوبات کواترنری است (شکل ۲). رسوبات



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ گنبد نمکی سیاهو (برگرفته از گزارش شرکت مهندسی کان ایران، ۱۳۹۶)

قابل توجه است. باقیمانده‌های سازند هرمز پس از انحلال کامل نمک و پسروری نمک‌گیر در پای دیواره‌های نمک انباشته شده‌اند. این رسوبات سست مجموعه کاملی از لیتولوژی سازند هرمز را به نمایش می‌گذارد؛ که شامل اکسیدهای آهن به‌ویژه قطعات الیزیت، ماسه‌سنگ، سنگ‌های آتشفشانی در ابعاد ذره تا گراول، گچ و بلورهای مختلف آزاد شده از متن سنگ‌ها شامل کلسیت، دولومیت، پیریت، ژیپس است که گاه اکسید آهن به این واحد رنگ قرمز تا قهوه‌ای تیره می‌دهد. خاک‌های برجا همراه با پیچ‌هایی (لکه‌هایی) از اکسید آهن یکی از مهمترین و وسیع‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی جوان در بام گنبد نمکی سیاهو می‌باشد (شکل ۳ B). البته در دیواره‌های پرشیب این واحد، گاهی نمک هرمز نیز رخنمون دارد؛ براساس بازدیدهای صحرایی این واحد (Rs) از ۹۰ درصد خاک رس و ۱۰ درصد از اکسیدهای آهن و گچ تشکیل شده است. خاک‌های برجا بر روی بخش‌های پتاس‌دار نمک‌گیر در بازدید صحرایی حاوی مقادیر بیشتری از آهن است (شکل ۳ C). بازدیدهای صحرایی نشان می‌دهد این واحد به شدت غنی از اکسیدهای آهن است (Rs).

بخش اصلی گنبد نمکی از سری نمکی هرمز تشکیل می‌شود (شکل ۳ A). رخنمون‌های این واحد بیشتر به دیواره‌های نمک‌گیر محدود است و یا در عمق حفرات عظیم بام گنبد مشاهده می‌شود. همراه نمک مجموعه نامنظمی از مواد رسی، سنگ‌های کربناته، ژیپس و انیدریت وجود دارد؛ اگرچه سنگ‌های آتشفشانی نیز مشاهده شده است. نمک هرمز در بخش جنوب‌خاوری گنبد به شدت غنی از اکسیدهای آهن تیره رنگ است؛ به‌طوری که در رسوبات بر جای حاصل از انحلال نمک، مقادیر آهن بسیار بالا است. این قسمت از نمک‌گیر ممکن است حاوی مقادیری از پتاس به صورت لایه‌های نازک باشد. در قسمت باختری نمک‌گیر نیز نمک هرمز به شدت غنی از آهن و پتاس است؛ به‌طوری که آثار پتاس ثانویه به صورت قندیل به وفور مشاهده می‌شود و رخنمون‌های نمک به دلیل باقیمانده اکسیدهای آهن پس از انحلال نمک، به سختی قابل رویت است. رخنمون‌های سنگ‌های آتشفشانی اسیدی (Fp) و مافیک (Mp) به واحدهای آتشفشانی سازند هرمز مربوط می‌شود و به همراه نمک هرمز بالا آمده است. همراه نمک مقادیری اکسید آهن به صورت توده یا پیچ با درجه خلوص بالا مشاهده شده است، همچنین در باقیمانده‌های پس از انحلال و فرسایش مقدار الیزیت



شکل ۳: نمایی از واحدهای منطقه گنبد نمکی سیاهو، A: نمای کلی سری نمکی هرمز به رنگ سفید تا خاکستری همراه با اکسید آهن که باعث رنگ قرمز تا قهوه‌ای شده است، B: گسترش وسیع خاک بر جا در بام گنبد نمکی سیاهو (دید به سمت جنوب)، C: نمک و پتاس ثانویه همراه با اکسید آهن در باختر نمک‌گیر.

### مواد و روش‌ها

جهت دستیابی به مناطق تجمع ماده معدنی پتاس در محدوده گنبد نمکی سیاهو ابتدا از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده استر استفاده گردید تا مناطق امیدبخش معدنی جهت نمونه‌برداری و مطالعات ژئوشیمیایی مشخص گردد. سنجنده استر با ۱۴ باند ناحیه طیفی وسیعی را پوشش می‌دهد که از ناحیه مرئی - فروسرخ نزدیک شروع و تا ناحیه فروسرخ گرمایی ادامه دارد و شامل باندهای ۱ تا ۳ با توان تفکیکی ۱۵ متر (مرئی- فروسرخ)، باندهای ۴ تا ۹ با توان تفکیکی ۳۰ متر (فروسرخ موج کوتاه) و برای باندهای ۱۰ تا ۱۴ با توان تفکیکی ۹۰ متر (فروسرخ گرمایی) می‌باشد. کاربرد این سنجنده در موضوعات مختلف زمین‌شناسی نظیر بارزسازی واحدهای سنگی، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، شناسایی گسل‌ها و تشخیص زون‌های دگرسانی به اثبات رسیده و نتایج قابل قبولی را ارائه داده است (Sabins, 1999; Rowan et al, 2006; Tommaso and Rubinstein, 2007). مطالعات بسیار خوبی جهت تعیین دگرسانی‌ها و اکتشاف ذخایر معدنی با روش‌های دورسنجی در ایران انجام شده است که می‌توان به کاربرد

تصاویر استر در نواحی اهر، طارم، تکاب، یزد و قروه کردستان اشاره نمود (Mirsepahvand et al, 2022; Pourgholam et al, 2022; Saed et al, 2022; Taghavi et al, 2019; Maanijou et al, 2015). به دلیل صعب‌العبور بودن و عدم دسترسی آسان، همچنین مورفولوژی ناهموار گنبد‌های نمکی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر جهت بارزسازی واحدهای سنگی و نمکی روش موثری در اکتشاف این ماده معدنی می‌باشد. مطالعات دورسنجی در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI and ARC GIS انجام شده است. با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی و دورسنجی مطالعات ژئوشیمیایی و نمونه برداری در منطقه صورت گرفت. جهت تعیین مناطق کانی‌سازی پتاس در منطقه گنبد نمکی سیاهو، بیش از ۴۰۰ نمونه برداشت و مورد آنالیز شیمیایی به روش XRF قرار گرفت و با استفاده از نرم افزار SURFER نقشه توزیع ژئوشیمیایی پتاس تهیه گردید. همچنین ۱۷ نمونه آنالیز شیمیایی XRD جهت تعیین نوع کانی‌های پتاس انجام شد و نتایج آن مورد پردازش قرار گرفت.

## بحث و نتایج

## مطالعات دورسنجی

سنجنده استر با ۱۴ باند و قدرت طیفی بالا اطلاعات مفیدی در رابطه با دگرسانی‌ها و کانی‌های موجود در مناطق کانی سازی ارائه می‌دهد. در این تحقیق برای شناسایی واحدها و مناطق حاوی نمک و اکسید آهن از روش‌های ترکیب باندی کاذب (RGB)، نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده گردید. هر یک از این روش‌ها اطلاعات مفیدی در مورد گنبد نمکی سیاهو در اختیار قرار می‌دهد. در ابتدا برای هماهنگ کردن عوارض و سیستم دستگاهی مختصات زمین پیش‌پردازش هندسی، پردازش اولیه داده‌های ماهواره‌ای صورت گرفت (Abrams and Hook, 2005). پیش پردازش اتمسفری برای حذف ذرات موجود در هوا و همینطور تصحیح رادیومتریکی انجام می‌گیرد، پس از تصحیح داده‌ها، پردازش نهایی داده‌های ماهواره‌ای با روش‌های زیر انجام شد.

ترکیب رنگی کاذب (RGB): استفاده و شناخت رنگ‌ها اطلاعات کافی و مفهومی‌تری از تصاویر ماهواره‌ای در اختیار قرار می‌دهد. نمایش هم‌زمان بیش از یک باند در تصاویر بسیار کارآمد است؛ که با به کارگیری تصاویر ترکیب رنگی میسر می‌شود. همچنین ترکیب نسبت‌های باندی اطلاعات مناسبی را در رابطه با گنبد‌های نمکی موجود در منطقه در اختیار قرار می‌دهد؛ که هر یک مشخص کننده و شاخص خوبی برای شناخت کانسار موجود در منطقه است. با استفاده از ترکیب رنگی نسبت‌های باندی RGB: (b1+b8)/b9, (b5/b7), (b7/b8) رنگ قرمز نشان دهنده سولفات، رنگ سبز نشان دهنده پلی‌هالیت و رنگ آبی نشان دهنده کلریت می‌باشد (شکل ۴ A). همچنین ترکیب رنگی

نسبت‌های باندی (b7/b5\*b7/b8), (b10/b11), (b12/b13) رنگ قرمز نشان دهنده آلونیت و رنگ سبز نشان دهنده مناطق حاوی رس و رنگ آبی نشان دهنده هالیت است، نواحی زرد رنگ ترکیب هالیت و رس و نواحی بنفش رنگ آلونیت و هالیت را نشان می‌دهد (شکل ۴ B). روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM): این روش یک روش طبقه‌بندی نظارت شده می‌باشد که با استفاده از شباهت بین طیف تصویر را با طیفی حاصل از مرجع اندازه‌گیری می‌کند. تشابه طیفی براساس محاسبه و اندازه‌گیری زاویه بین این دو طیف است که در فضای n- بعدی به شکل برداری رفتار کرده است که در آن n تعداد باند می‌باشد (Kruse et al, 1993). با استفاده از این روش، آهن موجود در منطقه و هالیت به خوبی شناسایی شده است. پیکسل‌های قرمز نشان دهنده آهن و پیکسل‌های سبز نشان دهنده هالیت موجود در منطقه است (شکل ۴ C)، همچنین هالیت موجود در منطقه به رنگ سبز نشان داده شده است (شکل ۴ D).

تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA): روش تحلیل مولفه‌های اصلی روش پرکاربرد دیگری است که در بیشتر پژوهش‌ها به همراه نسبت‌های باندی به کار گرفته می‌شود. این روش برای ساده‌سازی یک سری داده است که براساس مقادیر ویژه ماتریس مولفه‌های اصلی مشخص می‌شود که دقیقاً کدام یک از تصویر مولفه‌های اصلی بر روی اثر طیفی عارضه موردنظر متمرکز است. تصاویر مولفه‌های اصلی به دست آمده از این روش، محدوده‌های مورد نظر را با پیکسل‌های تیره و روشن مشخص می‌سازد. ماتریس مقادیر ویژه برای تحلیل مولفه‌های اصلی در جدول ۱ و مقادیر ماکزیمم و مینیمم مقادیر ویژه در جدول ۲ مشخص گردیده است.

جدول ۱: ماتریس مقادیر ویژه برای تحلیل مولفه‌های اصلی

Eigenvectors	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Band1	-0.00991	0.227258	-0.14711	-0.049384	-0.431713	-0.049838	-0.392449
Band2	-0.012933	0.291457	-0.203574	-0.107013	-0.398167	-0.008957	-0.326748
Band3	-0.012891	0.333087	-0.222812	-0.059711	-0.50691	-0.078109	0.481915
Band4	-0.01478	0.390126	-0.186826	0.040164	0.24426	-0.011503	0.405621
Band5	-0.013396	0.312233	-0.141964	0.003418	0.286039	-0.011741	0.025258
Band6	-0.012366	0.296353	-0.137269	0.006993	0.257542	-0.020308	0.082967
Band7	-0.013329	0.262016	-0.128268	-0.056689	0.252611	0.06962	-0.198632
Band8	-0.013061	0.20303	-0.121449	-0.171331	0.177222	0.133649	-0.40401
Band9	-0.010559	0.220418	-0.135113	-0.145149	0.233872	0.004901	-0.016573
Band10	-0.468064	0.141387	0.513829	-0.68686	-0.022601	0.050044	0.101703

<b>Band11</b>	-0.465689	0.208718	0.263853	0.469031	0.027485	-0.639213	-0.128566
<b>Band12</b>	-0.466377	0.105351	0.06951	0.449473	-0.114917	0.728526	0.051771
<b>Band13</b>	-0.43068	-0.244698	-0.397078	-0.079819	0.154587	-0.003609	-0.22891
<b>Band14</b>	-0.399518	-0.349228	-0.517466	-0.16453	-0.045102	-0.161427	0.223653
<b>Eigenvectors</b>	<b>PC8</b>	<b>PC9</b>	<b>PC10</b>	<b>PC11</b>	<b>PC12</b>	<b>PC13</b>	<b>PC14</b>
<b>Band1</b>	0.045032	-0.346275	-0.099712	0.407574	0.530071	-0.032311	0.035872
<b>Band2</b>	-0.043892	-0.247405	0.096908	-0.536264	-0.478647	-0.075593	-0.041067
<b>Band3</b>	-0.152983	0.519809	0.018807	0.197628	-0.07363	0.022632	0.037761
<b>Band4</b>	-0.138084	-0.244719	-0.23177	-0.48484	0.465779	-0.01236	-0.043566
<b>Band5</b>	-0.005551	-0.213331	-0.104723	0.27519	-0.35577	-0.649165	0.345465
<b>Band6</b>	0.004943	-0.199615	-0.006152	0.39292	-0.264906	0.306966	-0.678829
<b>Band7</b>	0.15815	0.215659	-0.347303	0.083163	-0.087937	0.589329	0.499292
<b>Band8</b>	0.291719	0.553941	-0.086887	-0.168557	0.174303	-0.342944	-0.355115
<b>Band9</b>	0.04764	0.014943	0.879265	0.028586	0.175605	0.109451	0.194299
<b>Band10</b>	-0.022354	-0.081523	-0.06516	0.017992	-0.006422	0.003757	0.000649
<b>Band11</b>	0.074467	0.113884	0.049444	-0.055447	0.005996	-0.001242	-0.003474
<b>Band12</b>	0.105054	-0.028704	0.07474	0.018314	-0.007797	-0.001944	0.007289
<b>Band13</b>	-0.705352	0.112997	-0.032068	0.040932	0.032692	0.002561	-0.01471
<b>Band14</b>	0.571433	-0.129029	-0.031778	-0.022549	-0.025391	-0.00298	0.010715

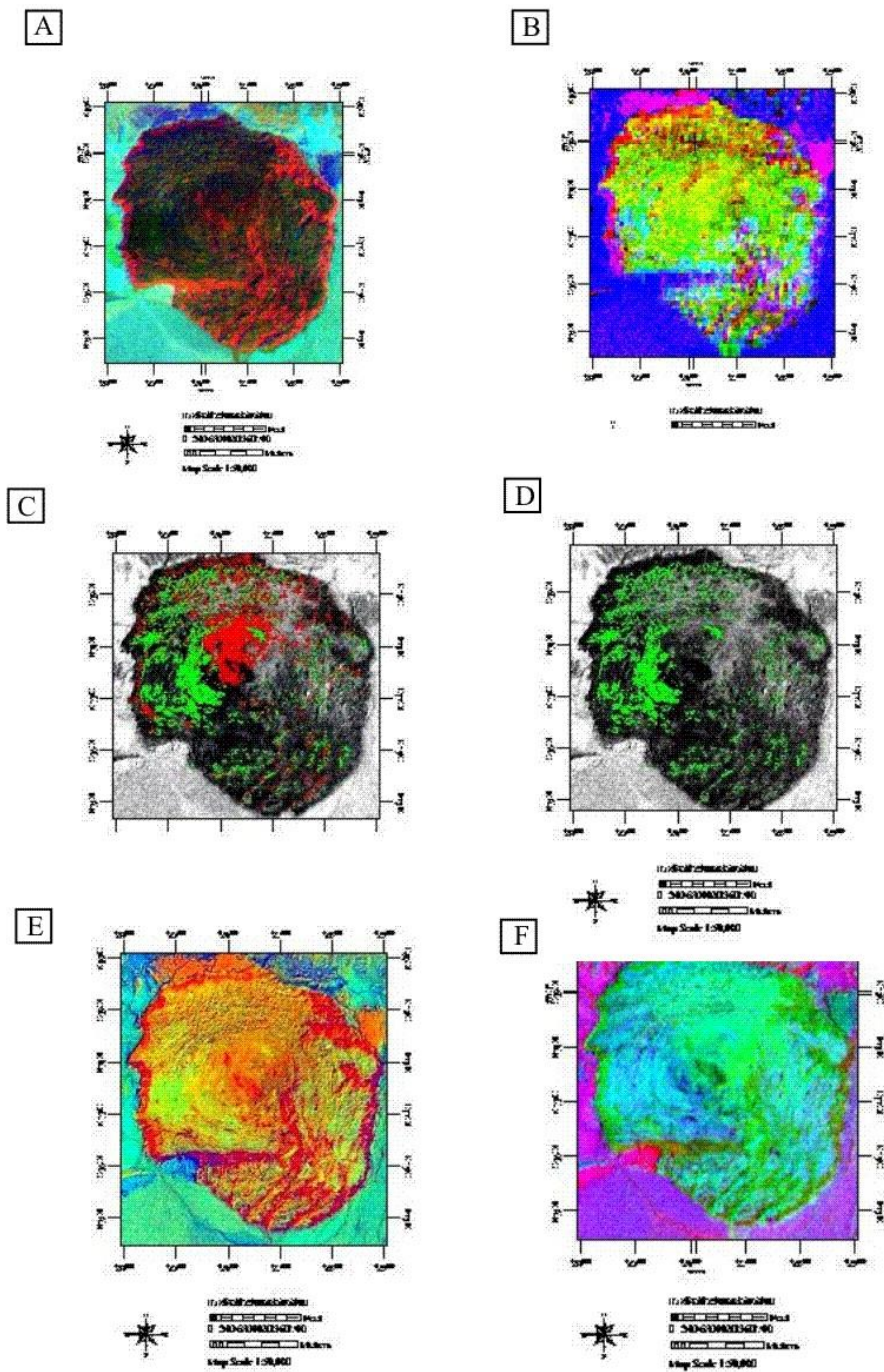
جدول ۲: مقدار ماکزیمم و مینیمم مقادیر ویژه

Eigenvectors	Min	Max	Reflection	Absorption
pc1	-0.468064	-0.00991	10	1
pc2	-0.349228	0.390126	14	4
pc3	-0.517466	0.513829	14	10
pc4	-0.68686	0.469031	10	11
pc5	-0.50691	0.286039	3	5
pc6	-0.639213	0.728526	11	12
pc7	-0.40401	0.481915	8	3
pc8	-0.705352	0.571433	13	14
pc9	-0.346275	0.553941	1	8
pc10	-0.347303	0.879265	7	9
pc11	-0.536264	0.407574	2	1
pc12	-0.478647	0.530071	2	1
pc13	-0.649165	0.589329	5	7
pc14	-0.678829	0.499292	6	7

نشان دهنده دولومیت با رنگ قرمز، آلونیت به رنگ سبز و هالیت به رنگ آبی مشاهده می‌شود. رنگ بنفش مشخص شده در تصویر ترکیبی از هالیت و دولومیت است (شکل ۴ F).

با توجه به نسبت‌های ترکیب رنگی کاذب، RGB: (PC11)، (PC10)، (PC3) آهن به رنگ قرمز، هالیت به رنگ سبز و دولومیت به رنگ آبی مشخص شده است (شکل ۴ E). همچنین نسبت‌های (PC10)، (PC13)، (PC3) RGB:





شکل ۴: تصاویر به دست آمده از روش‌های به کار گرفته شده در سنجنده استر در منطقه گنبد نمکی سیاهو، A: ترکیب رنگی کاذب RGB که سولفات به رنگ قرمز، پلی‌هالیت به رنگ سبز و کلریت به رنگ آبی مشخص شده است، B: ترکیب رنگی کاذب RGB که آلونیت به رنگ قرمز، رس به رنگ سبز و هالیت به رنگ آبی مشخص شده است در نواحی زرد رنگ ترکیب هالیت و رس و در نواحی بنفش رنگ آلونیت همراه با هالیت حضور دارد، C: در روش SAM پیکسل‌های قرمز نشان دهنده آهن و پیکسل‌های سبز نشان دهنده هالیت موجود در منطقه است، D: با استفاده از روش SAM پیکسل‌های سبز نشان دهنده هالیت موجود در منطقه است، E: در روش PCA نسبت‌های باندی ترکیب رنگی کاذب RGB آهن به رنگ قرمز، هالیت به رنگ سبز و دولومیت به رنگ آبی مشخص شده است، F: در روش PCA ترکیب رنگی کاذب دولومیت به رنگ قرمز، آلونیت به رنگ سبز و هالیت به رنگ آبی مشاهده می‌شود، رنگ بنفش ترکیبی از هالیت و دولومیت موجود در منطقه است.

## مطالعات ژئوشیمی

مناطق نمونه‌برداری ژئوشیمیایی براساس نتایج دورسنجی و نقشه ۱:۵۰۰۰ زمین‌شناسی تعیین گردید. همانطور که در تصاویر دورسنجی مشاهده می‌شود حاشیه گنبد نمکی پراکندگی نمک بیشتری را نشان می‌دهد. از آنجا که غالباً پتاس با نمک همراه است؛ لذا جهت تعیین مناطق دقیق‌تر

کانی‌سازی پتاس بیش از ۴۰۰ نمونه برداشت و مورد آنالیز شیمیایی به روش XRF در شرکت کانساران بینالود به روش ذوب قلیایی قرار گرفت. خلاصه نتایج آنالیز در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که در جدول مشخص می‌باشد بیشترین مقدار پتاس در نواحی غربی و شرقی گنبد نمکی سیاهو واقع شده است.

جدول ۳: خلاصه نمونه‌های برداشت شده از نواحی مختلف گنبد نمکی سیاهو و مقادیر پتاس

تعداد کلی نمونه	مقادیر پتاسیم (%)	تعداد نمونه از ناحیه غربی	تعداد نمونه از ناحیه شرقی	تعداد نمونه از نواحی شمالی و جنوبی
۱	۱۷-۱۰٪	۱	۰	۰
۲۳	۱-۱۰٪	۳	۱۶	۴
۱۲	۰/۱-۵٪	۵	۳	۴
۱۱	۰/۰-۵/۲٪	۶	۳	۲
۳۳	۰/۰-۲/۱٪	۱۶	۸	۹
۶۷	۰/۰-۰۵/۱٪	۲۳	۱۵	۲۹
۲۴۳	کمتر از ۰/۰۵٪	۶۸	۴۰	۱۳۵

جهت تهیه نقشه و توزیع ژئوشیمیایی پتاس در گنبد نمکی سیاهو، لازم است ماهیت تابع توزیع عناصر، پارامترهای آماری داده‌های خام مانند میانگین، انحراف معیار، میانه،

چولگی، واریانس، کشیدگی و مقادیر مینیمم و ماکزیمم داده‌ها محاسبه گردد (جدول ۴).

جدول ۴: پارامترهای آماری داده‌های خام گنبد نمکی سیاهو.

	Mean	Median	Std.Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis	Minimum	Maximum
k	3222.72	390.30	12770	163200000	7.561	76.205	0	165924

به منظور جایگزینی مقادیر خارج از ردیف در نمونه‌ها، از نمودار دورفل و باکس پلات (Boxplot) در سطح اعتماد ۹۹ درصد استفاده شد. پس از محاسبه پارامترهای آماری داده‌ها، جهت شناسایی ترتیب قرارگیری داده‌ها در کنار هم و بررسی توابع توزیع، نمودار هیستوگرام داده‌ها رسم شد، نتایج به دست آمده از این نمودار نشان می‌دهد، عنصر پتاسیم دارای توزیع غیر نرمال می‌باشد (شکل ۵ A). به دلیل غیرنرمال بودن توزیع داده‌ها می‌بایست عملیات نرمال‌سازی بر روی داده‌ها صورت گیرد. روش‌های مختلفی جهت نرمال‌سازی وجود دارد؛ که می‌توان به تبدیل لگاریتمی، تبدیل لگاریتمی سه پارامتری و تبدیل کاکس-باکس اشاره کرد. در این تحقیق از روش تبدیل لگاریتمی سه پارامتری مطابق رابطه ۱ استفاده شده است که به صورت زیر تعریف می‌گردد.

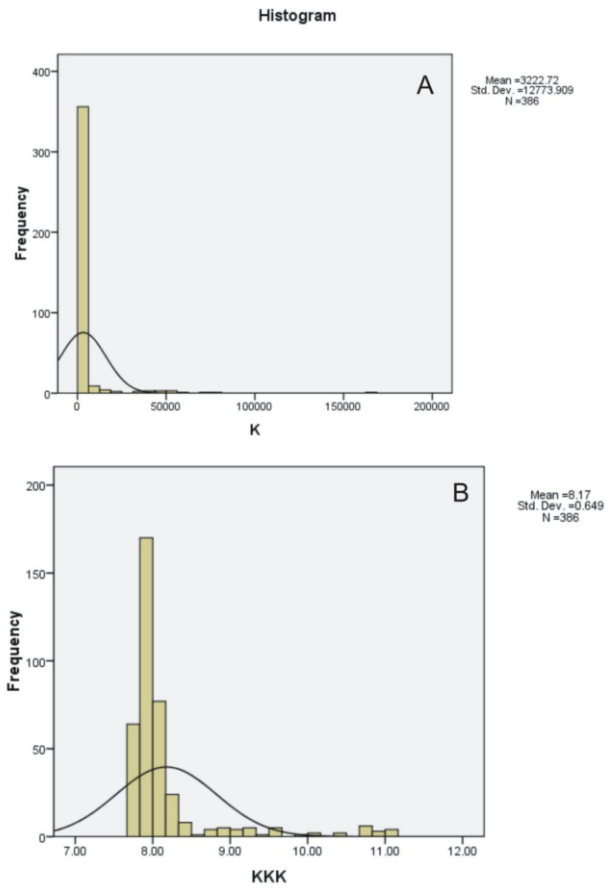
رابطه (۱)

$$P(x) = Ln(ax \pm b)$$

در این رابطه a برابر یک در نظر گرفته می‌شود و تنها برای پارامتر b (با توجه به چولگی) یک مقدار مثبت یا منفی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به روش فوق، عنصر مورد نظر که دارای توزیع غیر نرمال است به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (شکل ۵ B). سپس براساس رابطه ۲ حد آستانه، حد آنومالی و انحراف معیار برای عنصر پتاسیم محاسبه گردید که در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۵، نقشه ناهنجاری‌های پتاسیم در منطقه ترسیم شد (شکل ۶، ۷ و ۸).

رابطه (۲)

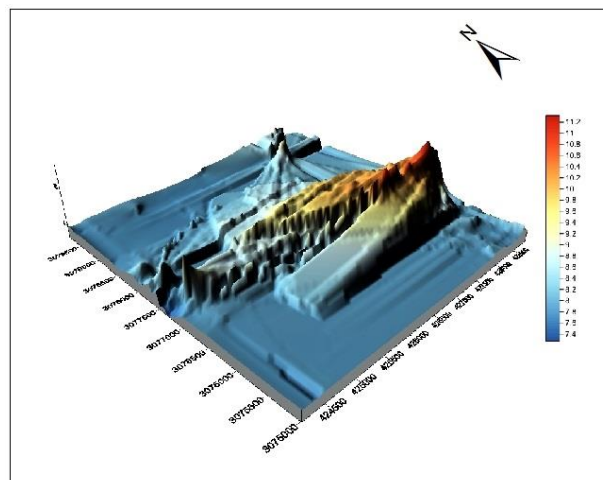
$$\varepsilon = \text{ant Log} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log c_i - \log \bar{c}_x)^2}{N-1}}$$



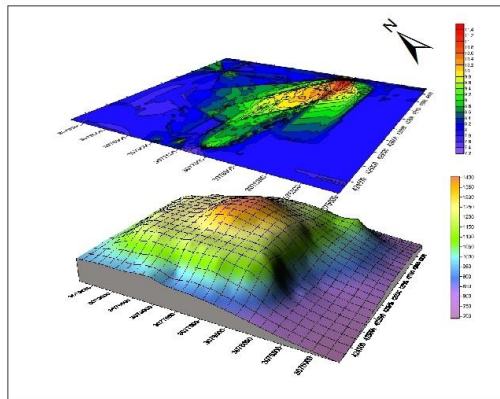
شکل ۵: A: توزیع داده‌های گنبد سیاهو قبل از نرمال سازی، B: توزیع داده‌ها بعد از نرمال سازی

جدول ۵: مقادیر حد زمینه و حد آستانه‌ای برای عنصر پتاسیم

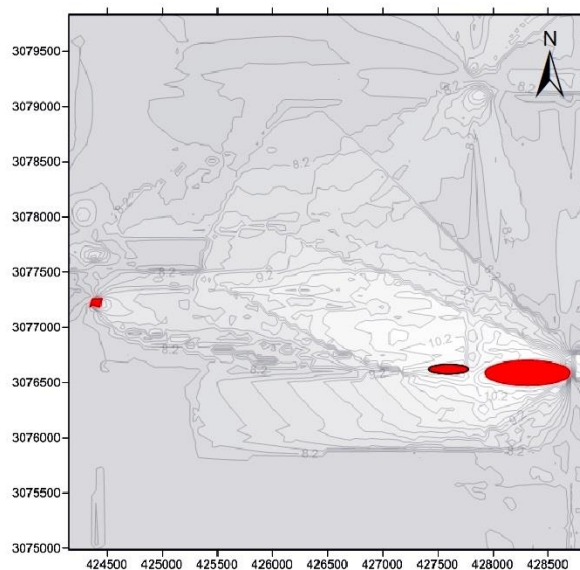
	K
$\epsilon$	1.07
$C_p$	8.15
$C_A$	8.75



شکل ۶: تصویر سه بعدی ناهنجاری‌های پتاسیم در گنبد نمکی سیاهو.



شکل ۷: تصاویر ترکیبی ارتفاعی و دو بعدی ناهنجاری پتاسیم در گنبد سیاهو.

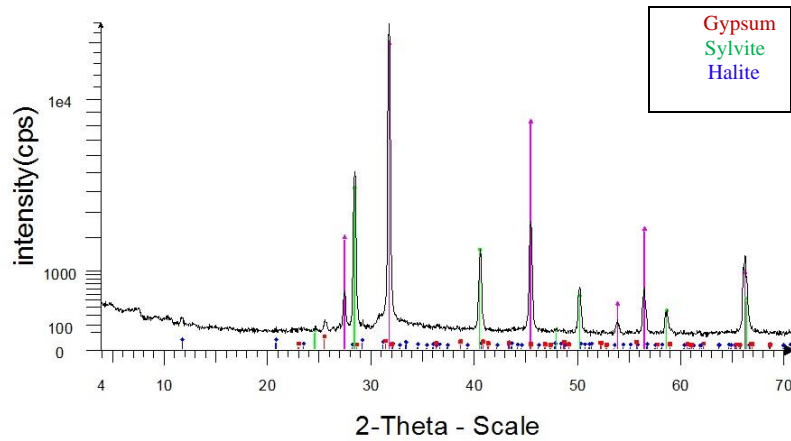


شکل ۸: تصویر ناهنجاری‌های پتاسیم در گنبد نمکی سیاهو.

نمونه‌های حاوی پتاس در ذیل آورده شده است (شکل ۹ و جدول ۶).

**نحوه تشکیل پتاس در ذخایر گنبد‌های نمکی هرمز**  
بیش از ۲۰۰ ساختار گنبد نمکی در کوه‌های جنوب زاگرس وجود دارد، که در تعدادی از گنبد‌های نمکی جوان در نزدیکی بندرعباس، پتاس مشاهده شده است (Talbot et al, 2009). بعضی از آنها مانند انگوره در حال حاضر فعال بوده و همچنان خروج نمک در آنها وجود دارد، و در بعضی مانند سرپهل، کوه نمک و سیاهو خروج نمک به اتمام رسیده و یا در مراحل انتهایی است. مدل صعود قارچی شکل گنبد‌های نمکی حاوی پتاس در جنوب ایران و حوضه رسوبی هرمز توسط تالبوت و همکاران (Talbot et al, 2009) ارائه شده است (شکل ۱۰).

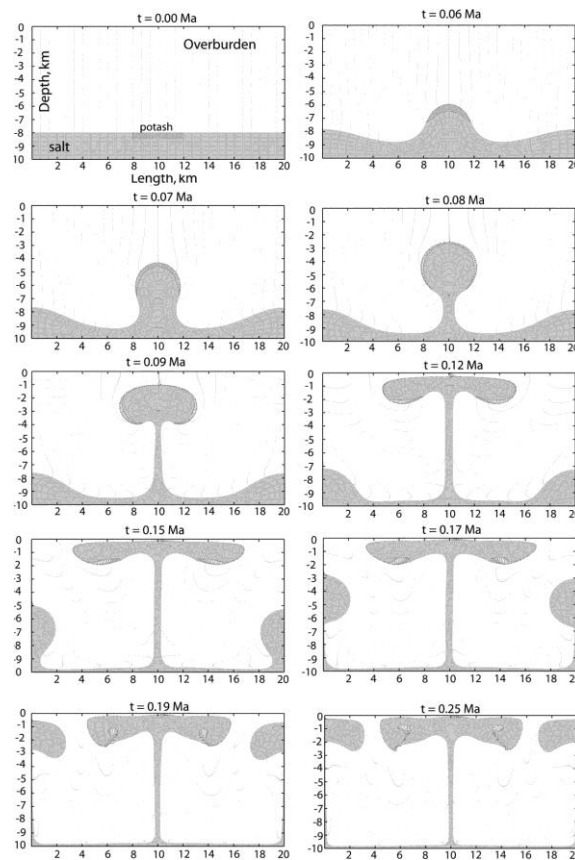
پس از انجام نمونه‌برداری جامع از منطقه مورد مطالعه، دو قسمت شرقی و غربی سیاهو از لحاظ پتاس نسبت به سایر مناطق از پتانسیل بالاتری برخوردار بودند؛ لذا نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی جهت تعیین نوع کانی پتاس توسط آزمایشگاه XRD دانشگاه دامغان با مشخصات D8- Advance Bruker Cu Ka صورت پذیرفت. آنالیز XRD یا آنالیز پراش اشعه ایکس، که به طیف‌سنجی پرتو ایکس نیز معروف است، یک روش غیر تخریبی است؛ که می‌تواند اطلاعات جامعی از ترکیب شیمیایی و ساختار کریستالی مواد طبیعی و صنعتی ارائه دهد. جهت تعیین نوع کانی پتاس تعداد ۱۷ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. از این تعداد ۷ نمونه حاوی کانی پتاس بوده و ۱۰ نمونه دیگر فاقد کانی‌های پتاس می‌باشد. مشخصات و نتایج یکی از



شکل ۹: نمودار طیفی نمونه برداشت شده از منطقه غربی سیاهو

جدول ۶: نتایج آنالیز نمونه برداشت شده از منطقه غربی سیاهو

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	87.41	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.08	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
Monoclinic	1.5406	1	0.04	CaSO4·2H2O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
Cubic	1.5406	1	23.74	KCl	Sylvite, syn	41-1476 (*)
<b>S-Q</b>	<b>alpha</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>Compound Name</b>	<b>SS-NNNN</b>
45.5	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
0.2	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
0.1	90	5.6776	15.2079	6.2845	Gypsum, syn	33-0311 (*)
54.3	90	6.2917	6.2917	6.2917	Sylvite, syn	41-1476 (*)



شکل ۱۰: مدل ارائه شده صعود دیابیری گنبدیهای نمکی حاوی پتاس در جزیره هرمز؛ گنبد نمکی سیاهو در این حوضه رسوبی قرار دارد، پتاس به رنگ تیره، نمک به رنگ خاکستری و رسوبات فوقانی به رنگ سفید می‌باشند. لازم به ذکر است مبنای زمان ارائه شده در هر مرحله زمان تشکیل و جایگیری پتاس و نمک می‌باشد (Jackson and Vendeville, 1994).

شده، محدوده‌های پیشنهادی جهت اکتشاف محدود به غرب (تارگت ۱) و شرق (تارگت ۲) گنبد نمکی سیاهو خواهد شد (شکل ۸). بالاترین عیار پتاس مربوط به نمونه‌های بخش غربی گنبد نمکی است، از طرفی پتاس ثانویه نیز در این بخش مشاهده می‌شود؛ لذا در این تحقیق به پتانسیل بخش غربی بیشتر توجه شده است. براساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی، یال غربی گنبد پتانسیل بالایی از پتاس را نسبت به سایر نواحی گنبد، نشان می‌دهد. بیشترین عیار پتاس در این بخش ۱۶/۶ درصد است که به صورت کانی سیلویت نمود پیدا کرده است. توزیع مقادیر پتاس در این آنومالی تقریباً در مرکز محدوده با تمایل به شمال و جنوب محدود است. مقادیر پتاس در دامنه‌های پرشیب و در واحد نمکی هرگز حداکثر بوده؛ اما در بخش‌های کم شیب رسوبات برجای مانده از انحلال نمک شامل رس و اکسیدهای آهن بیشتر دیده می‌شود. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای در حاشیه شرقی گنبد نمکی سیاهو، آثار باقیمانده حاصل از انحلال زون‌های پتاس‌دار مشاهده می‌شود. در این قسمت پتاس به صورت ثانویه کم بوده؛ اما لامیناسیون‌های اولیه را می‌توان مشاهده کرد. لامیناسیون‌های پتاس در یال چین‌های خوابیده همراه با اکسید آهن مشاهده می‌شود؛ لذا ساختار پتاس همراه با نمک در این آنومالی از چین‌خوردگی کلی گنبد نمکی تبعیت می‌کند. به نظر می‌رسد طرح زهکشی در محدوده این آنومالی به گونه‌ای است که شورآبه‌های سرشار از پتاس قبل از خروج از نمک‌گیر و جاری شدن در سطح، در پی‌سنگ آبرفتی بستر نفوذ کرده و به شورآبه‌های زیر زمینی پایین دست گنبد می‌پیوندد؛ لذا آثار پتاس ثانویه قابل مشاهده نیست. رخنمون کوچک پتاس در این یال و گسترش کم آن در این بخش، با عیار میانگین ۴/۲ درصد این یال را در اولویت دوم قرار می‌دهد، بیشترین عیار پتاس در این بخش ۱۰ درصد می‌باشد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله نهایت سپاس خود را از مسئولین شرکت مهندسی کان ایران که امکان تحقیق و استفاده از نتایج این مطالعات را فراهم آوردند تشکر می‌نمایند. همچنین از سرکار خانم مهندس مریم خانی الموتی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود که در مطالعات دورسنجی مساعدت نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

براساس مطالعات انجام شده توسط تالبوت و همکاران (Talbot et al, 2009)، پتاس در عمیق‌ترین بخش حوضه رسوبی هرمز که خوشه‌های از دیاپیرهای زاگرس را شامل می‌شود، ته‌نشین و تجمع یافته است. بیشتر این دیاپیرها در زیر سطح و یا نزدیک به سطح واقع شده‌اند. در حدود ۳۰۰ میلیون سال (در زمان مزوزوئیک) بعد از دفن‌شدگی پتاس و نمک در عمق ۸ کیلومتری، فشار رسوبات آواری پالئوزوئیک باعث حرکت آرام نمک به سمت بالا شده و نمک به‌صورت بالشی در امتداد شمالی-جنوبی به‌سمت بالا حرکت کرده است (Jackson and Vendeville, 1994) (شکل ۱۰). حرکت و مهاجرت زاگرس در زمان بعد از ائوسن به سمت جنوب، باعث فشردگی شدن بالش‌های نمکی به صورت دیاپیری شده است؛ که در امتداد گسل‌هایی با روند شمالی-جنوبی و شمال‌شرق حرکت کرده‌اند. حرکت دیاپیرها باعث رانده شدن لایه‌های پتاس به داخل نمک‌ها شده و در نهایت این کمپلکس‌ها (مجموعه نمک، پتاس و رسوبات فوقانی)، به صورت دیاپیرهای قارچی شکل در جزیره هرمز با شیب ملایم چین‌خورده‌اند. انقباض نمک، فرونشست و فشار لایه‌های فوقانی نظیر شیل، باعث ایجاد یک خمیدگی مارپیچی در لایه‌های هرمز شده است. مطالعات نشان داده، محور چرخش در داخل نمک‌ها بوده و این چرخش در حین بالا آمدن، باعث تمرکز لایه‌های پتاس در حجم‌های کوچکتر در قسمت‌های سطحی شده است. چین‌ها در منطقه سیاهو اکثراً خوابیده بوده و شیب سطح محوری آنها از شیب لایه‌بندی نمک‌های دربرگیرنده تبعیت می‌نماید. این چین‌ها در بسیاری از بخش‌ها دچار چین‌خوردگی مجدد شده که بیشتر در نواحی نمک‌گیر قابل رویت است. پتاس در منطقه بیشتر به صورت لامینه با تمرکز در نزدیکی لولای چین‌ها حضور دارد. از آنجا که پتاس به راحتی در آب حل می‌گردد، بنابراین احتمال شسته‌شدن توسط بارندگی‌ها و از بین رفتن پتاس‌هایی که در سطح رخنمون یافته‌اند بسیار زیاد است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوشیمی (مطابق با نتایج آنالیزها) و با توجه به نقشه زمین‌شناسی عیار پتاس در بسیاری از بخش‌های گنبد نمکی سیاهو از قبیل بخش‌های شمالی، جنوبی و جنوب‌شرقی با مقدار کمتر از یک درصد فاقد ارزش اکتشافی است. براساس مطالعات انجام

## References

- Abrams, M. and Hook, S., 2005. ASTER user handbook, version2, Jet propulsion Laboratory, NASA, 125 p.
- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran, Geological Survey of Iran, Tehran, 329 p (in Persian).
- Bahroudi, A. and Koya, H.A., 2003. Effect of spatial distribution of Hormoz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: an analogue modeling approach: *Journal of the Geological Society*, v. 160, p. 719-733.
- Borna, B., 2006. Exploration of potash in the salt dome of Zagros, Geological Survey of Iran, Tehran, Report 45, 122 p (in Persian).
- Darvish Zadeh, A., 1392. Geology of Iran, Amir Kabir Publication, Tehran, 650 p (in Persian).
- Farhadi, R., 2004. An introduction to potash exploration in Iran, systematic exploration project: geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, 26 p.
- Jackson, M.P.A. and Vendeville, B., 1994. Regional extension as a geologic trigger for diapirism: *Geological Society of America Bulletin*, v. 106, p. 57-77.
- Kan Iran Company, 2017. Exploration potash in the Syahoo salt dome, north Bandar Abbas, Report, Tehran, 135 p (in Persian).
- Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.B., Heidebreicht, H.K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J. and Geotez, A.F.H., 1993. The spectral image processing system (SIPS)-interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data: *Remote sensing of environment*, v. 44, p. 145-163.
- Maanijou, M., Puyandeh, M., Sepahi, A.A. and Dadfar, S., 2015. Mapping of hydrothermal alteration of Dashkasan (Sari Gunay) epithermal gold mine using ASTER sensor images and XRD analysis, *Geosciences*, v. 24(95), p. 95-104.
- Mirsepahvand, F., Jafari, M., Afzal, P. and Arian, M.A., 2022. Identification of Alteration Zones using ASTER Data for Metallic Mineralization in Ahar region, NW Iran, *Journal of Mining and Environment*, v. 13(1), p. 309-324.
- Pourgholam, M.M., Afzal, P., Adib, A., Rahbar, K. and Gholinejad, M., 2022. Delineation of Iron Alteration Zones using Spectrum-Area Fractal Model and TOPSIS Decision-Making Method in Tarom Metallogenic Zone, NW Iran, *Journal of Mining and Environment*, v. 13(2), p. 503-525.
- Rowan, L.C., Schmidt, R.G. and Mars, J.C., 2006. Distribution of hydrothermal altered rocks in the Reko Dip, Pakistan mineralized area based op spectral analysis of ASTER data: *Remote sensing of environment*, v. 104, p. 74-87.
- Sabins, F.F., 1999. Remote of mineral exploration: *Ore Geology Review*, v. 14, p. 157-183.
- Saed, S., Azizi, H., Daneshvar, N., Afzal, P., Whattam, S.A. and Mohammad, Y.O., 2022. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data, Takab-Baneh area, NW Iran: a key for further exploration of polymetal deposits, *Geocarto International*, online publication.
- Taghavi, A., Maanijou, M., Lentz, D. and Sepahi, A.A., 2019. Partial sub-pixel and pixel-based alteration mapping of porphyry system using ASTER data: regional case study in western Yazd, Iran, *International Journal of Image and Data Fusion*, v. 10, p. 300-326.
- Talbot, C.J., Aftabi, P. and Chemia, Z., 2009. Potash in a salt mushroom at Hormoz Island, Hormoz Strait, Iran: *Ore Geology Review*, v. 35, p. 317-332.
- Talbot, C.J. and Alavi, M., 1996. The past of the future syntaxis across the Zagros, In: Alsop, G.I., Blundell, D.J., Davison, I, (Eds.), *Salt tectonic: Geological Society of London, Spatial Publication*, v. 100, p. 1068-1093.
- Tommaso, I.D. and Rubinstein, N., 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernollo porphyry deposit, Argentina: *Ore Geology Review*, v. 32, p. 275-290.
- Warren, J., 1999. *Evaporates, their evolutions and economics: Blackwell Science, Oxford*, 438 p.