





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک  
پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف مواد معدنی

مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمی و کانی شناسی گنبد نمکی سیاهو به منظور پتانسیل یابی

ذخیره پتاس، شمال بندر عباس

نگارنده : معین الدین یساری

استاد راهنما

دکتر سوسن ابراهیمی

بهمن ۱۳۹۷

شماره: ۴۷/۴۳۲  
تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۳

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای معین الدین پساری با شماره دانشجویی ۹۵۱۶۱۹۴ رشته مهندسی معدن (ارشد) گرایش اکتشاف تحت عنوان مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمی و کانی شناسی گنبد نمکی سیاهو به منظور پتانسیل یابی ذخیره پتاس، شمال بندر عباس که در تاریخ ۹۷/۱۱/۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>خوب</u> / ضعیف...)
<input type="checkbox"/> عملی	<input checked="" type="checkbox"/> نظری

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	سوسن ابراهیمی	استاد یار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	-	-
۳- استاد مشاور	-	-	-
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	مهرداد سلیمانی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن اول	احمد واعظیان	استاد یار	
۶- استاد ممتحن دوم	حمید آقاجانی	دانشیار	



نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد علی سعیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده

تصوه در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند مجدداً دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



بر خود لازم می‌دانم که ابتدا از مدیریت محترم گروه معدن جناب آقای دکتر عطیانی و سپس از اساتید محترم دانشکده مهندسی معدن که با علم و آگاهی و با شیوه‌ای مناسب روش تدریس و آموزش را با نهایت دقت و حوصله در پیش گرفته و دریچه‌های از علم را بر روی دانشجویان می‌گشایند قدر دانی نموده و همچنین از سرکار خانم دکتر ابراهیمی که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه دلسوزانه و با علم و درایت مرایاری نمودند صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.

از اساتید عزیز جناب آقای دکتر حمید آقاجانی و آقای دکتر احمد واعظیان که داور سی این پایان نامه را بر عهده گرفتند کمال تشکر و قدر دانی را دارم.

در نهایت از مدیریت محترم شرکت مهندسی مشاوران ایران جناب آقای عبدالعظیم حاج ملاعلی و دکتر احسان حاج ملاعلی که در طول سال با افتخار حضور در پروژه‌های مختلف ایشان را داشتم و از علم و دانش آنها بهره‌بردم تشکر می‌نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب معین الدین یساری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد اکتشاف مواد معدنی از دانشکده دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان: مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمی و کانی شناسی گنبد نمکی سیاهو به منظور پتانسیل یابی ذخیره پتاس، شمال بندر عباس تحت راهنمایی سرکار خانم دکتر سوسن ابراهیمی متعهد می شوم:

تحقیقات این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا افراد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصل پایان نامه تأثیر گذار بوده اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می گردد.

در کلیه مراحل انجام پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است. ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

## تاریخ

## امضاء دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باش.

## چکیده

گنبد نمکی سیاهو با وسعت تقریبی ۱۶ کیلومتر مربع در شمال غرب سیاهو، شمال بندرعباس و در استان هرمزگان واقع شده است. این منطقه از لحاظ زمین شناسی در زون زاگرس واقع شده و بخشی از سازند هرمز را تشکیل می دهد؛ که شامل سنگ های آتشفشانی، دگرگونی، تبخیری های نمک، کربناتی، انیدریت و ژپیس می باشند. پردازش داده های ماهواره ای با نرم افزار ENVI 5.3 و با استفاده از روش های آنالیز مؤلفه های اصلی و نسبت باندهای انجام گرفت. نتایج حاصل از این مطالعات به آشکارسازی مناطق دگرسانی، اکسید آهن، پوشش گیاهی و هالیت در منطقه منجر شد. مطالعات ژئوشیمیایی به روش XRF با بیش از ۳۸۶ نمونه سنگی، جهت آنالیز مقادیر اکسید پتاسیم و ۱۷ نمونه آنالیز XRD جهت شناسایی کانی های پتاس در منطقه صورت گرفت. پردازش داده ها و نرمال سازی توسط نرم افزار SPSS 16 و تهیه نقشه های ناهنجاری از منطقه توسط نرم افزار SURFE 10 انجام شد. براساس نتایج حاصل از مطالعات زمین شناسی، دورسنجی و ژئوشیمی دو محدوده هدف با پتانسیل بالای پتاس (به صورت کانی سیلویت) در غرب و شرق گنبد نمکی سیاهو، جهت مطالعات تفصیلی تعیین گردید؛ که بر این اساس دو نقطه حفاری در غرب منطقه سیاهو پیشنهاد شد.

**کلید واژه ها:** پتاس، گنبد نمکی، سنجش از دور، استر، ژئوشیمی، سیاهو، هرمز.

## فهرست مطالب

فصل اول کلیات .....	۱
۱-۱ مقدمه .....	۲
۲-۱ مروری بر فعالیت های انجام شده .....	۳
۳-۱ ضرورت و هدف از انجام پایان نامه .....	۷
۴-۱ روش تحقیق .....	۸
۵-۱ ساختار پایان نامه .....	۹
فصل دوم زمین شناسی منطقه سیاهو .....	۱۱
۱-۲ مقدمه .....	۱۲
۲-۲ ویژگی های جغرافیایی و اقلیمی .....	۱۲
۳-۲ زمین شناسی عمومی زاگرس .....	۱۵
۱-۳-۲- زیر پهنه راندگی ها .....	۱۵
۲-۳-۲- زیر پهنه زاگرس چین خورده .....	۱۶
۴-۲- جایگاه گنبد نمکی سیاهو در کمربند زاگرس .....	۱۷
۵-۲ زمین شناسی منطقهای گنبد نمکی سیاهو .....	۱۸
۱-۵-۲- رسوبات جوان .....	۱۹
۲-۵-۲- نمک هرمز (HS) .....	۲۱
۳-۵-۲- واحدهای آتشفشانی .....	۲۲
۴-۵-۲- واحد اکسید آهن (Hi) .....	۲۲
۶-۲ ویژگی های گنبد های نمکی .....	۲۳
۱-۶-۲- اجزای گنبد نمکی .....	۲۴
۲-۶-۲- شکل گنبد نمکی .....	۲۴
۷-۲ نحوه تشکیل پتاس در ذخایر گنبد های نمکی هرمز .....	۲۴
فصل سوم مطالعات دورسنجی .....	۲۷
۱-۳ مقدمه .....	۲۸
۲-۳ کاربرد داده های ماهواره ای و دورسنجی .....	۲۸
۳-۳ عملکرد سیستم سنجش از دور .....	۲۹
۴-۳ سنجنده ASTER .....	۳۰
۵-۳ اساس کار امواج الکترومغناطیس در برخورد با سنگ ها .....	۳۲
۶-۳ روش کار جهت مطالعات دور سنجی .....	۳۳
۷-۳ تصحیحات تصاویر سنجش از دور .....	۳۳
۱-۷-۳- تصحیح هندسی .....	۳۳
۲-۷-۳- تصحیح رادیومتری: .....	۳۴
۳-۷-۳- تصحیح اتمسفری .....	۳۴
۸-۳ نسبت گیری باندها (B.R) .....	۳۴
۱-۸-۳ مطالعات انجام شده بر روی گنبد نمکی سیاهو .....	۳۵



۳۸	..... ترکیب رنگی کاذب (FCC).....
۴۲	..... تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA).....
۴۶	..... نتیجه گیری.....
۴۷	<b>فصل چهارم اکتشافات ژئوشیمیایی</b> .....
۴۸	..... مقدمه.....
۴۹	..... پردازش مقدماتی داده های ژئوشیمیایی.....
۴۹	..... ۱-۲-۴ پارامترهای آماری داده های خام.....
۵۰	..... ۲-۲-۴ جایگزینی مقادیر خارج از ردیف.....
۵۲	..... ۳-۲-۴ نرمال سازی داده ها.....
۵۵	..... ۳-۴ محاسبه حدزمینه و آستانه آنومالی با استفاده از روش آماری سالووف.....
۵۷	..... ۴-۴ مطالعات کانی شناسی به روش XRD جهت تعیین نوع کانی پتاس.....
۶۰	..... ۱-۴-۴ نمونه شماره ۷۵.....
۶۱	..... ۲-۴-۴ نمونه شماره ۷۵A.....
۶۳	..... ۳-۴-۴ نمونه شماره ۴۳.....
۶۴	..... ۴-۴-۴ نمونه شماره B۱.....
۶۵	..... ۵-۴-۴ نمونه شماره A۱.....
۶۷	..... ۶-۴-۴ نمونه شماره ۴۷A.....
۶۸	..... ۷-۴-۴ نمونه شماره ۳۷.....
۶۹	..... ۵-۴ نتیجه گیری.....
۷۳	<b>فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات</b> .....
۷۴	..... ۱-۵ نتیجه گیری.....
۷۵	..... ۲-۵ پیشنهادات.....
۷۷	..... منابع.....
۸۲	..... پیوست.....

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: نقشه ساده شده ساختاری- زمین شناسی ایران..... ۱۳
- شکل ۲-۲: نقشه راه های دسترسی محدوده گنبد سیاهو در شمالغرب سیاهو با علامت مستطیل مشخص شده است. ۱۳
- شکل ۳-۲: نمایی از توپوگرافی منطقه وگنبد نمکی سیاهو بر روی نقشه Google Earth..... ۱۴
- شکل ۴-۲: موقعیت قرارگیری گنبد نمکی سیاهو و دیابیرهای نمکی هرمز بر روی تصویر ماهواره ای..... ۱۸
- شکل ۵-۲: نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ از گنبد نمکی سیاهو..... ۱۸
- شکل ۶-۲: رسوبات برجای مانده حاصل از پسروری نمک مربوط به واحد (Hr) در نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰..... ۱۹
- شکل ۷-۲: گسترش بسیار زیاد خاک برجا در بام گنبد نمکی سیاهو (دید به سمت جنوب)..... ۲۰
- شکل ۸-۲: نمک و پتاس ثانویه به همراه اکسید آهن در غرب نمک گیر گنبد سیاهو..... ۲۱
- شکل ۹-۲: نمای عمومی نمک با رنگهای سفید تا خاکستری تیره همراه با اکسید آهن که باعث رنگهای قرمز تا قهوه‌ای در دیواره نمک گیر شده است..... ۲۲
- شکل ۱۰-۲: واحد اکسید آهن(هماتیت) و نمکهای غنی از آهن در منطقه سیاهو..... ۲۳
- شکل ۱۱-۲: مدل ارائه شده جهت صعود دیابیری گنبدهای نمکی حاوی پتاس در جزیره هرمز؛..... ۲۶
- شکل ۱-۳: شمای کلی از نحوه دریافت داده ها از طریق سنجندههای ماهواره ای..... ۲۹
- شکل ۲-۳: توزیع کانالهای استر و لندست، باتوجه به طیف الکترومغناطیس..... ۳۰
- شکل ۳-۳: رفتار طیفی برخی از کانیهای مهم در اکتشاف کانسارها(Sabins,1999)..... ۳۲
- شکل ۴-۳: عکس نقشه ماهواره ای از منطقه مورد نظر (USGS, 2014)..... ۳۳
- شکل ۵-۳: تصویر حاصل از نسبت گیری باندی (مناطق حاوی سولفات با پیکسل روشن آشکار شده است)..... ۳۵
- شکل ۶-۳: تصویر حاصل از نسبت گیری باندی (مناطق حاوی دولومیت با پیکسل روشن آشکار شده است)..... ۳۵
- شکل ۷-۳: تصویر حاصل از نسبت گیری باندی (مناطق حاوی رس با پیکسل روشن آشکار شده است)..... ۳۶
- شکل ۸-۳: تصویر حاصل از نسبت گیری باندی ( مناطق حاوی  $Fe^{3+}$  با پیکسل روشن آشکار شده است)..... ۳۶
- شکل ۹-۳: تصویر حاصل از نسبت گیری باندی (مناطق حاوی پوشش گیاهی با پیکسل روشن آشکار شده است)..... ۳۷
- شکل ۱۰-۳: تصویر حاصل از نسبت گیری باندی (مناطق حاوی کربنات با پیکسل روشن آشکار شده است)..... ۳۷
- شکل ۱۱-۳: تصویر حاصل از نسبت گیری باندی(مناطق حاوی هالیت با پیکسل روشن آشکار شده است)..... ۳۷
- شکل ۱۲-۳: تصویر حاصل از نسبت گیری باندی(مناطق حاوی Ferrous iron با پیکسل روشن آشکار شده است)..... ۳۷
- شکل ۱۳-۳: تصویر حاصل از نسبت گیری باندی مناطق حاوی Ferric oxide با پیکسل روشن آشکار شده است..... ۳۸
- شکل ۱۴-۳: تصویر حاصل از نسبت گیری باندی(مناطق حاوی آلونیت با پیکسل روشن آشکار شده است)..... ۳۸
- شکل ۱۵-۳: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از پوشش گیاهی، دولومیت و آهن سه ظرفیتی..... ۳۹
- شکل ۱۶-۳:تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از کانیهای ژیپس و مسکویت و مناطق دگرسانی..... ۳۹
- شکل ۱۷-۳: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از هالیت، پوشش گیاهی و اکسید آهن..... ۴۰
- شکل ۱۸-۳: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از کانیهای سولفاتی، رس و کربنات..... ۴۰
- شکل ۱۹-۳: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از کانیهای مختلف..... ۴۱

- شکل ۳-۲۰: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از کانیه‌های آلونیت، رس و هالیت..... ۴۱
- شکل ۳-۲۱: تصویر PC3، هالیت با پیکسل‌های روشن بارز شده‌اند..... ۴۵
- شکل ۳-۲۲: تصویر PC12، اکسید آهن با پیکسل‌های تیره بارز شده‌اند..... ۴۵
- شکل ۳-۲۳: تصویر PC14، رس با پیکسل‌های روشن بارز شده‌اند..... ۴۵
- شکل ۳-۲۴: تصویر PC8، کربنات با پیکسل‌های تیره بارز شده‌اند..... ۴۵
- شکل ۳-۲۵: نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ از گنبد نمکی سیاهو..... ۴۶
- شکل ۳-۲۶: تصویر ماهواره‌ای گنبد نمکی سیاهو و محدوده‌های رخنمون هالیت..... ۴۶
- شکل ۴-۱: تصویر ماهواره‌ای گنبد نمکی سیاهو و به همراه تقسیم‌بندی انجام شده جهت نمونه برداری..... ۴۹
- شکل ۴-۲: نمودار دورفل به منظور شناسایی مقادیر خارج از ردیف [Levinson,1980]..... ۵۱
- شکل ۴-۳: نمودار هیستوگرام توزیع نرمال برای داده‌های سیاهو..... ۵۲
- شکل ۴-۴: انواع حالات چولگی..... ۵۲
- شکل ۴-۵: نمودار هیستوگرام عنصر K..... ۵۳
- شکل ۴-۶: توزیع داده‌ها قبل از نرمالسازی..... ۵۴
- شکل ۴-۷: توزیع داده‌ها بعد از نرمالسازی..... ۵۴
- شکل ۴-۸: نقشه ترکیبی ارتفاعی و ناهنجاری پتاسیم در گنبد سیاهو..... ۵۶
- شکل ۴-۹: نقشه ناهنجاری و نقاط نمونه برداری شده در گنبد نمکی سیاهو..... ۵۶
- شکل ۴-۱۰: نقشه ناهنجاریهای پتاسیم در گنبد نمکی سیاهو..... ۵۷
- شکل ۴-۱۱: طیف کوارتز و شیشه..... ۵۸
- شکل ۴-۱۲: سمت راست ترکیبی از سه الگوی سمت چپ می‌باشد که فازهای مختلف  $SiO_2$ ..... ۵۸
- شکل ۴-۱۳: تطابق پیک‌های طیف XRD با پیک‌های الگو..... ۵۹
- شکل ۴-۱۴: نمونه شماره ۷۵..... ۶۰
- شکل ۴-۱۵: نمودار طیفی نمونه شماره ۷۵..... ۶۱
- شکل ۴-۱۶: نمونه شماره 75A..... ۶۲
- شکل ۴-۱۷: نمودار طیفی نمونه شماره 75 A..... ۶۲
- شکل ۴-۱۸: شکل شماره ۴۳..... ۶۳
- شکل ۴-۱۹: نمودار طیفی نمونه شماره ۴۳..... ۶۳
- شکل ۴-۲۰: شکل شماره B1..... ۶۴
- شکل ۴-۲۱: نمودار طیفی نمونه B1..... ۶۵
- شکل ۴-۲۲: نمونه شماره A1..... ۶۶
- شکل ۴-۲۳: نمودار طیفی نمونه شماره A1..... ۶۶
- شکل ۴-۲۴: شکل شماره 47A..... ۶۷
- شکل ۴-۲۵: نمودار طیفی نمونه شماره 47A..... ۶۷
- شکل ۴-۲۶: شکل شماره ۳۷..... ۶۸

- شکل ۴-۲۷: نمودار طیفی نمونه شماره ۳۷.....۶۹
- شکل ۴-۲۸: نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ به همراه نقاط نمونه برداری در بخش غربی گنبد نمکی.....۷۱
- شکل ۴-۲۹: نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ به همراه نقاط نمونه برداری در بخش شرقی گنبد نمکی.....۷۲
- شکل ۵-۱: طرح شماتیک از محل حفاری.....۷۶
- شکل ۵-۲: محل حفاری بر روی نقشه.....۷۶

## فهرست جداول

- جدول ۱-۱: کانیهای مهم پتاس بر اساس میزان فراوانی اکسید پتاس (Edmundson and Raymer, 1979)..... ۳
- جدول ۱-۲: مطالعات انجام شده جهت پی جویی پتاس در ایران (برنا، ۱۳۸۵)..... ۶
- جدول ۱-۳: مهمترین تولید کنندگان پتاس در دنیا و میزان تولید پتاس در سالهای اخیر (سایت USGS)..... ۸
- جدول ۱-۳: باندهای طیفی سنجنده ASTER (Kalinowski and Oliver, 2004)..... ۳۱
- جدول ۲-۳: ماتریس مقادیر ویژه برای تحلیل مؤلفه های اصلی..... ۴۳
- جدول ۳-۳: مقادیر ماکزیمم و مینیمم مقادیر ویژه..... ۴۴
- جدول ۱-۴: پارامترهای آماری داده های خام گنبد نمکی سیاهو..... ۴۹
- جدول ۲-۴: مقادیر خارج از ردیف عنصر پتاسیم و مقادیر جایگزین شده..... ۵۱
- جدول ۳-۴: مقادیر حد زمینه و حد آستانهای برای عنصر پتاسیم..... ۵۵
- جدول ۴-۴: نتایج آنالیز نمونه شماره ۷۵..... ۶۱
- جدول ۵-۴: نتایج آنالیز نمونه شماره ۷۵A..... ۶۲
- جدول ۶-۴: نتایج آنالیز نمونه شماره ۴۳..... ۶۴
- جدول ۷-۴: نتایج آنالیز نمونه B1..... ۶۵
- جدول ۸-۴: نتایج آنالیز نمونه شماره A1..... ۶۶
- جدول ۹-۴: نتایج آنالیز نمونه شماره ۴۷A..... ۶۸
- جدول ۱۰-۴: نتایج آنالیز نمونه شماره ۳۷..... ۶۹
- جدول ۱۱-۴: توزیع عیار نمونه های پتاسیم دار در نواحی پتانسیل دار گنبد نمکی سیاهو نتایج آنالیز..... ۷۰
- جدول ۱۲-۴: میزان در صد پتاس در آنالیز XRD..... ۷۰



# فصل اول

## کلیات

## ۱- مقدمه

واژه پتاس به سنگ‌ها، کانسنگ‌ها و محصولات تصفیه شده پتاسیم‌دار گفته می‌شود؛ که حاوی پتاسیم به شکل محلول در آب باشند (Jasinski, 2011). پتاسیم، یکی از سه عنصر ضروری مورد استفاده موجودات زنده است؛ که اغلب به عنوان کود شیمیایی در صنایع کشاورزی و یا خوراک کارخانجات محصولات شیمیایی به کار گرفته می‌شود. پتاسیم به دلیل داشتن میل ترکیبی بالا، به صورت طبیعی و خالص دیده نمی‌شود و اغلب با عناصری مانند کلر، سولفات و نیترات همراه است. مهمترین کانی پتاس، سیلویت (KCl) می‌باشد؛ که با ۶۳٪ اکسید پتاسیم بیشترین مقدار  $K_2O$  را داراست. جدول (۱-۱) ترکیب شیمیایی و درصد اکسید پتاس را در کانیهای پتاسیم‌دار نشان می‌دهد. پتاس می‌تواند به صورت تبخیری (در سنگهای رسوبی)، سنگی (در سنگهای آذرین و دگرگونی) و شورابه‌ای (در آب دریاها و دریاچه‌ها) حضور داشته باشد (Prud'homme and Krukowski, 2006). مهمترین کانسنگ طبیعی پتاس، ذخایر تبخیری موجود در سنگهای رسوبی هستند، پس از آن شورابه‌های هیدروترمال مرتبط با منابع آذرین، منبع مهم پتاس می‌باشند (Talbot et al., 2008). مهمترین کانی‌های پتاس معمولاً به صورت لایه‌هایی در بین سکانس‌های حجیم تبخیری‌ها مانند کربنات‌ها ( $CaCO_3$ )، سولفات‌ها مانند انیدریت ( $CaSO_4$ ) و هالیت (NaCl) نهشته می‌شوند؛ جایی که آب دریاها تبخیر شده است و یا شورابه‌های پتاسیم‌دار وارد محیط دریا شده اند (Talbot et al., 2008). سازمان زمین شناسی ایران طی سال‌های اخیر با هدف اکتشاف پتاس، نواحی مناسبی از این ماده معدنی را معرفی نموده است (فرهادی، ۱۳۸۳). در ابتدا نواحی بیابانی مرکز ایران به جهت کشف شورابه‌های پتاس مورد توجه قرار گرفت؛ سپس ذخایر دیابیری در شمال غرب و اخیراً در نواحی جنوب ایران (گنبد‌های نمکی هرمز) مورد توجه و اکتشاف قرار گرفته است (Talbot et al., 2008).



جدول ۱-۱: کانی‌های مهم پتاس بر اساس میزان فراوانی اکسید پتاس (Edmundson and Raymer, 1979).

درصد اکسید پتاس	فرمول شیمیایی	نام کانی
63.18	KCl	Sylvite
23.39	$K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$	Schoenite(picromerite)
22.67	$K_2Mg_2(SO_4)_3$	Langbeinite
19.27	$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$	Kainite
16.95	$KMgCl_3 \cdot 6H_2O$	Carnallite
15.52	$K_2MgCa_2(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$	Polyhalite
11.4	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	Alunite
10.35	KCl+NaCl	Sylvinite

گنبد نمکی سیاهو (فینو) با مساحت تقریبی ۱۶ کیلومتر مربع در ۸۱ کیلومتری جنوب شرق حاجی‌آباد و در ۹ کیلومتری شمال غرب سیاهو قرار دارد. این منطقه از نظر زمین‌شناسی در برکه ۱:۲۵۰۰۰۰ بندر عباس و در زون زمین‌شناسی زاگرس واقع شده است و بخشی از سازند هرمز را شامل می‌شود. مهمترین واحدهای که نمک بر روی آن جریان یافته است، کنگلومرای بختیاری می‌باشد؛ که قسمت اعظم منطقه را پوشانده است (برنا، ۱۳۸۵). مطالعات پی‌جویی پتاس در جنوب زاگرس، گنبد سیاهو را به‌عنوان منطقه با اهمیت معرفی کرده است (برنا، ۱۳۸۵)؛ لذا این منطقه جهت مطالعات تکمیلی‌تر انتخاب گردیده است. عملیات اکتشافات نیمه‌تفصیلی توسط شرکت مهندسی مشاور کان ایران با همراهی نگارنده انجام یافته است. هدف از انجام این تحقیق، اکتشاف و پتانسیل‌یابی کانی‌سازی پتاس با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی است؛ که در صورت ارزش اقتصادی پتاس در این منطقه، مطالعات تکمیلی و استخراج پتاس پیشنهاد خواهد شد.

## ۱-۲- مروری بر فعالیت‌های انجام شده

مهمترین کاربردهای پتاس در صنایع صابون، شیشه‌گری، رنگ، فرآوری مواد غذایی و ساخت باروت است. چینی‌ها اولین کسانی بودند که از نیترات پتاسیم جهت تهیه باروت استفاده کردند. تهیه پتاس از خاکستر جلبک‌ها و خزه‌های دریایی از سال ۱۳۷۰ میلادی در اسکاتلند آغاز گردید؛ که در سال‌های اخیر این روش منسوخ گردیده است. استفاده از خاکستر چوب (کربنات پتاسیم) به منظور تأمین پتاس در آمریکا از سال ۱۷۹۰ میلادی آغاز گردید. کشف پتاس ذخایر سنگی و تبخیری در سال‌های اخیر

موجب گردید که منابع ذکر شده کمتر مورد استفاده قرار گیرد. اولین ذخیره تبخیری به‌طور تصادفی در سال ۱۸۳۹ میلادی در حین حفاری اکتشاف نمک در آلمان کشف گردید (سعدالدین، ۱۳۷۱). سازندهای نمکی پتاس‌دار اغلب در نواحی مستعد ذخایر نفتی واقع شده‌اند؛ لذا مهمترین ذخایر پتاس جهان طی حفاری‌های نفتی اکتشاف گردید. برای مثال در اوایل دهه ۱۹۴۰ میلادی یکی از بزرگترین نهشته‌های پتاس جهان (بیش از ۵ بلیون تن ذخیره) در اعماق یک تا دو کیلومتری ناحیه ساسکاچوان<sup>۱</sup> در کانادا کشف شد، این ذخیره به سمت جنوب در ایالت‌های مونتانا و داکوتای شمالی آمریکا ادامه دارد. به‌طور کلی کاربرد تلفیقی روش‌های ژئوفیزیک، ژئوشیمی و تکنیک‌های زمین‌شناسی در سال‌های اخیر موجب کشف بلیون‌ها تن ذخیره پتاس در کشورهای برزیل، کانادا و روسیه شده‌است. پی‌جویی پتاس در ایران از دیرباز مورد توجه بوده است. اولین گزارش در مورد ذخیره پتاس در ایران در سال ۱۸۶۶ میلادی توسط گوبل در منطقه ماهان آذربایجان شرقی ارائه شد و بعد از آن در سال ۱۹۵۹ میلادی پتاس در دریاچه ارومیه معرفی گردید. از سال ۱۳۶۷ با آغاز طرح سراسری پی‌جویی پتاس در ایران توسط سازمان زمین‌شناسی کشور، اکتشاف پتاس به‌صورت سیستماتیک در آمد. جدول (۱-۲) مطالعات انجام شده جهت پی‌جویی پتاس در سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۵ که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور صورت گرفته است را نشان می‌دهد (برنا، ۱۳۸۵).

گزارش پی‌جویی پتاس در استان سمنان حاکی از مثبت بودن آنومالی‌های پتاس در این ناحیه است. معدن نمک راهراک، ۶ کارگاه استخراجی دارد که عیار پتاس (به‌صورت کانی سیلویت) در یکی از کارگاه‌های این معدن حدود ۴۱/۴۷ در صد  $K_2O$  است. معدن نمکی سیالک نیز در این منطقه به‌عنوان اندیس شناخته شده است؛ که در حال حاضر این معدن غیر فعال است. معدن نمک ایوانکی در منطقه گرمسار از معادن نمکی است که عیاری حدود ۲۷/۹۶ درصد اکسید پتاسیم دارد. معدن نمک حسین‌آباد در منطقه سمنان که عیار  $K_2O$  در برخی از نمونه‌های آن به ۱۷/۱۵ درصد می‌رسد (سعدالدین، ۱۳۷۱).

---

<sup>۱</sup>- Saskatchewan

پی جویی پتاس در استان کهگیلویه و بویراحمد انجام گرفت. نتایج به دست آمده میزان پتاسیم را در حد بسیار پایینی نشان داد. همچنین در حوضچه‌های استحصال نمک هیچگونه نظمی از افزایش یا کاهش مقدار پتاسیم مشاهده نگردید. با توجه به شواهد امر، منطقه فاقد پتانسیل جهت اکتشاف پتاس بوده است (فنودی، ۱۳۷۱).

پی جویی‌های صورت گرفته در چهارگوش‌های زنجان و تکاب نشان داد، بهترین اندیس‌های پتاس در معدن نمک وردوق مشاهده شده است. معدن نمک مامان در درجه دوم اهمیت از لحاظ پتاس قرار دارد (اعلمی میلانی، ۱۳۷۱).

مطالعات پی جویی پتاس در شمال نیشابور نشان داد، افق‌های پتاس معدن عمارلو نیشابور با عیار متوسط ۱۵ درصد  $K_2O$ ، قابل توجه هستند. در سایر مناطق به جز شورابه‌های کف معادن سلطان آباد و حصار یزدان، میزان پتاس قابل توجه نیست (دری، ۱۳۷۱).

اکتشاف پتاس در گنبد‌های نمکی زاگرس صورت گرفت. نتایج این مطالعات گنبد‌های نمکی سیاهو، مغویه و موران را به عنوان اولویت‌های اکتشافی معرفی کرد؛ که از این بین، گنبد نمکی سیاهو شانس بیشتری جهت اکتشاف تفصیلی داشته است (برنا، ۱۳۸۵). نواحی حوضه‌هایی نظیر پلایای کویر بزرگ ایران، حوضه آبریز مرداب گاوخونی در ورزنه اصفهان و دریاچه ارومیه از مهمترین حوضه‌های شناخته شده پتاس ایران هستند (برنا، ۱۳۸۵).

از آنجا که پتاس ارتباط نزدیکی با گنبد‌های نمکی دارد؛ لذا مطالعات اکتشافی به‌روش مغناطیس و گرانی‌سنجی در استانهای آذربایجان شرقی (آجی چای) و زنجان (قره آقاج) صورت گرفت. هدف از انجام مطالعات گرانی‌سنجی در منطقه تعیین محدوده‌های با چگالی کم می‌باشد. از آنجا که گنبد‌های نمکی دارای چگالی کمی می‌باشند، با این روش می‌توان حتی حضور یک گنبد نمکی را در عمق تشخیص داد. با توجه به اینکه گنبد‌های نمکی نسبت به سایر تشکیلات زمین‌شناسی خواص دیا

مغناطیس دارند، لذا با استفاده از روش مغناطیس‌سنجی می‌توان به شناسایی بخش‌هایی که دارای مغناطیس پایین‌تری نسبت به سایر بخش‌های مجاور می‌باشد، اقدام نمود. با توجه به نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته جهت مشخص نمودن گنبد نمکی این روش تا حدودی موفقیت آمیز بود (رضوی و جعفری، ۱۳۸۷).

جدول ۱-۲: مطالعات انجام شده جهت پی جویی پتاس در ایران (برنا، ۱۳۸۵).

ردیف	سال	موضوع	مجری
۱	۱۳۶۷	مطالعات امکانات بررسی های سیستماتیک پتاس در ایران	شازن
۲	۱۳۶۹	پی جویی پتاس در نواحی قم	حسن توکلی اسکویی
۳	۱۳۶۹	پتاس در آذربایجان	حسن توکلی اسکویی
۴	۱۳۷۰	پی جویی پتاس در استان خراسان (سبزوار- نیشابور- تربت حیدریه)	علی رضا نمد مالیان
۵	۱۳۷۰	پی جویی پتاس در منطقه گرمسار حد فاصل ایوانکی - بن کوه	علی رضا نمد مالیان
۶	۱۳۷۰	پرعیار سازی پتاس گرمسار	احمد امینی
۷	۱۳۷۰	پی جویی پتاس در گنبد های نمکی اردکان یزد	خسرو صادقی
۸	۱۳۷۱	طرح پی جویی سراسر پتاس ( گزارش پی جویی پتاس در استان سمنان)	ناصر سعدالدین
۹	۱۳۷۱	بررسی های زمین شناسی و معدنی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده پتاس عمارلو	محمد باقر دری
۱۰	۱۳۷۱	پی جویی پتاس در استان کهگیلویه و بویر احمد	محمد فنودی
۱۱	۱۳۷۱	پی جویی پتاس در استان های مرکزی، زنجان، آذربایجان شرقی و غربی	پرویز ایرانپور
۱۲	۱۳۷۱	پی جویی پتاس در استان های کرمان و هرمزگان	پرویز ایرانپور
۱۳	۱۳۷۱	پی جویی در چهار گوش زنجان و تکاب	حسن اعلمی میلانی
۱۴	۱۳۷۱	پی جویی پتاس در گنبد های نمکی جنوب (استان هرمزگان)	پرویز ایرانپور
۱۵	۱۳۷۱	اکتشاف نیمه تفضیلی شورابه پتاس دار مرداب گاوخونی	روزبه کارگر سرمد
۱۶	۱۳۷۲	پی جویی پتاس در استان های چهار محال بختیاری و کرمان	پرویز ایرانپور
۱۷	۱۳۷۲	پی جویی پتاس در گنبد های نمکی زاگرس (فیروزآباد-کازرون)	دری و بدخشان
۱۸	۱۳۷۲	اکتشاف مقدماتی پتاس در گنبد نمکی پهل	پرویز ایرانپور
۱۹	۱۳۷۳	پی جویی پتاس در معادن نمک فعال استان آذربایجان و زنجان	محمد باقر دری
۲۰	۱۳۷۳	گزارش نقشه ۱:۵۰۰۰ معدن نمک سیالک (شمال غرب گرمسار)	منصور صمیمی
۲۱	۱۳۷۳	استحصال پتاس از شورابه های مرداب گاوخونی و کویر	سهیلا اصلانی
۲۲	۱۳۷۴	بررسی مجدد و ردیابی پتاس در معادن نمک محدوده نیشابور و میامی	قیس بدخشان ممتاز
۲۳	۱۳۷۴	پی جویی پتاس در گنبد های نمکی زاگرس (حاجی آباد - لار)	محمد باقر دری
۲۴	۱۳۷۵	گزارش بررسی های وجود پتاس در معدن نمک ایلجاق	محمد باقر دری
۲۵	۱۳۷۶	طرح پژوهشی فراوری اولیه کانسار پتاس گرمسار	سهیلا اصلانی
۲۶	۱۳۷۶	فراوری و جدایش پتاس از شورابه با روش فلوتاسیون	منوچهر والیازاده
۲۷	۱۳۷۸	مطالعات ثقل سنجی و مغناطیس سنجی در منطقه ایلجاق از توابع زنجان	شهریار جوادی پور
۲۸	۱۳۷۹	پتاس در گنبد نمکی ایلجاق	صنایع معادن

فریده حلمی	شرحی بر نمک طعام و پتاس پراکندگی آن ها در ایران	۱۳۷۹	۲۹
رضا فرهادی	پروژه پتاس سنگی ایلجاق، طرح اکتشاف سراسری	۱۳۸۰	۳۰
میرزا آقا محمدی	بررسی مقدماتی فراوری پتاس ایلجاق در مقیاس آزمایشگاهی	۱۳۸۲	۳۱
مریم هاشمی	مدلسازی سه بعدی کانسار پتاس ایلجاق	۱۳۸۲	۳۲
رضا فرهادی	اکتشاف مقدماتی پتاس در گنبد های نمکی زاگرس	۱۳۸۲	۳۳
نقی فضلی خانی	برآورد ذخیره کانسار پتاس سنگی ایلجاق به کمک روش زمین آماری	۱۳۸۳	۳۴
بهروز برنا	اکتشاف پتاس سنگی در گنبد نمکی زاگرس	۱۳۸۵	۳۵

### ۳-۱ ضرورت و هدف از انجام پایان نامه

کود ماده‌ای است که برای افزایش توانایی خاک در رشد و سلامت گیاه به کار می رود. کود طبیعی یا شیمیایی حاوی نیتروژن، فسفر، گوگرد و پتاسیم است، این عناصر حاصل خیزی خاک را افزایش می-دهند. چهار عنصر ذکر شده به طور طبیعی در خاک وجود دارد؛ اما در اثر کشاورزی‌های پی‌درپی، خاک از این عناصر تهی می‌شود؛ لذا ضروری است که قبل از استفاده مجدد از زمین، این عناصر بوسیله کودهای مناسب جایگزین شود. از آنجایی که پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهانی تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۸/۹ میلیارد نفر برسد (یعنی افزایش ۶۴ درصدی در مقایسه با جمعیت ۵/۷ میلیارد نفری سال ۱۹۹۵)، می‌توان گفت این افزایش بیشتر در کشورهای در حال توسعه اتفاق خواهد افتاد؛ لذا این مناطق جهت کشاورزی و خاک مناسب با مشکلات جدی روبرو خواهند شد. از طرف دیگر، درحالی که تقاضا برای غذا افزایش می یابد، زمین کشاورزی برای تولید غذا تقریباً ثابت باقی می‌ماند؛ بنابراین می‌بایست روش‌هایی برای تولید بیشتر گیاه و غنی‌سازی خاک اتخاذ گردد؛ که تولید کود یکی از مهمترین این روش‌ها است. با توجه به اینکه حدود ۹۵٪ تولید جهانی پتاس در صنعت کشاورزی و به منظور تهیه کود مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ بنابراین پی جویی و اکتشاف پتاس از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است

[Magen, 2010].

میزان تولید پتاس در دنیا در جدول (۱-۳) خلاصه شده است. کشور ما سالانه حدود ۲۶۰ هزار تن پتاس نیاز دارد؛ که بخشی از آن در داخل کشور (سالانه ۵۰ هزار تن پتاس در خور بیابانک) تولید می-شود و بخشی دیگر از کشورهای نظیر روسیه، بلاروس و ازبکستان وارد کشور می‌شود (عظیمی، ۱۳۷۷).

جدول ۱-۳: مهمترین تولید کنندگان پتاس در دنیا و میزان تولید پتاس در سالهای اخیر (سایت USGS).

		میزان تولید در سالهای مختلف براساس میلیون تن			
ردیف	سال	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷
	کشور				
۱	کانادا	۱۱	۱۱	۱۰	۱۲
۲	روسیه	۷/۳۸	۷/۴۰	۷/۲	۶/۴۸
۳	بلاروس	۶/۲۹	۶/۵	۶/۴	۶/۱۸
۴	چین	۴/۴	۴/۲	۶/۲	۶/۲
۵	آلمان	۳	۳	۳/۱	۲/۹
۶	اسرائیل	۱/۷۷	۱/۸۰	۱/۳	۲/۲
۷	اردن	۱/۲۶	۱/۲۵	۱/۴	۱/۳
۸	شیلی	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲
۹	اسپانیا	۰/۷۱۵	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۶۷
۱۰	امریکا	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۵۲	۰/۴۸

کانی های پتاس معمولاً همراه با ذخایر نمکی تشکیل شده اند، ولی به دلیل مقدار کم املاح پتاسیم آب دریا و شورابه ها نسبت به املاح سدیم و همچنین قابلیت انحلال بیشتر کانیهای پتاس، ذخایر آنها نسبت به نمک بسیار ناچیز است. همچنین ممکن است به دلایلی پتاس اولیه از محیط خارج شده و مواد دیگری جایگزین آن شود. بنابراین ذخایر پتاس در مناطق بسیار خشک دیده می شود و به ندرت در سطح زمین رخنمون دارند. از آنجا که ذخایر پتاس تبخیری از مهمترین منابع این ماده معدنی محسوب می شود؛ لذا اکتشاف حوضه های تبخیری درون قاره ای در مناطق جنوبی ایران از اهمیت ویژه ای برخوردار است. تغییرات دما و تبخیر زیاد در حوضه های بسته باعث ایجاد گنبد های نمکی و به دنبال آن ذخایر پتاس گردیده است (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۱). با توجه به ویژگی های ذکر شده، محدوده گنبد نمکی سیاهو به منظور اکتشاف و پتانسیل یابی ذخیره پتاس انتخاب گردید.

#### ۱-۴ روش تحقیق

۱- جمع آوری داده های کتابخانه ای موجود از منطقه، مانند نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی و داده های مربوط به پی جویی های قبلی در گنبد های نمکی زاگرس.

- ۲- بررسی داده های دورسنجی بزرگ مقیاس تصاویر ماهواره ای و تجزیه و تحلیل آنها با استفاده از نرم افزارهای Arc GIS و ENVI. در این مرحله واحدهای زمین شناسی، ساختارها و شکستگی های موجود در منطقه و تغییرات لیتولوژی با توجه به داده های دورسنجی و مشاهدات صحرایی بررسی می گردد.
- ۳- تهیه نقشه ۱/۵۰۰۰ از منطقه مورد مطالعه و بررسی رخنمون های شناخته شده پتاس.
- ۴- نمونه برداری و انجام بیش از ۳۸۶ نمونه آنالیز ژئوشیمیایی جهت تعیین محدوده های با پتانسیل بالا از لحاظ درصد پتاسیم.
- ۵- نمونه برداری و انجام حدود ۱۷ نمونه آنالیز (XRD) جهت تعیین نوع کانی های تشکیل دهنده پتاس.
- ۶- پردازش داده ها، نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات جهت مشخص نمودن مناطق امیدبخش دارای درصد بالای پتاسیم و پیشنهاد محل های مناسب حفاری.

## ۱-۵ ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر شامل پنج فصل می باشد؛ که فصل جاری به بیان مقدمه، مروری بر کارهای انجام شده، ضرورت و روش تحقیق می پردازد. در فصل دوم، زمین شناسی منطقه و نحوه تشکیل پتاس در گنبد های نمکی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. فصل سوم به مطالعات دورسنجی و GIS منطقه مورد مطالعه پرداخته می شود. فصل چهارم به ژئوشیمی و مطالعات کانی شناسی به روش XRD اختصاص می یابد و در نهایت در فصل پنجم بحث و نتیجه گیری بیان می گردد.





# فصل دوم

## زمین شناسی منطقه

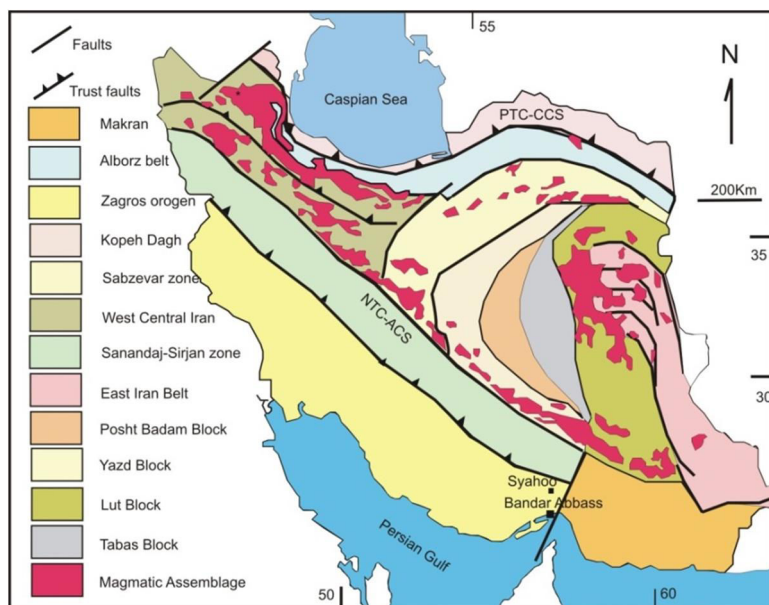
### سیاهو

## ۱-۲ مقدمه

گنبد نمکی سیاهو (فینو) در ۹ کیلومتری شمال غرب سیاهو، ۷۰ کیلومتری شمال بندرعباس و در استان هرمزگان قرار دارد. وسعت این منطقه ۱۶ کیلومتر مربع بوده و در محدوده جغرافیایی طول شرقی  $40^{\circ} 13' 56''$  و  $40^{\circ} 16' 56''$  و عرض شمالی  $24^{\circ} 50' 27''$  و  $27^{\circ} 40' 00''$  واقع شده است. این منطقه از نظر زمین شناسی در برگیرنده ۱:۲۵۰۰۰۰ بندرعباس و در زون زمین شناسی زاگرس واقع شده است و بخشی از سازند هرمز را شامل می‌شود. تهیه نقشه ۱:۵۰۰۰ زمین شناسی و نمونه برداری‌های مربوط به مطالعات ژئوشیمیایی جهت تعیین مناطق دارای پتانسیل پتاس توسط شرکت مهندسی مشاور کان ایران صورت پذیرفت.

## ۲-۲ ویژگی های جغرافیایی و اقلیمی

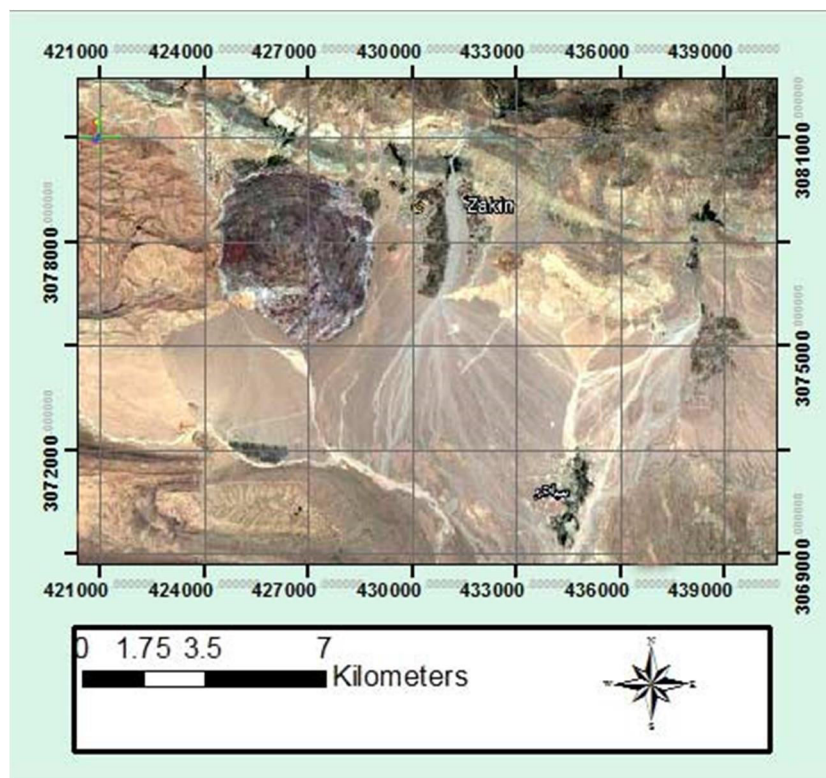
گنبد نمکی سیاهو در منتهی‌الیه شرقی کمربند چین‌خورده زاگرس (شکل ۱-۲) و در انتهای شرقی طاق‌دیس فینو قرار گرفته است؛ که به صورت کوهستانی صعب‌العبور واقع شده است. راه دسترسی به این منطقه از طریق جاده بندرعباس به حاجی‌آباد، جاده سیاهو (۱۵ کیلومتر)، راه آسفالت‌ه درگز (۹ کیلومتر) و راه روستایی درگز به خرسین به طول ۱۰ کیلومتر امکان‌پذیر خواهد بود (شکل ۲-۲). بهترین راه دسترسی به گنبد نمکی سیاهو، راه آسفالت‌ه روستای خرسین در شمال غرب این گنبد است. به علت توپوگرافی بسیارخشن نمک، دسترسی به بسیاری از ارتفاعات نمکی بسیار دشوار بوده و آبراهه‌های پیرامون این گنبد، بهترین راه دسترسی به مناطق نمک‌گیر است. نقشه توپوگرافی منطقه در شکل (۲-۳) آمده است.



شکل ۲-۱: نقشه ساده شده ساختاری- زمین شناسی ایران (Alavai, 1991; Stöcklin, 1968)، موقعیت گنبد نمکی سیاهو با علامت مربع در شمال بندرعباس نشان داده شده است.



شکل ۲-۲: نقشه راه های دسترسی (محدوده گنبد سیاهو در شمال غرب سیاهو با علامت مستطیل مشخص شده است).



شکل ۲-۳: نمایی از توپوگرافی منطقه وگنبد نمکی سیاهو بر روی نقشه Google Earth

بلندترین نقطه کوه نمک از سطح دریا ۱۴۰۰ متر ارتفاع دارد و ارتفاع پایین‌ترین رخنمون نمک از سطح دریا حدود ۶۰۰ متر است. درجه حرارت در روزهای گرم تابستان (تیر ماه) گاهی به ۴۰ درجه می‌رسد؛ اما حداقل دما در بهمن ماه گاهی کمتر از ۵ درجه است. بارش سالیانه در فصل‌های زمستان و بهار صورت می‌گیرد و اغلب به صورت رگبارهای تند است؛ که باعث جریان سیلاب در آبراهه‌ها می‌شود. فرسایشی که بوسیله آب باران انجام می‌شود، تیغه‌های برنده و اشکال نیزه‌ای در سطح نمک ایجاد می‌کند. با توجه به شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه، جریان آبراهه‌ها از دیواره‌های پیرامون گنبد به سمت اطراف و در نهایت به سمت جنوب منطقه است. صدها آبراهه کوچک و بزرگ به شکل شعاعی نمک‌ها را شسته و پرتگاه‌های مشرف به دره‌های عمیق، همراه با ستون‌های نمکی ستبر را ایجاد می‌کند؛ که عمدتاً در ضلع جنوب‌شرق گنبد مشاهده می‌شود. انحلال ناشی از بارندگی‌های پیاپی حفرات عظیمی در بام گنبد ایجاد کرده است، به طوری که تردد بر بام گنبد به دشواری انجام می‌شود.

استان هرمزگان یکی از استان‌های محروم کشور محسوب می‌شود؛ لذا امکانات رفاهی و عمومی در خارج از شهر بندرعباس ناچیز است. با این حال استان هرمزگان به دلیل موقعیت زمین شناسی، پتانسیل بالای مواد معدنی و بهره‌مندی از ماشین آلات، از نیروی کار خوب برخوردار است. موقعیت قرار گرفتن بندرعباس در این استان و امکانات گمرکی جهت واردات ماشین آلات، همچنین صادرات محصولات فرآوری شده از طریق این بندر، کمک شایانی به پتانسیل‌خیزی و شرایط اقتصادی این منطقه نموده است. اگرچه در فصل تابستان شدت گرما زیاد است؛ اما در طول این فصل هیچ یک از برنامه‌های معدنکاری در استان هرمزگان متوقف نمی‌شود، بنابراین طول فصل کار ۱۲ ماه کامل خواهد بود.

## ۳-۲ زمین شناسی عمومی زاگرس

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 ۲-۱) (درویش‌زاده، ۱۳۷۱). جهت بررسی ویژگی‌های عمومی زاگرس می‌توان از تلفیق دو دیدگاه زمین ریخت‌شناسی و ساختاری بهره برد؛ بر این اساس، زاگرس به دو زیر پهنه زون راندگی‌ها و زاگرس چین‌خورده تقسیم بندی می‌شود (آقانباتی، ۱۳۸۳).

### ۲-۳-۱- زیر پهنه راندگی‌ها<sup>۲</sup>

این زون با پهنای ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر، به‌صورت نواری، بلندترین قسمت کوه‌های زاگرس را تشکیل می‌دهد؛ به‌همین دلیل به آن زاگرس مرتفع نیز اطلاق می‌شود. مرز شمال‌شرقی این زیر پهنه، به راندگی اصلی زاگرس و مرز جنوب‌غربی با یک راندگی مهم بسته می‌شود؛ که از شمال کوه کی‌نو و جنوب از دهنگان و کوه سبزو می‌گذرد (مطیعی، ۱۳۷۴). مطالعات سنگ‌های موجود در زون زاگرس مرتفع نشان می‌دهند؛ که این بخش برخلاف امروز در زمان مزوزوئیک تا اوائل سنوزوئیک گودترین بخش حوزه زاگرس بوده است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

---

<sup>2</sup> - thrust Zone

## ۲-۳-۲- زیرپهنه زاگرس چین خورده

زاگرس چین خورده (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 (آقا نباتی، ۱۳۸۳).

در گستره زاگرس چین خورده، 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. این نکته نشان می‌دهد؛ که از تریاس میانی به بعد، شرایط رسوبی حاکم بر زاگرس چین خورده نسبت به دیگر مناطق ایران تفاوت داشته است. در زاگرس چین خورده، رخنمونی از سنگ‌های پرکامبرین دیده نشده و حفاری‌های نفتی نیز تاکنون به پی‌سنگ نرسیده است (مطیعی، ۱۳۷۴). با توجه به بررسی‌های ژئوفیزیکی، باور بر این است که پی‌سنگ پرکامبرین زاگرس ادامه شمال-شمال شرقی سپر نبین-عربی<sup>۳</sup> است؛ که از شمال شرق آفریقا تا عربستان و حتی در زیر حوضه زاگرس ادامه دارد. رسوبات روی این پی‌سنگ، 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 گنبدنمکی (بیش از ۲۰۰ گنبد)، از ژوراسیک به بعد به سطح زمین رسیده‌اند (آقا نباتی، ۱۳۸۳). اشتوکلین (۱۹۶۸)، مراحل سه گانه زیر را در تکوین حوضه زاگرس مؤثر می‌داند.

### ۱- مرحله فلات قاره (پرکامبرین پسین - تریاس میانی)

در این مرحله رسوبات مشابه با البرز و ایران مرکزی برجا گذاشته شده است. در اوایل پرمین زاگرس به وسیله رسوبات تبخیری - قاره‌ای پوشیده شده است، که پس از آن رسوبات آهکی مربوط به دریای کم عمق همراه با شیل و رخساره‌های کولابی (تا تریاس میانی) در آن رسوبگذاری کرده‌اند.

<sup>3</sup>-arabian – Nabian Shield

## ۲-مرحله بزرگ ناودیسی (تریاس میانی - پلیوسن)

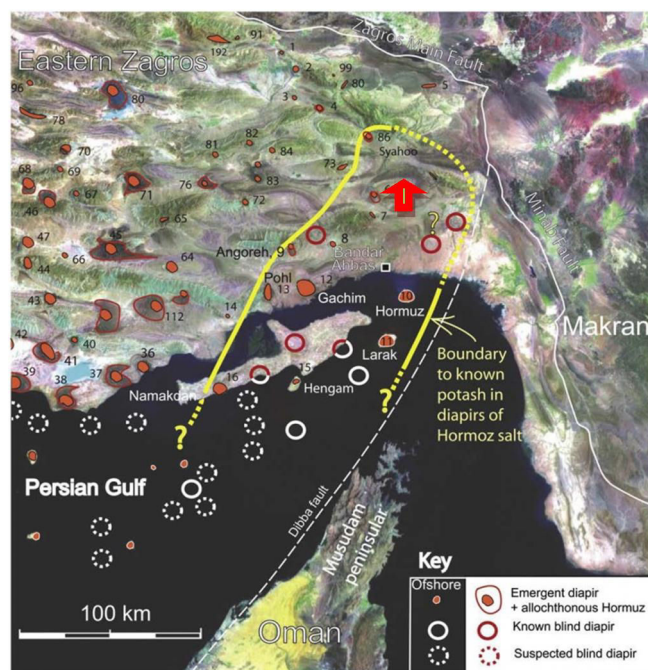
در اواخر تریاس این قسمت از سایر مناطق ایران جدا شده و به صورت حوضه فرورفته‌ای که دائماً در حال نشست بوده درآمده است. جنس رسوبات کربناته بوده که لایه‌های مارن و شیل نیز کم و بیش در آن دیده می‌شود. وجود رسوبات تبخیری و برخی از نبوده‌های چینه‌شناسی کوتاه مدت، نشانه‌ای از حرکات قائم (خشکی‌زایی) در این حوضه رسوبی است. تمام رسوبات به‌طور هم شیب بر روی رسوبات پالئوزوییک قرار دارد و هیچ نوع فعالیت ماگماتیسم و دگرگونی طی فاز آلپی در این حوضه مشاهده نمی‌شود.

## ۳-مرحله پس از کوهزایی (پلیوسن - زمان حال)

این مرحله همزمان با ته‌نشینی کنگلومرای بختیاری زاگرس بوده و تمام فلات ایران، فاز کوهزایی پاسادین را پشت سر نهاده و چین‌خوردگی پیدا کرده است.

## ۲-۴- جایگاه گنبد نمکی سیاهو در کمربند زاگرس

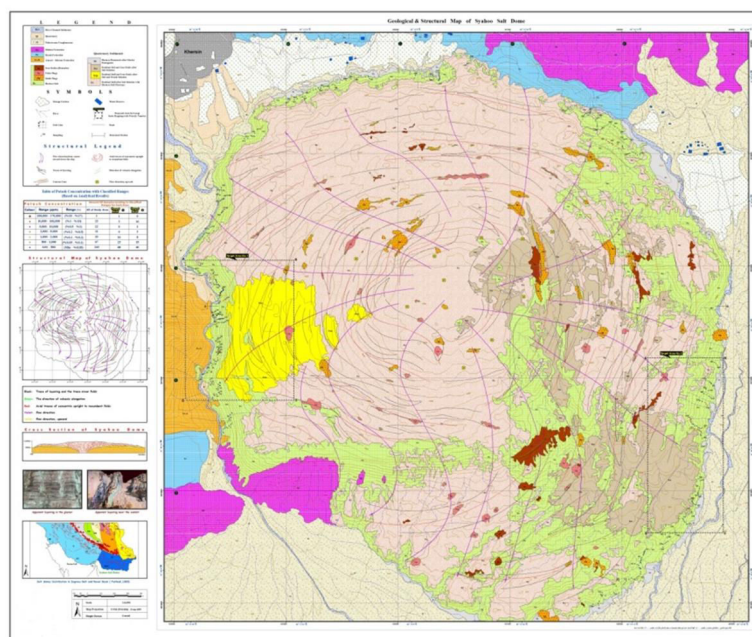
گنبد نمکی سیاهو در منتهی الیه شرقی طاق‌دیس فینو و بر روی محور آن در شرق کمربند زاگرس قرار گرفته است و ارتباط ساختاری آن با سایر گنبد‌های نمکی هرمز از قبیل انگوران و پهل و همچنین ارتباط ساختاری آن با کمربند کوهزایی از طریق محور طاق‌دیس‌ها و خط واره‌های زاگرس مشخص می‌شود. براساس شکل (۲-۴) نمک‌های هرمز در امتداد خطواره‌هایی که می‌تواند معرف سیستم گسلش پی‌سنگ باشد بالا آمده است (Talbot et al., 2008).



شکل ۲-۴: موقعیت قرارگیری گنبد نمکی سیاهو و دیاپیرهای نمکی هرمز بر روی تصویر ماهواره ای (Talbot et al., 2008).

## ۲-۵ زمین شناسی منطقه‌ای گنبد نمکی سیاهو

بر اساس مطالعات زمین شناسی نقشه ۱:۵۰۰۰، که در پیوست می باشد. گنبد نمکی سیاهو یک خروجی از حوضه نمک هرمز در انتهای طاق‌دیس سیاهو است و از نظر زمین شناسی شامل چهار واحد زمین شناسی است (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵: نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ از گنبد نمکی سیاهو (شرکت مهندسی مشاور کان ایران، ۱۳۹۴).



## ۲-۵-۱- رسوبات جوان

این رسوبات به دو گروه قابل تقسیم است مجموعه رسوبات بدون ارتباط با نمک گیر شامل رسوبات جوان بستر رودخانه‌ها، آبرفت‌های کواترنر (Qt) و کنگلومرای پلیوستوسن (Pl)؛ گروه دوم رسوبات جوان همراه نمک گیر است که در زیر به شرح آنها پرداخته می‌شود.

باقیمانده‌های سازند هرمز پس از انحلال کامل نمک و پسروری نمک گیر در پای دیواره‌های نمک انباشته شده اند (Hr). این رسوبات سست که در شکل (۲-۶) نشان داده شده مجموعه کاملی از لیتولوژی سازند هرمز را به نمایش می‌گذارد؛ که شامل اکسیدهای آهن بویژه قطعات الیژیست، ماسه-سنگ، سنگ‌های آتشفشانی در ابعاد ذره تا گراول، انواع سنگ‌های دگرگونی به‌ویژه گلاکوفان شیست، 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. قطعات گلاکوفان شیست همراه این رسوبات نشانه فشارهای زیاد در طول دفن سازند هرمز و مراحل مختلف دیاپیریسم است.



شکل ۲-۶: رسوبات برجای مانده حاصل از پسروری نمک مربوط به واحد (Hr) در نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰. وجود گلاکوفان شیست نشانه دگرگونی با فشار بالا است.

خاک‌های برجا همراه با پچ‌هایی (لکه‌هایی) از اکسید آهن (شکل ۲-۷) یکی از مهمترین و وسیع‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی جوان در بام گنبد نمکی سیاهو می‌باشد. البته در دیواره‌های پرشیب این واحد، گاهی نمک هرمز نیز رخمون دارد؛ این واحد (RS) در تصویر ماهواره ای بیشتر به رنگ خاکستری تا خاکستری متمایل به آبی دیده می‌شود و براساس بازدیدهای صحرایی ۹۰ درصد از خاک رس و ۱۰ درصد از اکسیدهای آهن و گچ تشکیل شده است. خاک‌های برجا بر روی بخش‌های پتاس‌دار نمک‌گیر در تصاویر ماهواره ای به رنگ قرمز دیده می‌شود و در بازدید صحرایی حاوی مقادیر بیشتری از آهن است. در تصویر ماهواره ای خاک‌های برجا در بخشی از جنوب‌شرق و شرق، و در بام گنبد به رنگ قهوه‌ای تا سیاه دیده می‌شود، بازدیدهای صحرایی نشان می‌دهد؛ که پوشش برجای گنبد در این نواحی به شدت غنی از اکسیدهای آهن است (Rsi).



شکل ۲-۷: گسترش بسیار زیاد خاک برجا در بام گنبد نمکی سیاهو (دید به سمت جنوب).

نمک و پتاس ثانویه در بستر رودخانه‌های نمک‌گیر گروه دیگری از رسوبات جوان هستند؛ که به جهت اکتشاف پتاس اهمیت دارند. شکل (۲-۸) گسترش بسیار زیاد این رسوبات را در حاشیه غربی نمک‌گیر نشان می‌دهد. حضور پتاس ثانویه معرف وجود لایه‌های پتاس همراه نمک هرمز است؛ لذا راهنمای اکتشافی مناسبی محسوب می‌شود.



شکل ۲-۸: نمک و پتاس ثانویه به همراه اکسید آهن در غرب نمک گیر گنبد سیاهو.

## ۲-۵-۲- نمک هرمز (Hs)

بخش اصلی گنبد نمکی از توده‌های یکنواخت نمک هرمز تشکیل می‌شود (شکل ۲-۹). رخنمون‌های این واحد بیشتر به دیواره‌های نمک گیر محدود است و یا در عمق حفرات عظیم بام گنبد مشاهده می‌شود. همراه نمک مجموعه نامنظمی از مواد رسی، سنگ‌های کربناته، ژئپس و انیدریت وجود دارد؛ اگرچه سنگ‌های آتشفشانی، سنگ‌های دگرگونی و میکروگرانیت نیز گزارش شده است. نمک هرمز در بخش جنوب‌شرقی گنبد به‌شدت غنی از اکسیدهای آهن تیره رنگ است؛ به‌طوری که در رسوبات برجای حاصل از انحلال نمک، مقدار آهن بسیار بالا است. این قسمت از نمک گیر ممکن است حاوی مقادیری از پتاس به‌صورت لایه‌های نازک باشد. در قسمت غربی نمک گیر نیز نمک هرمز به‌شدت غنی از آهن و پتاس است؛ به‌طوری که آثار پتاس ثانویه به‌صورت قندیل به‌وفور مشاهده می‌شود و رخنمون‌های نمک به‌دلیل باقیمانده اکسیدهای آهن پس از انحلال نمک، به سختی قابل رویت است.



شکل ۲-۹: نمای عمومی نمک با رنگ‌های سفید تا خاکستری تیره همراه با اکسید آهن که باعث رنگ‌های قرمز تا قهوه‌ای در دیواره نمک‌گیر شده است.

### ۲-۵-۳ - واحدهای آتشفشانی

رخنمون‌های سنگ‌های آتشفشانی اسیدی (Fp) و مافیک (Mp) به واحدهای آتشفشانی سازند هرمز مربوط می‌شود و به همراه نمک هرمز بالا آمده است.

### ۲-۵-۴ - واحد اکسید آهن (Hi)

از آنجا که همراه نمک مقادیری اکسید آهن به صورت توده یا لکه‌هایی با درجه خلوص بالا مشاهده می‌شود، همچنین در باقیمانده‌های پس از انحلال و فرسایش مقدار الیژیست قابل توجه است؛ لذا این اکسیدها به عنوان یک واحد مستقل تشکیل دهنده بخشی از گنبد سیاهو مشخص شده است (شکل ۲-۱۰).



شکل ۲-۱۰: واحد اکسید آهن (هماتیت) و نمک‌های غنی از آهن در منطقه سیاهو.

## ۲-۶ ویژگی‌های گنبد‌های نمکی

به‌طور کلی برجستگی‌هایی که به‌دلیل بالا آمدن نمک ایجاد می‌شوند گنبد نمکی<sup>۴</sup> یا دیاپیر نامیده می‌شوند. واژه دیاپیر از واژه یونانی به معنی سوراخ کردن یا نفوذ کردن گرفته شده است. به‌طور کلی گنبد‌های نمکی ساختار بیضوی یا دایره‌ای شکل دارند و نحوه تشکیل این گنبد‌های نمکی بدین صورت است که سنگ‌ها با چگالی نسبی کمتر، در عمق (نمک) در اثر نیروی شناوری، سنگ‌های بالایی خود را که چگال‌تر هستند به سمت بالا حرکت می‌دهند. بدیهی است که شکل خارجی همه گنبد‌ها یکسان نبوده و بستگی به سنگ‌های رویی و میزان فشار وارده درونی دارد. در واقع گنبد نمکی عبارت است از ساختار زمین‌شناسی گنبدی شکل، که از هسته نمکی با رویه رسوبی که در اثر ناپایداری ثقلی لایه‌هایی با چگالی کمتر که بوسیله سنگ‌ها با چگالی بیشتر پوشیده شده اند به‌وجود می‌آید و به‌دلیل وجود منابع سولفیدی پتاس، آهن، نمک و مخازن نفتی دارای ارزش اقتصادی می‌باشد.

<sup>۴</sup> -Salt dome

## ۲-۶-۱- اجزای گنبد نمکی

هر گنبد از یک هسته مرکزی نمک و بخشی که اطراف هسته مرکزی را می‌پوشاند تشکیل شده است. لایه‌های فوقانی که معمولا سنگ‌های رسوبی هستند با ضخامت‌های چند صد متر تشکیل شده و اغلب شامل آهک، شیل، ژئوپس و انیدریت می‌باشند.

## ۲-۶-۲- شکل گنبد نمکی

ساختمان گنبدهای نمکی ممکن است به صورت بالش‌های نمکی<sup>۵</sup>، برجستگی‌های تیغه‌ای شکل<sup>۶</sup>، امواج نمکی<sup>۷</sup>، استوک‌های نمکی<sup>۸</sup>، طاق‌دیس نمکی و غیره باشند. دیواره بسیاری از گنبدهای نمکی دارای شیب زیاد در حدود ۷۵-۹۰ درجه به طرف خارج است. گنبدهای نمکی متقارن کمیاب هستند و اغلب گنبدها نامتقارن بوده و شیب دیواره‌ها در جهت‌های مختلف متفاوت است. مقطع بیشتر گنبد-های نمکی به شکل دایره یا بیضی بوده و گسترش افقی آنها بسیار متغیر است (Jackson and Talbot, 1986).

## ۲-۷ 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., 2008). 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 (۲۰۰۸) ارائه شده است (شکل ۱-۲). بر اساس مطالعات انجام شده توسط تالبوت و همکاران (۲۰۰۸)، پتاس در عمیق‌ترین بخش حوضه رسوبی هرمز که خوشه‌های از دی‌پیرهای زاگرس را شامل می‌شود، ته‌نشین و تجمع یافته است. بیشتر این دی‌پیرها در زیر سطح و یا نزدیک به سطح واقع شده‌اند.

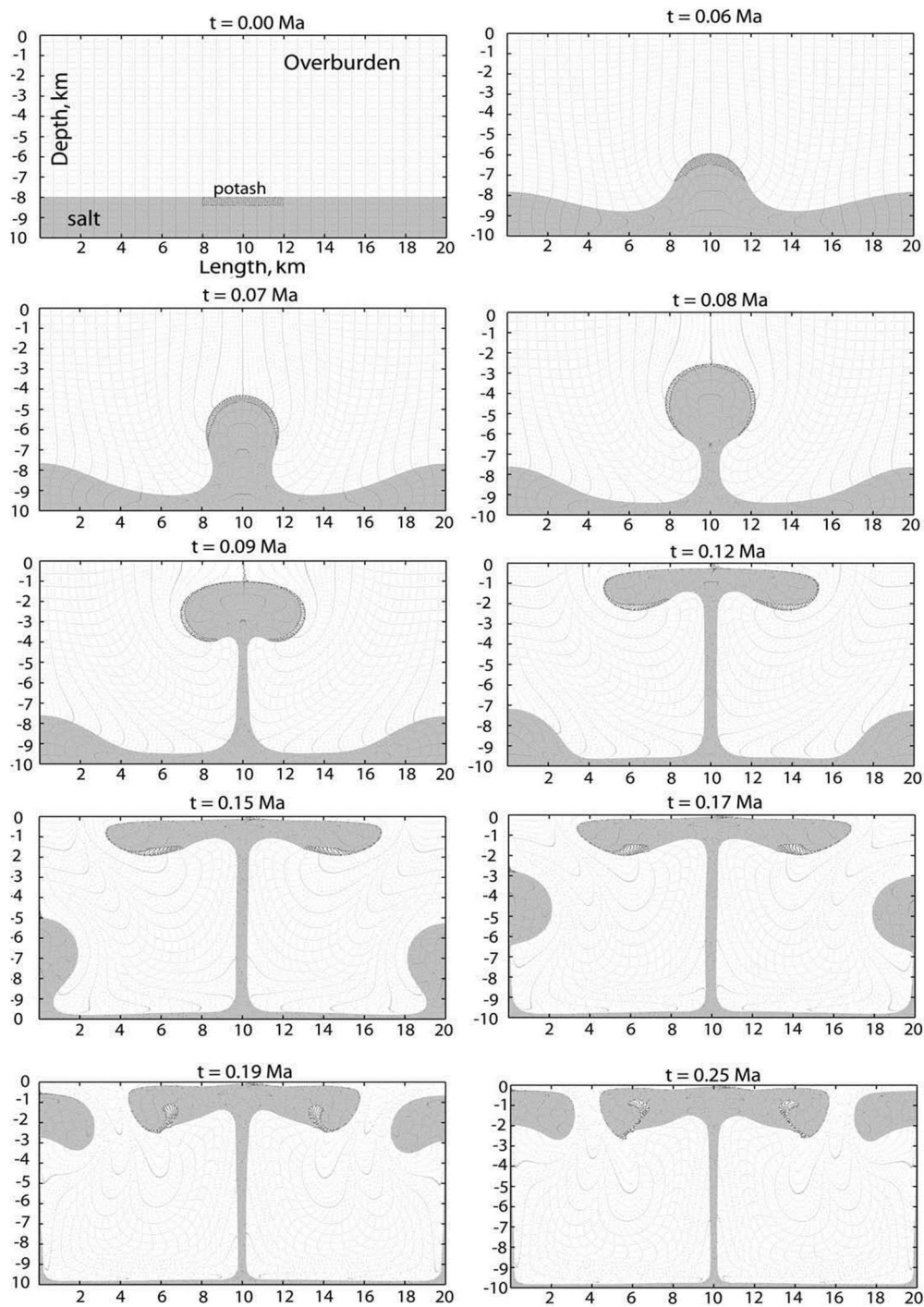
<sup>5</sup> - Salt pillows

<sup>6</sup> - Salt ridges

<sup>7</sup> - Salt Waves

<sup>8</sup> - Salt stocks

در حدود ۳۰۰ میلیون سال (در زمان مزوزوئیک) بعد از دفن‌شدگی پتاس و نمک در عمق ۸ کیلومتری، فشار رسوبات آواری پالتوزوئیک باعث حرکت آرام نمک به سمت بالا شده و نمک به‌صورت بالشی در امتداد شمالی - جنوبی به‌سمت بالا حرکت کرده است (شکل ۲-۱۱). حرکت و مهاجرت زاگرس در زمان بعد از ائوسن به سمت جنوب، باعث فشرده شدن بالش‌های نمکی به‌صورت 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)، به‌صورت دیاپیرهای قارچی شکل در جزیره هرمز با شیب ملایم چین خورده‌اند. 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. درصد قابل توجهی از آنومالی‌های پتاس از الگوی چین‌های غلافی تبعیت می‌نماید (جهانگیری، ۱۳۸۲). پتاس در منطقه بیشتر به‌صورت لامینه با تمرکز در نزدیکی لولای چین‌ها حضور دارد. از آنجا که پتاس به‌راحتی در آب حل می‌گردد، بنابراین احتمال شسته‌شدن بوسیله بارندگی‌ها و از بین رفتن پتاس‌هایی که در سطح رخنمون یافته‌اند بسیار زیاد است.



شکل ۲-۱۱: مدل ارائه شده جهت صعود دیاپیری گنبد های 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 می باشند (Talbot et al., 2008).



# فصل سوم

## مطالعات دورسنجی

## ۳-۱ مقدمه

سنجش از دور<sup>۹۹</sup> به معنای برداشت پدیده‌های سطح زمین از فضا، با استفاده از خصوصیات امواج الکترومغناطیس منعکس و یا منتشرشده از سطح اشیاء، بدون تماس فیزیکی با آن‌ها است (Sabins, 1999). با اطلاعات به دست آمده از این تصاویر و تجزیه و تحلیل آن‌ها، می‌توان داده‌های مفیدی را استخراج کرد. استفاده از ماهواره، به دلیل دارا بودن میدان دید بالا، چندباندی بودن، دسترسی آسان، توانایی فراهم نمودن تصاویر رنگی جهت مشخص کردن واحدها و پدیده‌های مختلف، باعث صرفه‌جویی در هزینه، زمان و نیروی انسانی در اکتشاف منابع شده است. در این روش، می‌توان با استفاده از شناخت طیف انواع سنگها و کانی‌های حاصل از داده‌های سنجنده‌های مختلف، اطلاعاتی در مورد ترکیب شیمیایی سنگ‌ها و کانی‌هایی که به‌طور کامل بوسیله گیاهان پوشیده نشده‌اند به دست آورد (Clark, 1999).

## ۳-۲ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای و دورسنجی

- ۱- اکتشاف معدن و زمین‌شناسی: شناسایی دگرسانی‌ها، ساختارها و لیتولوژی‌های کنترل‌کننده کانی-سازی، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های مختلف، مطالعه و تشخیص ساختارهای زمین‌ساختی مانند گسل‌ها و شکستگی‌ها.
- ۲- خاک‌شناسی: مطالعه خاک‌های سطحی، تهیه نقشه‌های پوشش زمین و کاربری اراضی، مطالعه شوری خاک، مسائل حفاظت خاک، شناسایی اراضی قابل کشت، تهیه نقشه حرارتی و مطالعه رطوبت خاک.
- ۳- کشاورزی: مطالعه شناسایی پوشش گیاهی، کاربری زمین، سطح زیرکشت، آفات و بیماری‌های گیاهی و کمبودهای غذایی گیاهان.
- ۴- منابع طبیعی: طبقه‌بندی جنگل‌ها و مراتع، آتش‌سوزی جنگل‌ها، برداشت منابع جنگلی، تخمین حجم، تراکم، توده و سن گیاه.

<sup>99</sup>- Remote sensing

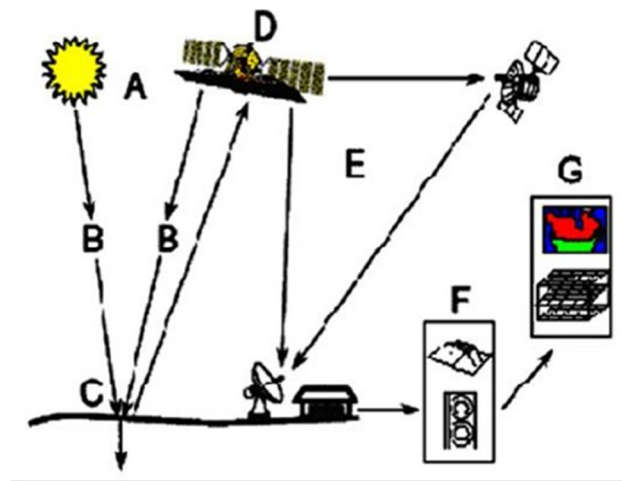
۵- آب: مطالعه تغییرات دریاچه‌های فصلی، باتلاق‌ها و شبکه‌های آبیاری، تشخیص مناطق سیل‌خیز، آبراهه‌های قدیمی و کانال‌ها، تصویر مناطق آبرفتی و مخروط افکنه‌ها، کیفیت آب و مناطق جزر و مد.

۶- هواشناسی: پیش‌بینی وضع هوا، مطالعه دمای سطح آب‌ها، بیابانی شدن و پیش‌بینی بلایای طبیعی.

۷- شیلات و محیط زیست: مطالعه گیاهان آبی و شناور، ماهیگیری و آلودگی دریا.

### ۳-۳ عملکرد سیستم سنجش از دور

به‌طور کلی سیستم سنجش از دور مطابق شکل (۳-۱) شامل دو بخش می‌باشد؛ بخش جمع‌آوری داده‌ها و بخش استخراج اطلاعات (Quattara et al., 2004).



شکل ۳-۱: شمای کلی از نحوه دریافت داده‌ها از طریق سنجنده‌های ماهواره‌ای.

A: منبع انرژی که معمولاً به دو صورت فعال (نور خورشید) و غیرفعال (مانند امواج رادار ارسالی بوسیله سنجنده به زمین) می‌باشد.

B: انتشار انرژی از میان جو و برخورد آن به سطح زمین و انعکاس آن.

C: فعل و انفعالات انرژی بر اثر برخورد با عوارض سطحی زمین.

D: سنجنده‌های هوایی و یا فضایی.

E: انتقال اطلاعات کسب شده به ایستگاه زمینی.

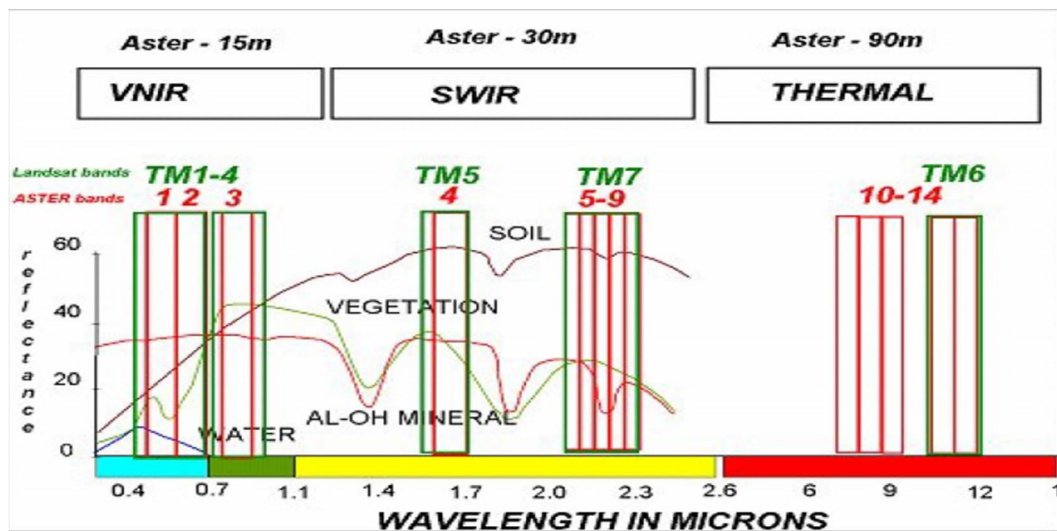
F: دریافت اطلاعات اولیه و تولید داده ها به صورت رقومی و یا تصویری.

G: فرایند تجزیه و تحلیل داده؛ شامل بررسی و تعبیر و تفسیر داده ها با به کارگیری وسایل مختلف

دیداری و کامپیوتری به منظور آنالیز داده های حاصل از سنجنده ها.

### ۳-۴ سنجنده ASTER

سنجنده استر در سال (۱۹۹۹) با همکاری ناسا و ژاپن، در مدار زمین قرار گرفت و به وسیله ماهواره ای به نام ترا<sup>۱</sup> که به اندازه یک اتوبوس کوچک است حمل می شود. پرتوسنج حرارتی تابشی و بازتابشی فضا برد پیشرفته یا به عبارتی استر در فاصله ۷۰۵ کیلومتری از زمین قرار گرفته است و قابلیت گرفتن ۶۰۰ عکس با قدرت تفکیک بالا در یک روز را دارا است. وسعت پوشش تصاویر منطقه-ای به وسعت ۶۰ در ۶۰ است؛ که اندازه هر پیکسل آن برای باندهای شماره یک تا سه ۱۵ متر، برای باندهای چهار تا نه ۳۰ متر و برای سایر باندها ۹۰ متر می باشد. این سنجنده دامنه طول موجی ۰/۵۲ تا ۱۱/۶۵ میکرون را در سه محدوده طیفی VNIR, SWIR, TIR پوشش می دهد؛ که مشخصات باندهای طیفی آن در شکل (۳-۲) و جدول (۳-۱) آورده شده است.



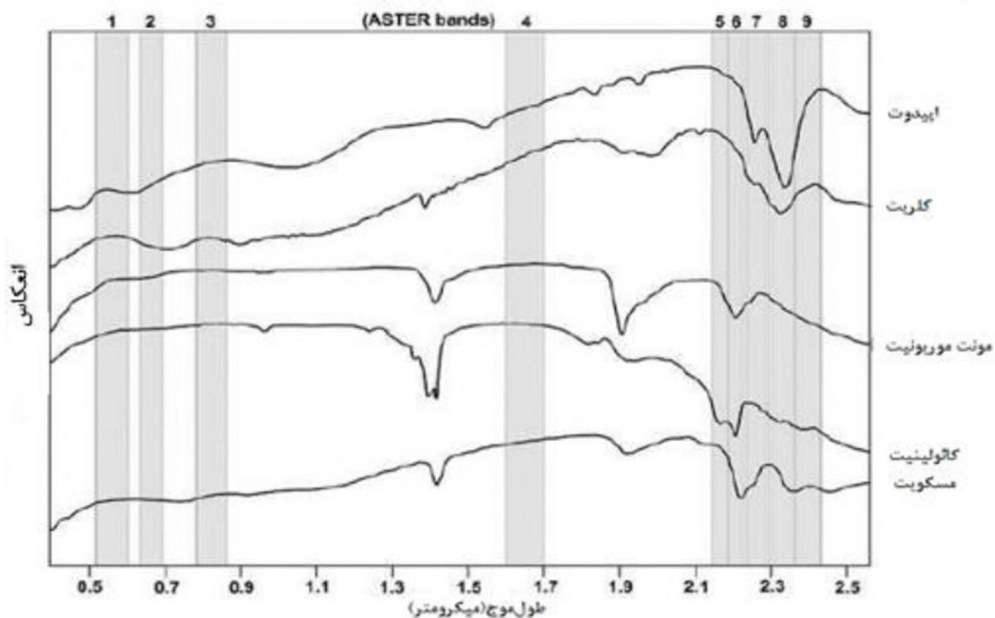
شکل ۳-۲: توزیع کانال های استر و لندست، با توجه به طیف الکترومغناطیس.

جدول ۳-۱: باندهای طیفی سنجنده ASTER (Kalinowski and Oliver, 2004)

محدوده طیفی	باند	دامنه طیفی (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)	توان تفکیک رادیومتری (بیت)
VNIR	۱	۰/۵۲ - ۰/۶۰	۱۵	۸
	۲	۰/۶۳ - ۰/۶۹		
	۳	۰/۷۸ - ۰/۸۶		
SWIR	۴	۱/۶۰ - ۱/۷۰	۳۰	
	۵	۲/۱۴۵ - ۲/۱۸۵		
	۶	۲/۱۸۵ - ۲/۲۳۵		
	۷	۲/۲۳۵ - ۲/۲۸۵		
	۸	۲/۲۹۵ - ۲/۳۶۵		
	۹	۲/۳۶۵ - ۲/۴۳۰		
TIR	۱۰	۸/۱۲۵ - ۸/۴۷۵	۹۰	
	۱۱	۸/۴۷۵ - ۸/۸۲۵		
	۱۲	۸/۹۲۵ - ۹/۲۷۵		
	۱۳	۱۰/۲۵ - ۱۰/۹۵		
	۱۴	۱۰/۹۵ - ۱۱/۶۵		
ارتفاع مدار				۷۰۵ کیلومتر
وزن				۴۰۶ کیلوگرم
زمان عبور از خط استوا				۳۰ : ۱۰ صبح
زاویه میل				۹۸/۳ درجه از خط استوا
زمان گردش به دور زمین				۹۸/۸۸ دقیقه
تهیه پوشش کامل از زمین				۱۶ روز

### ۳-۵ اساس کار امواج الکترومغناطیس در برخورد با سنگ ها

امواج الکترومغناطیس صادره هنگام برخورد به زمین، براساس نوع سنگ، پوشش گیاهی و یا خاک، طول موج‌های خاصی را جذب و طول موج‌های دیگری را منعکس می‌کنند. با توجه به رفتار متفاوت سنگ ها ( با توجه به ترکیبات کانی شناسی آن ها) نسبت به برخورد این امواج و در پی آن بازتاب امواج منعکس شده، می‌توان با دریافت و پردازش داده های ماهواره ای، سنگ ها و برخی از کانی‌های موجود در آن را تشخیص داد (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۴). در شکل (۳-۳) رفتار طیفی برخی از کانی‌های مهم در اکتشاف کانسارها نشان داده شده است.

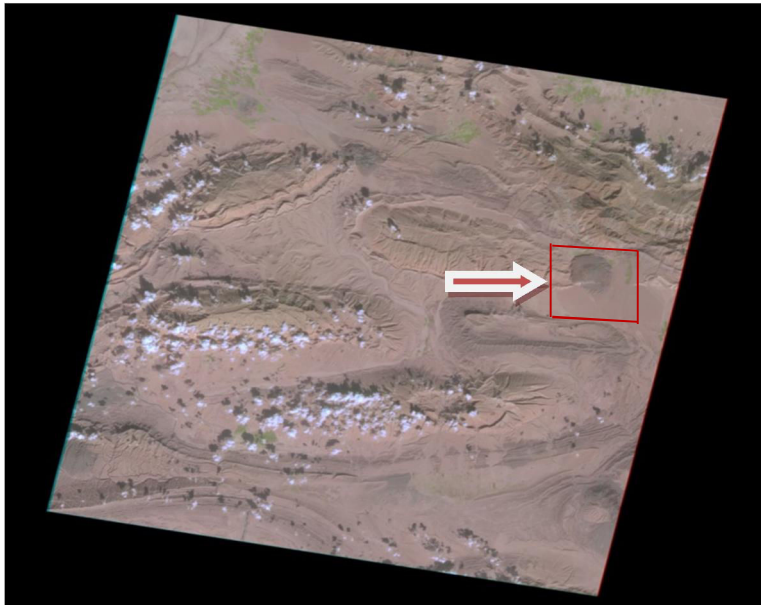


شکل ۳-۳: رفتار طیفی برخی از کانی‌های مهم در اکتشاف کانسارها (Sabins, 1999).

شکل (۳-۳) نشان می‌دهد، خاصیت جذب و انعکاس کانی‌ها با یکدیگر متفاوت است و می‌توان از این خاصیت جهت شناسایی و تفکیک کانی‌ها استفاده نمود. به‌عنوان مثال کانی کلریت در باند ۹ و ۷ انعکاس بالا و در باند ۸ جذب بالا را از خود نشان می‌دهد؛ که می‌توان با استفاده از روش‌های پردازش تصاویر ماهواره ای این کانی را شناسایی کرد.

### ۳-۶ روش کار جهت مطالعات دور سنجی

در ابتدا نقشه منطقه مورد نظر مطابق با شکل (۳-۴) به صورت خام تهیه شد. سپس مرحله آماده-سازی و انجام تصحیحات مورد نیاز بر روی تصاویر انجام گرفت.



شکل ۳-۴: عکس نقشه ماهواره ای از منطقه مورد نظر (USGS, 2014).

### ۳-۷ تصحیحات تصاویر سنجش از دور

قبل از استفاده از تصاویر، می‌بایست تصحیحاتی بر روی آن انجام شود. این تصحیحات شامل سه بخش است؛ که در زیر به آن پرداخته می‌شود.

**۳-۷-۱- تصحیح هندسی:** اولین تصاویری که بوسیله سنجنده‌های ماهواره ای از زمین اخذ می‌شوند، نمی‌توانند به عنوان یک نقشه مورد استفاده قرار گیرند. این امر به دلیل وجود انحرافات است که در هنگام عکس‌برداری برای تصاویر رخ می‌دهد. این انحرافات به دلایل مختلفی مانند جابجایی ماهواره از مسیر حرکت پیش‌بینی شده خود، حرکت زمین به دور خود در هنگام تصویربرداری، جابجایی‌های ناشی از اختلاف ارتفاع در پستی و بلندی‌ها و مواردی از این دست اتفاق می‌افتد. در حقیقت منظور از تصحیح هندسی جبران انحرافات است؛ به نحوی که تصویر تصحیح شده قابلیت انطباق با نقشه را داشته باشد.

۳-۷-۲- تصحیح رادیومتری: این گونه خطاها یا ناشی از خود سنسور یا ماهواره می‌باشد؛ که در واقع به‌عنوان خطاهای درونی شناخته می‌شوند و یا ناشی از اتمسفر و عوارض زمین (مانند شیب، توپوگرافی، جهت شیب) است؛ که باعث ایجاد خطاهای رادیومتری بر روی تصاویر ماهواره ای می‌شوند. تمام این موارد می‌تواند تغییراتی در امواج الکترومغناطیس رسیده به سنجنده ایجاد نماید. در حقیقت این عوامل باعث ایجاد خطا در خصوصیات طیفی تصاویر ماهواره ای می‌شوند؛ که می‌بایست اصلاح گردند.

۳-۷-۳- تصحیح اتمسفری: تصحیحات اتمسفری جهت تعدیل اثر اتمسفر بر روی تصاویر ماهواره ای انجام می‌پذیرد؛ به‌عبارتی خطاهایی که در اثر جذب و پراکنش ذرات اتمسفر ایجاد می‌شود، می‌بایست اصلاح گردد.

### ۳-۸ نسبت گیری باندها (B.R)<sup>11</sup>

یکی از رایج‌ترین روش‌ها در پردازش تصاویر ماهواره ای که کاربرد وسیعی در کارهای معدنی دارد، روش نسبت گیری باندی است (Rpwean et al., 1977). این روش شامل جمع و تقسیم کردن باندها بر همدیگر است؛ که در تشخیص مناطق مختلف از جمله دگرسانی‌ها نقش فراوانی دارد، به‌صورتی که باند با میزان بازتاب بیشتر از هدف، در صورت کسر و باند با میزان بالای جذب از همان هدف، در مخرج کسر قرار می‌گیرد (Rouskav et al., 2005).

نسبت‌های باندی از روش‌های مفید برای بازسازی پدیده‌ها در تصاویر چند باندی محسوب می‌شوند. از این روش برای کاهش تأثیر توپوگرافی، روشنایی خورشید و آشکارسازی اطلاعات طیفی در تصاویر استفاده می‌شود (Gupta, 2003). یکی از مهمترین کاربردهای نسبت‌های باندی، تهیه تصاویر با شرایط روشنایی کاملاً مستقل می‌باشد. در واقع نسبت گیری، تغییرات شیب منحنی‌های بازتاب طیفی بین دو باند را به نمایش در می‌آورد. شیب این منحنی‌ها بسته به شرایط منطقه و باندهای مختلف، متفاوت است. سیمای طیفی، برای مشخص کردن باندهای جذبی و بازتابی کانی‌های موجود در گنبد نمکی

---

<sup>11</sup> - Band Ratio



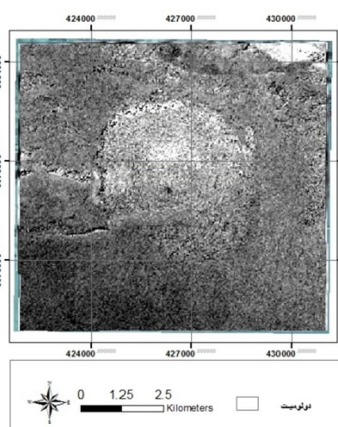
نشان می‌دهد؛ کانی‌های اصلی شامل کلسیت، ژیپس، انیدریت، نمک و رس است. لذا در این تحقیق سعی شده است، رفتار این کانی‌ها مورد بررسی قرار گیرد. به‌عنوان مثال سنگهای کربناتی در باند ۱۴ استر گسیل کمتر و در باند ۱۳ گسیل بالاتری نشان می‌دهند. همچنین این سنگها در باند ۱۲ گسیل کمتر و در باند ۱۱ گسیل بالاتری به‌نمایش می‌گذارند؛ لذا نسبت باند ۱۱/۱۲ برای بارزسازی این سنگها در این مطالعه استفاده شد.

### ۳-۸-۱ مطالعات انجام شده بر روی گنبد نمکی سیاهو

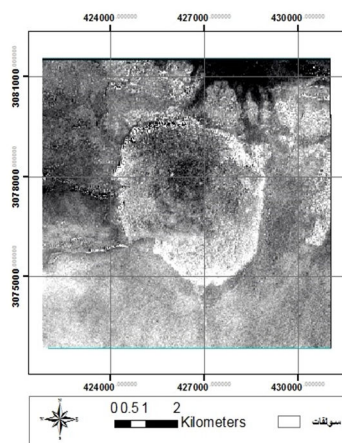
در این بخش سعی بر آن است، که با توجه به ویژگی‌های گنبد نمکی سیاهو از طریق سنجش از دور، نسبت بانندی کانی‌ها و سنگ‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفته و سپس با ترکیب رنگی کاذب از کانی‌های مختلف، به تحلیل منطقه پرداخته شود.

لازم به ذکر است نسبت بانندی حاصل تقسیم یک یا چند باند بر هم است بطوری که در صورت کسر حد اکثر انعکاس و در مخرج کسر حداکثر جذب قرار می‌گیرد.

مناطق حاوی سولفات بر اساس نسبت باند  $[(b7+b8)/b9]$  بر روی گنبد نمکی سیاهو (شکل ۳-۵)، با پیکسل‌های روشن در منطقه دیده می‌شود. همچنین مناطق حاوی دولومیت بر اساس نسبت بانندی  $(b6+b8)/b7$  در شکل (۳-۶) با پیکسل‌های روشن را مشخص کرده است.

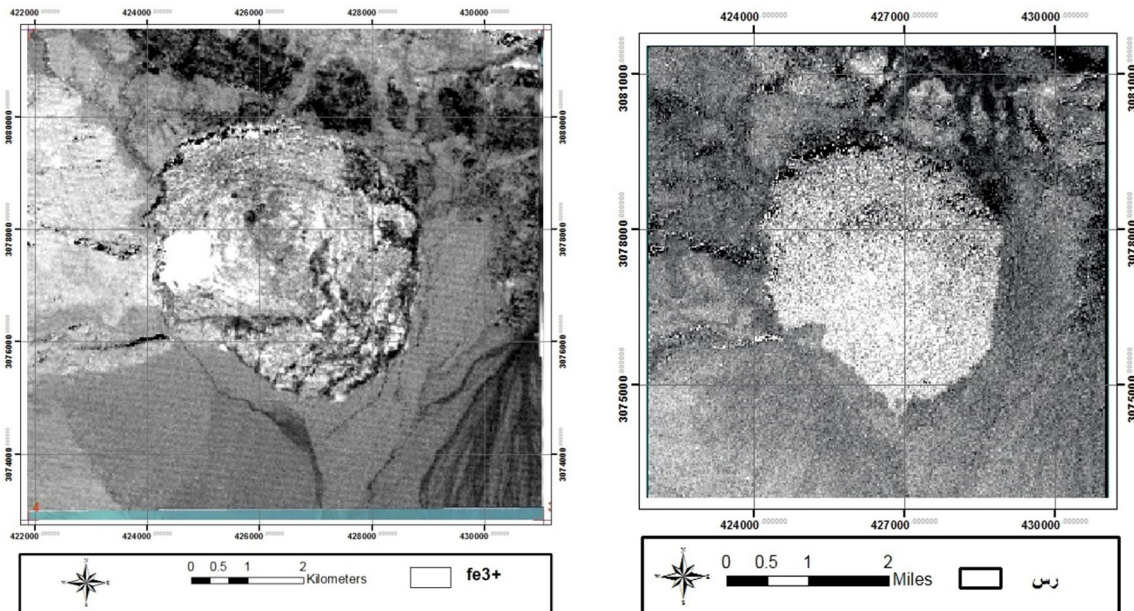


شکل ۳-۶: تصویر حاصل از نسبت‌گیری بانندی (مناطق حاوی دولومیت با پیکسل روشن آشکار شده است).



شکل ۳-۵: تصویر حاصل از نسبت‌گیری بانندی (مناطق حاوی سولفات با پیکسل روشن آشکار شده است).

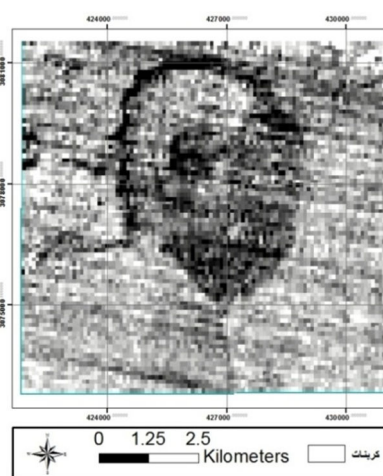
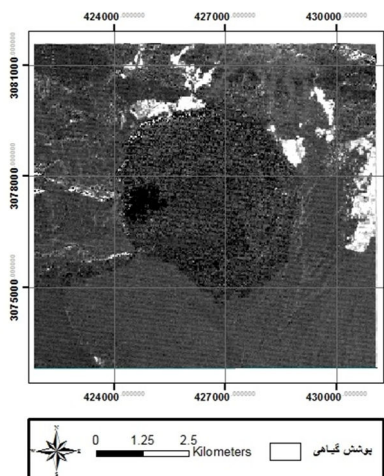
نسبت باندی  $[(b5*b7)/(b6*b6)]$  در شکل (۳-۷) نشان‌دهنده رس موجود در منطقه است؛ که با پیکسل‌های روشن مشخص شده است. همچنین آهن با توجه به نسبت باندی  $[b2/b1]$  با پیکسل‌های روشن (شکل ۳-۸) نشان داده شده است.



شکل ۳-۷: تصویر حاصل از نسبت‌گیری باندی (مناطق حاوی رس با پیکسل روشن آشکار شده است).  
 شکل ۳-۸: تصویر حاصل از نسبت‌گیری باندی (مناطق حاوی  $Fe^{3+}$  با پیکسل روشن آشکار شده است).

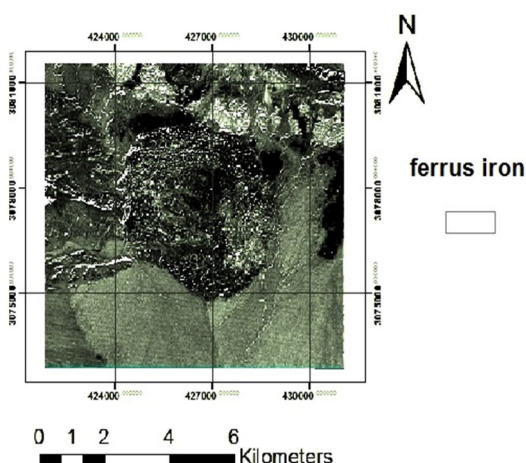
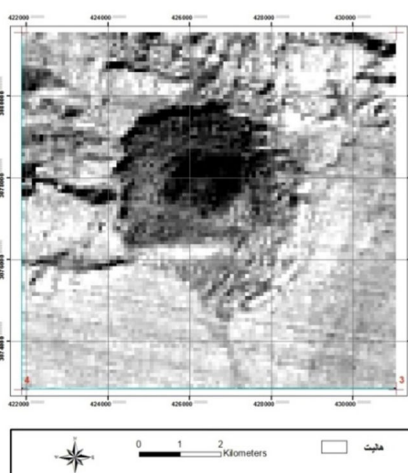
با توجه به شکل (۳-۸) می‌توان گفت، نسبت باندی  $2/1$  به خوبی مناطق حاوی کانی‌های شاخص اکسید آهن را مشخص کرده است؛ که در غرب منطقه مورد مطالعه بارز می‌باشد. با توجه به بازدید-های صحرایی و مقایسه نتایج حاصل از نسبت‌های باندی دیگر می‌توان گفت اکسید آهن در میان نهشته‌های رس، ماسه سنگ و دولومیت رخنمون دارند.

پوشش گیاهی در منطقه با توجه به نسبت باندی  $[(b1+b3)/b2]$  مطابق با شکل (۳-۹) با پیکسل‌های روشن مشخص گردیده است.



شکل ۳-۱۰: تصویر حاصل از نسبت گیری بانندی (مناطق حاوی کربنات با پیکسل روشن آشکار شده است).  
 شکل ۳-۹: تصویر حاصل از نسبت گیری بانندی (مناطق حاوی پوشش گیاهی با پیکسل روشن آشکار شده است).

با توجه به انعکاس بالا در باند ۱۳ و جذب بالا در باند ۱۴ کربنات و نسبت بانندی [b13/b14] کربنات مطابق با شکل (۳-۱۰) با کمی نویز مشخص شده است. هالیت نیز با نسبت بانندی [b12/b13] مطابق شکل (۳-۱۱) با پیکسل های روشن مشخص گردیده است. همچنین مناطق حاوی آهن دو ظرفیتی<sup>۱۲</sup>،  $Fe^{2+}$  مطابق شکل (۳-۱۲) با پیکسل روشن آشکار شده است.

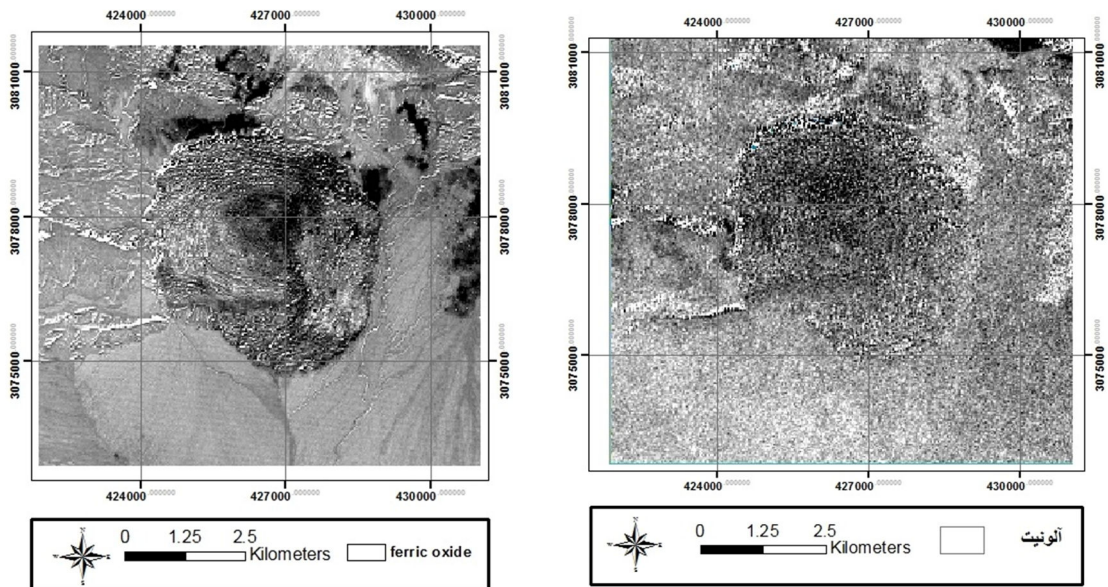


شکل ۳-۱۱: تصویر حاصل از نسبت گیری بانندی (مناطق حاوی هالیت با پیکسل روشن آشکار شده است).

شکل ۳-۱۲: تصویر حاصل از نسبت گیری بانندی (مناطق حاوی Ferrous iron با پیکسل روشن آشکار شده است).

<sup>12</sup> - Ferrous iron

همانطور که در تصویر (۳-۱۳) آمده است مناطق حاوی اکسید آهن با پیکسل روشن با توجه به نسبت بانندی [b4/b3] آشکار شده است. همچنین مناطق دگرسانی آلونیتی در منطقه حاصل از نسبت بانندی [(b7/b5)\*(b7/b8)] مطابق شکل (۳-۱۴) با پیکسل های روشن مشخص شده است.



شکل ۳-۱۴: تصویر حاصل از نسبت گیری بانندی(مناطق حاوی آلونیت با پیکسل روشن آشکار شده است).  
 شکل ۳-۱۳: تصویر حاصل از نسبت گیری بانندی (مناطق حاوی Ferric oxide با پیکسل روشن آشکار شده است).

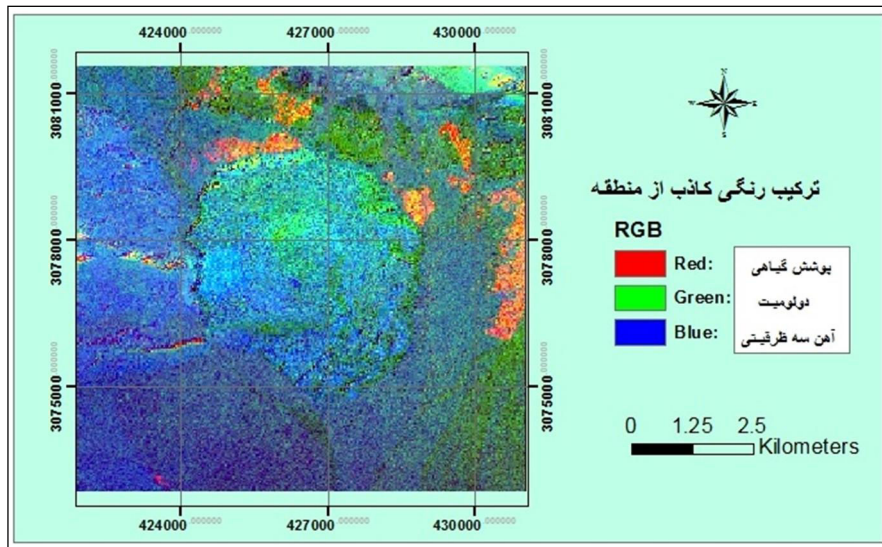
لازم به توضیح می باشد کلیه عملیات انجام شده در نسبت گیری بانندی جهت تأیید نهایی نیاز مبرم به بازدید صحرایی، از محل مورد مطالعه برای راستی آزمایی دارد.

### ۳-۹ ترکیب رنگی کاذب (FCC)<sup>۱۳</sup>

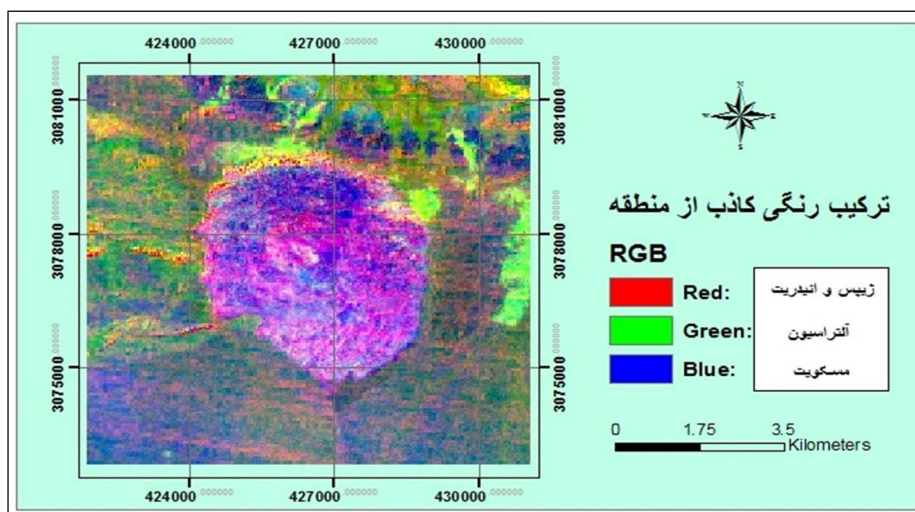
یکی از مهمترین و موثرترین روشها در تفکیک واحدهای مختلف زمین شناسی ، استفاده از ترکیب رنگی کاذب می باشد. در این روش با توجه به نسبت های بانندی محاسبه شده برای کانی های مختلف جهت تفسیر راحت تر تصاویر، برای مفسرین نسبت های بانندی را در فیلترهای رنگی آبی، قرمز و سبز قرار می دهیم تا تفکیک واحد های مختلف به آسانی قابل تشخیص باشند(آلیانی و همکاران، ۱۳۹۱).

<sup>13</sup> - False Color Composite

در شکل‌های (۳-۱۵) تا (۳-۲۰) ترکیب رنگی کاذب از منطقه، با توجه به نسبت‌های باندی محاسبه شده جهت آشکارسازی واحدهای مختلف آورده شده است.



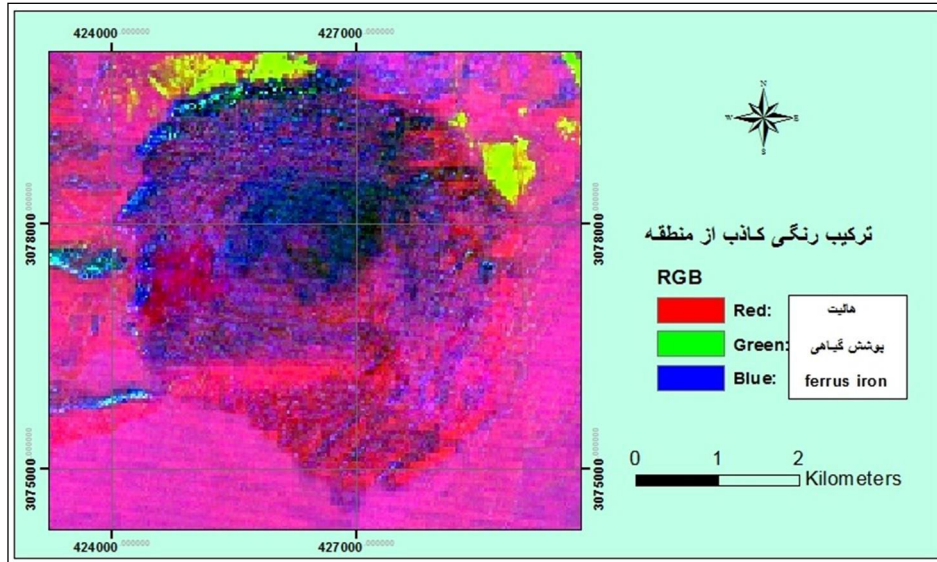
شکل ۳-۱۵: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از پوشش گیاهی، دولومیت و آهن سه ظرفیتی.



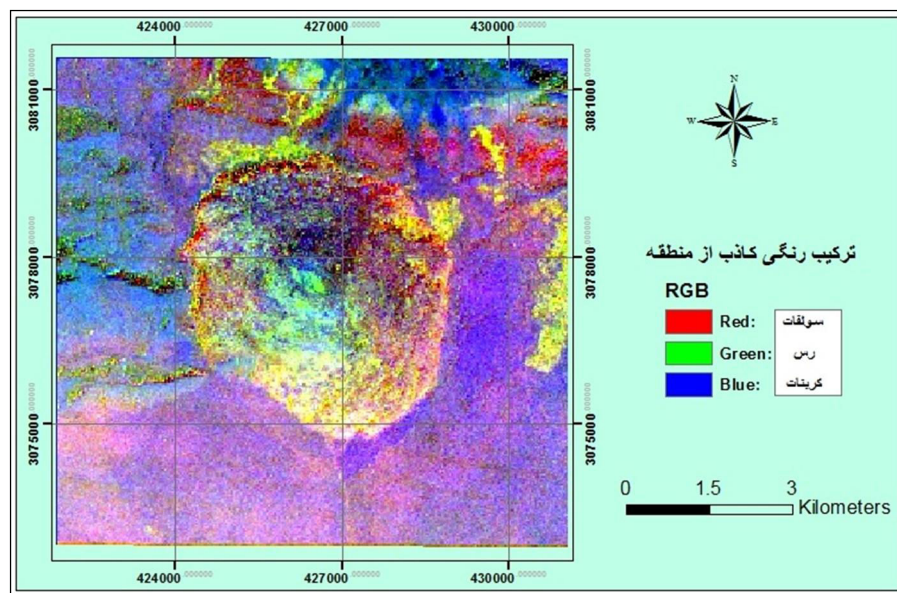
شکل ۳-۱۶: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از کانی‌های ژیبس و مسکویت و مناطق دگرسانی.

همانطور که در تصویر (۳-۱۵) مشاهده می‌گردد اکسید آهن به رنگ آبی، دولومیت به رنگ سبز و پوشش گیاهی به رنگ قرمز مشاهده می‌گردد، همچنین در تصویر (۳-۱۶) ژیبس و انیدریت با نسبت باندی (b12/b11) به رنگ قرمز آلتراسیون در منطقه با نسبت باندی (b4/b5) به رنگ سبز و مسکویت با نسبت باندی (b7/b6) به رنگ آبی نمایان شده است. لازم به توضیح می‌باشد مناطقی

که دارای رنگ ترکیبی می باشد نشانگر وجود ترکیبی از شاخص های مختلف در منطقه مورد نظر می باشد.

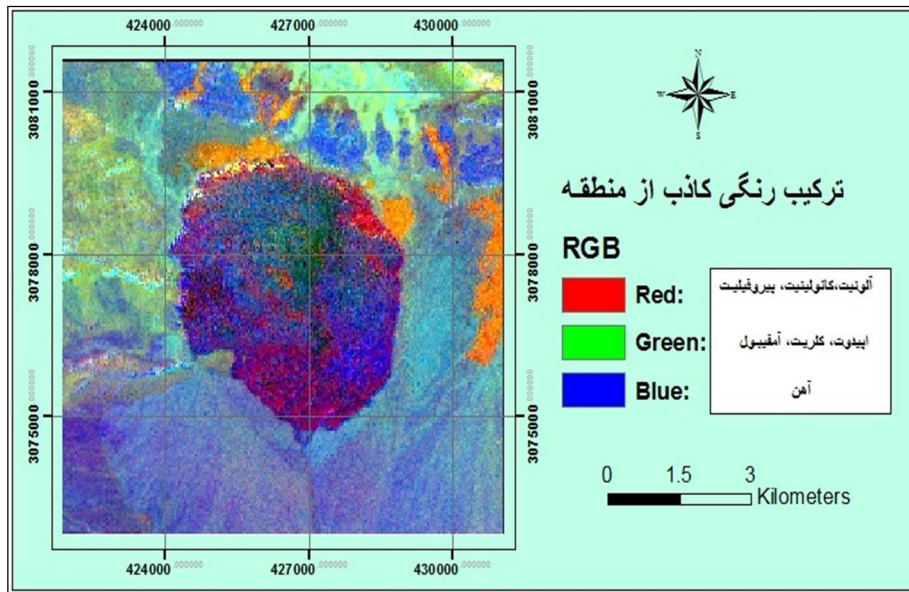


شکل ۳-۱۷: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از هالیت، پوشش گیاهی و اکسید آهن.

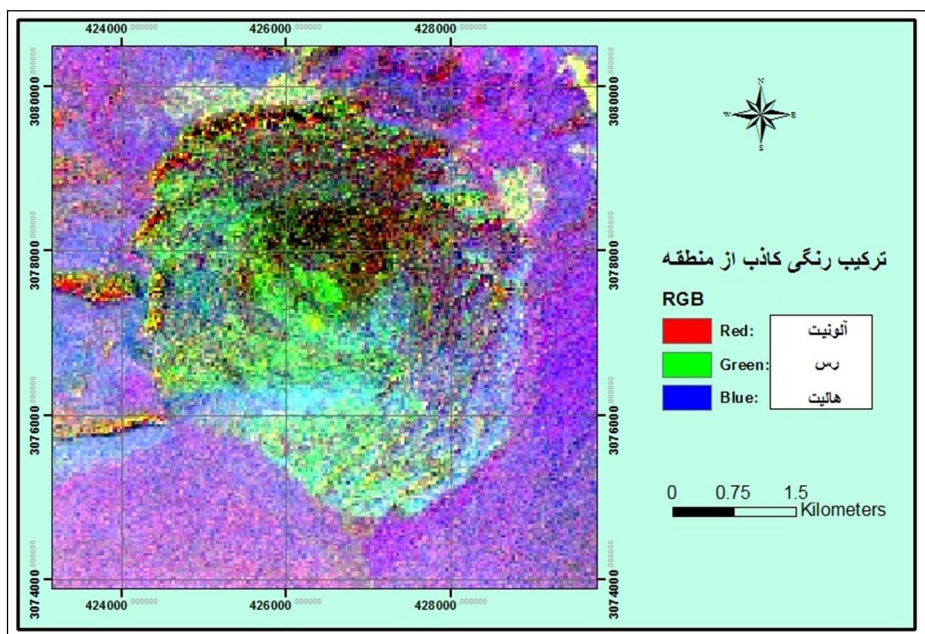


شکل ۳-۱۸: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از کانی های سولفاتی، رس و کربنات.

همانطور که در تصویر (۳-۱۷) مشاهده می گردد، هالیت به رنگ قرمز، پوشش گیاهی به رنگ سبز و آهن دو ظرفیتی به رنگ آبی مشخص شده است. همچنین در تصویر (۳-۱۸) سولفات به رنگ قرمز، رس به رنگ سبز و کربنات ها به رنگ آبی نمایان شده است.



شکل ۳-۱۹: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از کانی‌های مختلف.



شکل ۳-۲۰: تصویر حاصل از ایجاد رنگ کاذب از کانی‌های آلونیت، رس و هالیت.

همانطور که در تصویر (۳-۱۹) مشاهده می‌گردد، مناطق حاوی آهن به رنگ آبی، مناطق مربوط به اپیدوت، کلریت و آمفیبول به رنگ سبز و مناطق حاوی آلونیت و کائولینیت به رنگ قرمز نمایان شده است. همچنین در تصویر (۳-۲۰) آلونیت به رنگ قرمز، رس به رنگ قرمز و هالیت به رنگ آبی نمایان شده است.

با توجه به آنچه از تصاویر مربوط به ترکیب رنگی کاذب می توان نتیجه گیری نمود، گنبد نمکی سیاهو بیشتر حاوی هالیت، آهن و رس می باشد.

### ۳-۱۰ تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA)<sup>۱۴</sup>

تحلیل مؤلفه های اصلی یا PCA، 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 با تقلیل ابعاد مجموعه داده ها، محورهای اصلی تغییرپذیری را نمایان می‌سازد. براساس مقادیر ویژه ماتریس مؤلفه های اصلی مشخص می‌کند که دقیقاً کدام یک از تصاویر مؤلفه های اصلی، بر روی اثر طیفی عارضه مورد نظر متمرکز است. تصاویر مؤلفه های اصلی به دست آمده از این روش، محدوده های مورد نظر را با پیکسل های تیره یا روشن مشخص می‌سازد (Loughlin, 1991). ماتریس مقادیر ویژه برای تحلیل مؤلفه های اصلی در جدول (۳-۲) و مقادیر ماکزیمم و مینیمم مقادیر ویژه در جدول (۳-۳) مشخص گردیده است. بطوری که ماتریس مقادیر ویژه برای ۱۴ باند مشخص گردید. (به دلیل اینکه جهت مشخص کردن گروهی از شاخص ها نظیر کربنات و هالیت نیاز می باشد از باند حرارتی استفاده شود) سپس مقادیر میزان ماکزیمم و مینیمم در هر PC مطابق جدول (۳-۳) مشخص می گردد و در نهایت تصاویر مربوط به PCA مربوطه بر اساس میزان انعکاس و جذب بالا ترسیم و مورد تحلیل قرار می گیرد.

---

<sup>14</sup> - Principal Component Analysis



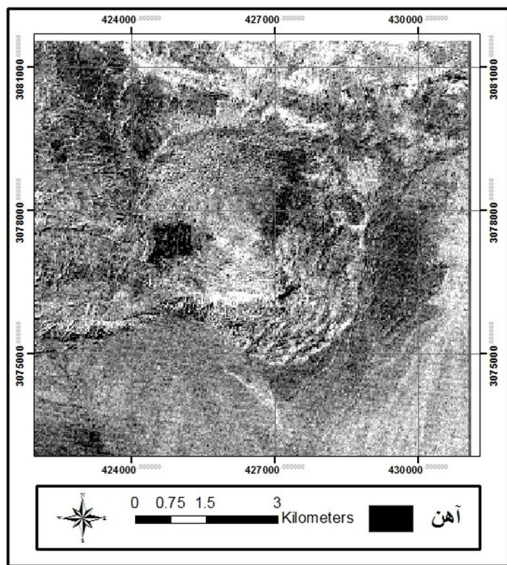
جدول ۳-۲: ماتریس مقادیر ویژه برای تحلیل مؤلفه های اصلی.

Band 14	Band 13	Band 12	Band 11	Band 10	Band 9	Band 8	Band 7	Band 6	Band 5	Band 4	Band 3	Band 2	Band 1	Eigenvectors
-0.3995	-0.430	-0.4663	-0.4656	-0.4680	-0.0105	-0.0130	-0.0133	-0.0123	-0.0133	-0.014	-0.0128	-0.0129	-0.009	PC1
-0.3492	-0.2446	0.1053	0.2087	0.1413	0.2204	0.203	0.2620	0.2963	0.3122	0.3901	0.3330	0.2914	0.2272	PC2
-0.5174	-0.3970	0.069	0.2638	0.5138	-0.1351	-0.1214	-0.1282	-0.1372	-0.1419	-0.1868	-0.2228	-0.2035	-0.147	PC3
-0.164	-0.0798	0.4494	0.4690	-0.686	-0.1451	-0.1713	-0.0566	0.0069	0.0034	0.0401	-0.0597	-0.1070	-0.0493	PC4
-0.0451	0.1545	-0.1149	0.0274	-0.0226	0.2338	0.1772	0.2526	0.2575	0.2860	0.244	-0.506	-0.3981	-0.4317	PC5
-0.1614	-0.0036	0.7285	-0.6392	0.0500	0.0049	0.1336	0.069	-0.0203	-0.0117	-0.0115	-0.0781	-0.0089	-0.0498	PC6
0.2236	-0.228	0.0517	-0.1285	0.1017	-0.0165	-0.404	-0.1986	0.0829	0.0252	0.4056	0.4819	-0.3267	-0.3924	PC7
0.5714	-0.7053	0.1050	0.0744	-0.0223	0.047	0.2917	0.158	0.0049	-0.0055	-0.1380	-0.1529	-0.0438	0.0450	PC8
-0.1290	0.1129	-0.0287	0.1138	-0.0815	0.0149	0.5539	0.2156	-0.1996	-0.2133	-0.2447	0.5198	-0.2474	-0.3462	PC9
-0.0317	-0.0320	0.074	0.0494	-0.065	0.8792	-0.0868	-0.3473	-0.0061	-0.1047	-0.231	0.0188	0.0969	-0.0997	PC10
-0.0225	0.0409	0.0183	-0.0554	0.0179	0.0285	-0.1685	0.0831	0.392	0.275	-0.484	0.1976	-0.5362	0.4075	PC11
-0.0253	0.0326	-0.0077	0.0059	-0.0064	0.1756	0.1743	-0.0879	-0.2649	-0.355	0.4657	-0.073	-0.4786	0.5300	PC12
-0.002	0.0025	-0.001	-0.001	0.0037	0.1094	-0.342	0.5893	0.3069	-0.649	-0.012	-0.022	0.0755	-0.032	PC13
0.0107	-0.014	0.0072	-0.0034	0.0006	0.1942	-0.3551	0.4992	-0.6788	0.3454	-0.0435	0.0377	-0.0410	0.0358	PC14

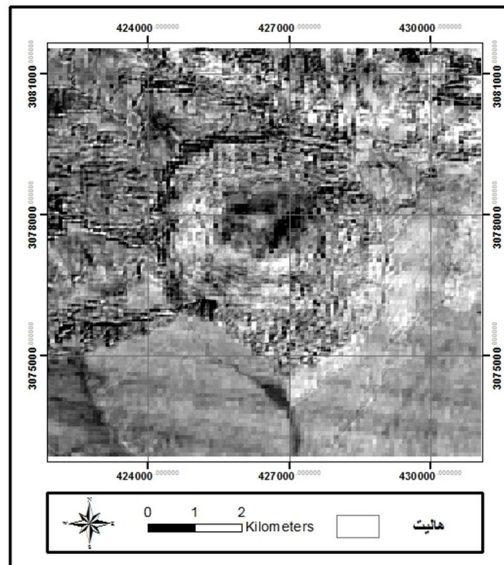
جدول ۳-۳: مقادیر ماکزیمم و مینیمم مقادیر ویژه.

جذب (باند)	انعکاس (باند)	min	max	Eigenvectors
10	1	-0.4680	-0.009	PC1
14	4	-0.3492	0.3901	PC2
14	10	-0.5174	0.5138	PC3
10	11	-0.686	0.4690	PC4
3	5	-0.506	0.2860	PC5
11	12	-0.6392	0.7285	PC6
8	3	-0.404	0.4819	PC7
13	14	-0.7053	0.5714	PC8
1	8	-0.3462	0.5539	PC9
7	9	-0.3473	0.8792	PC10
2	1	-0.5362	0.4075	PC11
2	1	-0.4786	0.5300	PC12
5	7	-0.6491	0.5893	PC13
6	7	-0.6788	0.4992	PC14

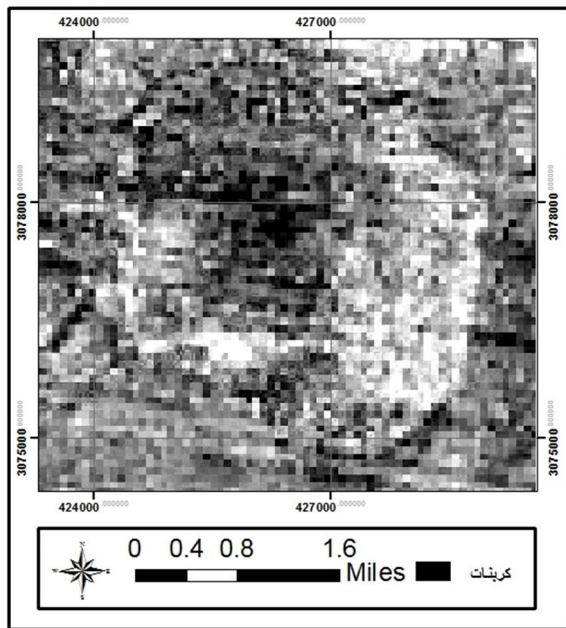
هالیت در باند ۱۰ انعکاس و در باند ۱۴ جذب بالایی از خود نشان می‌دهد؛ لذا با توجه به جدول (۳-۳) در ۳) در pc3 و به رنگ روشن در شکل (۳-۲۱) نمایش داده شده است. همچنین اکسیدهای آهن در باند ۱ انعکاس بالا و در باند ۲ جذب بالا را از خود نشان می‌دهد لذا با توجه به جدول (۳-۳) در ۳) در pc12 با پیکسل‌های تیره و یا در pc12- با پیکسل روشن مشخص می‌گردد (شکل (۳-۲۲)).



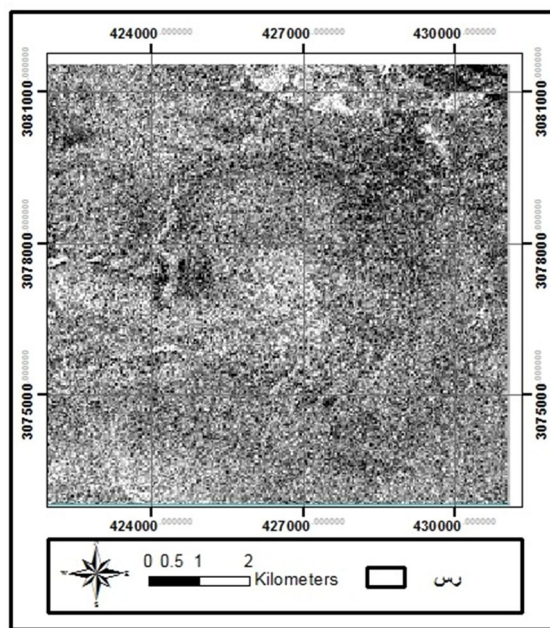
شکل ۳-۲۲: تصویر PC12، اکسید آهن با پیکسل‌های تیره بارز شده‌اند.



شکل ۳-۲۱: تصویر PC3، هالیت با پیکسل‌های روشن بارز شده‌اند.



شکل ۳-۲۴: تصویر PC8، کربنات با پیکسل‌های تیره بارز شده‌اند.

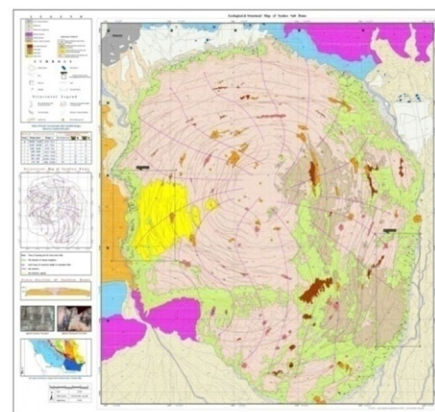
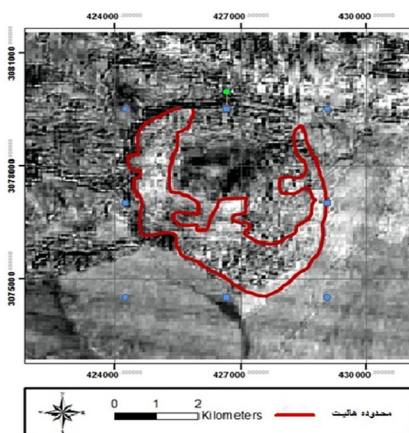


شکل ۳-۲۳: تصویر PC14، رس با پیکسل‌های روشن بارز شده‌اند.

کانی های رسی بدلیل انعکاس بالا در باند ۷ و جذب بالا در باند ۶ طبق جدول (۳-۳) با پیکسل روشن در pc14 مشاهده می گردد(شکل(۳-۲۳)). کانی های کربناتی بدلیل انعکاس بالا در باند ۱۳ و جذب بالا در باند ۱۴ مطابق جدول (۳-۳) در pc8 با پیکسل های تیره مشخص می گردد (شکل(۳-۲۴)).

### ۳-۱۱ نتیجه گیری

پردازش تصاویر ماهواره ای سنجنده استر، با استفاده از روش های نسبت گیری باندی و آنالیز پردازش مؤلفه های اصلی منجر به بارزسازی دگرسانی ها، اکسید آهن، هالیت و ... در منطقه گردید. پردازش تصاویر ماهواره ای با روش های فوق در منطقه نشان داد؛ اغلب سنگ های موجود در منطقه از نوع رسی، اکسید آهن و هالیت می باشد. با توجه به نحوه قرارگیری کانی های تبخیری، رسوب گذاری، چین خوردگی و روباره های ثانویه در منطقه، بارزسازی گنبد نمکی با تصاویر ماهواره ای کمی مشکل می باشد، ولی با توجه به پردازش های انجام شده و اطلاعات به دست آمده از تصاویر ماهواره ای و همراهی پتاس با نمک ها، مناطق با اهمیت بیشتر در شکل (۳-۲۶) مشخص گردید؛ که قابل مقایسه با موقعیت آن در نقشه زمین شناسی (شکل ۳-۲۵) است. با توجه به بازدید صحرایی و انجام عملیات تهیه نقشه زمین شناسی، برونزدهای نمکی واقع در حاشیه های شمالی، غربی، شرقی و به مقدار کمتر نواحی جنوبی نقشه جهت نمونه برداری های ژئوشیمیایی در دستور کار قرار گرفت.



شکل ۳-۲۶: تصویر ماهواره ای گنبد نمکی سیاهو و محدوده های رخنمون هالیت.

شکل ۳-۲۵: نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ از گنبد نمکی سیاهو.

## فصل چہارم

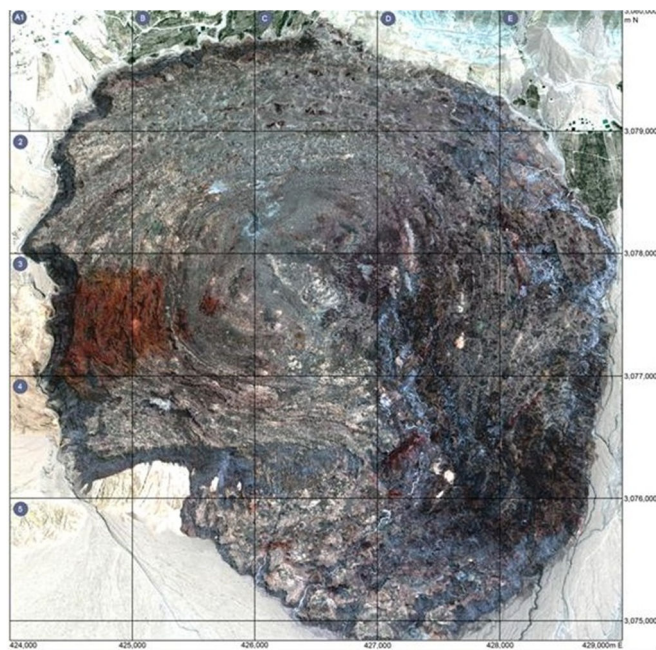
# اکتشافات ژئوشیمیایی

## ۱-۴ مقدمه

امروزه روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی کاربرد گسترده‌ای در اکتشافات ناحیه‌ای و محلی دارد. ژئوشیمی اکتشافی بخشی از زمین‌شناسی اکتشافی نوین است؛ که دارای سه بخش اساسی نمونه برداری (سنگ، آب، خاک و گیاه)، تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و پردازش داده‌های به‌دست آمده از این نمونه‌ها است.

جهت تعیین مناطق کانی‌سازی پتاس و همچنین تعیین عیار ماده معدنی در منطقه گنبد نمکی سیاهو، بیش از ۳۸۶ نمونه سطحی برداشت و مورد آنالیز شیمیایی به روش XRF قرار گرفت. که نقشه‌های مربوط به نقاط نمونه برداری در پیوست ۱ آورده شده است. این آزمایشات در شرکت زر آزما انجام شد. با استفاده از نتایج حاصل از این روش، ناهنجاری‌های عنصر پتاسیم در منطقه مورد بررسی قرار گرفت و نقشه مناطق دارای پتانسیل اکسید پتاسیم ترسیم گردید. همچنین ۱۷ نمونه آنالیز XRD جهت تعیین نوع کانی‌های پتاس در آزمایشگاه تجزیه مواد دانشگاه دامغان انجام شد و نتایج آن مورد پردازش قرار گرفت. نتایج آنالیز XRF در پیوست ۲ و نتایج آنالیز XRD نمونه‌های حاوی پتاس در این فصل و نمونه‌های فاقد کانی‌های پتاس در پیوست ۳ آورده شده است.

جهت دقت در مطالعات و برداشت‌های ژئوشیمیایی با توجه به تصویر ماهواره‌ای و براساس طول و عرض جغرافیایی، گنبد نمکی سیاهو به ۲۵ چهارگوش با ابعاد یک کیلومتر مربع تقسیم گردید، ستون‌ها با حروف A تا E و ردیف‌ها با شماره‌های یک تا پنج مشخص شده است (شکل ۱-۴). نمونه برداری بر اساس داده‌های حاصل از دورسنجی و نقشه ۱:۵۰۰۰ زمین‌شناسی صورت گرفت.



شکل ۴-۱: تصویر ماهواره ای گنبد نمکی سیاهو و به همراه تقسیم بندی انجام شده جهت نمونه برداری.

## ۲-۴ پردازش مقدماتی داده های ژئوشیمیایی

پس از دریافت نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های برداشت شده از منطقه، می بایست عملیات پردازش بر روی داده ها صورت گیرد. این مرحله بخش مستقلی را در عملیات اکتشافی تشکیل می دهد و پردازش صحیح داده ها، نقش مهمی در تحلیل صحیح داده ها خواهد داشت. پردازش مقدماتی داده های ژئوشیمیایی شامل مراحل است که در ذیل به آن پرداخته می شود.

### ۱-۲-۴ پارامترهای آماری داده های خام

به منظور شناخت ماهیت تابع توزیع عناصر، پارامترهای آماری داده های خام مانند میانگین، انحراف معیار، میانه، چولگی، واریانس، کشیدگی و مقادیر مینیمم و ماکزیمم داده ها محاسبه گردید (جدول ۴-۱).

جدول ۴-۱: پارامترهای آماری داده های 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

#### ۴-۲-۲ جایگزینی مقادیر خارج از ردیف

مقادیر خارج از ردیف، مقادیری است که به صورت ناهنجار تغییر می‌کند. در مباحث آماری به مقادیری که نسبت به سایر مقادیر به‌طور معنادار اختلاف دارند، مقادیر خارج از ردیف گویند. این مقادیر ممکن است به دلایل وجود خطاهای تجربی مانند، خطای آنالیز در داده‌ها و گاهی به دلیل ناهمگنی‌های موجود در داده‌های اکتشافی ایجاد شود؛ لذا می‌بایست این مقادیر (خارج از ردیف) در تابع توزیع عناصر حذف و یا تصحیح گردد. از آنجا که حذف این مقادیر جایز نیست (مخصوصاً مقادیر با عیار بالا که می‌تواند راهنمای مناسبی از مناطق آنومال باشند) ضروری است این مقادیر با یک مقدار مناسب جایگزین شوند. از جمله روش‌های شناخته شده جهت تصحیح مقادیر خارج از ردیف، روش‌هایی مانند استفاده از نمودار احتمال، نمودار دورفل<sup>۱۵</sup>، نمودار باکس پلات<sup>۱۶</sup> و روش فانوپ<sup>۱۷</sup> می‌باشد (اصلانی، ۱۳۹۴).

به‌منظور جایگزینی مقادیر خارج از ردیف در نمونه‌ها، در اینجا از نمودار دورفل استفاده شده است. اگر چه می‌توان از روش‌های دیگر نیز استفاده کرد. نمودار دورفل جهت تعیین حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف در دو سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد، در شکل (۴-۲) نشان داده شده است؛ که در این تحقیق از سطح اعتماد ۹۹ درصد استفاده شد. برای استفاده از نمودار دورفل، ابتدا محل تقاطع تعداد نمونه‌ها را به نمودار با سطح اعتماد ۹۹ درصد عمود کرده و سپس نقطه تقاطع به‌محور عمودی متصل می‌شود و سپس حد آستانه خوانده می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

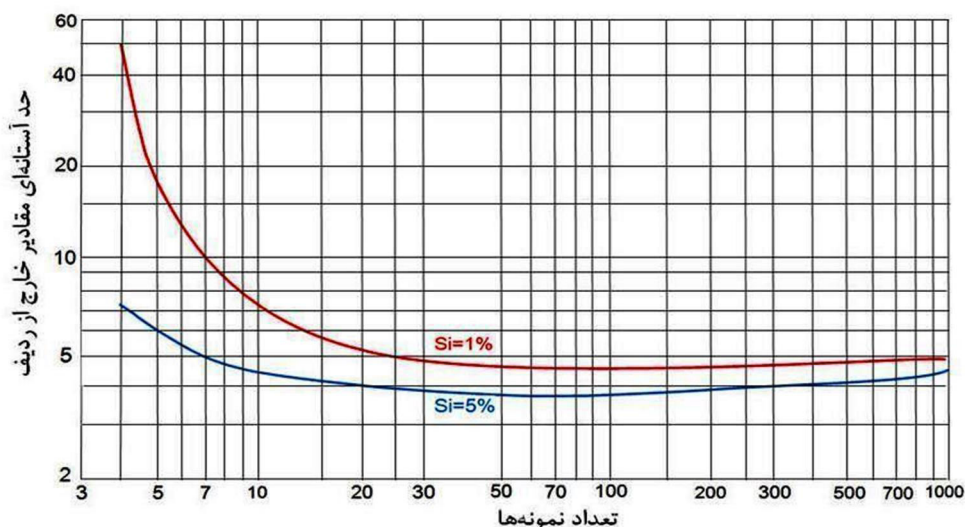
---

<sup>15</sup> -Doerffel

<sup>16</sup> -Box plot

<sup>17</sup> -Funop





شکل ۴-۲: نمودار دورفل به منظور شناسایی مقادیر خارج از ردیف [Levinson, 1980].

برای مشخص کردن مقادیر خارج از ردیف، انحراف معیار (S) و میانگین  $\bar{X}$  بدون در نظر گرفتن مقادیر داده‌ها محاسبه می‌شود، سپس بزرگترین مقدار داده‌ها  $X_A$  (در صورتی که در رابطه (۴-۱) صدق کند) یک مقدار خارج از ردیف در نظر گرفته می‌شود؛ که می‌بایست جایگزین این داده‌ها شود.

$$X_A \geq \bar{X} + S \cdot g \quad (1-4)$$

که در آن؛ g حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف است که از نمودار دورفل استفاده می‌شود. در این تحقیق با توجه به تعداد نمونه‌ها (۳۸۶ نمونه) و سطح اعتماد ۹۹ در صد مقدار g برابر ۴/۹ می‌باشد؛ بنابراین با استفاده از رابطه فوق مقادیر خارج از ردیف به دست خواهد آمد. این مقادیر با بزرگترین مقدار داده‌ها (مقدار پتاسیم) در بین نمونه‌هایی که خارج از ردیف بوده، جایگزین گردید. مقادیر خارج از ردیف عناصر و مقادیر جایگزین در جدول (۴-۲) مشاهده می‌شود.

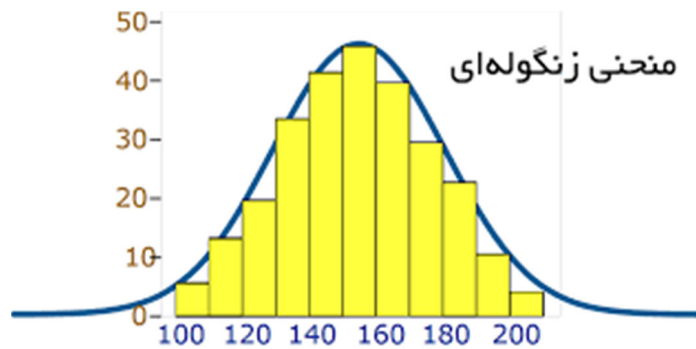
$$X_A \geq 3222.72 + 12770 * 4.9 = 65795.72$$

جدول ۴-۲: مقادیر خارج از ردیف عنصر پتاسیم و مقادیر جایگزین شده.

مقدار تصحیح شده	مقدار خارج از ردیف	مقدار مربوط به عنصر K
65795.72	76185.9	K1
65795.72	165924.5	K2
65795.72	74988	K3

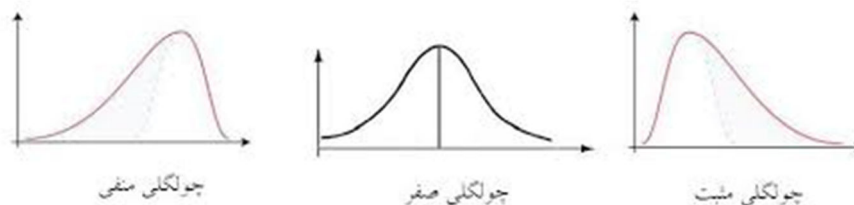
#### ۳-۲-۴ نرمال سازی داده ها

در تمام روش‌های آماری فرض بر نرمال بودن توزیع داده‌ها است، لذا می‌بایست نرمال بودن توزیع داده‌ها مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۳-۴: نمودار هیستوگرام توزیع نرمال برای داده‌های سیاهو.

جهت نیل به این هدف، روش‌های متفاوتی نظیر روش عددی (مقادیر چولگی<sup>۱۸</sup> و کشیدگی<sup>۱۹</sup>) و روش گرافیکی (نمودارهای هیستوگرام فراوانی و QQPlot) وجود دارد که می‌توان از آنها استفاده کرد. در صورتی که توزیع داده‌ها نرمال باشد، نمودار هیستوگرام فراوانی به صورت شکل (۳-۴) است. چولگی معیاری از تقارن یا عدم تقارن تابع توزیع است. این معیار برای یک توزیع متقارن برابر صفر و برای یک توزیع نامتقارن، مثبت یا منفی است. این حالات چولگی در شکل (۴-۴) نشان داده شده است. همچنین کشیدگی نشان‌دهنده ارتفاع یک توزیع یا به عبارتی کشیدگی معیاری از بلندی منحنی در نقطه ماکزیمم است، مقادیر این معیار برای توزیع نرمال برابر ۳ است.

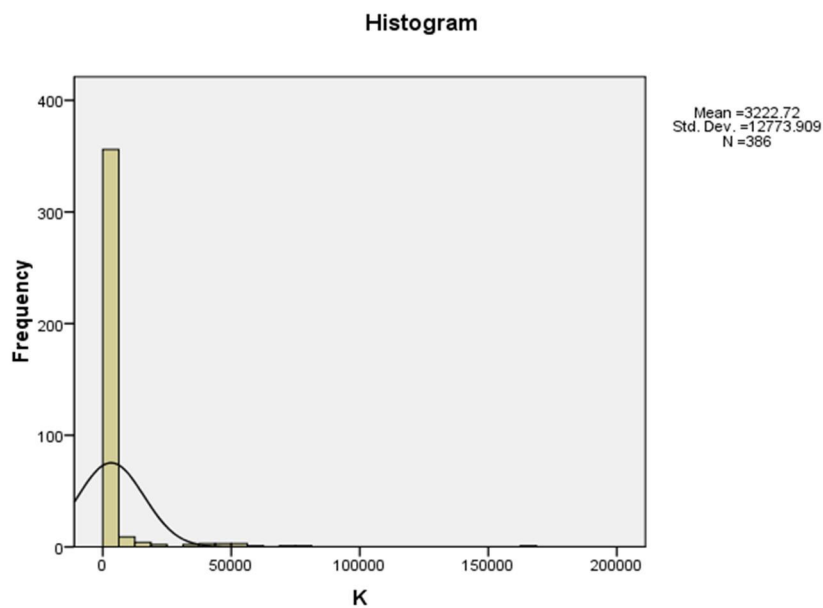


شکل ۴-۴: انواع حالات چولگی

<sup>18</sup> - Skewness

<sup>19</sup> - Kurtosis

پس از محاسبه پارامترهای آماری داده ها، جهت شناسایی ترتیب قرارگیری داده ها در کنار هم و بررسی توابع توزیع، نمودار هیستوگرام داده ها رسم شد؛ به طوری که تابع زنگی شکل در نمودار هیستوگرام، نشان دهنده توزیع نرمال است. نتایج به دست آمده از این نمودار نشان می دهد، عنصر پتاسیم مطابق شکل (۴-۵) دارای توزیع غیر نرمال می باشد.

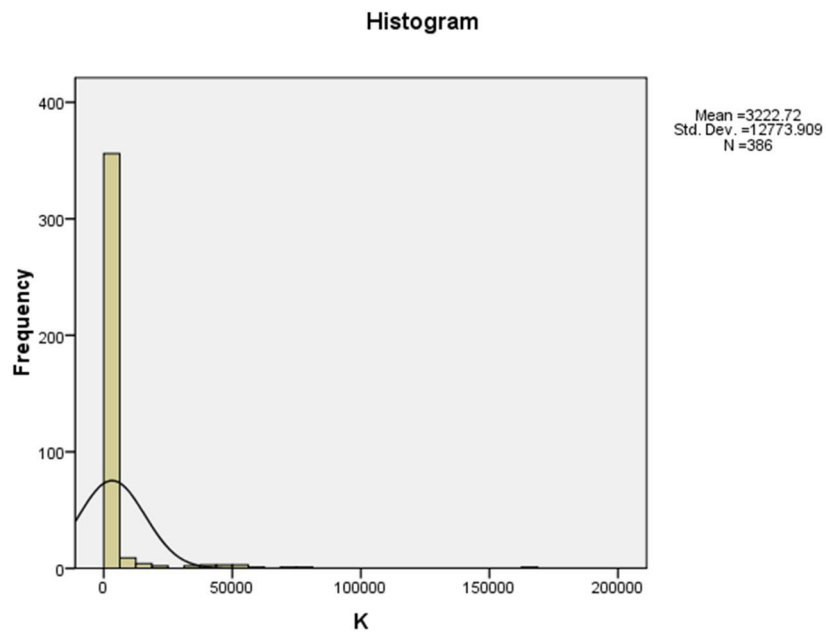


شکل ۴-۵: نمودار هیستوگرام عنصر K

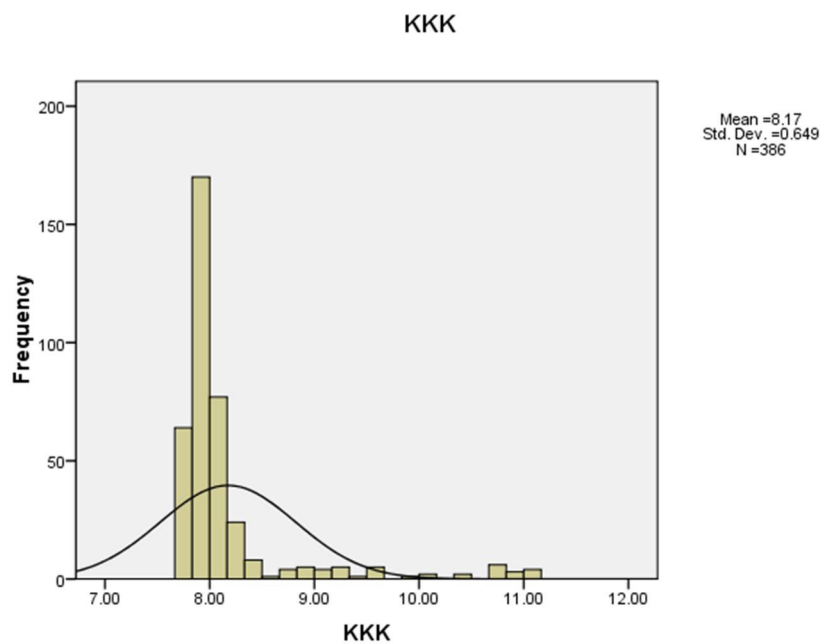
به دلیل غیرنرمال بودن توزیع داده ها می بایست عملیات نرمال سازی بر روی داده ها صورت گیرد. روش های مختلفی جهت نرمال سازی وجود دارد؛ که می توان به تبدیل لگاریتمی، تبدیل لگاریتمی سه پارامتری و تبدیل کاکس- باکس اشاره کرد. در این تحقیق از روش تبدیل لگاریتمی سه پارامتری مطابق رابطه (۴-۲) استفاده شده است زیرا در مواردی که با تبدیل لگاریتمی ساده نتوان داده ها را طبیعی کرد ممکن است با افزودن یا کاستن یک مقدار ثابت از تمام داده ها و محاسبه تبدیل لگاریتمی آن ها بتوان داده ها را به توزیع طبیعی یا نرمال تبدیل کرد. و صورت زیر تعریف می گردد.

$$P(x) = Ln(ax \pm b) \quad (2 - 4)$$

در این رابطه  $a$  برابر یک در نظر گرفته می شود و تنها برای پارامتر  $b$  (مقداری ثابت که با توجه به چولگی تعیین می گردد) یک مقدار مثبت یا منفی در نظر گرفته می شود. با توجه به روش فوق، عنصر مورد نظر که دارای توزیع غیر نرمال است (شکل ۴-۶) به توزیع نرمال تبدیل می شود (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۶: توزیع داده ها قبل از نرمال سازی.



شکل ۴-۷: توزیع داده ها بعد از نرمال سازی.

### ۳-۴ محاسبه حدزمینه و آستانه آنومالی با استفاده از روش آماری سالووف<sup>۲۰</sup>

اغلب روش‌های تشخیص حد آستانه آنومالی بر پایه توزیع نرمال عناصر بیان می‌شود. تابع توزیع نرمال از رابطه (۳-۴) بیان می‌شود.

$$Y = f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}\right) \quad (3-4)$$

در این رابطه  $\bar{x}$  میانگین مقادیر غلظت و  $S$  انحراف معیار استاندارد و  $S^2$  واریانس داده‌ها است. جهت محاسبه مقدار زمینه  $C_p$ ، حد آستانه آنومالی  $C_A$  و انحراف معیار  $\varepsilon$  برای ذخیره‌ری که از توزیع لاگ نرمال بهره می‌برند از روابط زیر استفاده می‌شود [Solovov, 1987].

$$C_p = \text{ant} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log c_i \right) \quad (4-4)$$

$$C_A = \bar{C}_X * \varepsilon^{3/m^{1/2}} \quad m = 1.2.3 \dots 9 \quad (5-4)$$

در رابطه (۴-۵)،  $m$  برابر تعداد نقاطی است که غلظت بیشتر از  $\bar{C}_X * \varepsilon$  دارند.

$$\varepsilon = \text{ant} \text{Log} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log c_i - \log \bar{C}_X)^2}{N-1}} \quad (6-4)$$

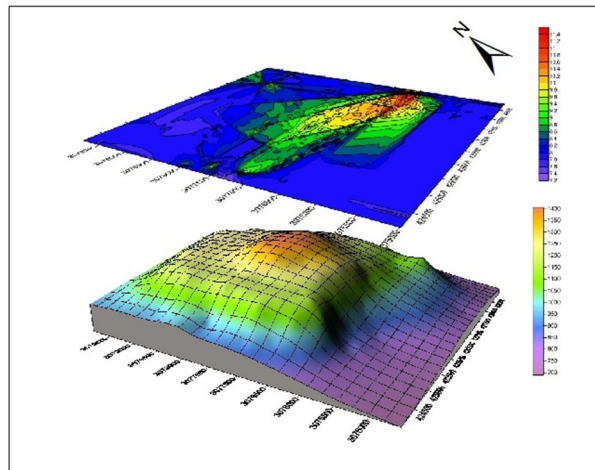
با توجه به روابط فوق حد آستانه، حد آنومالی و انحراف معیار برای عنصر پتاسیم محاسبه گردید که در جدول (۳-۴) نشان داده شد.

جدول ۳-۴: مقادیر حد زمینه و حد آستانه‌ای برای عنصر پتاسیم.

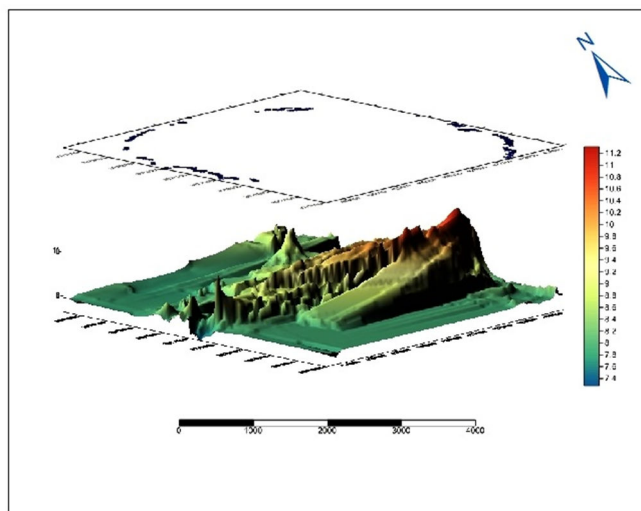
پارامتر	K
انحراف معیار ( $\varepsilon$ )	1.07
حد زمینه ( $C_p$ )	8.15
حد آستانه ( $C_A$ )	8.75

<sup>20</sup> -Solovov

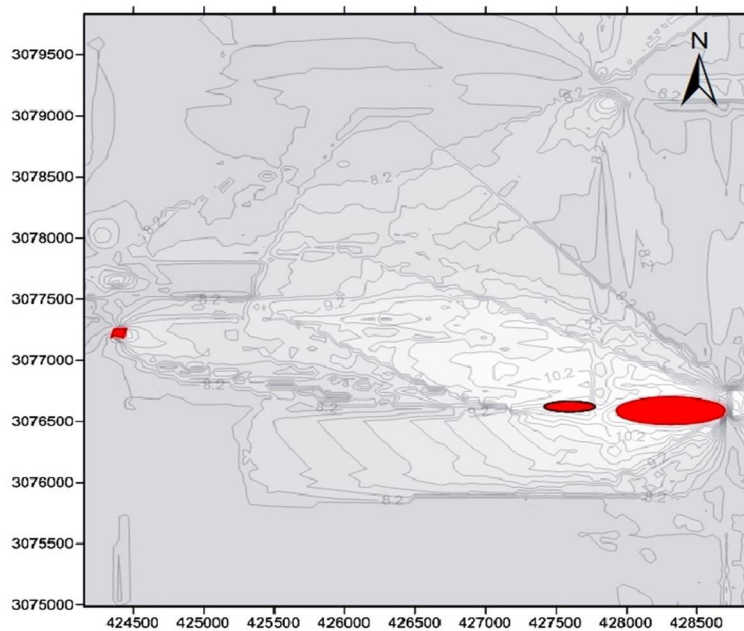
با توجه به جدول فوق، نقشه ناهنجاری‌های پتاسیم در منطقه ترسیم شد {شکل‌های (۸-۴)، (۹-۴)، (۱۰-۴) و (۱۱-۴)}.



شکل ۴-۸: نقشه ترکیبی ارتفاعی و ناهنجاری پتاسیم در گنبد سیاهو.



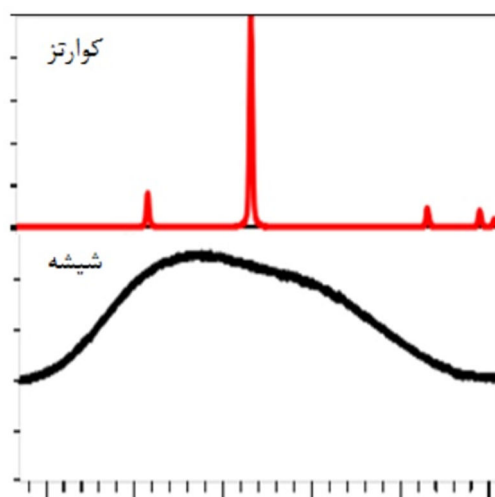
شکل ۴-۹: نقشه ناهنجاری و نقاط نمونه برداری شده در گنبد نمکی سیاهو.



شکل ۴-۱۰: نقشه ناهنجاری‌های پتاسیم در گنبد نمکی سیاهو.

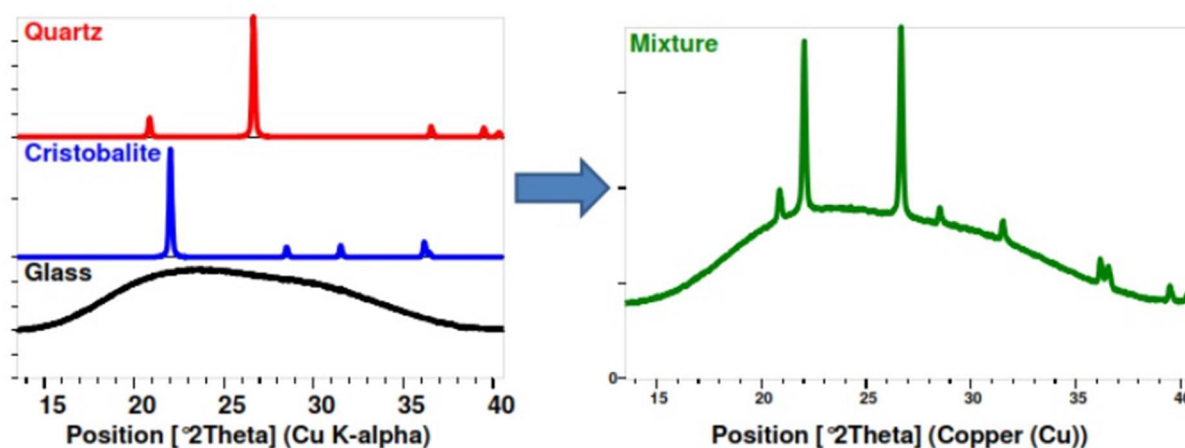
#### ۴-۴ مطالعات کانی‌شناسی به روش XRD جهت تعیین نوع کانی پتاس

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. مواد مختلف به دلیل چیدمان و نظم‌های متفاوت اتمی دارای الگوی پراش متفاوتی هستند. پس الگوی پراش هر ترکیب منحصر به فرد است. در یک ماده ی یکسان دارای فازهای کریستالی مختلف (مثلا کوارتز و شیشه که فازهای مختلف  $\text{SiO}_2$  هستند)، نیز الگوهای پراش متفاوت می باشد. بنابراین با مطالعه زاویه ای که پیک های XRD در آن تشکیل می شوند و شدت نسبی هر پیک، می توان نوع ماده و فاز آنها را به صورت کیفی شناسایی کرد. مطابق شکل (۴-۱۱) مواد آمورف (بی شکل) مانند شیشه، پیک های مشخص تشکیل نمی دهند، در حالی که مواد بلوری که ساختار منظمی دارند پیک های مشخص در زوایای مشخص ایجاد می کنند.



شکل ۴-۱۱: طیف کوارتز و شیشه

در صورتی که نمونه حاوی فازهای مختلف یک ماده باشد، الگوی پراش به صورت ترکیبی از همه طیف ها است.



شکل ۴-۱۲: سمت راست ترکیبی از سه الگوی سمت چپ می باشد که فازهای مختلف  $SiO_2$

همانطور که در شکل (۴-۱۲) مشاهده می گردد. الگوی سمت راست ترکیبی از سه الگوی سمت چپ که

فازهای مختلف  $SiO_2$  هستند را نشان می دهد

هر ماده ای در زوایای خاصی پیک می دهد. برای آنکه متوجه شویم درون نمونه یک ماده ی خاص وجود

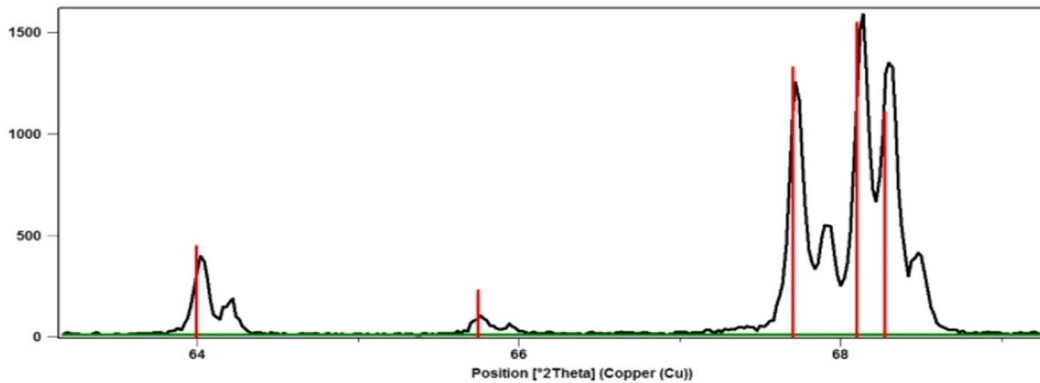
دارد ، باید در طیف به دست آمده، همه زوایای مربوط به پیک های اصلی آن ماده مشاهده شود. برای

مثال در شکل (۴-۱۳) مشاهده می شود که در زوایای خاصی برای یک ماده ی مجهول، پیک های

مختلفی ثبت شده است . سپس زوایای مربوط به پیک های یک ماده معلوم (مس) که از قبل تعیین



شده اند بر روی شکل حاصل قرار داده شده که در اینجا به صورت خطوط قرمز دیده می شود. هدف از این کار آن است که تطابق زوایای پیک بار ماده مجهول با ماده معلوم بررسی شود و اگر این دو بر یکدیگر منطبق باشند ، نتیجه می گیریم که ماده مجهول همان مس است.



شکل ۴-۱۳: تطابق پیک های طیف XRD با پیک های الگو

قسمت های مختلف دستگاه XRD به شرح ذیل می باشد.

۱- منبع : در XRD یک منبع اشعه X تک فام نیاز است که در حالت متداول از لوله اشعه ایکس

استفاده می شود هنگامی که انرژی اشعه الکترونی افزایش یابد قله هایی در نمودار بوجود می آید.

۲- نمونه : که می تواند بصورت ورقه نازک، لایه و پودر باشد. در نمونه پودری اندازه ذرات کوچکتر از 50 میکرو متر در نظر گرفته می شود.

۳- اپتیک: استفاده از ادوات اپتیک جهت کنترل و بهبود اشعه X به عنوان مثال حذف فرکانس های نا مطلوب

۴- اشکار ساز : که باعث تأثیر در کیفیت اطلاعات می شود.

با توجه به آنچه که در بالا اشاره شد؛ جهت تعیین نوع کانی پتاس در منطقه مورد نظر تعداد ۱۷ نمونه معرف از ۱۰۰ نمونه برداشت شده، جهت آنالیز XRD انتخاب گردید. از این تعداد ۷ نمونه حاوی کانی پتاس بوده و ۱۰ نمونه دیگر فاقد کانی های پتاس می باشد. مشخصات و نتایج نمونه های حاوی پتاس در ذیل آورده شده است و نتایج سایر نمونه ها در پیوست ۳ آورده شده است.

همانطور که در جداول مربوط به هر آنالیز آورده شده است. میزان طول موج<sup>۲۱</sup> برابر  $1/54$  است دلیل آن استفاده از تیوب<sup>۲۲</sup> مس می باشد.  $a$ ،  $b$  و  $c$  معرف شاخص میلر<sup>۲۳</sup> می باشند. محور  $Y$  برابر شدت موج و محور  $X$  برابر زاویه  $2\theta$  می باشد. همچنین  $S-Q$  درصد غلظت کانی مورد نظر بوده و سایر موارد نظیر نام کانی و فرمول شیمیایی آن در جدول آورده شده است.

۱-۴-۴ نمونه شماره ۷۵

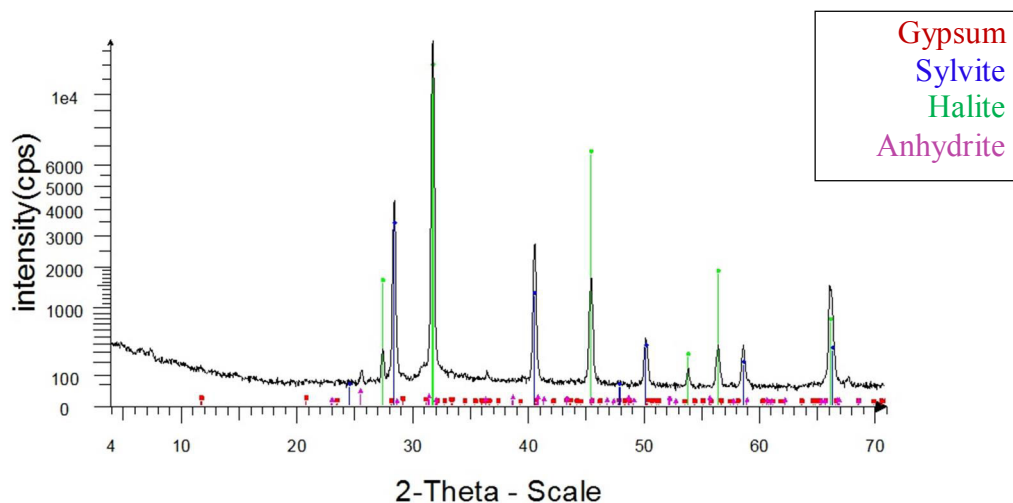
این نمونه از مختصات  $X=424389$  و  $Y=3077239$  برداشت گردیده شکل (۴-۱۴). و جهت تشخیص ترکیب کانی شناسی مورد آنالیز XRD قرار گرفت که نتایج آن مطابق شکل (۴-۱۵) و جدول (۴-۴) آورده شده است.



شکل ۴-۱۴: نمونه شماره ۷۵

---

<sup>21</sup> - Wavelength  
<sup>22</sup> - X-ray tube  
<sup>23</sup> - Miller index



شکل ۴-۱۵: نمودار طیفی نمونه شماره ۷۵

جدول ۴-۴: نتایج آنالیز نمونه شماره ۷۵

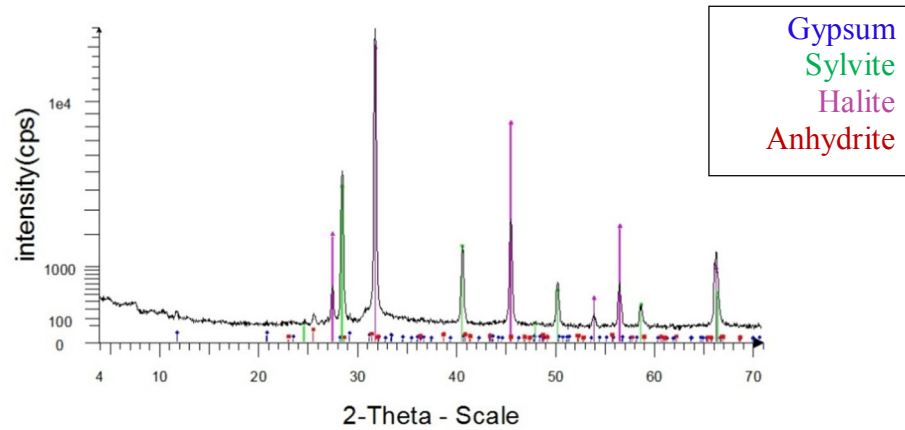
System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Monoclinic	1.5406	1	0.01	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
Cubic	1.5406	1	24.27	KCl	Sylvite, syn	41-1476 (*)
Cubic	1.5406	1	86.13	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.09	CaSO <sub>4</sub>	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
alpha	S-Q	c	b	a	Compound Name	SS-NNNN
90	0	5.6776	15.2079	6.2845	Gypsum, syn	33-0311 (*)
90	55.2	6.2917	6.2917	6.2917	Sylvite, syn	41-1476 (*)
90	44.5	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
90	0.2	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)

#### ۴-۲-۴ نمونه شماره ۷۵A

این نمونه از مختصات  $X=427862$  و  $Y=3079126$  برداشت گردیده شکل (۴-۱۶). و جهت تشخیص ترکیب کانی شناسی مورد آنالیز XRD قرار گرفت که نتایج آن مطابق شکل (۴-۱۷) و جدول (۴-۵) آورده شده است.



شکل ۴-۱۶: نمونه شماره 75A



شکل ۴-۱۷: نمودار طیفی نمونه شماره 75 A

جدول ۴-۵: نتایج آنالیز نمونه شماره 75A

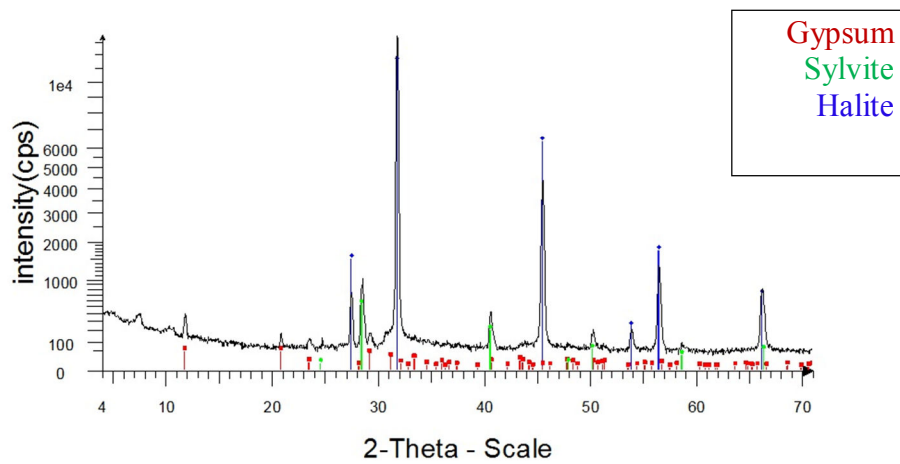
System	Wave length	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	87.41	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.08	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
Monoclinic	1.5406	1	0.04	CaSO4·2H2O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
Cubic	1.5406	1	23.74	KCl	Sylvite, syn	41-1476 (*)
S-Q	alpha	c	b	a	Compound Name	SS-NNNN
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 (*)

#### ۴-۳-۳ نمونه شماره ۴۳

این نمونه از مختصات  $X=428673$  و  $Y=3076546$  برداشت گردیده شکل (۴-۱۸). و جهت تشخیص ترکیب کانی شناسی مورد آنالیز XRD قرار گرفت که نتایج آن مطابق شکل (۴-۱۹) و جدول (۴-۶) آورده شده است.



شکل ۴-۱۸: شکل شماره ۴۳



شکل ۴-۱۹: نمودار طیفی نمونه شماره ۴۳

جدول ۴-۶: نتایج آنالیز نمونه شماره ۴۳

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	85.49	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Monoclinic	1.5406	1	0.3	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
Cubic	1.5406	1	3.85	KCl	Sylvite, syn	41-1476 (*)
S-Q	alpha	c	b	a	Compound Name	SS-NNNN
82.9	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
0.7	90	5.6776	15.2079	6.2845	Gypsum, syn	33-0311 (*)
16.4	90	6.2917	6.2917	6.2917	Sylvite, syn	41-1476 (*)

#### ۴-۴-۴ نمونه شماره B1

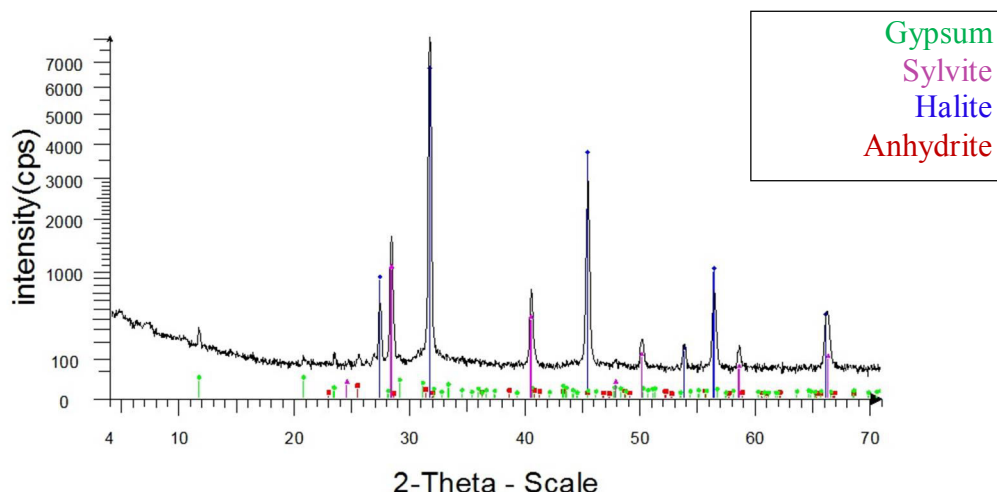
این نمونه از مختصات  $X=424463$  و  $Y=3077705$  برداشت گردیده شکل (۴-۲۰). و جهت تشخیص

ترکیب کانی شناسی مورد آنالیز XRD قرار گرفت که نتایج آن مطابق شکل (۴-۲۱) و جدول (۴-۷)

آورده شده است.



شکل ۴-۲۰: شکل شماره B1



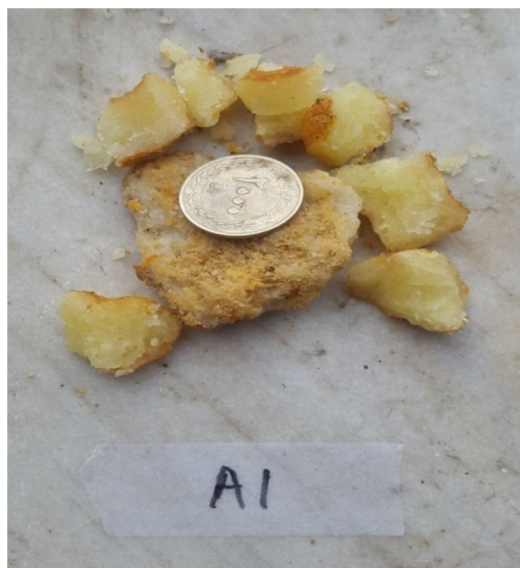
شکل ۴-۲۱: نمودار طیفی نمونه B1

جدول ۴-۷: نتایج آنالیز نمونه B1

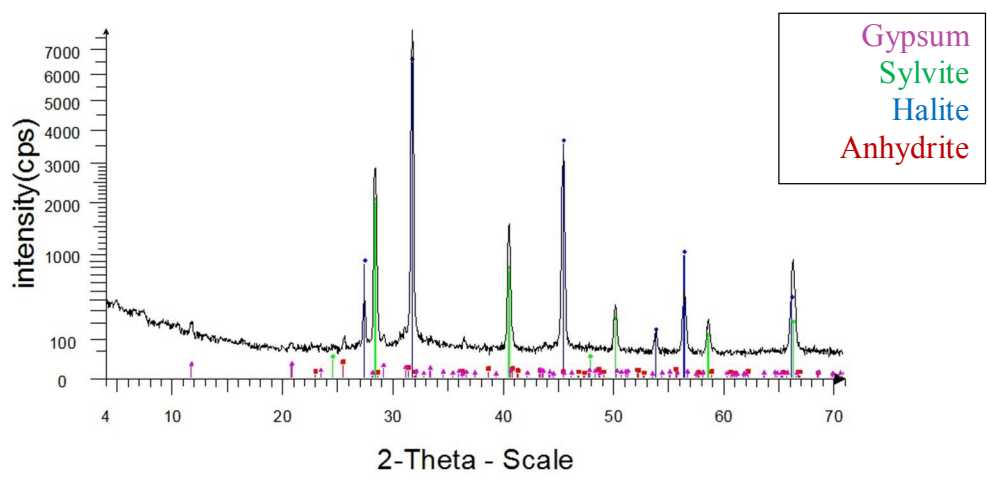
System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	82.05	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.06	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
Monoclinic	1.5406	1	0.22	CaSO4·2H2O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
Cubic	1.5406	1	12.69	KCl	Sylvite, syn	41-1476 (*)
S-Q	alpha	c	b	a	Compound Name	SS-NNNN
59.2	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
0.2	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
0.4	90	5.6776	15.2079	6.2845	Gypsum, syn	33-0311 (*)
40.3	90	6.2917	6.2917	6.2917	Sylvite, syn	41-1476 (*)

#### ۴-۴-۵ نمونه شماره A1

این نمونه از مختصات  $X=424389$  و  $Y=3077184$  برداشت گردیده شکل (۴-۲۲). و جهت تشخیص ترکیب کانی شناسی مورد آنالیز XRD قرار گرفت که نتایج آن مطابق شکل (۴-۲۳) و جدول (۴-۸) آورده شده است.



شکل ۴-۲۲: نمونه شماره A1



شکل ۴-۲۳: نمودار طیفی نمونه شماره A1

جدول ۴-۸: نتایج آنالیز نمونه شماره A1

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	82.35	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.13	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
Cubic	1.5406	1	25.39	KCl	Sylvite, syn	41-1476 (*)
Monoclinic	1.5406	1	0.1	CaSO4·2H2O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
<b>S-Q</b>	<b>alpha</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>Compound Name</b>	<b>SS-NNNN</b>
42.3	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
0.3	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
57.3	90	6.2917	6.2917	6.2917	Sylvite, syn	41-1476 (*)
0.1	90	5.6776	15.2079	6.2845	Gypsum, syn	33-0311 (*)

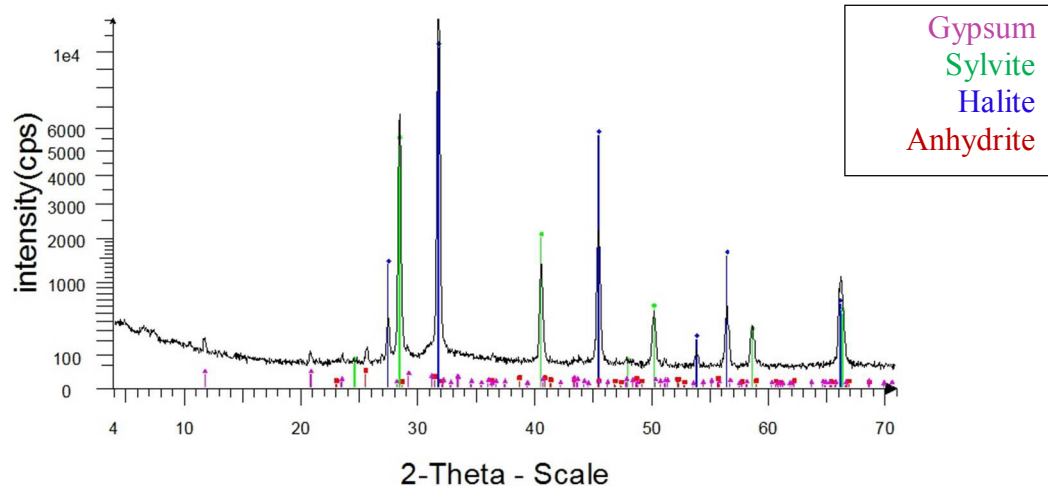


#### ۴-۴-۶ نمونه شماره ۴۷A

این نمونه از مختصات  $X=424402$  و  $Y=3077239$  برداشت گردیده شکل (۴-۲۴). و جهت تشخیص ترکیب کانی شناسی مورد آنالیز XRD قرار گرفت که نتایج آن مطابق شکل (۴-۲۵) و جدول (۴-۹) آورده شده است.



شکل ۴-۲۴: شکل شماره 47A



شکل ۴-۲۵: نمودار طیفی نمونه شماره ۴۷A

جدول ۴-۹: نتایج آنالیز نمونه شماره ۴۷A

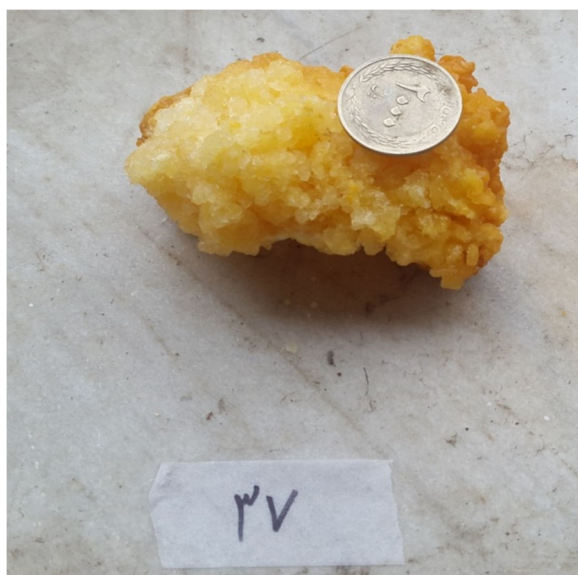
System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	85.33	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.13	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
Cubic	1.5406	1	44.79	KCl	Sylvite, syn	41-1476 (*)
Monoclinic	1.5406	1	0.12	CaSO4·2H2O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
S-Q	alpha	c	b	a	Compound Name	SS-NNNN
30.1	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
0.2	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
69.6	90	6.2917	6.2917	6.2917	Sylvite, syn	41-1476 (*)
0.1	90	5.6776	15.2079	6.2845	Gypsum, syn	33-0311 (*)

#### ۴-۴-۷ نمونه شماره ۳۷

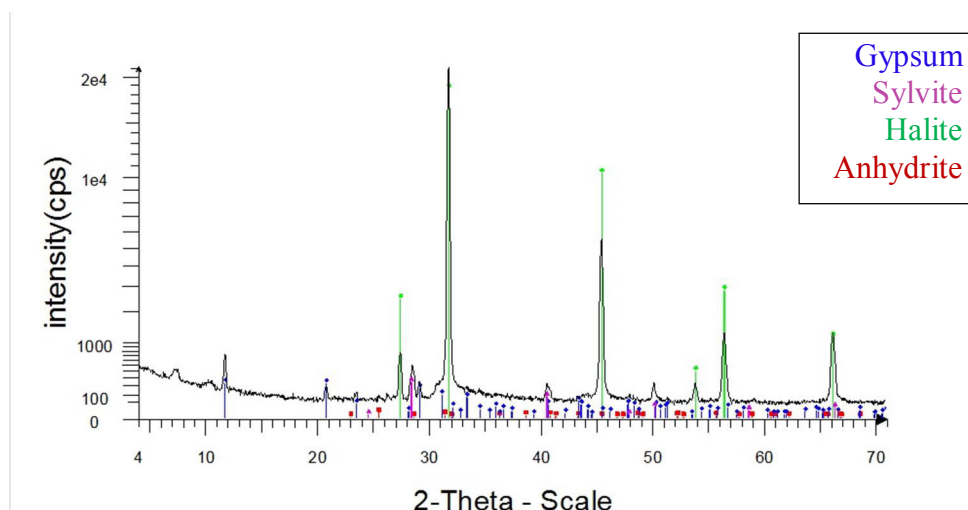
این نمونه از مختصات  $X=428728$  و  $Y=3076565$  برداشت گردیده شکل (۴-۲۶). و جهت تشخیص

ترکیب کانی شناسی مورد آنالیز XRD قرار گرفت که نتایج آن مطابق شکل (۴-۲۷) و جدول (۴-۱۰)

آورده شده است.



شکل ۴-۲۶: شکل شماره ۳۷



شکل ۴-۲۷: نمودار طیفی نمونه شماره ۳۷

جدول ۴-۱۰: نتایج آنالیز نمونه شماره ۳۷

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	88.58	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.02	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
Monoclinic	1.5406	1	0.98	CaSO4·2H2O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
Cubic	1.5406	1	1.04	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>
92.7	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
0.1	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
2.5	90	5.6776	15.2079	6.2845	Gypsum, syn	33-0311 (*)
4.8	90	6.2917	6.2917	6.2917	Sylvite, syn	41-1476 (*)

#### ۴-۵ نتیجه گیری

با توجه به مشاهدات صحرایی و نتایج آنالیزهای شیمیایی XRF تعداد ۲۴ نمونه دارای عیار بالای ۱ در صد عنصر پتاسیم را به خود اختصاص می دهند (جدول (۴-۱۱)). که این تمرکز بیشتر در دو یال غربی و شرقی گنبد نمکی سیاهو می باشد. بطوری که در یال غربی بالاتری عیار پتاسیم را به خود اختصاص می دهد. مطابق شکل (۴-۲۸) و (۴-۲۹) همچنین با توجه به نمونه برداری‌های انجام شده و نتایج آنالیز XRD، کانی پتاس از نوع سیلویت بوده که میزان درصد هر نمونه در جدول (۴-۱۲) آمده است. با توجه

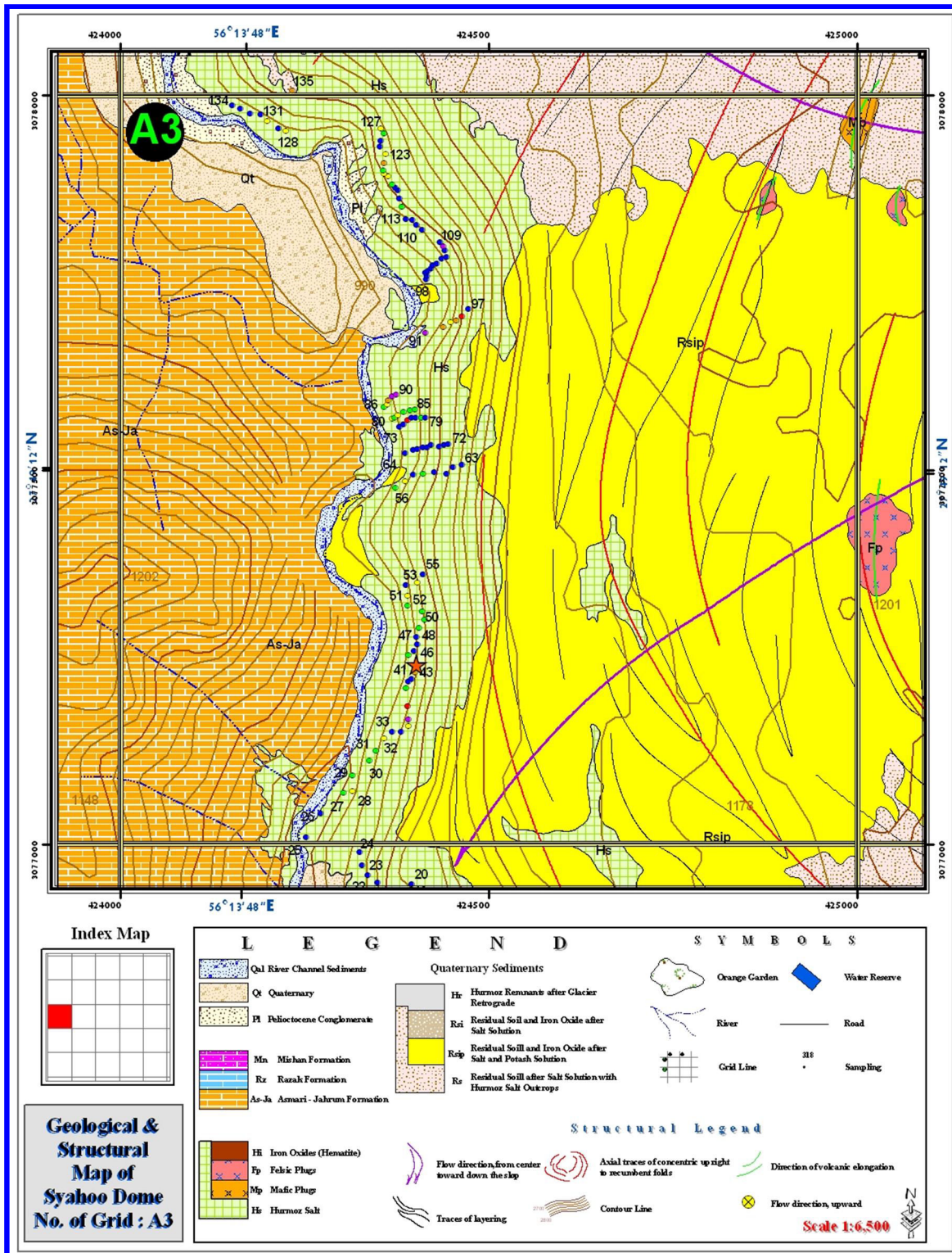
به بررسی نمونه های برداشت شده یال غربی از پتانسیل بالاتر و رخنمون آشکار تری نسبت به یال شرقی برخوردار بوده است. و عیار بالا کانی سیلویت نیز مربوط به این قسمت از گنبد می باشد.

**جدول ۴-۱۱:** توزیع عیار نمونه های پتاسیم دار در نواحی پتانسیل دار گنبد نمکی سیاوهو نتایج آنالیز

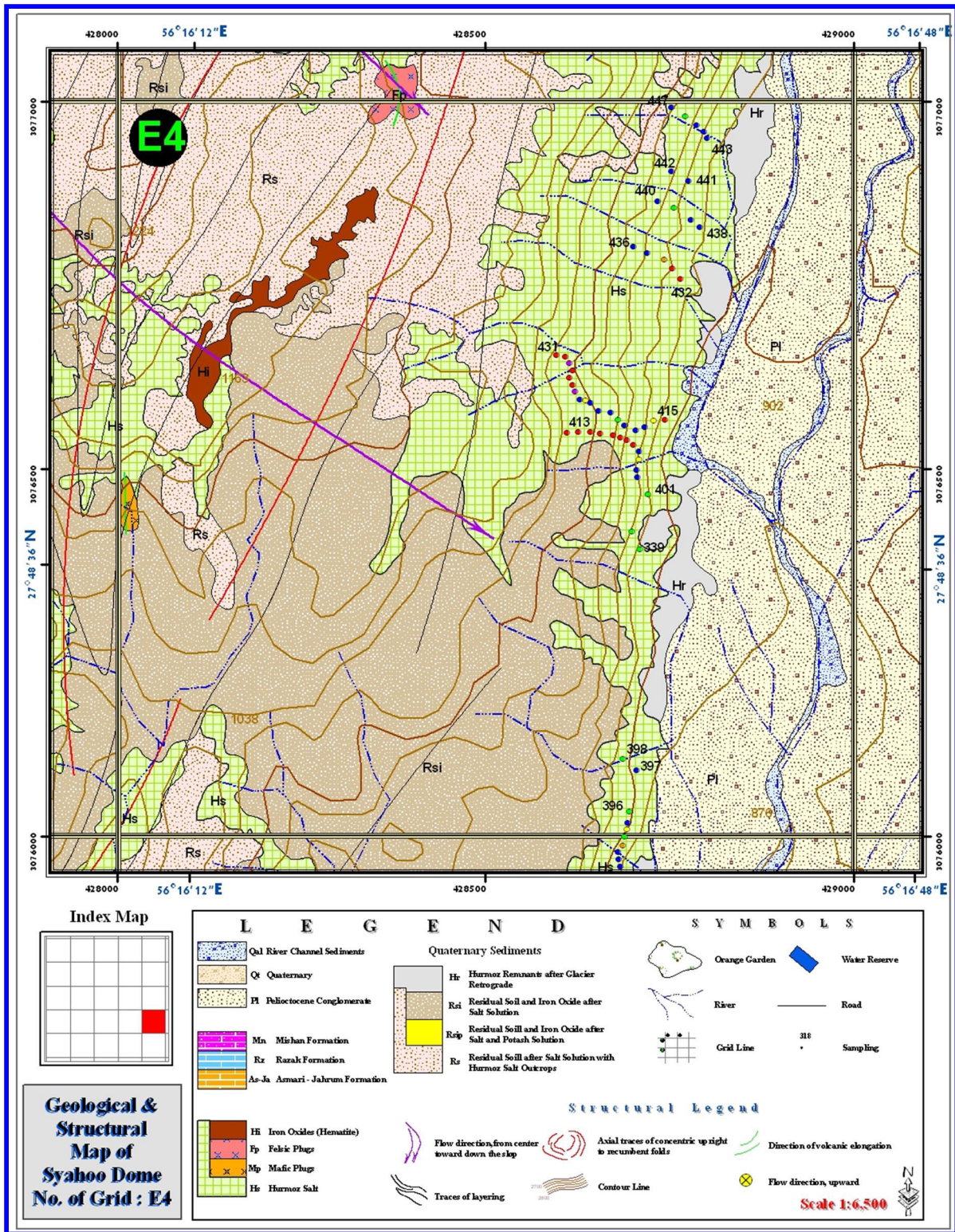
رنگ نمونه	غلظت (ppm)	نمونه در کل منطقه	در بخش غربی	در بخش شرقی
قرمز	۱۷۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	۱	۱	۰
نارنجی	۱۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	۲۳	۳	۱۶
بنفش	۱۰۰۰۰-۵۰۰۰	۱۲	۵	۳
خردلی	۵۰۰۰-۲۰۰۰	۱۱	۶	۳
زرد	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۳۳	۱۶	۸
سبز	۱۰۰۰-۵۰۰	۶۷	۲۳	۱۵
آبی	۵۰۰-۰/۰۱	۲۴۳	۶۸	۴۰

**جدول ۴-۱۲:** میزان در صد پتاس در آنالیز XRD

درصد KCL	شماره نمونه	ردیف
55.2	75	۱
54.3	75A	۲
16.4	43	۳
40.3	B1	۴
57.3	A1	۵
69.6	47A	۶
4.8	37	۷



شکل ۴-۲۸: نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ به همراه نقاط نمونه برداری در بخش غربی گنبد نمکی



شکل ۴-۲۹: نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ به همراه نقاط نمونه برداری در بخش شرقی گنبد نمکی

# فصل پنجم

## نتیجه گیری و

## پیشنهادات

## ۵-۱- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- براساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی، یال غربی گنبد به ویژه دیواره شرقی دره‌ای که از غرب گنبد می‌گذرد؛ 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 محدوده است. مقادیر پتاس در دامنه‌های پرشیب و در واحد نمکی هرمز حداکثر بوده؛ اما در بخش‌های کم شیب رسوبات برجای مانده از انحلال نمک شامل رس و اکسیدهای آهن بیشتر دیده می‌شود.

نمونه‌هایی با عیارهای نیم تا یک درصد در محدوده‌های آنومالی شماره یک در غرب گنبد پراکنده شده اند، بنابراین وجود پتاس در این محدوده منحصر به یک یا دو رخنمون کوچک نبوده و ممکن است برخی از لایه‌ها یا لامینه‌ها بوسیله انحلال از سطح رخنمون حذف شده و یا بوسیله خاک و اکسید آهن پوشیده شده باشد.

این بخش از گنبد که در واقع مشرف به دره خرسین می‌باشد از نظر راه‌های دسترسی، آب، برق و نحوه استخراج دارای ویژگی‌های خاص خود بوده و انجام حفاریات در نقاط پیشنهادی حتماً می‌بایست با تمهیدات خاص صورت پذیرد. گودال‌ها و پستی و بلندی‌های همراه با ناهمواری‌های گسترده به‌طور قطع انجام عملیات حفاری را از طریق احداث سکو حفاری ناممکن می‌سازد و انجام حفاریات در نقاط امیدبخش می‌بایست حتماً با هلی‌بورد صورت پذیرد.

۲- 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 شورابه‌های سرشار از پتاس قبل از خروج از نمک و جاری شدن در سطح، در پی سنگ آبرفتی بستر نفوذ کرده و به شورابه‌های 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. ولی به دلیل راه دسترسی زمینی و امکانات آب و برق می‌توان این آنومالی را در اولویت اکتشافی و حفاری قرار داد.

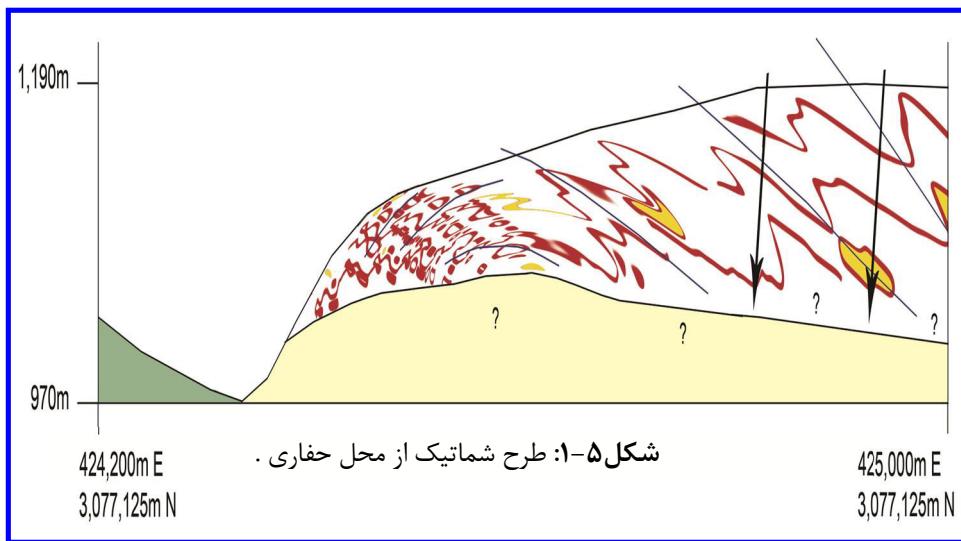
## ۵-۲- پیشنهادات

۱- با توجه به آنومالی پتاس در وسعت پنجاه هکتار در بخش شرقی گنبد سیاهو و امکان احداث راه دسترسی زمینی به این یال، می‌توان بخش شرقی را علیرغم ذخیره اندک؛ اما با عیار قابل قبول به- عنوان گزینه دوم حفاری انتخاب نمود.

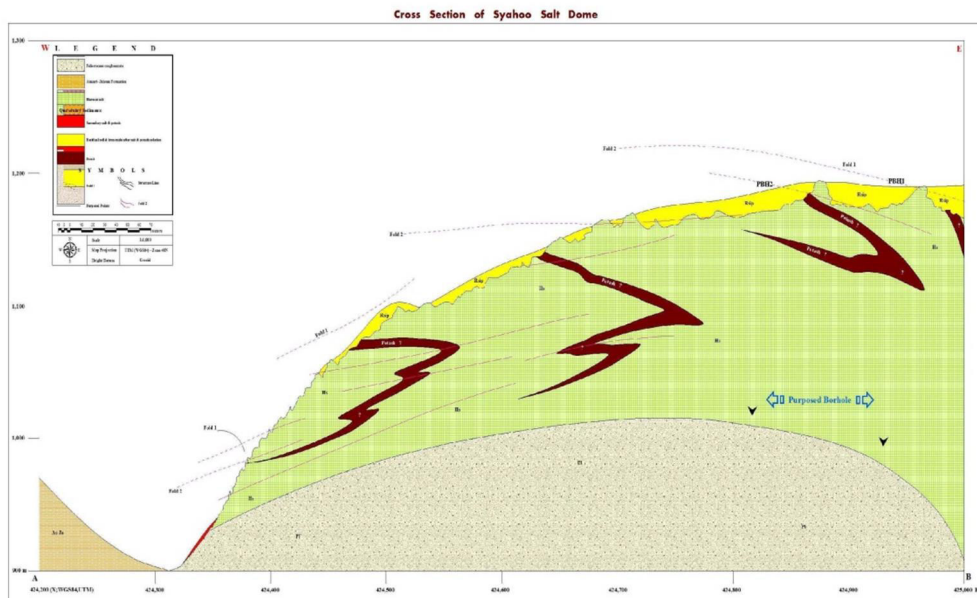
۲- بیشترین ناهنجاری‌های کانی پتاس در قسمت غربی گنبد نمکی سیاهو می‌باشد. ممکن است عدسی یا لایه‌هایی با ضخامت قابل قبول در این بخش اکتشاف شود اگرچه با ریسک عملیات اکتشاف عمومی (حفاری) بسیار بالا همراه خواهد بود. از طرفی تردد و تدارکات بر روی بام گنبد نمکی سیاهو بسیار دشوار بوده و انجام حفاریات تنها از طریق استقرار دستگاه هلی بورد امکان‌پذیر است، لذا می- بایست ابتدا سکو حفاری احداث گردیده و سپس اقدام به حمل ملحقات دستگاه و نصب و راه اندازی آن نمود. با این حال دو نقطه جهت حفاری با شیب حدود ۸۵ درجه و آزمون ۱۸۰ درجه به سمت جنوب پیشنهاد می‌گردد. که مختصات این نقاط به شرح زیر است.

1) BH1: X=424492 , Y=3077214

2)BH2: X=424811 , Y=3077219



شکل ۵-۱: طرح شماتیک از محل حفاری.



شکل ۵-۲: محل حفاری بر روی نقشه

## منابع فارسی

- آرین، م.، (۱۳۸۹)، "تکتونیک و رسوبگذاری" جلد اول، چاپ اول، مرکز پژوهشی زمین شناسی فرازمین، انتشارات آثار نفیس، قم.
- آقاجانی، ح.، (۱۳۸۳)، "بررسی دورسنجی در محدوده کوه خونی تا کوه کال کافی"، اولین کنفرانس مهندسی معدن ایران، ص ۱۰.
- آقابات‌ی س. ع.، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۲۸-۳۰.
- آلیانی، ف. دادفر، معانی جو، م.، (۱۳۹۳)، "آشکارسازی زون های دگرسانی کانسار آهن حاجی آباد، با استفاده از داده های (VNIR+SWIR) سنجنده ASTER". زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، ص ۷۳-۸۰.
- اصلانی، س.، (۱۳۷۳)، "استحصال پتاس از شورابه های مرداب گاوخونی و کویر خور"، گزارش سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اصلانی، ا.، کوهساری، ا. ح.، (۱۳۹۴)، "بررسی وضعیت غنی شدگی عنصر نیوبیوم در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جام با استفاده از تحلیل آماره، U"، همایش ملی زمین شناسی و اکتشاف منابع، شیراز
- اعلمی، ح.، (۱۳۷۱)، "پی-جویی پتاس در منطقه تکاب زنجان"، گزارش سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- برنا، ب.، (۱۳۸۵)، "اکتشاف پتاس سنگی در گنبد های نمکی زاگرس"، گزارش سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جهانگیری، ح.، (۱۳۸۲)، "اکتشاف پتاس سنگی در گنبد نمکی فینو"، گزارش سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جمال الدین، ص.، (۱۳۸۹)، "عملیات اکتشافی پتاس سنگی در محدوده قره آغاچ"، گزارش سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حسنى پاك، ع.ا. (۱۳۸۰)، "نمونه بردارى معدنى"، انتشارات دانشگاه تهران.

حسنى پاك، ع.ا. (۱۳۹۰)، "تحليل داده هاى اكتشافى"، انتشارات دانشگاه تهران.

حلمى، ف. (۱۳۷۹)، "شرحى بر نمك طعام و پتاس و پراكندگى آنها در ايران"، سازمان زمين شناسى و اكتشافات معدنى كشور.

درى، م. م. (۱۳۷۴)، "بررسى ذخيره پتاس در معدن نمك ايلچاق"، گزارش سازمان زمين-شناسى و اكتشافات معدنى كشور.

درويش زاده، ع. (۱۳۷۱)، "زمين شناسى ايران"، انتشارات اميركبير.

رضوى، ا. و جعفرى، ف. (۱۳۸۷)، "اكتشاف پتاس با استفاده از روش مغناطيس سنجى و گرانى سنجى در منطقه آجى چاى استان آذربايجان شرقى و قره آقاج استان زنجان".

رواقى، ا. (۱۳۸۷)، "گزارش نهايى پتاس در گنبد نمكى آچى چاى"، گزارش سازمان زمين-شناسى و اكتشافات معدنى كشور.

روزبه كارگر، س. (۱۳۷۲)، "گزارش عمليات استحصال كنستانتره پتاس از شورابه هاى كوير قم"، گزارش سازمان زمين-شناسى و اكتشافات معدنى كشور.

سعدالدين، ن. (۱۳۷۱)، "گزارش پى جويى پتاس در استان سمنان"، گزارش سازمان زمين-شناسى و اكتشافات معدنى كشور.

عظيمى، م. (۱۳۷۷)، "ژئوشيمى اكتشافى پتاس و استحصال آن در منطقه خور بيابانك" دفتر طرح پتاس ايران.

فرهپور، م. م. و حسامى، خ. (۱۳۹۱)، "زمان شروع كوهزايى و نحوه توسعه دگر شكلى در كمربند زاگرس".

فرهادى، ر. (۱۳۸۲)، "اكتشاف پتاس سنگى در گنبد نمكى پهل، بند خمير"، گزارش سازمان زمين-شناسى و اكتشافات معدنى كشور.

فرهادی، ر.، (۱۳۸۳)، "مقدمه‌ای بر اکتشاف پتاس در ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۲۶ صفحه.

کریم پور، م.ح. ملک زاده، آ. حیدریان، م.ح.، (۱۳۸۴)، "اکتشاف ذخایر معدنی، مدل های زمین شناسی، ژئوشیمی، ماهواره ای و ژئوفیزیکی"، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.

کریم پور، م.ح. و سعادت، س.، (۱۳۸۱)، "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

مطیعی، ه.، وهوشمندزاده، ع.، (۱۳۷۴)، "زمین شناسی نفت زاگرس"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.

مطیعی، ه.، (۱۳۷۲)، "زمین شناسی ایران چینه شناسی زاگرس"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.

## References

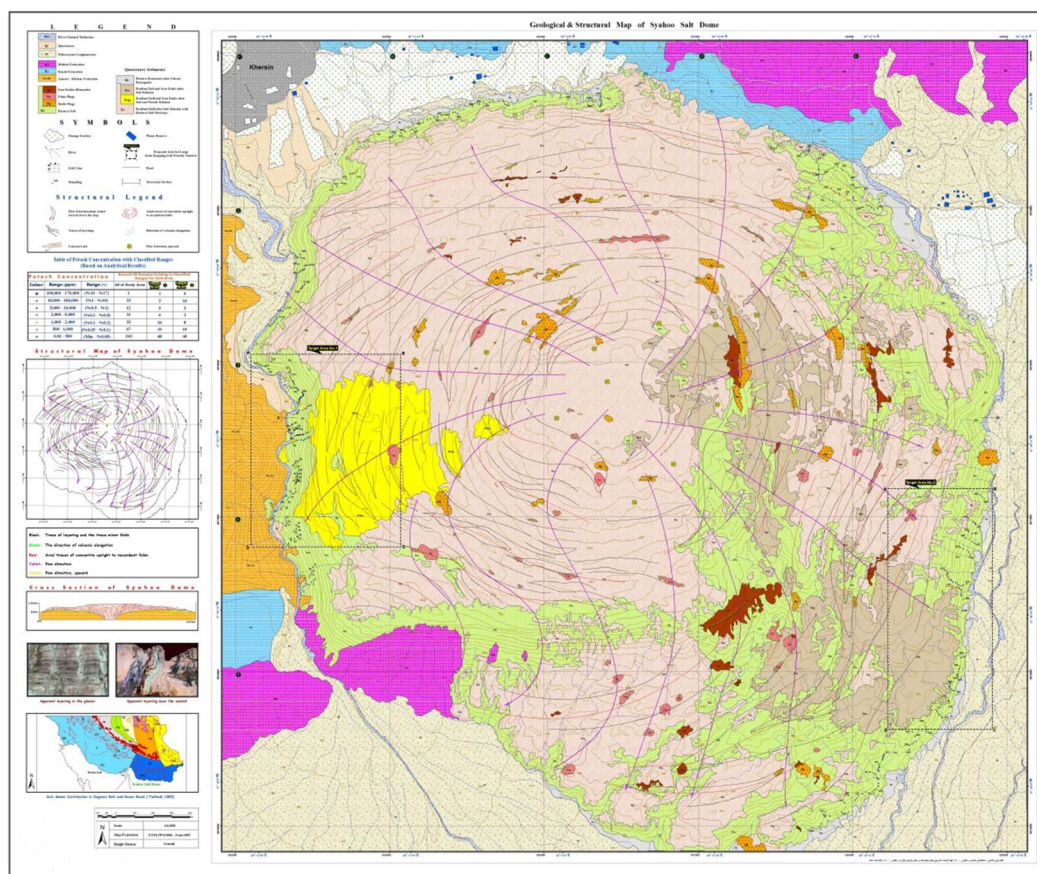
- Adams, S.S., and Hite, R.J., (1983), "Potash, *in* Lefond, S.J., ed, *Industrial minerals and rocks*, 5th ed: New York", American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, p. 1049–1077.
- Alavi, M., (1991). "Tectonic map of the Middle East (scale 1: 5, 000, 000)". Geological Survey of Iran.
- Clark, R.N. (1999). "Spectroscopy of Rock and minerals, and Principles of Spectroscopy". <http://speclab.cr.usgs.gov>
- Greta J. Orris, Mark D. Cocker, Pamela Dunlap, Jeff Wynn, Gregory T. Spanski, Deborah A. Briggs, and Leila Gass with contributions from James D. Bliss, Karen S. Bolm, Chao Yang, Bruce R. Lipin, Steve Ludington, Robert J. Miller, and Mirosław Slowakiewicz., (2010), "Potash—A Global Overview of Evaporite-Related Potash Resources", Including Spatial Databases of Deposits, Occurrences, and Permissive Tracts (USGS, 2010).
- Gupta, R.P. (2003). "Remote Sensing Geology". Berlin: Second edition, Springer-Verlag.
- Loughlin, W.P., (1991). "Principle Component Analysis for alteration mapping American society for remote sensing and photogrammetry". 57(9): 1611 – 1621
- Jackson, M.P.A., C.J. Talbot (1986). "External shapes, strain rates, and dynamics of salt structures" *GSA Bulletin*, 97, 305-323
- Jasinski, S.M., (2011a), "Potash, *in* Mineral commodity summaries 2010: U.S. Geological Survey", p. 122-123 (Also available at <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/potash/mcs-2011-potas.pdf>)
- Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD), February 2002. NO. 65, Potash Case Study Information supplied by the International Fertilizer Industry Association., February 2002
- Magen, H., (2010), "Current world potash situation & future outlook, AFA International Annual Fertilizers Forum & Exhibition: Cairo, Egypt, International Potash Institute", 10 p., downloaded from International Potash Institute Web
- Prud'homme, M., and Krukowski, S.T., (2006), "Potash, *in* Kogel, J.E., ed., *Industrial minerals and rocks: Commodities*", markets, and uses: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, p. 723–741.

- Quattara, T., Couture, R., Bobrowsky, P.T., Moore, A., (2004), "Remote sensing and geosciences", geology survey of Canada, Ottawa, pp102.
- Rouskov, K., Popov, K., Stoykov, S., & Yamaguchi, Y., (2005), "Some application of the remote sensing in geology by using of aster image", In Scientific Conference .SPACE, ECOLOGY, SAFETY, PP 375-447.
- Sabins, F. F., (1999), "Remote sensing for mineral exploration", Ore Geology Reviews 14, PP 157-183.
- Solovov, a.p., (1987), "Geochemical Prospecting", For Mineral Deposits, p. 27-29.
- Stöcklin, J., (1968). "Structural history and tectonics of Iran: A review". American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52(7), 1229–1258.
- Talbot, C., Aftabi, P., Chemia, Z., (2008), "Potash in a salt mushroom at Hormoz Island, Hormoz Strait, Iran", Ore Geology Review.
- U.S. Geological Survey, (2016), "Mineral Commodity Summaries", January

# پیوست شماره یک

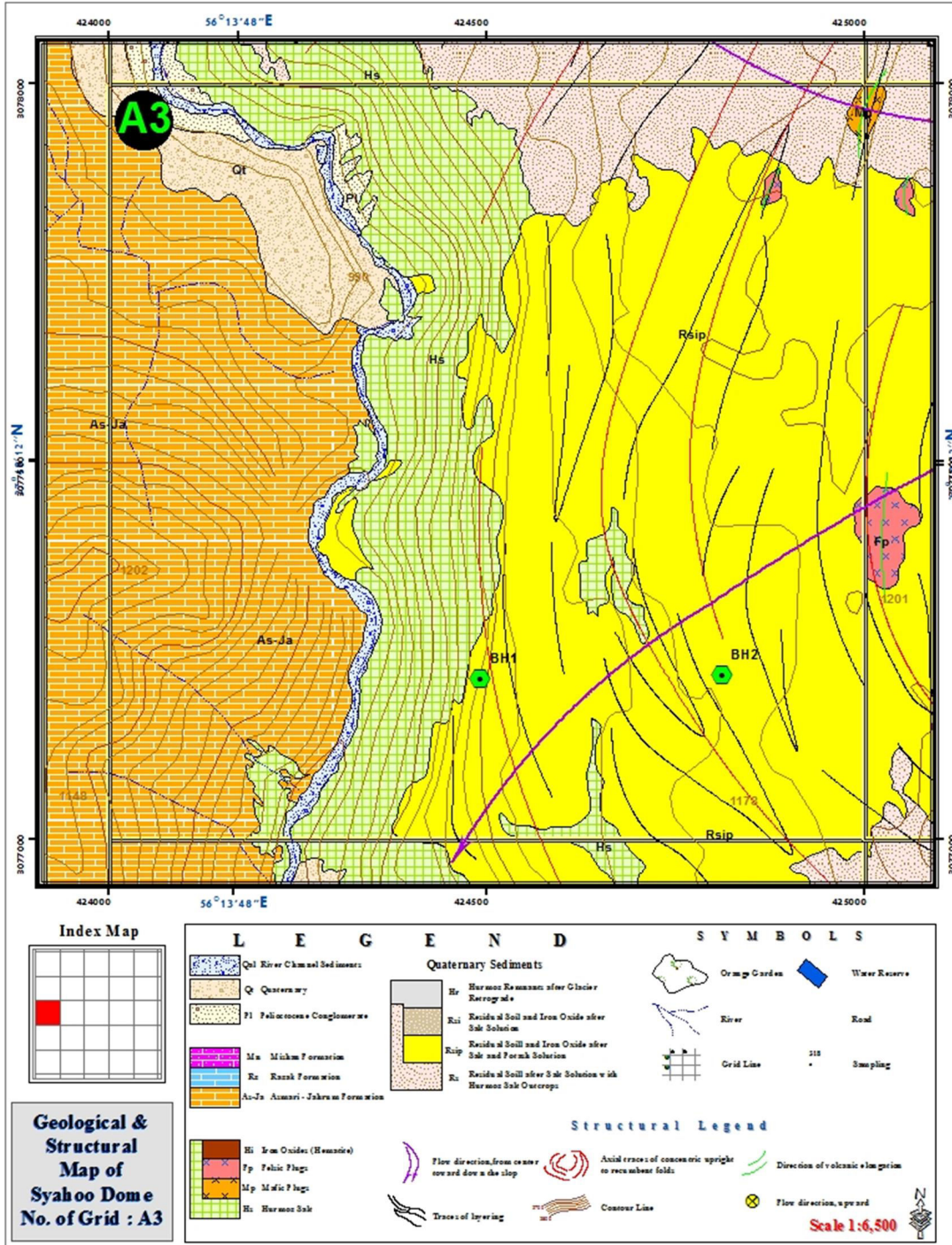
## نقشه های زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ از گنبد نمکی سیاهو جهت جا نمایی نمونه برداری و حفاری

-۱-۱- نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ گنبد نمکی سیاهو جهت جا نمایی محل نقاط نمونه برداری





۲-۱- نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ جا نمایی محل حفاری



**پیوست شماره ۲**  
**نتایج آنالیز شیمیایی به روش XRF**  
**از گنبد نمکی سیاهو**

**۱-۲- نتایج آنالیز شیمیایی به روش XRF**

نتایج آنالیز XRF از گنبد نمکی سیاهو مطابق با جدول پ ۱-۲ می باشد.

جدول پ ۱-۲: نتایج آنالیز شیمیایی به روش XRF از گنبد نمکی سیاهو

K	Y	X	zone	SN	N
254.4	3076553	424451	40	Kh-1	1
182.2	3076564	424469	40	Kh-2	2
65.8	3076577	424493	40	Kh-3	3
452.9	3076588	424507	40	Kh-4	4
384.6	3076567	424455	40	Kh-5	5
405.9	3076585	424458	40	Kh-6	6
537.2	3076607	424479	40	Kh-7	7
875	3076623	424491	40	Kh-8	8
297.7	3076635	424496	40	Kh-9	9
422.6	3076649	424498	40	Kh-10	10
474.6	3076676	424503	40	Kh-11	11
296.2	3076830	424344	40	Kh-12	12
326.5	3076847	424363	40	Kh-13	13
267.8	3076857	424384	40	Kh-14	14
441	3076871	424402	40	Kh-15	15
408.1	3076876	424404	40	Kh-16	16
302.7	3076896	424395	40	Kh-17	17
748	3076911	424400	40	Kh-18	18
390.5	3076925	424394	40	Kh-19	19
273.6	3076946	424395	40	Kh-20	20
498.5	3076948	424349	40	Kh-21	21
154.8	3076958	424335	40	Kh-22	22
152.2	3076972	424328	40	Kh-23	23
86.1	3076989	424324	40	Kh-24	24
138.5	3077009	424252	40	Kh-25	25
376.7	3077041	424272	40	Kh-26	26
783.2	3077068	424303	40	Kh-27	27

1595.7	3077071	424315	40	Kh-28	28
705	3077092	424315	40	Kh-29	29
997.5	3077111	424338	40	Kh-30	30
810.2	3077125	424346	40	Kh-31	31
1020.9	3077141	424357	40	Kh-32	32
175.2	3077150	424369	40	Kh-33	33
456.1	3077150	424381	40	Kh-34	34
1607.2	3077158	424391	40	Kh-35	35
5159	3077166	424391	40	Kh-36	36
76185.9	3077184	424389	40	Kh-37	37
568	3077208	424387	40	Kh-39	39
369	3077217	424391	40	Kh-40	40
171.7	3077221	424395	40	Kh-41	41
2303.2	3077229	424399	40	Kh-42	42
165924.5	3077239	424402	40	Kh-43	43
637.3	3077252	424391	40	Kh-44	44
495.9	3077258	424398	40	Kh-45	45
286.8	3077267	424403	40	Kh-46	46
370.5	3077277	424402	40	Kh-47	47
768.2	3077289	424405	40	Kh-48	48
500.7	3077300	424413	40	Kh-49	49
608.1	3077311	424409	40	Kh-50	50
585.7	3077318	424389	40	Kh-51	51
1000.2	3077332	424390	40	Kh-52	52
350.7	3077346	424387	40	Kh-53	53
1173.2	3077349	424403	40	Kh-54	54
280.7	3077360	424410	40	Kh-55	55
661.6	3077476	424373	40	Kh-56	56
1412	3077485	424386	40	Kh-57	57
270	3077494	424397	40	Kh-58	58
536.5	3077495	424410	40	Kh-59	59
0.07	3077497	424426	40	Kh-60	60
0.13	3077495	424442	40	Kh-61	61
0.14	3077504	424451	40	Kh-62	62
0.13	3077507	424463	40	Kh-63	63
0.13	3077522	424386	40	Kh-64	64
0.17	3077527	424397	40	Kh-65	65
0.1	3077528	424403	40	Kh-66	66
0.11	3077530	424410	40	Kh-67	67
0.12	3077530	424416	40	Kh-68	68
0.11	3077533	424421	40	Kh-69	69
0.14	3077531	424432	40	Kh-70	70
0.11	3077533	424439	40	Kh-71	71
0.08	3077534	424444	40	Kh-72	72

0.19	3077557	424379	40	Kh-73	73
0.14	3077561	424384	40	Kh-74	74
13250.5	3077566	424389	40	Kh-75	75
157.7	3077570	424395	40	Kh-76	76
486.6	3077570	424401	40	Kh-77	77
777.6	3077570	424408	40	Kh-78	78
138.7	3077570	424414	40	Kh-79	79
1971.9	3077568	424368	40	Kh-80	80
868.4	3077570	424372	40	Kh-81	81
1833.9	3077573	424376	40	Kh-82	82
550.5	3077577	424384	40	Kh-83	83
574.3	3077579	424393	40	Kh-84	84
737	3077581	424399	40	Kh-85	85
539.6	3077584	424358	40	Kh-86	86
1256.7	3077587	424362	40	Kh-87	87
4882.9	3077593	424363	40	Kh-88	88
9897.4	3077598	424368	40	Kh-89	89
8701.4	3077600	424374	40	Kh-90	90
5541.5	3077683	424414	40	Kh-91	91
4026.9	3077691	424438	40	Kh-93	93
1549	3077697	424448	40	Kh-94	94
3962.2	3077700	424456	40	Kh-95	95
21583	3077705	424463	40	Kh-96	96
228.5	3077715	424472	40	Kh-97	97
253.1	3077754	424415	40	Kh-98	98
161.9	3077759	424416	40	Kh-99	99
432	3077763	424414	40	Kh-100	100
287.5	3077766	424417	40	Kh-101	101
159.4	3077769	424421	40	Kh-102	102
325.1	3077773	424424	40	Kh-103	103
368.5	3077775	424429	40	Kh-104	104
423.6	3077782	424436	40	Kh-105	105
408.7	3077784	424442	40	Kh-106	106
182.2	3077793	424440	40	Kh-107	107
7979.2	3077799	424438	40	Kh-108	108
301.1	3077804	424434	40	Kh-109	109
299.2	3077821	424409	40	Kh-110	110
263.5	3077827	424402	40	Kh-111	111
329.6	3077834	424396	40	Kh-112	112
154.1	3077835	424387	40	Kh-113	113
682.6	3077851	424382	40	Kh-114	114
167.2	3077862	424379	40	Kh-115	115
63.3	3077873	424376	40	Kh-116	116
167	3077877	424373	40	Kh-117	117

917.5	3077881	424369	40	Kh-118	118
1066.2	3077892	424363	40	Kh-119	119
1074.1	3077896	424357	40	Kh-120	120
715.7	3077900	424356	40	Kh-121	121
2023.1	3077910	424357	40	Kh-122	122
1318.4	3077922	424360	40	Kh-123	123
-----	3077932	424352	40	Kh-124	124
360	3077940	424353	40	Kh-125	125
526.8	3077949	424358	40	Kh-126	126
1653.5	3077956	424353	40	Kh-127	127
1237.1	3077953	424224	40	Kh-128	128
479.4	3077956	424214	40	Kh-129	129
1784.5	3077966	424199	40	Kh-130	130
207.7	3077975	424190	40	Kh-131	131
142.3	3077976	424176	40	Kh-132	132
83	3077982	424163	40	Kh-133	133
135.7	3077987	424152	40	Kh-134	134
3322.6	3078007	424233	40	Kh-135	135
339.1	3078248	424239	40	Kh-136	136
208.7	3078257	424250	40	Kh-137	137
66	3078268	424256	40	Kh-138	138
21.6	3078280	424263	40	Kh-139	139
43.4	3078287	424271	40	Kh-140	140
65.7	3078296	424287	40	Kh-141	141
453.5	3078331	424308	40	Kh-142	142
250.8	3078347	424326	40	Kh-143	143
96.6	3078474	424422	40	Kh-144	144
286.7	3078481	424431	40	Kh-145	145
156.5	3078491	424436	40	Kh-146	146
333.7	3078507	424446	40	Kh-147	147
317.2	3078522	424447	40	Kh-148	148
87.3	3078580	424411	40	Kh-149	149
135.7	3078587	424419	40	Kh-150	150
512.7	3078593	424426	40	Kh-151	151
0.05	3078596	424435	40	Kh-152	152
0.05	3078596	424443	40	Kh-153	153
0.56	3078605	424446	40	Kh-154	154
0.06	3078626	424449	40	Kh-156	156
0.09	3078627	424458	40	Kh-157	157
0.13	3078630	424473	40	Kh-158	158
0.57	3078635	424411	40	Kh-159	159
0.09	3078677	424421	40	Kh-164	164
0.15	3078699	424422	40	Kh-166	166
0.06	3079134	424630	40	Kh-173	173

0.16	3079139	424658	40	Kh-174	174
2.36	3079160	424689	40	Kh-175	175
0.04	3079184	424721	40	Kh-176	176
0.05	3079219	424742	40	Kh-177	177
0.17	3079470	425023	40	Kh-181	181
0.05	3079479	425037	40	Kh-182	182
0.03	3079484	425073	40	Kh-183	183
0.04	3079493	425101	40	Kh-184	184
1321.4	3079503	425132	40	Kh-185	185
0.04	3079507	425146	40	Kh-186	186
0.1	3079514	425171	40	Kh-187	187
0.04	3079552	425215	40	Kh-188	188
900.4	3079567	425221	40	Kh-189	189
0.07	3079571	425245	40	Kh-190	190
0.07	3079577	425265	40	Kh-191	191
0.05	3079586	425289	40	Kh-192	192
0.06	3079587	425310	40	Kh-193	193
0.04	3079600	425337	40	Kh-194	194
0.06	3079604	425350	40	Kh-195	195
0.04	3079616	425412	40	Kh-196	196
0.06	3079617	425426	40	Kh-197	197
0.03	3079610	425440	40	Kh-198	198
0.16	3079654	425536	40	Kh-199	199
0.06	3079671	425581	40	Kh-200	200
0.12	3079682	425647	40	Kh-201	201
0.1	3079688	425710	40	Kh-203	203
0.01	3079687	425736	40	Kh-204	204
0.05	3079671	425745	40	Kh-205	205
0.07	3079699	426156	40	Kh-206	206
0.05	3079699	426313	40	Kh-207	207
0.1	3079685	426316	40	Kh-208	208
0.05	3079667	426321	40	Kh-209	209
0.03	3079724	426370	40	Kh-210	210
0.05	3079712	426369	40	Kh-211	211
0.05	3079701	426366	40	Kh-212	212
0.06	3079692	426373	40	Kh-213	213
0.09	3079679	426375	40	Kh-214	214
0.05	3079667	426374	40	Kh-215	215
0.05	3079659	426369	40	Kh-216	216
0.05	3079652	426362	40	Kh-217	217
326.5	3078998	428162	40	Kh-220	220
255.6	3078986	428141	40	Kh-222	222
285.2	3079005	428124	40	Kh-224	224
234.6	3079013	428111	40	Kh-225	225

345.7	3079016	428095	40	Kh-226	226
269.6	3079005	428068	40	Kh-228	228
390.1	3079001	428055	40	Kh-229	229
1079.6	3079041	428021	40	Kh-233	233
264.9	3079049	428011	40	Kh-234	234
273.8	3079063	428007	40	Kh-236	236
464.9	3079072	428005	40	Kh-237	237
6559.8	3079089	427967	40	Kh-241	241
4018.5	3079084	427958	40	Kh-242	242
8038.7	3079080	427919	40	Kh-245	245
12848.9	3079094	427914	40	Kh-246	246
10906.4	3079100	427890	40	Kh-248	248
7804.9	3079108	427879	40	Kh-249	249
12970.1	3079126	427862	40	Kh-251	251
524.4	3079132	428068	40	Kh-253	253
4970.2	3079133	428050	40	Kh-254	254
7167.7	3079131	428039	40	Kh-255	255
455.1	3079130	428028	40	Kh-256	256
619.5	3079126	428021	40	Kh-257	257
575.1	3079133	428011	40	Kh-258	258
527	3079206	427980	40	Kh-259	259
1136	3079218	427973	40	Kh-260	260
522.9	3079229	427960	40	Kh-261	261
499.5	3079242	427938	40	Kh-263	263
920.3	3079254	427929	40	Kh-264	264
615.1	3079270	427902	40	Kh-266	266
572.3	3079266	427884	40	Kh-267	267
564.9	3079256	427872	40	Kh-268	268
704.2	3079252	427859	40	Kh-269	269
571.9	3079249	427845	40	Kh-270	270
10921.2	3079325	427794	40	Kh-272	272
666.1	3079317	427781	40	Kh-273	273
1405.2	3079310	427771	40	Kh-274	274
521	3079301	427766	40	Kh-275	275
795.2	3079290	427765	40	Kh-276	276
518.4	3079270	427782	40	Kh-278	278
375	3079254	427783	40	Kh-279	279
941.9	3079242	427780	40	Kh-280	280
779.8	3079226	427786	40	Kh-281	281
690.6	3079385	427720	40	Kh-282	282
652.1	3079374	427719	40	Kh-283	283
419.3	3079369	427713	40	Kh-284	284
396.7	3079366	427700	40	Kh-285	285
549.2	3079360	427688	40	Kh-286	286

442.3	3079359	427677	40	Kh-287	287
469.8	3079350	427667	40	Kh-288	288
156.6	3079386	427509	40	Kh-291	291
1150.1	3079833	426649	40	Kh-295	295
469.6	3079810	426627	40	Kh-300	300
186	3079801	426619	40	Kh-302	302
214.9	3074987	427741	40	Kh-304	304
162.3	3074994	427789	40	Kh-306	306
175.8	3075013	427799	40	Kh-307	307
240.8	3075059	427823	40	Kh-310	310
149.3	3075093	427826	40	Kh-312	312
63	3075063	427855	40	Kh-313	313
294	3075092	427930	40	Kh-316	316
1006.1	3075106	427946	40	Kh-317	317
1928.9	3075119	427959	40	Kh-318	318
170.4	3075149	427951	40	Kh-319	319
267.9	3075198	427974	40	Kh-322	322
163.4	3075168	428019	40	Kh-324	324
141.4	3075181	428028	40	Kh-325	325
425.3	3075194	428040	40	Kh-326	326
416.3	3075207	428065	40	Kh-327	327
461	3075219	428087	40	Kh-328	328
271.6	3075212	428104	40	Kh-329	329
107.9	3075212	428117	40	Kh-330	330
544.2	3075221	428128	40	Kh-331	331
443	3075232	428141	40	Kh-332	332
417.7	3075239	428155	40	Kh-333	333
336.2	3075257	428167	40	Kh-334	334
431	3075275	428169	40	Kh-335	335
326.2	3075303	428172	40	Kh-336	336
478.5	3075306	428164	40	Kh-337	337
229.6	3075314	428157	40	Kh-338	338
439	3075334	428151	40	Kh-340	340
438.5	3075341	428137	40	Kh-341	341
394.4	3075348	428115	40	Kh-342	342
225.8	3075355	428169	40	Kh-344	344
326.2	3075363	428167	40	Kh-345	345
375.8	3075375	428170	40	Kh-346	346
1850.5	3075379	428172	40	Kh-347	347
340.7	3075384	428174	40	Kh-348	348
680.7	3075389	428174	40	Kh-349	349
524.1	3075397	428174	40	Kh-350	350
856.2	3075404	428179	40	Kh-351	351
704.9	3075427	428192	40	Kh-352	352



108.4	3075433	428196	40	Kh-353	353
175.2	3075441	428199	40	Kh-354	354
106.6	3075448	428201	40	Kh-355	355
173.3	3075455	428203	40	Kh-356	356
167	3075464	428208	40	Kh-357	357
56.2	3075495	428368	40	Kh-358	358
121.8	3075521	428370	40	Kh-359	359
303.5	3075529	428387	40	Kh-360	360
268.3	3075539	428397	40	Kh-361	361
424.1	3075549	428411	40	Kh-362	362
457.9	3075580	428406	40	Kh-363	363
443.6	3075607	428389	40	Kh-364	364
1402.4	3075622	428384	40	Kh-365	365
309.7	3075607	428480	40	Kh-366	366
5920.1	3075623	428480	40	Kh-367	367
707.5	3075639	428475	40	Kh-368	368
1000.2	3075652	428472	40	Kh-369	369
1409.4	3075667	428475	40	Kh-370	370
510.7	3075700	428588	40	Kh-371	371
484.9	3075704	428580	40	Kh-372	372
1084.1	3075714	428570	40	Kh-373	373
446	3075720	428560	40	Kh-374	374
561.6	3075730	428556	40	Kh-375	375
402.1	3075742	428551	40	Kh-376	376
459.8	3075751	428542	40	Kh-377	377
519.2	3075795	428625	40	Kh-378	378
297.3	3075806	428626	40	Kh-379	379
390.5	3075814	428622	40	Kh-380	380
609.7	3075830	428616	40	Kh-381	381
316.7	3075874	428661	40	Kh-382	382
301.9	3075878	428650	40	Kh-383	383
121.7	3075885	428639	40	Kh-384	384
203.4	3075895	428632	40	Kh-385	385
129.9	3075902	428627	40	Kh-386	386
326.7	3075910	428629	40	Kh-387	387
487.1	3075919	428636	40	Kh-388	388
355.9	3075959	428683	40	Kh-389	389
380.3	3075969	428681	40	Kh-390	390
290.6	3075978	428680	40	Kh-391	391
2737.8	3075987	428686	40	Kh-392	392
1149	3076009	428692	40	Kh-394	394
357.8	3076018	428693	40	Kh-395	395
617.3	3076033	428695	40	Kh-396	396
328.2	3076090	428705	40	Kh-397	397

537.6	3076105	428686	40	Kh-398	398
599.9	3076390	428709	40	Kh-399	399
808	3076415	428698	40	Kh-400	400
523.7	3076465	428720	40	Kh-401	401
203.8	3076488	428706	40	Kh-402	402
233.4	3076498	428705	40	Kh-403	403
1129.8	3076513	428708	40	Kh-404	404
275.9	3076524	428708	40	Kh-405	405
52319.3	3076532	428701	40	Kh-406	406
40477.4	3076539	428692	40	Kh-407	407
74988	3076542	428683	40	Kh-408	408
52781.8	3076546	428673	40	Kh-409	409
44568.9	3076548	428655	40	Kh-410	410
45507.2	3076550	428642	40	Kh-411	411
22429.7	3076550	428626	40	Kh-412	412
50024.8	3076549	428610	40	Kh-413	413
41662.6	3076567	428744	40	Kh-414	414
1615.5	3076565	428728	40	Kh-415	415
243.8	3076557	428716	40	Kh-416	416
334.5	3076552	428704	40	Kh-417	417
323.3	3076559	428689	40	Kh-418	418
542.9	3076567	428680	40	Kh-419	419
350.6	3076576	428670	40	Kh-420	420
301.1	3076579	428653	40	Kh-421	421
236.6	3076590	428642	40	Kh-422	422
1251.9	3076593	428636	40	Kh-423	423
282.7	3076594	428628	40	Kh-424	424
6112.2	3076605	428621	40	Kh-425	425
18498.3	3076614	428618	40	Kh-426	426
58832.3	3076624	428614	40	Kh-427	427
	3076634	428618	40	Kh-428	428
5676.8	3076643	428614	40	Kh-429	429
43483.6	3076652	428608	40	Kh-430	430
45317.8	3076655	428596	40	Kh-431	431
32702.8	3076758	428765	40	Kh-432	432
31607	3076772	428753	40	Kh-433	433
2251.1	3076784	428743	40	Kh-434	434
485.4	3076793	428719	40	Kh-435	435
399.9	3076802	428701	40	Kh-436	436
272.4	3076829	428791	40	Kh-437	437
239.4	3076839	428779	40	Kh-438	438
786.3	3076855	428756	40	Kh-439	439
363.8	3076864	428734	40	Kh-440	440
262.6	3076891	428775	40	Kh-441	441

283.4	3076905	428752	40	Kh-442	442
349.2	3076950	428801	40	Kh-443	443
384.8	3076959	428796	40	Kh-444	444
454.2	3076967	428786	40	Kh-445	445
563	3076979	428771	40	Kh-446	446
414.1	3076992	428752	40	Kh-447	447
4700.3	3077115	428855	40	Kh-448	448
578.1	3077129	428841	40	Kh-449	449
429.4	3077141	428828	40	Kh-450	450
1491.4	3077611	428785	40	Kh-451	451

## پیوست شماره ۳

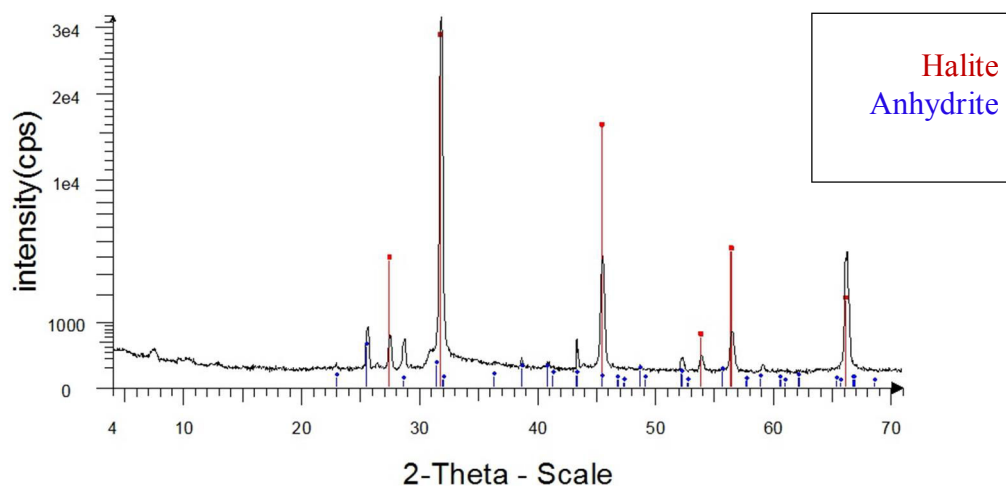
### نتایج آنالیز XRD سایر نمونه های اخذ شده از گنبد

#### نمکی سیاهو

۱-۳ نتایج آنالیز XRD سایر نمونه های اخذ شده از گنبد نمکی سیاهو

۱-۱-۳ نمونه شماره H1

این نمونه از مختصات  $X=424362$  و  $Y=3077587$  برداشت گردیده است.



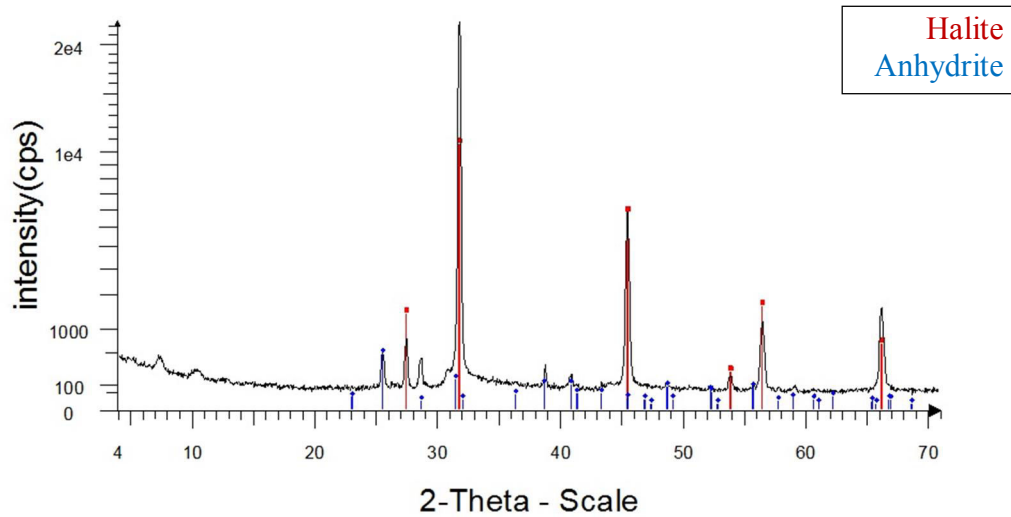
شکل پ ۱-۳: نمودار طیفی نمونه شماره H1

جدول پ ۱-۳: نتایج آنالیز نمونه شماره H1

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	89.16	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	1.13	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
<b>S-Q</b>	<b>alpha</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>Compound Name</b>	<b>SS-NNNN</b>
94.7	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
5.3	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)

۳-۱-۲ نمونه شماره ۴۷

این نمونه از مختصات  $X=424391$  و  $Y=3077158$  برداشت گردیده است.



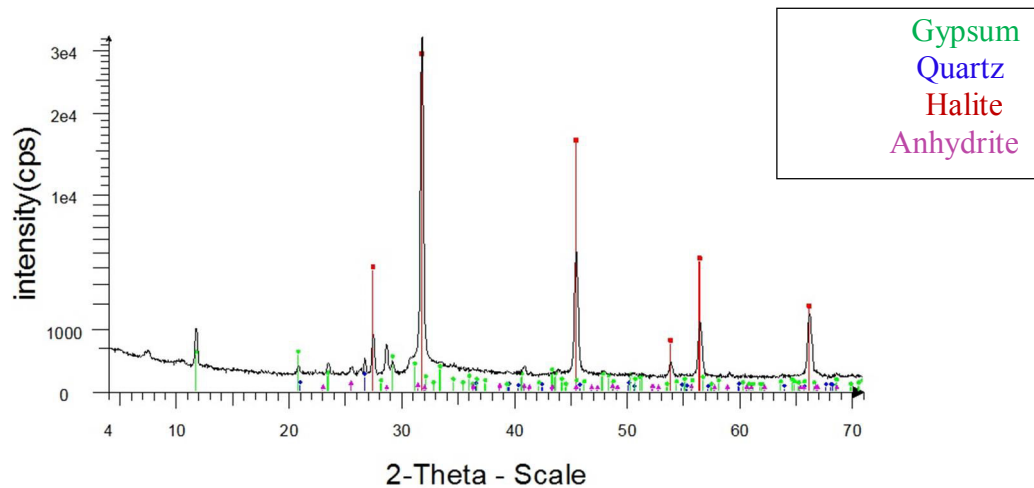
شکل پ ۳-۲: نمودار طیفی نمونه شماره 47

جدول پ ۳-۲: نتایج آنالیز نمونه شماره 47

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	46.95	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	2.06	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
<b>S-Q</b>	<b>alpha</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>Compound Name</b>	<b>SS-NNNN</b>
83.8	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
16.2	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)

۳-۱-۳ نمونه شماره G1

این نمونه از مختصات  $X=428608$  و  $Y=3076652$  برداشت گردیده است.



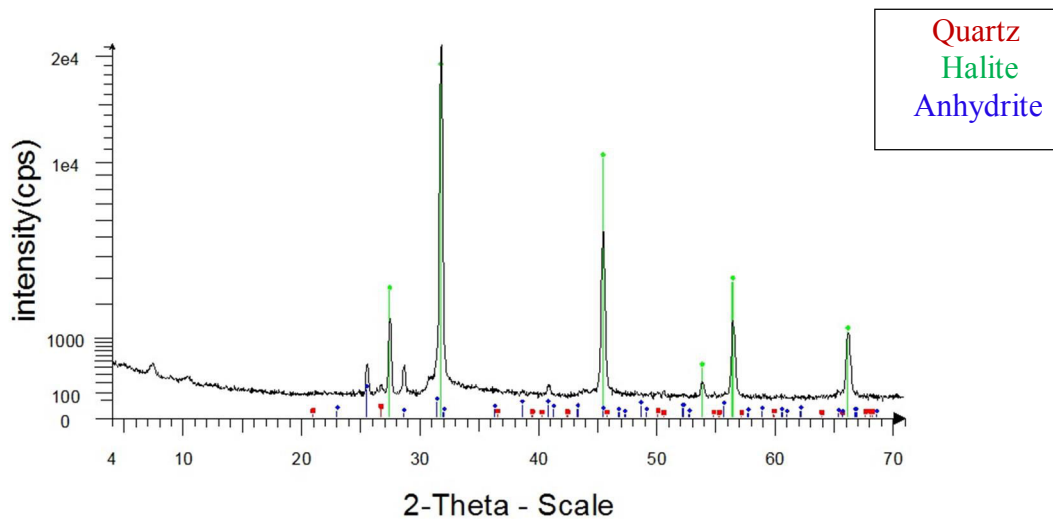
شکل پ ۳-۳: نمودار طیفی نمونه شماره G1

جدول پ ۳-۳: نتایج آنالیز نمونه شماره G1

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	89.16	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Hexagonal	1.5406	1	0.15	SiO <sub>2</sub>	Quartz, syn	46-1045 (*)
Monoclinic	1.5406	1	1.03	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.02	CaSO <sub>4</sub>	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
S-Q	alpha	c	b	a	Compound Name	SS-NNNN
97	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
0.2	90	5.40524	4.91344	4.91344	Quartz, syn	46-1045 (*)
2.7	90	5.6776	15.2079	6.2845	Gypsum, syn	33-0311 (*)
0.1	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)

۴-۱-۳ نمونه شماره ۴۳۲

این نمونه از مختصات  $X=428765$  و  $Y=3076758$  برداشت گردیده است.



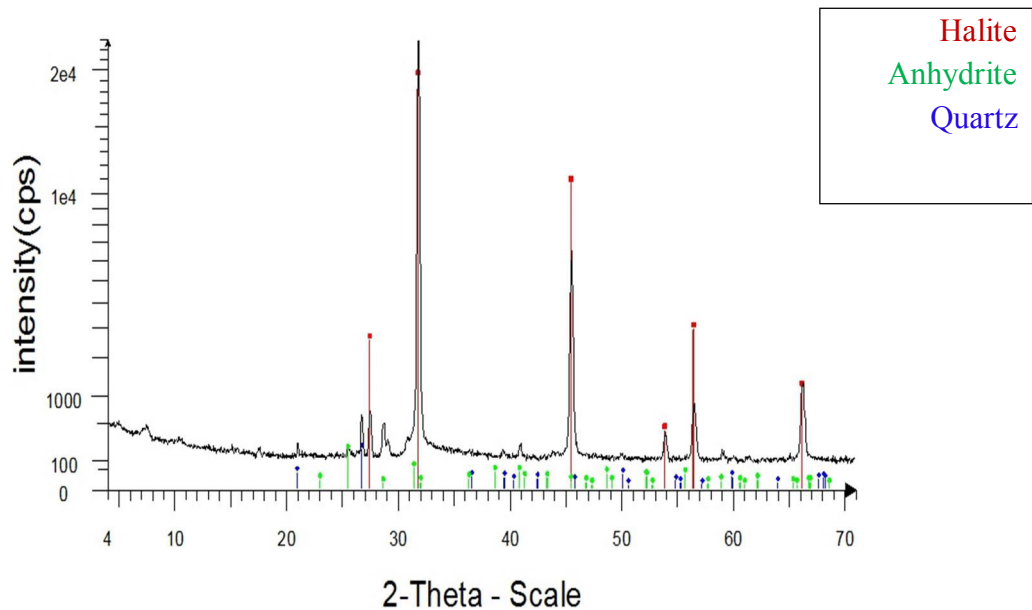
شکل پ ۳-۴: نمودار طیفی نمونه شماره 432

جدول پ ۳-۴: نتایج آنالیز نمونه شماره 432

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	88.29	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Hexagonal	1.5406	1	0.04	SiO <sub>2</sub>	Quartz, syn	46-1045 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.56	CaSO <sub>4</sub>	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
System	alpha	c	b	a	Compound Name	SS-NNNN
S-Q	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
97.2	90	5.40524	4.91344	4.91344	Quartz, syn	46-1045 (*)
0.1	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)

۳-۱-۵ نمونه شماره ۴۳۳

این نمونه از مختصات  $X=428753$  و  $Y=3076772$  برداشت گردیده است.



شکل پ ۳-۵: نمودار طیفی نمونه شماره 433

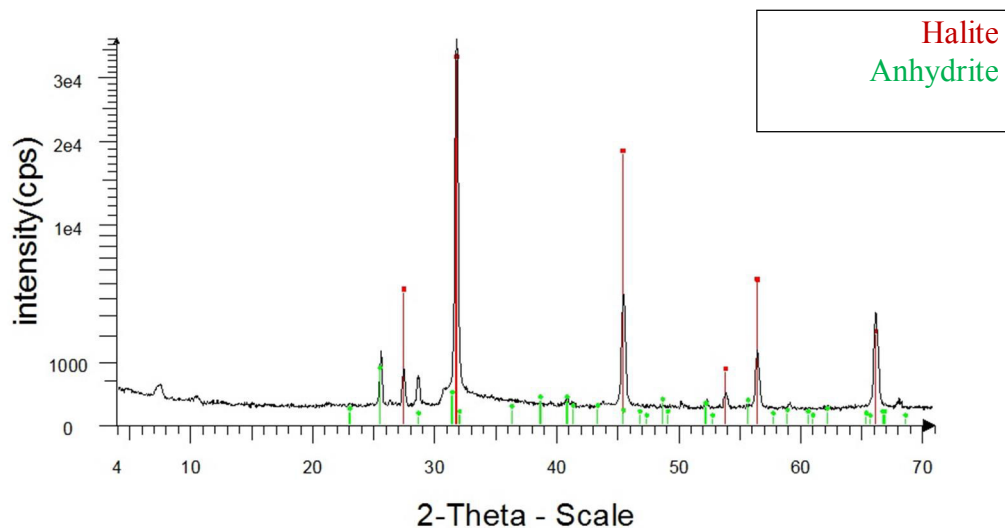
جدول پ ۳-۵: نتایج آنالیز نمونه شماره 433

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	84.81	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Hexagonal	1.5406	1	0.78	SiO <sub>2</sub>	Quartz, syn	46-1045 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.71	CaSO <sub>4</sub>	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
<b>S-Q</b>	<b>alpha</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>Compound Name</b>	<b>SS-NNNN</b>
95.4	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
1.1	90	5.40524	4.9134 4	4.91344	Quartz, syn	46-1045 (*)
3.5	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)



۳-۱-۶ نمونه شماره ۴۰۸

این نمونه از مختصات  $X=428683$  و  $Y=3076542$  برداشت گردیده است.



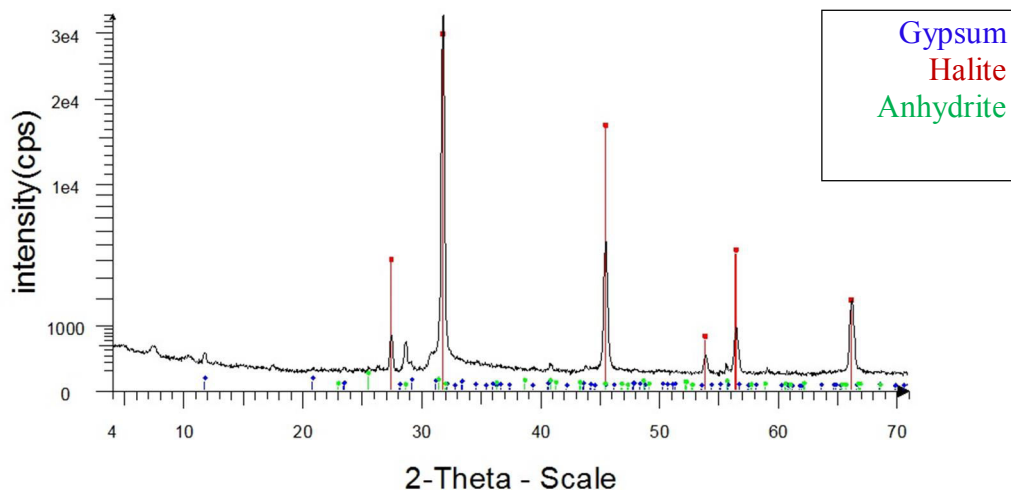
شکل پ ۳-۶: نمودار طیفی نمونه شماره 408

جدول پ ۳-۶: نتایج آنالیز نمونه شماره 408

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	89.42	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	1.87	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
<b>S-Q</b>	<b>alpha</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>Compound Name</b>	<b>SS-NNNN</b>
91.6	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
8.4	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)

۳-۱-۷ نمونه شماره ۴۰۶

این نمونه از مختصات  $X=428701$  و  $Y=3076532$  برداشت گردیده است.



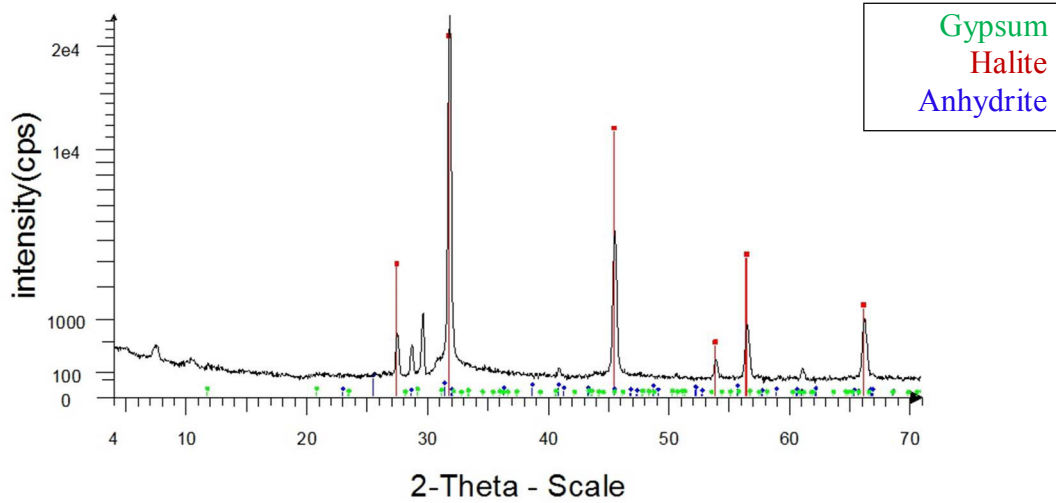
شکل پ ۳-۷: نمودار طیفی نمونه شماره ۴۰۶

جدول پ ۳-۷: نتایج آنالیز نمونه شماره ۴۰۶

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	88.56	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Monoclinic	1.5406	1	0.05	CaSO4·2H2O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.13	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
<b>S-Q</b>	<b>alpha</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>Compound Name</b>	<b>SS-NNNN</b>
99.2	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
0.1	90	5.6776	15.2079	6.2845	Gypsum, syn	33-0311 (*)
0.6	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)

۳-۱-۸ نمونه شماره C1

این نمونه از مختصات  $X=424233$  و  $Y=3078007$  برداشت گردیده است.



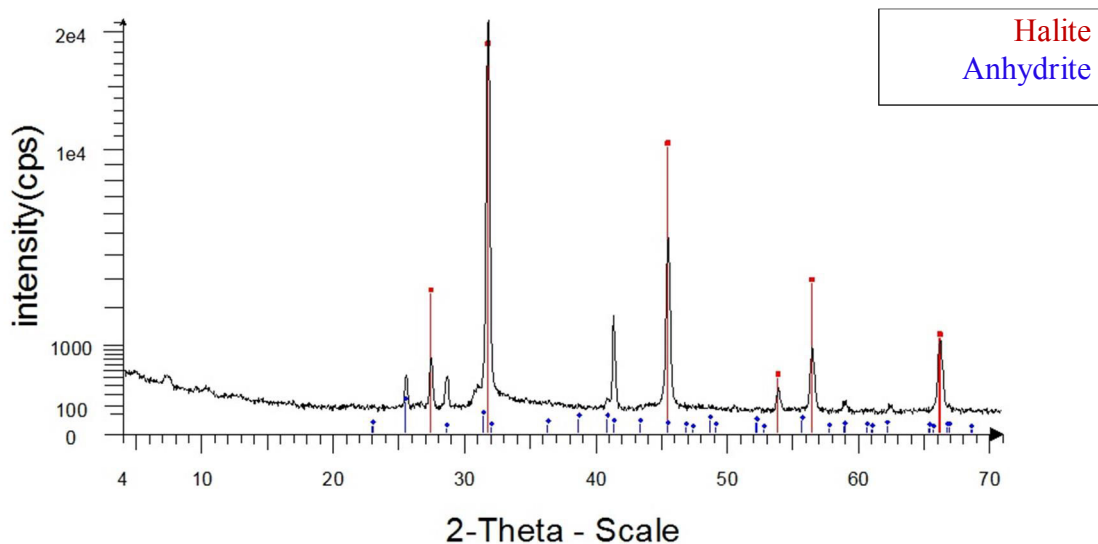
شکل پ ۳-۸: نمودار طیفی نمونه شماره C1

جدول پ ۳-۸: نتایج آنالیز نمونه شماره C1

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Cubic	1.5406	1	88.29	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
Orthorhombic	1.5406	1	0.21	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
Monoclinic	1.5406	1	0.01	CaSO4·2H2O	Gypsum, syn	33-0311 (*)
<b>S-Q</b>	<b>alpha</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>Compound Name</b>	<b>SS-NNNN</b>
98.9	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
1	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
0	90	5.6776	15.2079	6.2845	Gypsum, syn	33-0311 (*)

۳-۱-۹ نمونه شماره ۵۱

این نمونه از مختصات  $X=428705$  و  $Y=3076498$  برداشت گردیده است.



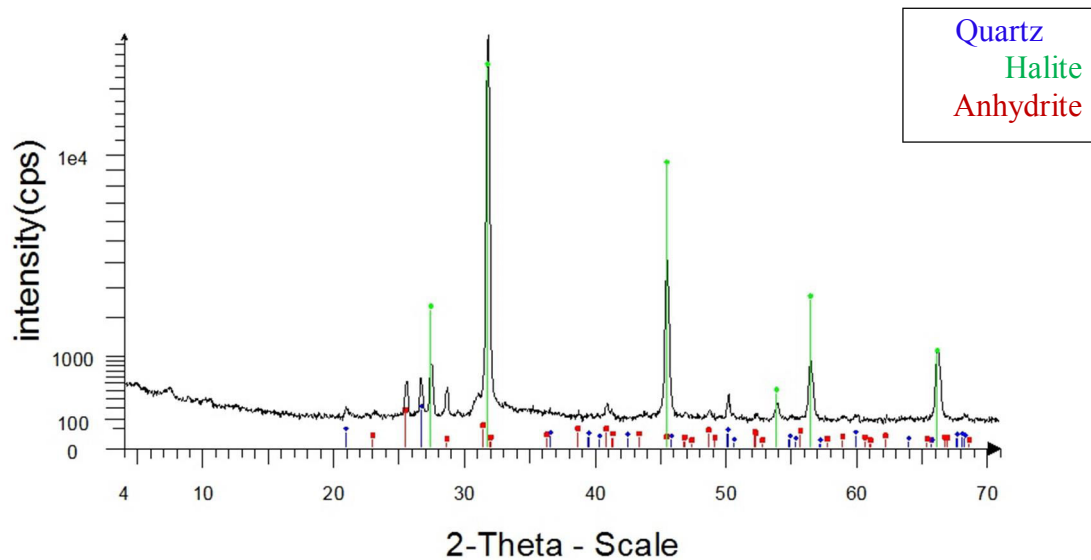
شکل پ ۳-۹: نمودار طیفی نمونه شماره 51

جدول پ ۳-۹: نتایج آنالیز نمونه شماره 51

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	0.55	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
<b>S-Q</b>	<b>alpha</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>Compound Name</b>	<b>SS-NNNN</b>
97.3	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)
2.7	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)

۳-۱-۱۰ نمونه شماره ۲۳۱

این نمونه از مختصات  $X=428596$  و  $Y=3076655$  برداشت گردیده است.



شکل پ ۳-۱۰: نمودار طیفی نمونه شماره 231

جدول پ ۳-۱۰: نتایج آنالیز نمونه شماره 231

System	Wavelength	d x by	Y-Scale	Formula	Compound Name	SS-NNNN
Orthorhombic	1.5406	1	0.65	CaSO4	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
Hexagonal	1.5406	1	0.81	SiO2	Quartz, syn	46-1045 (*)
Cubic	1.5406	1	84.97	NaCl	Halite, syn	05-0628 (*)
<b>S-Q</b>	<b>alpha</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>Compound Name</b>	<b>SS-NNNN</b>
3.2	90	6.2411	7.0017	6.9933	Anhydrite, syn	37-1496 (*)
1.2	90	5.40524	4.91344	4.91344	Quartz, syn	46-1045 (*)
95.6	90	5.6402	5.6402	5.6402	Halite, syn	05-0628 (*)

## **Abstract**

Sياهو salt dome about 16 Km<sup>2</sup> is located in northwest Sياهو, north Bandar Abbas and Hormozgan Province. This area is located in the Zagross geological zone, which a part of Homoz series; that include volcanic, metamorphism, and salt evaporates rocks associated carbonate, anhydride and Gypsum. The processing of Satellite image in the ENVI 5.3 software was carried out performed using principal component analysis and banding ratio analysis methods. The results from the processing of satellite images led to the discovery of alterations, iron oxide, vegetation, and halite in the study area. Geochemical studies using XRF method for 386 samples were taken for analysis of potassium and about 17 samples were taken to perform XRD analysis in order to determine the potassium minerals in the region. Data processing and normalization have been done using SPSS 16 software and mapping of abnormally maps of the area by SURFER 10 software. On the basis of geology, remote sensing and geochemistry studies, two targets with high values of potash (as sylvite mineral) are shown in two area in the west and east area. The results led to the introduction of two drilling points in the western part of the Sياهو.

**Keywords:** Potash, Salt Dome, Remote Sensing, Aster, Geochemistry, Sياهو, Hormoz.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering  
M.Sc. Thesis in Mineral Exploration

**Geological, geochemical and mineralogical studies of Siahoo salt  
dome in order to potential of potash deposit, north Bandar Abbass**

**By: Moein aldin Yassari**

Supervisor:  
**Dr. Susan Ebrahimi**

February 2019