فصلنامه

علمی تخصصی

زمین پویا

شماره ۳۰

زمستان ۱۴۰۲

انجمن علمی دانشجویی زمین‌شناسی دانشگاه خوارزمی

به نام خدا

فصلنامه
زمین پویا

دانشگاه خوارزمی

انجمن علمی دانشجویی
زمین‌شناسی دانشگاه خوارزمی

شناسنامه

فصلنامه
زمین پویا

فصلنامه علمی تخصصی زمین پویا
شماره ۳۰ - زمستان ۱۴۰۲
انجمن علمی-دانشجویی زمین‌شناسی دانشگاه خوارزمی

دانشگاه خوارزمی

انجمن علمی-دانشجویی
زمین‌شناسی دانشگاه خوارزمی

استاد مشاور نشریه: دکتر مجید قاسمی

سردبیر: سهند فکوری

ویراستار: مبینا مهدی‌زاده، مهدی فرمهینی فراهانی

صفحه‌آرایی: مهدی فرمهینی فراهانی

طراح جلد: مهدی فرمهینی فراهانی

هیئت تحریریه: حامد ابراهیمی‌فرد، سجاد یونسی، علی رجب‌زاده، الناز گراوندی، صبا میرغیاثی، پدرام سمائی

با تشکر فراوان از: دکتر محمدعلی مکی‌زاده، امید محبی، ابراهیم ترک، سهند فکوری،محمد فراست، مبینا مهدی‌زاده، محمدرضا شهرجردی،مهلا ظفریزدی، مهدی فرمهینی فراهانی

راه‌های ارتباطی:

تلگرام: https://t.me/geology_khu
اینستاگرام: instagram.com/geology.khu
نشانی: کرج، خیابان شهید بهشتی، میدان دانشگاه، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم‌زمین

فهرست مطالب

سخن سردبیر ۱

زندگی‌نامه ۳

مصاحبه ۱۱

مقالات ۳۰

یادداشت ۸۶

گزارش ۱۰۱

سرگرمی ۱۰۴

رندی پرسید ای خدای ملک و دین

بهر چه گرد است و اینگونه زمین

چشم‌هایت را باز کن و ببین

اتفاق‌ها افتاده است در این زمین

این زمینی‌ها چنان سرعت روند

آن چنانکه جای هیچ تصمیم نیست

به کجا کشانده شد زمین ما

به کجا می‌رود؟ آن دوردست‌ها؟!

سخن سردبیر

هر فعالیت و کنشی برای پیشرفت خود و دیگران شیرین و ارزشمند است. سردبیری این شماره از نشریه زمین‌پویا، تجربه‌ای نو و آموزنده همراه با چالش‌های فراوان بود. اهمیت کار گروهی و هماهنگی در این شماره از نشریه، سخت و دشوار، اما لازمه کار بود. در تک تک لحظات این مسیر هدفی جزء ارائه کاری مستند و جامع همراه با با خلاقیت‌های جدید نداشتیم و امیدواریم این هدف در پایان این نشریه تبدیل به دستاوردی برای انجمن علمی دانشجویی زمین‌شناسی دانشگاه خوارزمی گردد.

در نشریه شماره ۳۰ زمین‌پویا، شما با بخش‌های مختلفی روبرو می‌گردید که هر بخش آن می‌تواند برای گروه خاصی از دانشجویان رشته زمین‌شناسی جذاب و مورد توجه باشد. در بخش زندگی‌نامه، با جزئیات بیش‌تری از زندگی سه تن از زمین‌شناسان برجسته ایران و جهان آشنا می‌شوید که می‌تواند الگویی برای زمین‌شناسان و دانشجویان آن باشد. در قسمت دوم به مصاحبه با افرادی پرداختیم که شنیدن تجربیات و اطلاعات آن‌ها در حوزه زمین‌شناسی خالی از لطف نیست. وجود بخش مقالات نیازمندی هر نشریه علمی- تخصصی می‌باشد که این نشریه نیز از آن مستثنی نمی‌باشد. قسمت یادداشت، بخش جدیدی است که از این شماره به نشریه زمین‌پویا اضافه گردیده است. در یادداشت می‌توانید مطالب جدیدی من‌باب موضوعات فناوری‌های نوین علم زمین‌شناسی، ژئوتوریسم و.... مورد مطالعه قرار دهید. در قسمت گزارش به بیان جزئیات بیش‌تری از اخبار و رویدادهای مرتبط با انجمن علمی در چند وقت اخیر، پرداخته شده است. اگر شماره‌های قبلی این نشریه را مورد مطالعه قرار داده باشید، حتما با جدول زمین‌شناسی آشنا هستید. در این شماره از نشریه زمین‌پویا به جای جدول زمین‌شناسی، در قسمت سرگرمی یک معما با استفاده از جدول اعداد سودوکو طراحی گردیده است که با حل آن و پاسخ به معما، می‌توانید برنده جایزه این مسابقه باشید. در پایان نشریه نیز تقویم سال ۱۴۰۳ با توجه به نزدیکی به سال جدید قرار داده شده است.

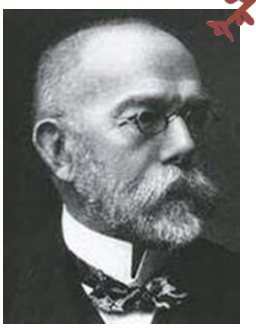
ضمن تشکر ویژه از تمامی اساتید محترم، نویسندگان و ویراستارها، لازم است خصوصا از دو همکار عزیز و همراهم آقایان محمد فراست و مهدی فرمهینی فراهانی نام ببرم؛ چرا که در غیاب هر کدامشان امکان پیشرفت و اتمام کار میسر نبود. از تمامی دوستان و همکاران عزیزم که در تولید محتوا، صفحه‌آرایی، ویراستاری ادبی و سایر بخش‌ها دخیل بودند نیز نهایت تشکر و قدردانی را دارم. باعث خوشحالی و افتخار تیم انجمن علمی دانشجویی زمین دانشگاه خوارزمی است که شما خواننده و مخاطب این شماره از نشریه زمین‌پویا هستید. به امید اینکه مطالب این شماره از نشریه، برای شما مفید و کارا باشد. در چندین سال گذشته، سال‌های سخت و دشواری را پشت سر گذاشته‌ایم؛ برای سال پیشرو آرزویی جزء سعادت و خوشبختی حقیقی مردم کشورم نخواهم داشت.

سهند فکوری

سردبیر نشریه زمین‌پویا

زندگی‌نامه

یکی از پایه گذاران انگاره زمین‌ساخت صفحه‌ای



دکتر هری هاموند هس یک زمین‌شناس آمریکایی بود که در ۲۴ می ۱۹۰۶ در نیویورک متولد شد. هس یکی از پایه گذاران انگاره زمین ساخت صفحه‌ای بود. دریادار دکتر هری هاموند هس به دلیل انگاره‌هایش در مورد گسترش بستر اقیانوس‌ها، به ویژه کار بر روی ارتباط میان جزایر کمانی، آنومالی‌های ثقلی بستر اقیانوس‌ها و پریدوتیت‌های سرپانتینی شده و اظهار اینکه جریان همرفتی در گوشته زمین نیروهای رانشی را برای حرکت صفحات ایجاد می‌کنند بسیار مشهور و معروف است. این نظرات پایه‌های ابتدایی را برای توسعه انگاره زمین ساخت صفحه‌ای فراهم نمود.

هس در سال ۱۹۲۳ در رشته مهندسی برق در دانشگاه یل پذیرفته شد و بعد از ۲ سال تغییر رشته داده و به زمین‌شناسی روی آورد و در سال ۱۹۲۷ با درجه لیسانس فارغ التحصیل شد. وی سپس به عنوان زمین‌شناس اکتشافی در رودزیای آفریقای جنوبی برای دو سال فعالیت نمود و بعد از آن تحصیلات خود را در دانشگاه پرینستون ادامه داد. وی برای رساله دکترای خود پریدوتیت‌های هوازده ویرجینیا را انتخاب نمود.

وی برای مدت دو سال از سال ۱۹۳۲ به تدریس در دانشگاه روتگرز در نیوجرسی پرداخت و یک سال را به تحقیق در آزمایشگاه ژئوفیزیک واشنگتن دی سی گذراند و در سال ۱۹۳۴ به جمع استادان دانشگاه پرینستون پیوست. وی در این دانشگاه باقی ماند و مقام ریاست دپارتمان زمین شناسی این دانشگاه را از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۶ به عهده داشت. وی همچنین استاد پروازی دانشگاه های کیپ تاون افریقای جنوبی (۵۰ - ۱۹۴۹) و دانشگاه کمبریج انگلستان (۱۹۶۵) بود.

هس در خلال جنگ جهانی دوم به نیروی دریایی امریکا پیوست و به عنوان کاپیتان کشتی ترابری جانسون انتخاب شد. این کشتی مجهز به یک تکنولوژی جدید یعنی سیستم ردیابی زیردریایی‌ها بوسیله امواج صوتی بود. همین فرصت بعدا به توسعه انگاره گسترش بستر اقیانوس‌ها به هس کمک شایانی نمود. وی در اوقاتی که جنگی در کار نبود به دقت مسیر رفت و آمد کشتی‌ها را در اقیانوس آرام از گودال ماریانا تا جزیره آیوجیما با استفاده

از عمق یاب صوتی مورد بررسی و مطالعه علمی قرار می‌داد. این کار وی باعث گردآوری اطلاعات مهم علمی در راستای اقیانوس آرام شمالی و در نتیجه کشف آتشفشان‌های زیردریایی گردید که هس به احترام جغرافیدان قرن نوزدهم آرنولد هنری گویوت، نام آن‌ها را گویوت‌ها گذاشت. بعد از جنگ وی به عنوان نیروی ذخیره نیروی دریایی باقی ماند و تا درجه دریاداری ارتقا یافت.

در سال ۱۹۶۰ وی یکی از مهم‌ترین مشاهدات و یافته‌هایش را به دفتر مطالعات دریایی ارائه داد که به یکی از مهمترین اصول زمین شناسی در قرن بیستم تبدیل گردید. وی اظهار داشت که پوسته زمین در طرفین پشته‌های اقیانوسی که از نظر آتشفشانی فعال هستند در حال حرکت و دور شدن از یکدیگر است، وی بعدها نام این فرایند را گسترش بستر اقیانوس‌ها گذاشت. این کشف وی به آلفرد وگنر در فهم اشتقاق قاره‌ها به عنوان یک انگاره علمی قابل پذیرش کمک نمود و انقلابی را در علوم زمین ایجاد کرد. گزارش هس به صورت رسمی در سال ۱۹۶۲ با عنوان "تاریخ حوضه‌های اقیانوسی" به چاپ رسید و تا سال‌ها مهمترین مرجع در ژئوفیزیک پوسته زمین بود.

هس همچنین در بسیاری از فعالیت‌های علمی دیگر نیز فعالیت داشت. از جمله می‌توان به همکاری در پروژه موهول (۱۹۶۶ – ۱۹۵۷) که به حفاری دریای عمیق و مطالعه علمی آن می پرداخت اشاره نمود. هس در 25 آگوست ۱۹۶۹ درست زمانی که ریاست نشست کمیته علوم فضای آکادمی ملی علوم امریکا را در وودزهول ماساچوست برعهده داشت در اثر حمله قلبی درگذشت.

پدر زلزله‌شناسی ایران

پروفسور بهرام عکاشه (متولد ۱۳۱۵، مسجدسلیمان)، پدر علم زلزله‌شناسی ایران و متخصص برجسته زلزله‌شناسی و زمین‌شناسی است. وی پس از گذراندن دبستان و دبیرستان در زادگاه و اهواز، در خرداد ۱۳۳۴ موفق به دریافت دیپلم ریاضی (رتبه اول) از دبیرستان دکتر حسابی شد. در مهر ماه همان سال تحصیلی، فیزیک را در دانشگاه تهران شروع کرد و پس از اخذ لیسانس در خرداد ۱۳۳۸ در دی ماه همان سال به

عنوان دانشجوی بورسیه مبادله‌ای عازم آلمان گردید.

پس از گذراندن دوره های زبان در بهار ۱۳۳۹ در دانشگاه صنعتی اشتوتگارت به تحصیل فیزیک و ژئوفیزیک مشغول شد و دروس مقدماتی زلزله‌شناسی را نزد پروفسور هیلر (همکار سابق پروفسور گوتنبرگ رئیس مؤسسه ژئوفیزیک فرانکفورت و پروفسور اینشتن رئیس مؤسسه فیزیک در برلین) گذراند. با بازنشسته شدن پروفسور هیلر تحصیلات خود را نزد شاگرد ایشان پروفسور برگهمر در شهر فرانکفورت ادامه داد. جایی که تحصیلات فوق لیسانس و دکترای خود را (با گذراندن دروس فیزیک، ژئوفیزیک، زمین شناسی و هواشناسی) به انجام رساند و در پاییز ۱۳۴۸ درجه دکترای ژئوفیزیک اخذ کرد.

بهرام عکاشه در سال ۱۳۴۸ در مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران مشغول فعالیت شد و در سال ۱۳۶۴ به مرتبه استادی رسید. وی سال‌ها رییس بخش زلزله‌شناسی در موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران بود و پس از سی سال فعالیت بازنشسته شد. وی همچنین مدت ۱۴ سال ریاست گروه ژئوفیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال را بر عهده داشته‌است و سابقه ریاست دانشکده علوم پایه این دانشگاه را نیز در کارنامه کاری خود دارد.

پروفسور بهرام عکاشه در سال ۷۳ رشته ژئوفیزیک را در واحد تهران شمال راه‌اندازی کرد و دارای یک کتاب تالیفی، ۱۰۰ مقاله داخلی و ۳۵ مقاله خارجی است. ساخت و راه‌اندازی چند پایگاه زلزله‌نگاری، مطالعات طیف طراحی ساختگاه رآکتور تحقیقاتی تهران، تحلیل و کنترل مقاومت ساختمان، رآکتور تحقیقاتی سازمان انرژی اتمی ایران در برابر نیروهای زلزله و... از عناوین فعالیتها و مقالات وی است.

اولین بانوی زمین‌شناسی

یکی از این پیشگامان فلورانس باسکوم، «بانوی اول» مبتکر سازمان زمین شناسی ایالات متحده است. Bascom فهرست طولانی از اولین‌های قابل توجه دارد، از جمله اولین زنی که توسط USGS استخدام شده است. مانند همه پیشگامان، او پیشگامی بود که در حرفه خود ریسک کرد و مسیر جدیدی را برای نسل‌های آینده زنان هموار کرد.

او قبل از به جا گذاشتن اثر خود در جامعه علمی و کمک به ایجاد پایه و اساس USGS امروزی، به عنوان دختری عاشق یادگیری شروع به کار کرد.

باسکوم که کوچکترین از پنج فرزند است، از جان، پروفسور و اِما، یک حق رأی و مربی به دنیا آمد. به هر حال هر دو از زمان خود جلوتر بودند و طرفداران پرشور حقوق زنان بودند که دخترشان را قویاً تشویق به ادامه تحصیل می‌کردند. هنگامی که فلورانس فقط ۱۲ سال داشت، پدرش به عنوان رئیس دانشگاه ویسکانسین به عهده گرفت. زمانی که در آنجا بود، یکی از اصلاحات متعدد او این بود که دانشگاه را به صورت مختلط تأسیس کرد و به اولین دانشجوی دختر اجازه داد در سال ۱۸۷۵ ثبت نام کند.

باسکوم دانش آموز باهوشی بود و تنها در ۱۵ سالگی شروع به تحصیل در دانشگاه ویسکانسین کرد. در نزدیکی پدرش، علاقه علمی او با بارها تشویق شده بود که او او را به کاوش در شگفتی های طبیعی اطراف خانه آن‌ها برد، جایی که او همچنین یک رصدخانه و آزمایشگاه داشت. علی‌رغم ماهیت مترقی دانشگاه، نقش‌های جنسیتی در آن زمان همچنان حاکم بود و دانش‌آموزان دختر فقط به کلاس‌ها، رویدادها و استفاده از کتابخانه و سالن ورزشی دسترسی محدود داشتند. همچنین نشستن دانش آموزان دختر در پشت کلاس‌ها معمول بود.

با این وجود، بسکام دو مدرک لیسانس گرفت، یکی در هنر و در سال ۱۸۸۲ و دیگری در رشته علوم در سال ۱۸۸۴.

پس از لیسانس Bascom در ابتدا مسیر سنتی‌تری را برای زنان دنبال کرد و شروع به تدریس در مؤسسه همپتون (دانشگاه همپتون فعلی) کرد که توسط دوست پدرش پس از جنگ داخلی تأسیس شده بود و هدف آن آموزش آزادگان و سرخپوستان آمریکایی بود. تنها پس از یک سال، دلتنگی طولانی او را به مدیسون بازگرداند.

زمانی که به خانه رفت، با پدر و دوست خانوادگی‌اش، دکتر ادوارد اورتن، زمین‌شناس، در حال رانندگی بود و باعث شد که در مورد ایجاد مناظر اطرافشان صحبت کنیم. او متوجه شد که می‌خواهد درباره این شگفتی‌های طبیعی بیشتر بداند و مجدداً در دانشگاه ویسکانسین ثبت‌نام کرد و در سال ۱۸۸۷ مدرک کارشناسی ارشد خود را در زمین‌شناسی گرفت. او پروژه‌های میدانی را با کمک پروفسور چارلز ون هیس و رولند ایروینگ که هر دو برای آن‌ها کار می‌کردند انجام داد.

پس از تدریس مختصر دبیرستان و دو سال به عنوان مربی در مدرسه علمیه راکفورد برای زنان (بعداً کالج راکفورد) در ایلینوی، باسکوم مشتاق کارهای چالش برانگیزتر بود.

به زودی، استادان دانشگاه ویسکانسین او را تشویق کردند تا برای دانشگاه جانز هاپکینز، که در آن زمان مدرسه برتر تحصیلات تکمیلی بود، درخواست دهد. علی‌رغم موضع تند روسای دانشگاه علیه تحصیل مختلط زنان، او در نهایت تحت فشار همکاران و استادان سابق بسکام، ون هیس و ایروینگ، پذیرفت و به او پذیرش «مخفیانه» داد.

زمانی که در دانشگاه جانز هاپکینز بود، با ناملایمات بیشتری روبرو شد و مجبور شد در گوشه و کنار کلاس‌های درس پشت پرده‌ها کار کند تا حواس دانش‌آموزان پسر پرت نشود. نه تنها تجربه ای تحقیرآمیز و خشمگین برای بسکام بود، بلکه این موانع شنیدن یا دیدن سخنرانی های اساتید او را نیز سخت می کرد. کار میدانی نیز ممنوع بود، اما مشاور او، پروفسور جورج ویلیامز، که برای USGS نیز کار می کرد، اغلب او را با خود به میدان می برد.

پایان نامه دکترای او منشأ زمین‌شناسی کوه‌های آپالاچی را بررسی کرد، جایی او نشان داد که سنگ های محلی که قبلا تصور می شد رسوب هستند در واقع جریان های گدازه ای هستند که دچار دگردیسی شده اند. با کمک دکتر ویلیامز، پایان نامه او به عنوان بولتن USGS منتشر شد.

تمایل باسکوم به پذیرش چالش ها به منظور ایجاد زندگی مورد نظر، به او اجازه داد تا اولین زنی باشد که مدرک دکترا گرفت. از دانشگاه جانز هاپکینز در سال ۱۸۹۳ و دومین زنی در ایالات متحده که مدرک دکترا گرفت. در زمین شناسی، پشت سر مری هلمز در سال ۱۸۸۸ از دانشگاه میشیگان.

در سال ۱۸۹۵، جیمز رودز، رئیس کالج برایر ماور، بسکام را پس از شناخت استعداد او به عنوان یک دانشمند محقق، برای پیوستن به دانشکده خود استخدام کرد. پس از مرگ او، رئیس جمهور آینده مارتا کری توماس، فکر نمی کرد زمین شناسی برای زنان جذاب باشد و به دنبال ایجاد موانعی برای جلوگیری از آن بود. علی‌رغم این آزمایش‌ها، بسکام اولین بخش زمین‌شناسی را در یک کالج کاملاً زنانه با تمایز بین‌المللی تأسیس کرد.

زمانی که در کالج برین ماور بود، او اولین زن زمین‌شناسی بود که در سال ۱۸۹۶ توسط USGS استخدام شد. این به او

امکان دسترسی به تجهیزات آزمایشگاهی، کتاب‌ها و همکارانش را داد که همه آن‌ها در کالج برین ماور در دسترس او نبودند.

او با موفقیت کار خود را با USGS و Bryn Mawr در طول حرفه‌اش در هم آمیخت، تابستان‌ها را به انجام کارهای میدانی و بقیه سال را به تجزیه و تحلیل نمونه‌ها، تهیه نقشه‌ها و نوشتن گزارش‌ها و آموزش نسل بعدی دانشمندان گذراند. Bascom بیش از چهل مقاله در مورد پتروگرافی ژنتیکی، ژئومورفولوژی و شن منتشر کرد، که بسیاری از آن‌ها امروزه نیز مرتبط هستند و در استفاده از میکروسکوپ در مطالعه کانی ها و سنگ ها پیشگام بودند.

از همان روزهای اولیه، USGS، نقش مهمی را که زنان در نوآوری و پیشرفت دنیای علمی ایفا می‌کنند، تشخیص داده است. بسکام اولین زن از بسیاری از زنانی بود که در هر سطحی کار می کرد ساخت یکی از بزرگترین سازمان‌های علوم طبیعی در جهان کمک کرد.

او از سال ۱۸۹۶ تا ۱۹۰۵ به عنوان دستیار سردبیر مجله The American Geologist خدمت کرد و اولین زنی بود که مقاله ای را در مقابل انجمن زمین شناسی واشنگتن ارائه کرد. او تنها زنی بود که به عنوان یکی از ۱۰۰ زمین شناس برتر کشور در اولین ویرایش مجله مردان علم آمریکا انتخاب شد و اولین افسر زن شورای انجمن زمین شناسی آمریکا بود.

باسکوم تا زمان بازنشستگی در سال ۱۹۳۶ در سن ۷۴ سالگی به کار برای USGS ادامه داد، بخش‌هایی از تحقیقات او هنوز هم امروزه مورد اشاره است.

میراث او امروز در نسل‌های زنانی که راه او را چه در علم و چه در فراتر از آن دنبال کرده‌اند احساس می‌شود و از شجاعت او و دنیایی که او کمک کرد با وجود همه سختی‌ها برای کسانی که بعد از او خلق کردند، بهره‌مند شدند.

در طول زندگی حرفه‌ای خود، او به تنهایی زمینه‌شناسی را به روی زنان گشود و بیشتر زمین شناسان زن را در اوایل قرن بیستم در ایالات متحده آموزش داد و دانش و اشتیاق خود را در هر یک از آنها سرازیر کرد.

مرکز زمین‌شناسی USGS Florence Bascom برای ارج نهادن به میراث و دستاوردهای او و همچنین چندین ویژگی طبیعی از جمله یک دریاچه یخچالی، یک دهانه ناهید و یک سیارک نامگذاری شده است.

او ظاهراً شاعر هم بود. این آیه در مجموعه مقالات فلورانس باسکوم در کالج اسمیت موجود است:

کلبه
یک کلبه و یک درخت
و یک تپه برای من!
یک سگ، یک اسب و مراتع مرتفع،
و من چیزی نخواهم پرسید
از مرد یا پادشاه
پس انداز کنید تا سایه‌های آن‌ها را پاک کنید.

منابع:

- گروه مشاوران علوم زمین پانا
- انجمن ژئوفیزیک ایران
- U.S. Geological Survey
- Geology (Burek, C.V., and B. Higgs, editors). London, UK: The Geological Society of London.

محمدرضا شهرجردی
دانشجوی مقطع کارشناسی

مصاحبه

یکی از مباحثی که همواره ذهن دانشجویان را درگیر می‌کند مبحث کاریابی و اشتغال مرتبط با رشته‌ی تحصیلیشان است. در این سری مصاحبه‌ها از افراد حاضر در صنعت درخواست کردیم تا از شرایط بازارکار، مهارت‌های مورد نیاز این حوزه و دیگر مسائل مرتبط با آن بر اساس تجربه‌ی گران‌بهاشان برایمان توضیح بدهند. در ادامه مصاحبه‌های انجام شده را ملاحظه می‌فرمایید.

سلام و احترام؛ **جناب آقای ابراهیم ترک، عضو سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی**
ممنون هستیم که اجازه دادید تجربیات گرانقدر شما را در اختیار دانشجویان علاقه مند به زمین‌شناسی و اشتغال در آن بگذاریم. لطفا خودتان را معرفی کنید.

من ابراهیم ترک کارمند سازمان زمین شناسی با مدرک لیسانس زمین شناسی از دانشگاه پیام نور و مدرک کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی از دانشگاه پیام نور با سابقه حدود ۳۰ سال خدمت در سازمان زمین شناسی ایران هستم.

چرا زمین شناسی را انتخاب کردید؟

من کار در بیابان بخصوص آرامش و تنهایی که در بیابان هست را بشدت از کودکی دوست داشتم همین سبب شد که به زمین‌شناسی علاقه‌مند شوم.

در حال حاضر در چه زمینه‌ای فعالیت دارید و دلیل انتخابتان چه بوده است؟

در حال حاضر در عملیات‌های ژئوفیزیکی و صحرایی سازمان زمین‌شناسی فعالیت می‌کنم. علت انتخابم هم علاقه‌ای هست که به بیابان و آرامش داشتم.

علت و نحوه ورود شما به کار در زمین شناسی چگونه بوده است؟

من ۳۰ سال پیش وارد سازمان زمین‌شناسی شدم آن موقع مشکل اشتغال نبود و سازمان استخدام داشت، شرکت کردم و ابتدا در بخش اداری مشغول به کار شدم به مدت حدود ۸-۱۰ سال بعد از آن به علاقه خود پی بردم و وارد قسمت فنی و میدانی سازمان شدم و حدود ۲۰ سال هست که در بخش فنی در حال کار هستم.

مزایا و معایب این نوع اشتغال در زمین شناسی چیست؟

از مزایای کار در سازمان زمین‌شناسی که من خیلی دوست دارم کار در بیابان هست بخصوص برای من که شلوغی شهر را دوست ندارم و برایم بیابان آرامش خاصی دارد. از معایبش هم می‌توان به حقوق پایین آن اشاره کرد که برای کسی که فقط برای حقوق بخواهد بیاید جالب نیست.

لازم است ذکر کنم که سازمان انواع و اقسام استخدام‌ها را دارد از قبیل: رسمی، شرکتی، قراردادی و ... که به طور کلی سازمان زمین‌شناسی به دنبال حفظ پرسنلش هست و خدمات خوبی به نیروی انسانی‌اش ارائه می‌دهد البته متناسب است با محدودیت‌های قانونی که وجود دارد که فراتر از آن کاری از سازمان بر نمی‌آید.

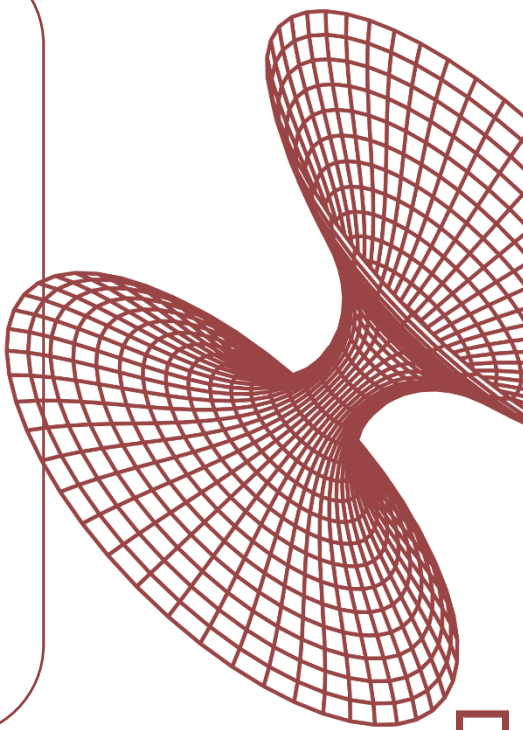
مطمئناً اگر کسی به کار در بیابان (به طور میدانی) علاقه دارد سازمان زمین‌شناسی برایش بهترین جا می‌تواند باشد با توجه به این مورد که در شرکت های خصوصی میزان کار بیشتری از فرد در بیابان مورد انتظار هست که معمولا سخت‌تر هست که در عوض حقوق و مزایایش هم احتمالا بهتر است.

آینده‌ی شغلی به نظر شما در این مدل شغل چگونه است؟

اگر کسی در زمینه ی کارش علمش را هم داشته باشد، آینده خوبی دارد. مهارت تئوری و عملی اگر در کنار هم باشند، همین الان کسب درآمد خوبی دارد.

شما این نوع اشتغال را به چه کسانی توصیه می‌کنید و به چه کسانی توصیه نمی‌کنید.

باید تحمل تنهایی را داشته باشد، بیابان یه سری سختی های مخصوص به خودش را دارد. برای مثال احتمال گم شدن فرد در کوه به مدت نصف روز یا حتی چند روز که همین چندی پیش یکی از همکاران ما در بیابان گم شد و ۳ روز طول کشید تا دوباره بتوانیم با او ارتباط بگیریم و یا در تابستان گرما، آفتاب و بی آبی و در زمستان سرما و... در کل شخص باید برای این سختی‌ها آمادگی داشته باشد. بعضی‌ها حساسیت زیاد و وسواس دارند و مثلا نمی‌توانند وقتی دستشان خاکی است چیزی بخورند این مطمئناً می‌تواند مشکل ساز شود. در بیابان لازم است شخص بتواند از مواردی صرف نظر کند و کسی که توان انجام چنین کاری را نداشته باشد به درد بیابان نمی‌خورد.



چه مهارت‌هایی برای ورود به این نوع اشتغال لازم است؟

از لحاظ جسمی، روحی و ذهنی باید قدرتمند باشد و علاوه بر علم باید مهارت‌های اولیه از هر چیزی از جمله بقا و کمک‌های اولیه را بلد باشد. برای مثال همان همکاری که گفتم ۳ روز در بیابان گم شده بود در روزها زیر ماسه‌ها می‌خوابید و در شب ها حرکت می‌کرد تا توانست به منطقه‌ای مسکونی برسد با بقیه گروه ارتباط بگیرد. من حین کار آموزش دیده‌ام. الان هم دانشجویانی که واحدی به نام کارآموزی یا کارورزی دارند حتما باید بیایند یک دوره فنی آموزش ببینند. غیر از چیزی که در دانشگاه ها آموزش می‌دهند زیرا چیزی که در عمل هست متفاوت است. واحد کارآموزی واحد خوبی بود چون بالاخره هر کسی با هر مدرکی باید یه دوره آموزش در بیابان ببیند. البته خود سازمان زمین‌شناسی این آموزش‌ها را می‌گذارد حتی برای ما که حدود ۳۰ سال است در این کار هستیم زیرا باید بروز باشیم.

اگر به عقب بر می‌گشتید آیا باز هم انتخابتان همین بود؟ چه تغییراتی را ایجاد می‌کردید؟

مطمئناً بله چون علاقه‌ی خاصی به بیابان دارم. اگر به عقب برمی گشتم آن ۱۰-۸ سالی که در بخش اداری بودم را نمی‌ماندم و از همان ابتدا وارد بخش میدانی می‌شدم. قطعا اگر اول علاقه‌اش را بشناسد بهتر است. کارهای فنی و میدانی سختی و شیرینی‌های خاص خودش را دارد.

سخنی، توصیه‌ای یا مطلبی دیگری اگر مدنظرتان هست بفرمایید.

اگر واقعا می‌بینند توان این کار را ندارند نه صندلی دانشگاه‌ها را اشغال کنند و نه خودشان را خسته کنند، یک بار بروند بیابان تنهایی را تجربه کنند بعد انتخاب کنند.

ممنون از وقتی که در اختیار نشریه زمین پویا گذاشتید آرزوی بهترین‌ها را برای شما داریم.

سلام و احترام؛ **جناب آقای امید محبی، مدیرعامل شرکت مهندسین مشاور درنیکا پویش هامون**
ممنون هستیم که اجازه دادید تجربیات گرانقدر شما را در اختیار دانشجویان علاقه مند به زمین‌شناسی و اشتغال در آن بگذاریم. لطفا خودتان را معرفی کنید.

به نام خدا. امید محبی متولد ۱۳۶۶ هستم. فارغ التحصیل مهندسی معدن گرایش اکتشاف کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد تهران جنوب، لیسانسم هم مهندسی معدن تهران جنوب بود. ورودی سال ۸۵ کارشناسی و سال ۸۹ لیسانسم را به اتمام رساندم. سپس وارد حوزه‌ی صنعت شدم و به عنوان کارآموز از سال ۸۹ وارد شرکت پارسی کان کاو شدم و در همان جا به کار مشغول گشتم. در سال ۹۴-۹۶ ارشد خواندم، یعنی اول وارد صنعت شدم و سپس تحصیل را ادامه دادم.

چرا زمین شناسی را انتخاب کردید؟

من از همان کودکی به سنگ‌ها علاقه‌مند بودم و دوست داشتم بدانم که سنگ‌ها چگونه تشکیل می‌شوند و نحوه کار رویشان چگونه است و چجوری از دل طبیعت سنگ‌ها را در می‌آورند و تبدیل به یک محصول می‌کنند. این علاقه باعث شد که در دوره ی تحصیلی هدف من مهندسی معدن باشد و چون ساکن تهران بودم در انتخاب کنکور ترجیح دادم که از دانشگاه سراسری که در مکان دلخواهم نبود صرف نظر کنم و در دانشگاه تهران جنوب رشته مورد علاقه‌ام را دنبال کنم. برایم از این جهت گرایش اکتشاف جالب بود که چگونه یک نفر با یک سری دیتا می‌تواند مدلی سه بعدی از زیرزمین بسازد و این چرایی‌ها برایم جذاب بود و دنبالش کردم.

از نظر من زمین‌شناسی و مهندسی معدن فوق العاده رشته‌های جذابی هستند چه در حوزه‌ی فنی مهندسی و چه در حوزه‌ی صحرایی. حوزه‌ای که من می‌توانم در آن ادعا داشته باشم مدل‌سازی هست که می‌توانم بگویم تابحال توی نرم افزارها مدل حدود ۹۰ کانسار را ساخته‌ام و تاکنون با درنظر گرفتن خطای استاندارد ۱۵ مورد آن به معدن تبدیل شده است و این برایم جذاب است.

در حال حاضر در چه زمینه ای فعالیت دارید و دلیل انتخابتان چه بوده است؟

در حال حاضر مدیرعامل شرکت مهندسین مشاور درنیکا پویش هامون هستم که ما خدمات مهندسی انجام می‌دهیم و شعارمان هست: "ژئوفیزیک، ژئوماتیک و خدمات مهندسی معدن". کارهای مهندسی مشاوره را هم انجام می‌دهیم ولی تخصص اصلی ما در بحث ژئوفیزیک و خدمات پهپادی هست.

علت و نحوه ورود شما به کار در زمین‌شناسی چگونه بوده است؟

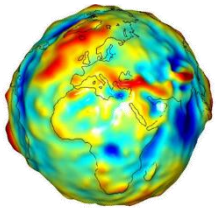
الان شرایط در کشور ما به نسبت زمانی که من وارد صنعت شدم متفاوت است. سال ۸۹ که من می‌خواستم وارد بازارکار شوم کارها خیلی محدود و تعداد متقاضی‌ها خیلی زیاد بود در نتیجه ورود به بازارکار سخت و استخدام شدن خیلی سخت بود. من در سال ۸۹ سه ماه به عنوان کارآموز در شرکت پارسی کان کاو بدون حقوق کار کردم و در همانجا استخدام شدم. واقعیت این بود که در آن زمان که درس می‌خواندم فکر می‌کردم خیلی بلد هستم و وقتی روز اول سرکار رفتم فهمیدم که هیچی نمی‌دانم. متأسفانه این شکاف بین دانش تئوری و بازارکار خیلی زیاد است و همین باعث شد یک فاصله بین کارشناسی و ارشد من بیفتد چون من دیدم که این حوزه چقدر بزرگ هست و من چقدر مطلب می‌توانم یاد بگیریم که کاربردی باشد و این بهتر از این بود که بروم و آن موقع ارشد بخوانم.

مزایا و معایب این نوع اشتغال در زمین‌شناسی چیست؟

دانشجویان معمولا در اوایل کار چالش‌های حقوقی دارند که تا حدی بهشان حق می‌دهم. در فرض فرد بعد از فارغ‌التحصیلی وارد بازارکار می‌شود و توقع دارد حالا که اینقدر درس خوانده است مبلغ خواستی حقوق بگیرید و با حقوق پایین‌تر به مشکل می‌خورد.

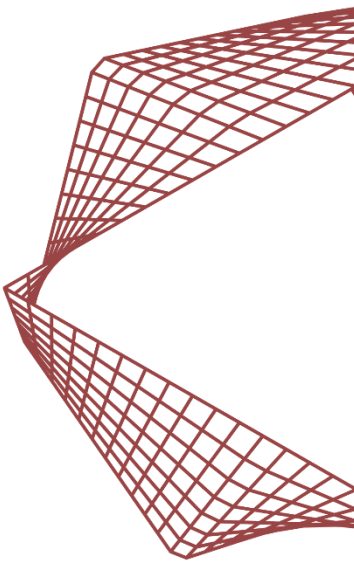
البته ما هم در تلاشیم که هوای آن‌ها را داشته باشیم و به آن‌ها کمک کنیم و فضا بدهیم نمی‌گویم حقوق در حد عالی می‌دهیم بحث این است که که اگر کسی وارد صنعت بشود و علاقه‌مند باشد چه در حوزه فنی چه میدانی با توجه به کمبود نیرو متخصص (که برای شما حسن محسوب می‌شود) با قرار گرفتن در فضای کار به راحتی می‌شود پیشرفت کرد فقط کافیه که پشتکار داشته باشید و همانطور که هر کاری در از ابتدا مشتری ندارد اصطلاحا خاک کار را بخورید. ابتدا هر کاری مقداری فشار و سختی هست که اگر تحمل کنید نه خیلی طولانی در حد یک یا دو سال بسیار بسیار پیشرفت می کنید.

قبلا اگر کسی می‌خواست در زمین‌شناسی مطرح شود باید سابقه‌ی زیادی می‌داشت ولی الان یک زمین‌شناس با ۶ تا ۸ سال سابقه به راحتی می‌تواند مطرح شود به حقوق‌های خیلی خوب برسد چون الان فضای کار تخصصی و انحصاری شده است و اصلا کسی نیست.



خیلی‌ها گلایه دارند کار نیست یا سخت هست بنظرم با تحمل سختی در این رشته خیلی کوتاه‌تر از کارهای دیگر به شرطی علاقه داشته باشید - چون بدون علاقه نمی توان سختی را تحمل کرد - به راحتی می‌توانید به حداقل حقوقی برسید که در رشته‌های دیگر نمی‌توان رسید، و در عین حال برای خودتان در این حوزه کسی شوید در حالی که تا ۱۰ سال پیش این فضا وجود نداشت. من خودم سه ماه بدون حقوق کارآموزی کردم سپس استخدام شدم ولی الان چند نیرو بدون هیچ سابقه کاری استخدام کرده ام اتفاقی که برای خودم نیفتاد.

در حال حاضر بحثی هست که خیلی از شرکت ها چون ایمیدرو، تهیه تولید، شرکت ملی مس ایران و ... در حال انجام هستند که آن تبیین دستور عملی واحد در جامعه ی مهندسین مشاور هست که هر سه یا شش ماه در حال بروز شدن است که در آن کاری مشخص با پارامتر های مشخص و کیفیت معلوم بازه‌ی قیمت برایش تعریف می‌گردد که این سبب می‌شود که نه کارفرما ضرر کند نه مشاور و در نتیجه کارشناس هم متضرر نمی‌شود زیرا وقتی مشاور با قیمت مناسب از کارفرما کار بگیرد می تواند حقوق مناسبی به کارشناسش هم بدهد. اینگونه هم کیفیت حفظ می‌شود هم قیمت.



آینده‌ی شغلی به نظر شما در این مدل شغل چگونه است؟

Linked in

آن زمان ورود به شرکت‌ها سخت بود و الان که ۱۳ سال هست در این حوزه در حال کسب تجربه هستم می‌توانم بگویم شرایط برعکس شده است. الان حجم زیادی فضای کار وجود دارد و اکثر شرکت‌ها مشکل نیروی انسانی دارند. نبود کارشناس بخصوص در حوزه‌های زمین‌شناسی، معدن، استخراج، مکانیک و... حس می‌شود. ورودی‌ها در دانشگاه‌ها کم شده است و خیلی از رشته‌ها را هم کسی نمی‌شناسد. با این روند من فکر می کنم ۵ تا ۱۰ سال آینده این کمبود شدیدتر شود که اصلا خوب نیست.

بخشی از این مشکل به خود جامعه بر می‌گردد بخصوص به منابع انسانی که متأسفانه تبلیغی را که در حوزه معدن می‌کنند یک کارگر ذغال‌سنگ هست که صورتش سیاه شده یا یک آدم پیر که دیگر توانی ندارد و این باعث می‌شود که دید ناامیدانه‌ای پدیدار شود و کسی سمت این رشته نیاید که اصلا خوب نیست. در همین حال خیلی ها حتی از وجود این رشته ها اطلاعی ندارند و نمی‌دانند که کار در این رشته ها چگونه است.

درسال ۹۸ شبکه‌های اجتماعی به این شکل نبود و برای ورود به بازار باید به استاد و افراد مختلف می‌سپردی تا معرفیت کنند اما الان شبکه‌های اجتماعی و سایت هایی هست که به طور تخصصی در زمینه کاریابی معدنی هستند که متأسفانه دانشجویان نمی‌شناسند در حالیکه با یک سرچ ساده بدست می‌آید. شرکت ما نیروی جدید برای استخدام را از آنجا پیدا می‌کند زیرا طبیعی است که کسی که رزومه‌اش در آنجاست واقعا به دنبال کار تخصصی هست.

شما این نوع اشتغال را به چه کسانی توصیه می‌کنید و به چه کسانی توصیه نمی‌کنید.

مهمترین بحث در رشته ی ما علاقه است زیرا این رشته سختی های خاص خودش را دارد. عده‌ای علاقه دارند و می‌ترسند، از اینکه آینده‌ای نداشته باشند. من می گویم که اگر علاقه داشته باشید به راحتی می‌توانید پیشرفت کنید خیلی راحت‌تر از چیزی که فکرش را می‌کنید. یک شرکت همیشه برای پرسنلش دوره های آموزشی می‌گذارد چون نمی‌توان گفت که خودت بلد باش و اینکه متخصص‌تر شدن پرسنل به نفع شرکت است و فرد حق دارد که خیلی چیزها بلد نباشد. همین شرکت پارسی کان کاو برای من و امثال من که درآن زمان هیچ بلد نبودم آموزش می‌گذاشت و همان سبب شد آرام آرام پیشرفت کردیم.

یادم هست سال ۸۹ کلا با منشی و مدیرعامل شرکت ما ۷ نفر بودیم و حالا همان شرکت پارسی کان کاو ۸۰ نفر پرسنل دارد و شرکت درنیکا پویش هامون هم در اصل یکی از زیرشاخه‌های آن است که به طور مستقل به ارائه‌ی خدمات ژئوفیزیکی می‌پردازد. همین آموزش‌هاست که مرا از یک کارآموز را به کارشناس سپس مدیر پروژه تبدیل می‌کند.

چه مهارت‌هایی برای ورود به این نوع اشتغال لازم است؟

برای شرکت ما یعنی درنیکا پویش هامون و پارسی کان کاو اولین اولویت **اخلاق** و دومین اولویت **علاقه‌مندی** است و شاید بتوان گفت که توانایی جزو گزینه‌ها نیست. یعنی اگر شخص اخلاق متعادل و مشخصی داشته باشد و بیاید بگوید من دوست دارم کار کنم و رشته‌اش مرتبط باشد در حالیکه هیچ ذهنیت و سابقه‌ای نداشته باشد برای من در بدو ورود کفایت می‌کند و حتی در مورد افراد با تجربه‌تر. در کل اخلاق از همه چی مهمتر است. خیلی از شرکت‌های معدنی بین المللی هر چند وقت یکبار حتی باوجود تحریم ها وبینارهای free می‌گذارند.

پیشـــنهاد می‌دهم عضـــو خبرگزاری‌های مرتبط بشوید و از وبینار ها مطلع شده و شرکت نمایید. بشـــدت مطالعه کنید و از کار کردن نترســـید و نگویید ما هیچی بلد نیســـتیم چون همه در ابتدا هیچی بلد نیستند. اکثر شرکت‌ها این فضا را به افراد علاقه‌مند می‌دهند و فقط کافی هســـت که علاقه‌مند باشـــید چون این به نفع خود شـــرکت هاســـت که از ابتدا فرد با دیدگاه و اصـــول خود آن‌ها تعلیم ببیند و رشد کند.

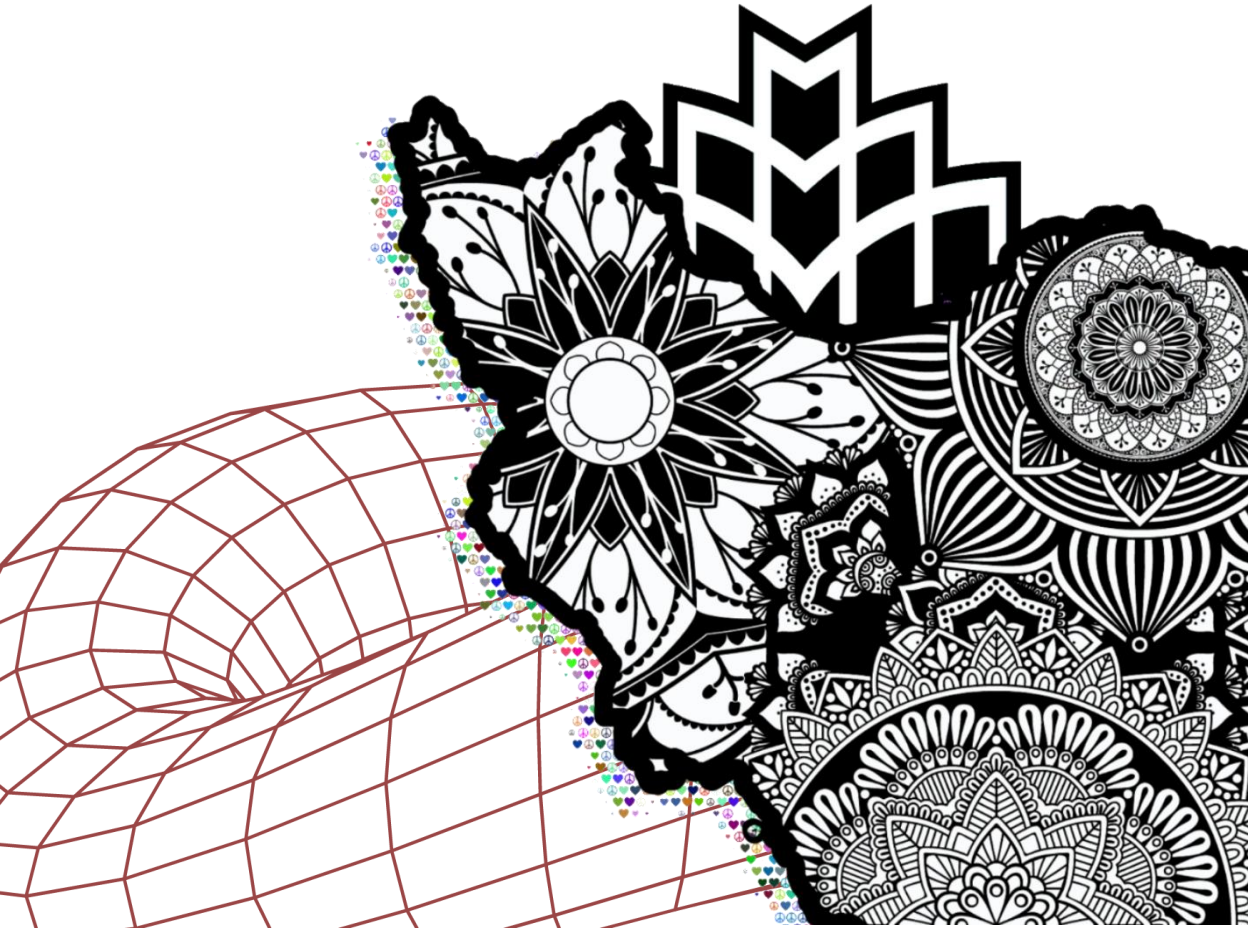
اگر به عقب برمی گشتید آیا باز هم انتخابتان همین بود؟ چه تغییراتی را ایجاد می‌کردید؟

بله. شاید یک موردی که بیشتر برایش وقت می‌گذاشتم بحث زبان باشد که بتوانم بیشتر مقاله بخوانم و ارتباط بگیرم. پیشنهاد می‌کنم از فضای لینکدین هم تا می‌توانید برای ارتباط گرفتن با افراد استفاده کنید. افرادی و شرکت هایی که قبلا دور از دسترس بنظر می‌رسیدند چه در داخل چه خارج الان در لینکدین در دسترس هستند و جواب هم می‌دهند.

سخنی، توصیه ای یا مطلبی دیگری اگر مدنظرتان هست بفرمایید.

چون خودم این دنیای متفاوت صنعت و دانشگاه را دیده‌ام از دانشگاه‌ها می‌خواهم سرفصل‌های درسی را به صنعت نزدیک‌تر کنند. در دانشگاه‌ها خیلی از مطالب پایه‌ای گفته می‌شود ولی لازم است سرفصل‌های عملی‌ای را که کاربردی‌تر هست را نیز اضافه کنند مثلا واحد کارآموزی را جدی‌تر بگیرند. می‌توانم بگویم که شرکت‌ها از این مورد استقبال می‌کنند.

ممنون از وقتی که در اختیار نشریه زمین پویا گذاشتید آرزوی بهترین ها را برای شما داریم.



سلام و احترام؛ **جناب آقای دکتر محمدعلی مکی‌زاده، استاد و عضو هیات علمی دانشگاه اصفهان** ممنون هستیم که اجازه دادید تجربیات گرانقدر شما را در اختیار دانشجویان علاقه مند به زمین‌شناسی و اشتغال در آن بگذاریم. لطفا خودتان را معرفی کنید.

من محمدعلی مکی زاده، متولد بمبی هند و بزرگ شده در یزد هستم. لیسانس و ارشد را در دانشگاه اصفهان و دکتری را در دانشگاه شهید بهشتی گذرانده‌ام. به صورت تخصصی در زمینه پترولوژی، کانی‌شناسی بخصوص کانی‌های کمیاب و گوهرسنگ‌های ایرانی و کمیاب کار فعالیت می‌کنم.

چرا زمین‌شناسی را انتخاب کردید؟

علاقه از بچگی به سنگ‌ها داشته‌ام. زمین‌شناسی تفت و سنگ های زاینده رود برایم جالب و سوال برانگیز بود. از کلاس پنجم (سال ۱۳۵۵) به گرانیت شیرکوه شناخت داشتم.

در حال حاضر در چه زمینه ای فعالیت دارید و دلیل انتخابتان چه بوده است؟ (منظور شغلتان هست.)

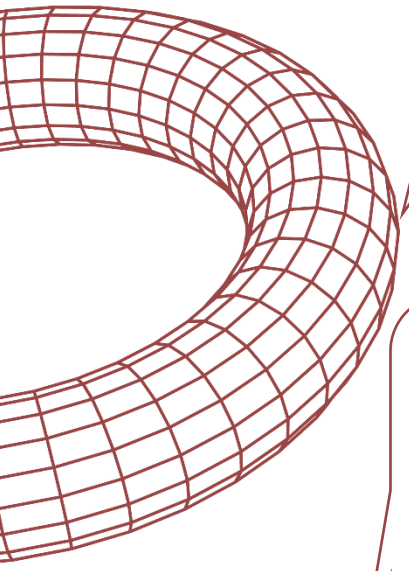
در حال حاضر فقط به صورت آکادمیک کار می‌کنم و پاسخگوی ارباب رجوع‌ها در زمینه شناخت سنگ ها و گوهر ها و شهاب سنگ‌ها هستم. به طور کلی خدمات آکادمیک به صنعت ارائه می‌دهم مانند مطالعات سنگ‌شناسی پروژه‌ی مترو اصفهان و... .

علت و نحوه ورود شما به کار در زمین شناسی چگونه بوده است؟

علاقه‌مند به سنگ‌ها بودم و بیشتر خودم را یک پژوهشگر می‌دانم. بنظرم با انتقال روحیه‌ی پژوهشگری می‌توان به صنعت و دانشگاه کمک کرد. همیشه به دانشجویانم می‌گویم که: **"هر سنگ یک کتاب است."**

مزایا و معایب این نوع اشتغال در زمین شناسی چیست؟

پژوهش زمان بر و تیمی است و همچنین صبر در پژوهش بسیار لازم هست اما در آخر کار بیلان کار مهم و شیرین است چون بالاخره به یک نتیجه‌ای می‌رسد.



آینده‌ی شغلی به نظر شما در این مدل شغل چگونه است؟

زمین‌شناسی همیشه کاربرد دارد. همه‌ی ساختمان‌ها نمودی از زمین‌شناسی هستند. دانشمندان در جهان در حال اکتشاف منظومه‌ی شمسی‌اند. آینده روشن هست. تا وقتی که نیاز به مواد معدنی هست، زمین‌شناسی جایگاه خودش را خواهد داشت.

شما این نوع اشتغال را به چه کسانی توصیه می‌کنید و به چه کسانی توصیه نمی‌کنید.

پژوهشگر بودن مستلزم به داشتن صبر و حوصله و روحیه‌ی کار تیمی است. نمی‌توان با عجله و عدم پشتکار به نتیجه رسید. باید بدانید که پژوهش یک کار زود بازده نیست.

چه مهارت‌هایی برای ورود به این نوع اشتغال لازم است؟

توانمندی کارهای میکروسکوپی، پتروگرافی، و کار با نرم‌افزارهای تخصصی

اگر به عقب بر می‌گشتید آیا باز هم انتخابتان همین بود؟ چه تغییراتی را ایجاد می‌کردید؟

همین راه را انتخاب می‌کردم. من اول شیمی خواندم و انصراف دادم و به زمین‌شناسی آمدم. هیچ تغییری در مسیرم نمی‌دهم.

سخنی، توصیه‌ای یا مطلبی دیگری اگر مدنظرتان هست بفرمایید.

زمین‌شناس موفق کسی است که همواره نگاهش به زمین باشد.

ممنون از وقتی که در اختیار نشریه زمین پویا گذاشتید آرزوی بهترین ها را برای شما داریم.

مبینا مهدی‌زاده
دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد آب زمین‌شناسی

مقالات

کاربرد سن‌سنجی U-Pb گارنت به روش LA-ICP-MS در مطالعه ذخایر اسکارنی

حامد ابراهیمی‌فرد*
دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی
hamedebrahimi772@gmail.com

چکیده

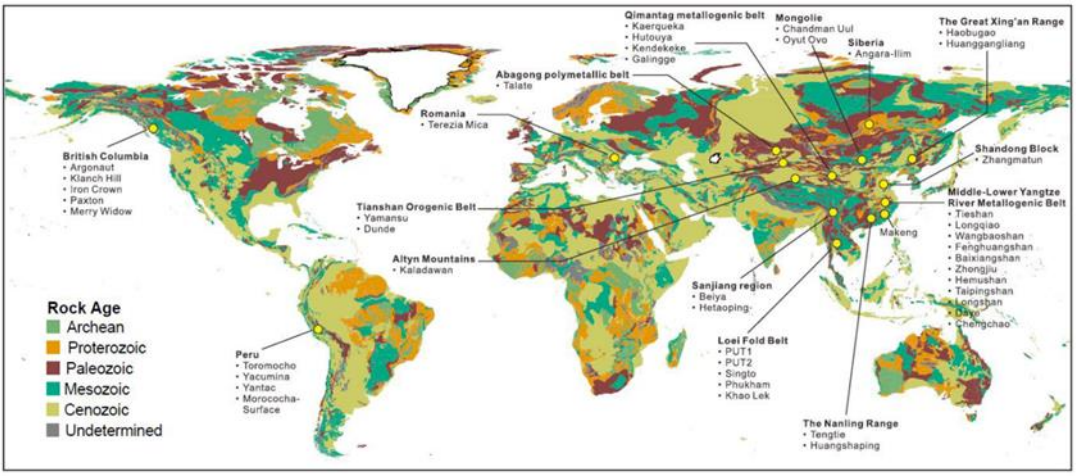
کانسارهای اسکارن را می‌توان به عنوان یکی از فراوان‌ترین و از نظر اقتصادی مهم‌ترین انواع کانسارها در جهان معرفی کرد. امروزه، گارنت به ابزار مهمی برای تجزیه و تحلیل زمان‌بندی و پیدایش سیستم‌های اسکارنی تبدیل شده است. گارنت، کلینوپیروکسن و مگنتیت معمولاً رایج‌ترین و مهم‌ترین کانی‌های موجود در سیستم‌های اسکارنی هستند. پیشرفت‌های اخیری که در سن‌سنجی U-Pb گارنت به روش LA-ICP-MS صورت گرفته است، این روش را به ابزاری بهتر و مطمئن‌تر از سن‌سنجی U-Pb زیرکن به روش SHRIMP در شناسایی نحوهٔ پیدایش اسکارن‌ها تبدیل کرده است. در تعدادی از سیستم‌های اسکارنی، تودهٔ مولد اسکارن‌زایی، به صورت چندفاز ماگمایی در پوستهٔ بالایی نفوذ و جایگزین شده است؛ انجام سن‌سنجی U-Pb گارنت به روش LA-ICP-MS به عنوان یک روش مؤثر و تاحدودی مطلق در تعیین توده‌های نفوذی مولد اسکارن‌زایی و کانه‌زایی همراه با آن، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابر این، سن‌سنجی U-Pb گارنت به روش LA-ICP-MS را می‌توان به عنوان یک ابزاری اکتشافی مهم در تعیین موقعیت زون‌های معدنی در کانسارهای اسکارنی معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: *کانسارهای اسکارن، سن‌سنجی U-Pb گارنت، روش LA-ICP-MS، پهنه‌بندی کانیایی، اکتشاف سیستم‌های اسکارنی.*

مقدمه

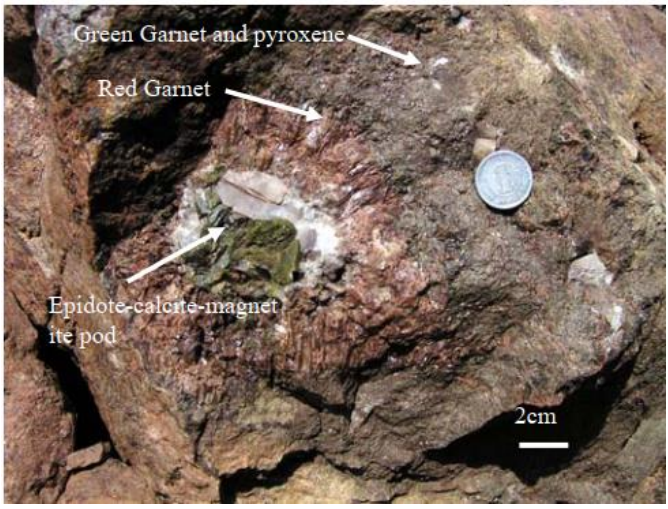
کانسارهای اسکارن یکی از فراوان‌ترین و از نظر اقتصادی مهم‌ترین انواع کانسارها در جهان هستند (Meinert et al., 2005). بر اساس فلزات اقتصادی غالب، هفت نوع عمده اسکارن از جمله اسکارن‌های Fe، Au، Cu، Zn، W، Mo و Sn شناسایی شده است (Meinert et al., 2005) (شکل۱). کانسارهای اسکارن آهن معمولاً با کانسنگ مگنتیتی عیار بالا (عیار کانسنگ که عمدتاً بین ۴۰ تا ۶۵ درصد وزنی آهن) مشخص می‌شوند (Meinert et al., 2005). کانسارهای اسکارنی از نظر ژنتیکی ارتباط نزدیکی با نفوذی‌های ماگمایی دارند. آنها به صورت سیالات گرمابی آزادشده در پایان تبلور ماگمایی تشکیل می‌شوند و از طریق فرآیند متاسوماتیسم با سنگ‌های دربرگیرندهٔ کربناته برهمکنش می‌کنند (Meinert et al., 2005). رخدادهای اسکارنی و کانسارهای اسکارنی اغلب در نتیجهٔ فرآیند متاسوماتیسم در واحدهای کربناتی در تماس با توده‌های نفوذی تشکیل می‌شوند

(Meinert et al., 2003). معمولاً اسکارن‌ها توسط رخداد متاسوماتیسم پیشرونده و پسرونده و نیز بر اساس نهشت مجزای کانی‌های کالک‌سیلیکاتی شناسایی می‌شوند: الف) اسکارن پیشرونده (گارنت و پیروکسن) و ب) اسکارن پسرونده (اپیدوت، کلریت و آمفیبول). بررسی میانبارهای سیال و ایزوتوپ-های پایدار در کانسارهای اسکارنی نشان داده است که اغلب سیالات ماگمایی دارای درجهٔ حرارت (۴۰۰ تا ۶۰۰ درجهٔ سانتیگراد) و شوری بالا (۱۰ تا ۶۰ درصد وزنی معادل نمک طعام)، خاستگاه شکل‌گیری رخدادهای اسکارنی هستند (e.g., Meinert et al., 2003; Baker et al., 2004; Pan et al., 2020).



شکل ۱. توزیع کانسارهای اسکارنی در جهان (Meinert et al., 2005).

کانی‌های تشکیل‌دهندهٔ سیستم‌های اسکارنی، گستره‌ای از تنوعات ترکیبی را نشان می‌دهند (شکل ۲). این تنوعات، اطلاعات مهمی را در خصوص محیط‌های تشکیل‌دهندهٔ اسکارن، مانند ترکیبات سنگ‌های آذرین اولیه، عمق تشکیل سیستم اسکارنی، فوگاسیتهٔ اکسیژن و نوع اسکارن نشان می‌دهند (e.g., Meinert et al., 2005; Zuo et al., 2015). گارنت، کلینوپیروکسن و مگنتیت معمولاً رایج‌ترین و مهم‌ترین کانی‌های موجود در اسکارن هستند (e.g., Zhao and Zhou, 2015; Xu et al., 2016). ترکیب شیمیایی گارنت و پیروکسن به منظور حل مسائل مختلف زمین‌شناسی، از جمله درک شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانی‌های اسکارن و سنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chakraborty and Ganguly, 1991).



شکل ۲. الگوی پهنه‌بندی کانی‌های اسکارنی. اسکارن پیشرونده (شامل گارنت- کلینوپیروکسن) و اسکارن پسرونده (شامل اپیدوت- کلسیت- مگنتیت).

امروزه، گارنت به ابزار مهمی برای تجزیه و تحلیل زمان‌بندی و پیدایش سیستم‌های اسکارنی تبدیل شده است (e.g., Deng et al., 2015). با پیشرفت‌هایی که اخیراً در سن‌سنجی U-Pb گارنت صورت گرفته است (e.g., Zhang et al., 2020)، این روش حتی بهتر از سن‌سنجی زیرکن موجود در محیط دگرگونی (Chen, 2002) در شناسایی نحوهٔ پیدایش اسکارن‌ها کاربرد دارد. اخیراً، دو روش اصلی کالیبراسیون، که به ترتیب از کانی‌های زیرکن و گراندیت (محلول جامد گروسولار- آندرادیت) به عنوان استاندارد اولیه استفاده می‌کنند. از این روش‌ها، جهت کالیبره کردن داده‌های حاصل از سن‌سنجی U-Pb گارنت استفاده می‌شود (e.g., Wafforn et al., 2018; Zhang et al., 2020). به دلیل محتوای پایین اورانیوم موجود در گارنت (کمتر از 10 ppm) و برای جلوگیری از تفکیک ایزوتوپی، قطرهای بزرگ (بیش از 44 میکرون) پرتو لیزر در سن‌سنجی گارنت تقریباً در تمام مطالعات استفاده می‌شود (e.g., Wafforn et al., 2018; Zhang et al., 2020).

وافورن و همکاران (Wafforn et al., 2018) استفاده از گراندیت و زیرکن را به‌عنوان یک استاندارد اولیه در همپوشانی خطاهای رخداده در سن‌سنجی گارنت تأیید کرد. با این حال، یک اثر زمینهٔ آشکار بین گارنت گراندیتی و زیرکن مشاهده می‌شود (Yang et al., 2018). علاوه بر این، بر اساس یک رابطه نسبی زمانی و فضایی، اسکارن‌زایی در امتداد زون تماس بین سنگ‌آهک و تودهٔ نفوذی برقرار است (e.g., Deng et al., 2017; Xiang et al., 2020). با این حال، شناسایی

دقیق اینکه کدام تودهٔ نفوذی دارای رابطهٔ ژنتیکی با اسکارن‌زایی در محیط توده‌های نفوذی مرکب یا چندفازی است، به دلیل عدم انجام سن‌سنجی دقیق و داده‌های ایزوتوپی یا ژئوشیمیایی قابل اعتماد، هنوز دشوار است. زیرا، اسکارن‌زایی ممکن است در امتداد زون تماس بین دو یا چند تودهٔ نفوذی رخ دهد (e.g., Zhu et al., 2017)، و شاید با تودهٔ نفوذی دیگری که در دوردست قرار دارد، رابطه ژنتیکی داشته باشد (e.g., distal skarn deposit, Meinert, 1992).

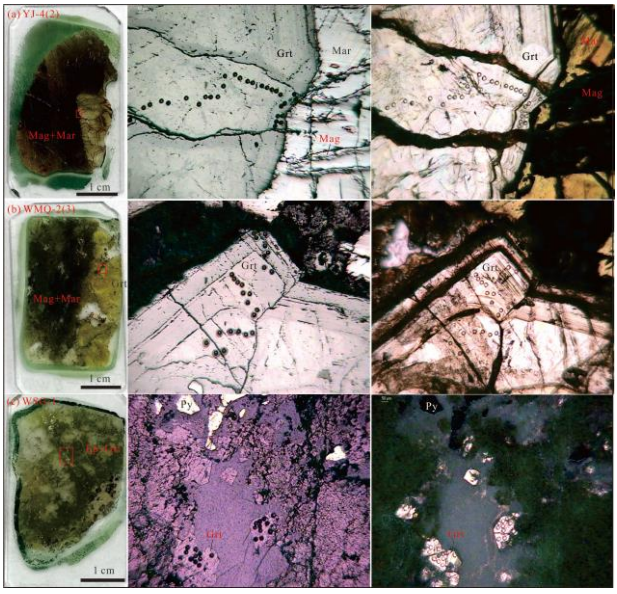
رابطه ژنتیکی بین تشکیل کانسارهای اسکارنی و چندین تودهٔ نفوذی مرتبط با آنها، هنوز نامشخص است. با توجه به این که در برخی از ذخایر اسکارنی، تودهٔ مولد اسکارن‌زایی، به صورت چندفاز ماگمایی در پوستهٔ بالایی نفوذ و جایگزین شده است؛ بنابر این، انجام سن‌سنجی U-Pb گارنت به روش LA-ICP-MS را می‌توان به عنوان یک روش مؤثر و تاحدودی مطلق در ارزیابی این که کدام یک از توده‌های نفوذی مولد در ایجاد اسکارن‌زایی و کانه‌زایی همراه با آن دخالت داشته، مورد استفاده قرار داد.

تئوری سن‌سنجی U-Pb گارنت به روش LA-ICP-MS

در این روش به منظور اماده‌سازی نمونه برای سن‌سنجی، ابتدا دانه‌های گارنت را در پایه‌های اپوکسی حدود ۱ سانتی‌متری ریخته‌شده و صیقل داده می‌شوند. بلورهای گارنت در مقاطع نازک صیقلی تهیه‌شده از کانسنگ اسکارنی مورد مطالعه قرار می‌گیرند (شکل ۳). تمام گارنت‌ها، به دقت مورد بررسی نوری قرار می‌گیرند تا بافت داخلی آنها و همچنین وجود میانبارهای سیال و کانی در آن‌ها شناسایی شود. جهت انجام سن‌سنجی U-Pb، نمونه‌ها با استفاده از یک لیزر اکسایمر (excimer) 193 ArF نانومتری (CompexPro 102F, Coherent) همراه با یک میدان بخش Thermo Scientific Element XR ICP-MS تفکیک می‌شوند. قبل از انجام تجزیه، قدرت سیگنال در ICP-MS برای حداکثر حساسیت تنظیم می‌شود.

هر تجزیه شامل ۲۰ ثانیه اکتساب بک‌گراند و به دنبال آن برداشتن نمونه تقریباً ۳۰ ثانیه است. رانش‌های وابسته به زمان نسبت‌های ایزوتوپی U-Pb با روش براکتینگ نمونه استاندارد تصحیح می‌شود. یک نمونه بلور گارنت و یک نمونه بلور زیرکن از سیستم مورد مطالعه را به عنوان مواد استاندارد اولیه دو بار برای هر ۱۰ تجزیهٔ نمونه آزمایش‌شده، مورد تجزیه قرار می‌دهند. پس از انجام تجزیه با استفاده از استانداردهای اولیهٔ ذکرشده، بر روی نمونه‌های گارنت، یک استاندارد دیگری به عنوان استاندارد ثانویه به منظور سنجش دقت و صحت نتایج سن‌سنجی U-Pb مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای از بین بردن آلودگی رایج سرب از سطح نمونه، ۵ تا ۸ پالس قبل از فرساب در هر تجزیه انجام می‌شود. به منظور جلوگیری از اثر مشترک بالای سرب از ترکیبات سیال و معدنی (به عنوان مثال، آپاتیت)، فقط سیگنال‌های صاف ذخیره می شوند. داده‌های جمع‌آوری‌شده از ICP-MS با استفاده از نرم‌افزار ICPMSDataCal برای کالیبراسیون، تصحیح بک‌گراند و شناورسازی سیگنال یکپارچه‌ساز، به‌صورت آفلاین پردازش می‌شوند (Liu et al., 2010). به منظور کاهش و

یا حتی حذف اثرات تفکیکی حاصل از حفرات، تنها حدود ۲۵ ثانیه اول (برای ۳۲ میکرون) یا کمتر (برای ۲۴ تا ۱۶ میکرون) داده‌های فرساب (به استثنای شروع حدود ۲ ثانیه) در محاسبات سن‌سنجی گارنت استفاده می‌شود (شکل ۴).



شکل ۳. بلورهای گارنت در مقاطع نازک به منظور سن‌سنجی LA-SF-ICP-MS U-Pb. a) مجموعه کانیایی مارتیت-مگنتیت-گارنت، گارنت هدف با یک هسته اصلی و حاشیهٔ نوسانی (حدود ۳۰۰ میکرون پهنا) مشخص می‌شود، بدون حضور میانبار (نور انعکاسی و عبوری)؛ b) مجموعه کانیایی مارتیت-مگنتیت-گارنت، گارنت هدف دارای یک هسته اصلی و حاشیهٔ نوسانی دارای پهنای حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ میکرون است (نور انعکاسی و عبوری)؛ c) مجموعه کانیایی با اپیدوت اصلی، گارنت، پیریت، گالن و اسفالریت، چندین گارنت هدف، که همچنین دارای یک هسته و حاشیهٔ نوسانی هستند و اندازه‌های نسبتاً کوچک‌تری دارند (از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرون) با بافت باقیمانده (نور انعکاسی و عبوری).

شکل ۴. تصاویری از محیط انجام آنالیز به همراه تصویر شماتیک از نحوه عملکرد دستگاه اسپکترومتر و گرفتن خروجی سن‌سنجی U-Pb به روش LA-ICP-MS بر روی بلورهای گارنت.

بحث

در بسیاری از موارد، به دلیل فقدان کانی مناسب جهت سن‌سنجی، زمان تشکیل اسکارن و کانسنگ مربوطه را نمی‌توان به طور مستقیم شناسایی کرد و تنها به سن تبلور توده‌های نفوذی فرضی یا دایک‌های تأخیری اشاره کرد (Gevedon et al., 2018). در حالی که در موارد دیگر، به دلیل عدم وجود توده‌های نفوذی مرتبط در منطقه معدنکاری، سن تشکیل کانسنگ و پیدایش کانسار بحث‌های زیادی را ایجاد کرده است (Fang et al., 2018). علاوه بر این، در مقیاس معدنی، به سختی می‌توان نرخ رشد و تاریخچه کانی‌های اسکارنی را تعیین کرد، نیازی به گفتن طول مدت و طول عمر فرآیند کانی‌سازی گرمابی- اسکارنی نیست (e.g., Meinert et al., 2005). گارنت، به ویژه گراندیت (گروسولار ($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$) تا آندرادیت ($Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$))، در همه انواع سیستم‌های اسکارنی شناسایی شده است (Deng et al., 2017). در حال حاضر، میانبارهای مذاب/سیال، ایزوتوپ اکسیژن پایدار و عناصر کمیاب گارنت به طور گسترده‌ای برای بازسازی تکامل P-T رخداد اسکارن‌زایی و کانی‌سازی مرتبط، مورد استفاده قرار گرفته‌اند (e.g., Meinert et al., 2003; Gaspar et al., 2008). از نظر ژئوکرونولوژی، برخلاف دگرگونی درجهٔ بالا، روش‌های سن‌سنجی ایزوتوپی Lu-Hf و Sm-Nd به ندرت در سیستم‌های اسکارن استفاده می‌شوند، زیرا به ترتیب مقادیر Lu و Hf معمولاً پایین و نسبت‌های ایزوتوپی Nd اولیه متغیر است (Gaspar et al., 2008; Zhang et al., 2018b). با این وجود، گارنت دارای

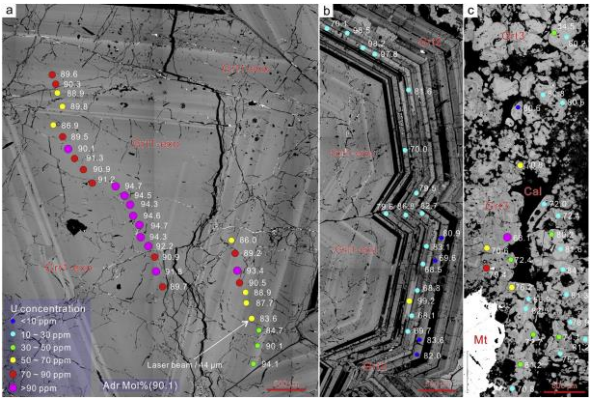
پایداری وسیع P-T، مقاومت در برابر هوا و تغییرات، و دمای بسته‌شدن بالا برای سیستم ایزوتوپی U-Pb است (N850 درجه سانتیگراد؛ Mezger et al., 1989) که آن را به یک ژئوکرونومتر بالقوه مناسب تبدیل می‌کند (Burton et al., 1995). با این حال، به دلیل محتوای پایین U و تداخل کانی‌ها، سن‌سنجی ایزوتوپی U-Pb گارنت، مدت‌هاست که توسط طیف‌سنجی جرمی یونیزاسیون رقیق‌سازی-حرارتی ایزوتوپی سنتی (ID-TIMS) کنار گذاشته شده است (Salnikova et al., 2018). لیما و همکاران (Lima et al., 2012) سن U-Pb 318.36 ± 0.32 Ma) به روش ID-TIMS از میانبارهای اورانیتیت موجود در گارنت را در یک رگهٔ پگماتیتی در Évora، پرتغال به دست آورد. اما متأسفانه این سن‌سنجی U-Pb نمی‌توانست به طور مستقیم، سن تشکیل گارنت را نشان دهد. اخیراً، با بهره‌گیری از توسعه طیف‌سنجی جرمی جفتیدهٔ القایی با فرساب لیزری (LA-ICP-MS)، چندین سن‌سنجی ایزوتوپی U-Pb گارنت برای انواع مختلف کانسارهای اسکارنی گزارش شده است (e.g., Deng et al., 2017). اما بیشتر آنها تحت‌تأثیر محتوای بالای سرب رایج قرار گرفتند و نتوانستند سن‌های منطبق دقیق U-Pb را تنها با سن‌های رهگیری پایین‌تر $^{206}Pb/^{238}U$ Tera-Wasserburg و سنین U-Pb تصحیح شده با ^{207}Pb بدست آورند (e.g., Wafforn et al., 2018; Zhang et al., 2018b). در نهایت، سنین ایزوتوپی U-Pb به روش LA-ICP-MS (شامل سن‌های کنکوردیا و سن‌های رهگیری پایین‌تر) و داده‌های عناصر اصلی و کمیاب برای گارنت‌های گراندیتی چند نسلی از برخی کانسارهای بزرگ اسکارنی ارائه شد که زمان و مدت فرآیند اسکارن‌زایی و کانی‌سازی مرتبط با آن در یک کانسار اسکارنی مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۶).

تمرکز U در گارنت گراندیتی

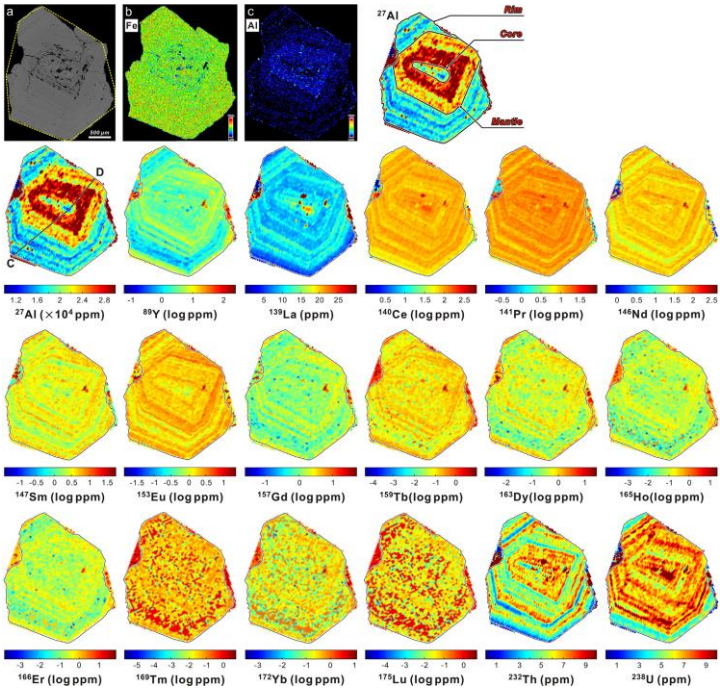
غلظت کافی U و مقادیر ناچیز Pb مشترک در شبکه بلوری کانی‌ها، شرایط لازم را برای سن‌سنجی ایزوتوپی U-Pb فراهم می‌کند (Deng et al., 2017). کانی‌های غنی از اورانیوم، مانند زیرکن، مونازیت، اورانینیت و آلانیت، اغلب جانشین گارنت می‌شوند و می‌توانند به شدت بر نتایج سن‌سنجی مستقیم U-Pb گارنت تأثیر بگذارند (Lima et al., 2012). با این حال، اخیراً چندین گارنت گراندیتی انتشاریافته در سیستمهای اسکارنی، فاقد این پدیده هستند (Deng et al., 2017; Gevedon et al., 2018). در یک مطالعهٔ موردی انجام شده در کانسار اسکارن Cu-Fe-Au تونگلوشان در کشور چین، گارنت گراندیتی دارای تغییرات زیادی از U (131-4 ppm) است. در تصاویر BSE، تنها چند ترک ریز و هماتیت پرشده در Grt1 و Grt2 مشاهده می شود. در حالی که در Grt3، میانبارهای جزئی مگنتیت و دیوپسید، به جای میانبارهای کانیایی غنی از U رخ داده‌اند (شکل ۵)، که نشان می‌دهد احتمالاً U در داخل شبکه گارنت گرانیت به دام افتاده است. علاوه بر این، سیگنال‌های شناسایی‌شده با زمان Si، U، Th، Pb و LREEs در طول

فرسایش صاف و پایدار هستند. تمرکز U در گارنت عمدتاً توسط: (۱) جانشینی کاتیونهای دو ظرفیتی (Ca^{2+}، Mg^{2+}، Mn^{2+} یا Fe^{2+}) در موقعیت دوازده‌وجهی کنترل می‌شود؛ (۲) جانشینی REE، به ویژه HREE در محل هماهنگی هشت برابری با شعاع یونی مشابه، و (۳) جذب سطحی در طول رشد بلور کنترل می‌شود (e.g., Gaspar et al., 2008). بر اساس شعاع یونی مشابه و تعادل بار ($[U4+]^{VIII} + 2[Fe^{3+}, Al^{3+}]^{IV} - [Ca^{2+}]^{VIII} + 2\ [Si^{4+}]^{IV}$) (Gaspar et al., 2008)، ادغام U در گارنت گراندیتی موجود در سیستم‌های اسکارنی، احتمالاً به جانشینی جفت‌شده Ca^{2+} در موقعیت دوازده وجهی بستگی دارد و جانشینی Mg^{2+}، Mn^{2+} و Fe^{2+} به دلیل محتوای پایین و همبستگی ضعیف با U در گارنت های گراندیتی، ناچیز است (شکل‌های ۷).

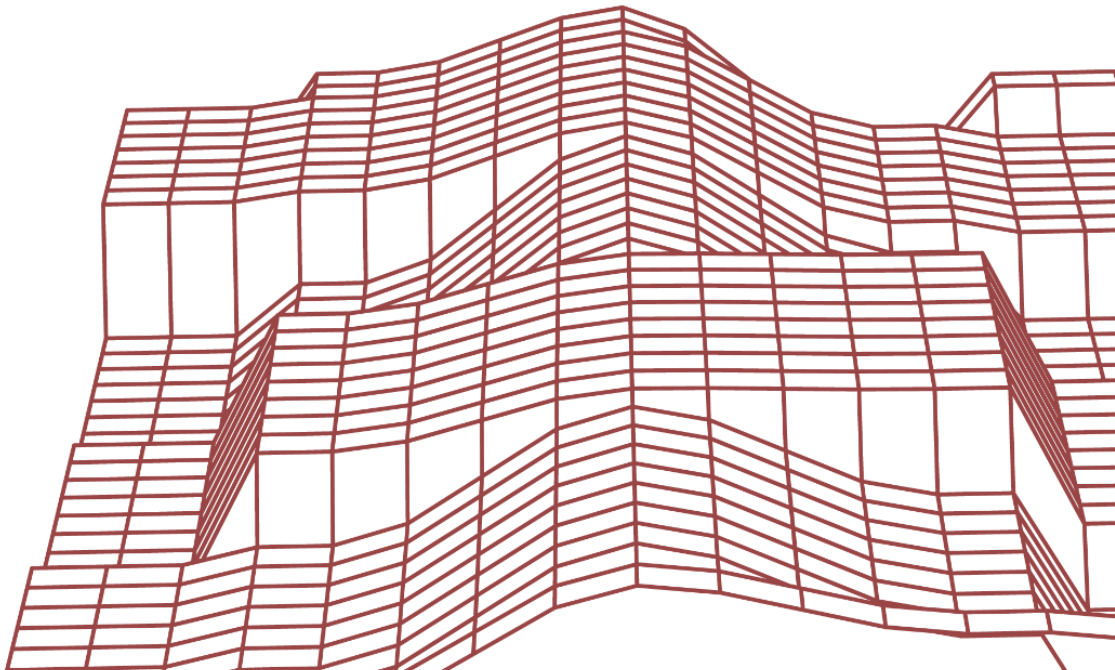
به طور کلی، استدلال‌های شیمیایی بلور نشان می‌دهد که U^{4+} صرفاً برای مکان‌های دوازده‌وجهی متناسب است، در حالی که U^{6+} مکان‌های هشت‌وجهی را اشغال می‌کند. در مورد U^{5+} در سایت‌های هشت وجهی، بر اساس اولین محاسبه اصلی، باید الکترون اضافی خود را به چهار وجهی همسایه Fe^{3+} منتقل کند (Guo et al., 2016). بنابراین، سایت هشت‌وجهی ممکن است برای ترکیب U با حالت‌های اکسیداسیون بالاتر، انعطاف پذیرتر باشد (Guo et al., 2016). در مقایسه با سیستم ماگمایی-گرمابی احیایی، سنگ‌ها و اسکارن‌های ماگمایی اکسیدان بالاتر، ممکن است U را به گارنت گراندیتی غنی کنند، مانند دیوریت ارتسبرگ و ذخایر اسکارن بزرگ Cu-Au گوسان (اندونزی) با غلظت U تا 200 ppm موجود در گارنت گراندیتی (Wafforn et al., 2018).

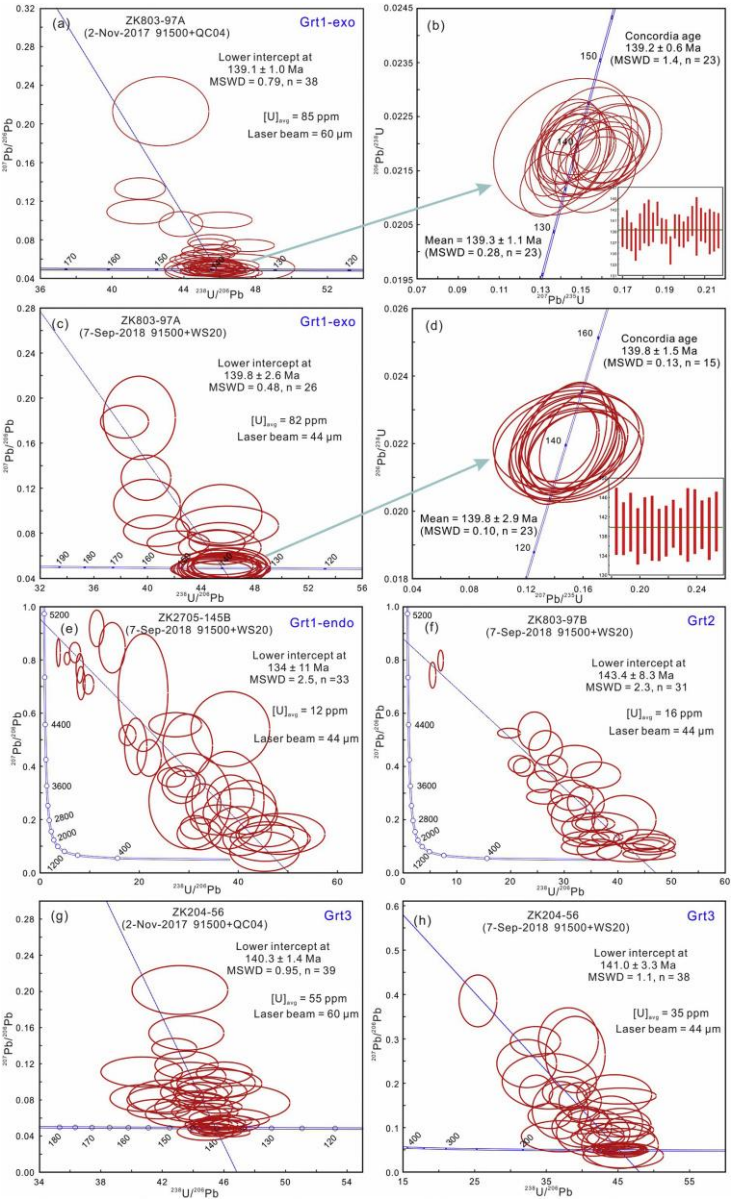


شکل ۵ . تصاویر میکروگراف الکترون پراکنده ترکیبی (BSE) که محل لکه‌های پرتو لیزر را بر روی بخش نازک صیقلی حاوی گارنت نشان می دهد. هر نقطه بر اساس غلظت U اندازه گیری شده و درصد مولی آندرادیت مربوطه کدگذاری رنگ می‌شود.



شکل ۶ . نقشه‌برداری اشعه ایکس طیف‌سنج پراکنده طول موج و نقشه‌برداری LA-ICP-MS از عناصر اصلی و کمیاب درون گارنت.

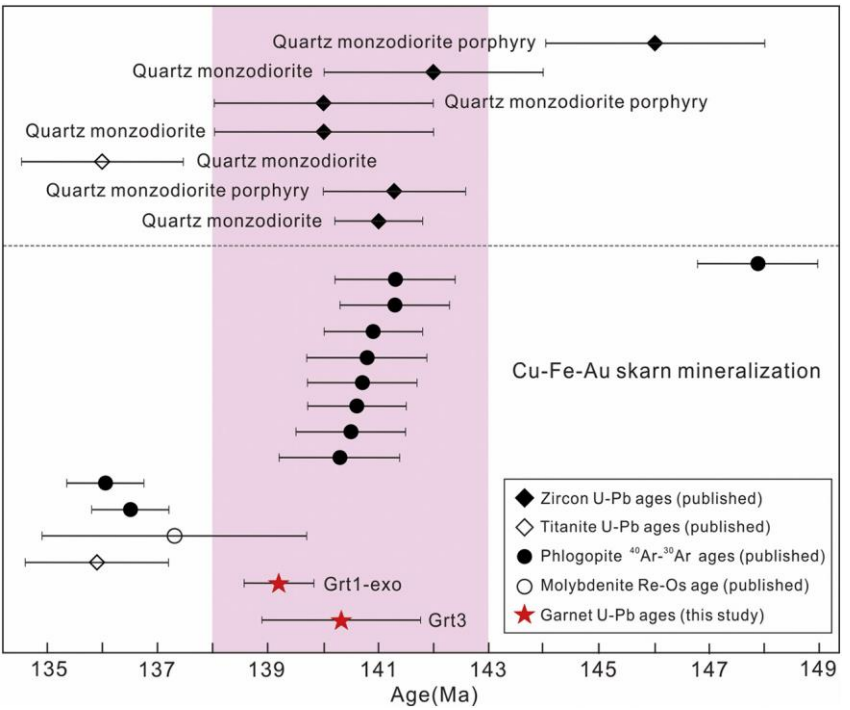




شکل ۷ . نمودارهای U-Pb گارنت Concordia Tera-Wasserburg و $^{207}Pb/^{235}U$-$^{206}Pb/^{238}U$ و سن میانگین وزنی $^{206}Pb/^{238}U$ برای نسل‌های مختلف گارنت.

ارزیابی اثر زمینه

درجات مختلف اثر زمینه اغلب در کانی‌های مختلف در طول تجزیه‌های ایزوتوپی U-Pb به روش LA-ICP-MS رخ می‌دهد (e.g.,Liu et al., 2011). به منظور اجتناب از اثر زمینه، اغلب از همان نوع کانی‌ها به عنوان کانی‌های استاندارد استفاده می‌شود. اما برای برخی از کانی‌های دارای مقادیر پایین اورانیوم، بدون استانداردهای مناسب، مانند زنوتایم، گارنت و آپاتیت و غیره، سایر کانی‌های مناسب (مانند زیرکن) را می‌توان انتخاب کرد (Deng et al., 2017). در برخی موارد، چگالی زیاد انرژی لیزر دقت را کاهش می‌دهد، زیرا چگالی انرژی لیزر بالاتر می‌تواند اندازه ذرات آئروسل بزرگتر را تولید کند، که برای انتقال ذرات آئروسل و یونیزاسیون ذرات در روش ICP مضر است (Liu et al., 2011). به منظور اجتناب از خطاهای بزرگ، مشابه سن‌سنجی زیرکن U-Pb، در این مطالعه، از چگالی انرژی لیزر نسبتاً کمتر 5 J/cm^2 استفاده می‌کنیم. برای کانی‌های کم U، در بیشتر موارد، اندازه نقطه بزرگ‌تر مقادیر بالاتری از CPS (شمارش در هر ثانیه) و دقت بهتری را به دست می‌آورد (Wafforn et al., 2018). اما در مورد دیگر، سن U-Pb بدست آمده توسط LA-ICP-MS به تدریج با افزایش اندازه نقطه پرتو کاهش می‌یابد (Liu et al., 2011). در نهایت، با استفاده از سن‌سنجی U-Pb زیرکن موجود در توده‌های نفوذی مولد اسکارن‌زایی و نیز بررسی ترکیب شیمیایی این کانی به روش LA-ICP-MS و مقایسه نتایج آن با نتایج حاصل از سن‌سنجی U-Pb گارنت به روش LA-ICP-MS می‌توان تخمین نسبتاً دقیقی از زمان استقرار و تبلور ماگما با ایجاد اسکارن‌زایی و کانه‌زایی وابسته به آن را ارائه نمود (شکل ۸).



شکل ۸ . طیف سنی شامل سن بدست آمده از تودهٔ نفوذی مولد اسکارن‌زایی و سن اسکارن‌زایی.

نتیجه‌گیری

در تعدادی از سیستم‌های اسکارنی، تودهٔ مولد اسکارن‌زایی، به صورت چندفاز ماگمایی در پوستهٔ بالایی نفوذ و جایگزین شده است؛ انجام سن‌سنجی U-Pb گارنت به روش LA-ICP-MS به عنوان یک روش مؤثر و تاحدودی مطلق در تعیین توده‌های نفوذی مولد اسکارن‌زایی و کلنه‌زایی همراه با آن، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابر این، سن‌سنجی U-Pb گارنت به روش LA-ICP-MS را می‌توان به عنوان یک ابزاری اکتشافی مهم در تعیین موقعیت زون‌های معدنی در کانسارهای اسکارنی معرفی کرد.

مراجع

1. Baker, T., Van Achterberg, E., Ryan, C. G. and Lang, J. R., 2004. Composition and evolution of ore fluids in a magmatic-hydrothermal skarn deposit. Geology, 32(2): 117-120.

2. Chakraborty, S. and Ganguly, J., 1991. Compositional zoning and cation diffusion in garnets. In Diffusion, atomic ordering, and mass transport: selected topics in geochemistry (pp. 120-175). New York, NY: Springer US.
3. Deng, J., Wang, Q., Li, G., Hou, Z., Jiang, C. and Danyushevsky, L., 2015. Geology and genesis of the giant Beiya porphyry–skarn gold deposit, northwestern Yangtze Block, China. Ore Geology Reviews, 70: 457-485.
4. Deng, X.D., Li, J.W., Luo, T. and Wang, H.Q., 2017. Dating magmatic and hydrothermal processes using andradite-rich garnet U-Pb geochronometry. Contributions to Mineralogy and Petrology, 172: 71.
5. Fang, J., Zhang, L., Chen, H., Zheng, Y., Li, D., Wang, C. and Shen, D., 2018. Genesis of the Weibao banded skarn Pb-Zn deposit, Qimantagh, Xinjiang: Insights from skarn mineralogy and muscovite 40Ar-39Ar dating. Ore Geology Reviews 100: 483–503.
6. Gaspar, M., Knaack, C., Meinert, L.D. and Moretti, R., 2008. REE in skarn systems: an LA-ICP-MS study of garnets from the Crown Jewel gold deposit. Geochimica et Cosmochimica Acta 72: 185–205.
7. Gevedon, M.L., Seman, S., Barnes, J.D., Lackey, J.S., Stockli, D.F., 2018. Unraveling histories of hydrothermal systems via U-Pb laser ablation dating of skarn garnet. Earth Planet. Sci. Lett. 498: 237–246.
8. Guo, X., Navrotsky, A., Kukkadapu, R.K., Engelhard, M.H., Lanzirotti, A., Newville, M., Ilton, E.S., Sutton, S.R. and Xu, H., 2016. Structure and thermodynamics of uranium-containing iron garnets. Geochimica et Cosmochimica Acta 189: 269–281.
9. Lima, S.M., Corfu, F., Neiva, A.M.R. and Ramos, J.M.F., 2012. U-Pb ID-TIMS dating applied to Urich inclusions in garnet. American Mineralogist 97: 800–806.
10. Liu, Y., Hu, Z., Zong, K., Gao, C., Gao, S., Xu, J. and Chen, H., 2010. Reappraisement and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. Chinese Science Bulletin, 55, 1535-1546.
11. Liu, Z., Wu, F., Guo, C., Zhao, Z., Yang, J. and Sun, J., 2011. In situ U-Pb dating of xenotime by laser ablation (LA)-ICP-MS. Chinese Science Bulletin 56: 2948–2956.
12. Meinert, L. D., 1992. Skarns and skarn deposits. Geoscience Canada.
13. Meinert, L. D., Hedenquist, J. W., Satoh, H. and Matsuhisa, Y., 2003. Formation of anhydrous and hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluids. Economic Geology, 98(1): 147-156.
14. Meinert, L.D., Dipple, G.M. and Nicolescu, S., 2005. World skarn deposits. Economic Geology, 100th Anniversary Volume, 299–336.
15. Mezger, K., Hanson, G.N. and Bohlen, S.R., 1989. U-Pb systematics of garnet: dating the growth of garnet in the late Archean Pikwitonei granulite domain at Cauchon and Natawahunan Lakes, Manitoba, Canada. Contributions to Mineralogy and Petrology,101: 136–148.
16. Pan, X. F., Hou, Z. Q., Zhao, M., Li, Y., Ouyang, Y. P., Wei, J. and Yang, Y. S., 2020. Fluid inclusion and stable isotope constraints on the genesis of

the world-class Zhuxi W (Cu) skarn deposit in South China—journal of Asian Earth Sciences, 190: 104192.

17. Salnikova, E.B., Stifeeva, M.V., Chakhmouradian, A.R., Glebovitsky, V.A. and Reguir, E.P., 2018. The U-Pb System in Schorlomite from Calcite-Amphobole-Pyroxene Pegmatite of the Afrikanda Complex (Kola Peninsula). Doklady Earth Sciences 478: 443–446.
18. Wafforn, S., Seman, S., Kyle, J. R., Stockli, D., Leys, C., Sonbait, D. and Cloos, M., 2018. Andradite garnet U-Pb geochronology of the Big Gossan skarn, Ertsberg-Grasberg mining district, Indonesia. Economic Geology, 113(3): 769-778.
19. Xiang, A., Li, W., Li, G., Dai, Z., Yu, H. and Yang, F., 2020. Mineralogy, isotope geochemistry, and ore genesis of the Miocene Cuonadong leucogranite-related Be-W-Sn skarn deposit in Southern Tibet—Journal of Asian Earth Sciences, 196: 104358.
20. Xu, J., Ciobanu, C. L., Cook, N. J., Zheng, Y., Sun, X. and Wade, B. P., 2016. Skarn formation and trace elements in garnet and associated minerals from Zhibula copper deposit, Gangdese Belt, southern Tibet. Lithos, 262, 213-231.
21. Yang, L. Q., He, W. Y., Gao, X., Xie, S. X. and Yang, Z., 2018. Mesozoic multiple magmatism and porphyry–skarn Cu–polymetallic systems of the Yidun Terrane, Eastern Tethys: Implications for subduction-and transtension-related metallogeny. Gondwana Research, 62: 144-162.
22. Zhang, J. Q., Yan, L. N., Santosh, M., Li, S. R., Lu, J., Wang, D. X. and Li, Y. Q., 2020. Tracing the genesis of skarn-type iron deposit in central North China Craton: Insights from mineral zoning textures in ore-forming intrusion. Geological Journal, 55(9): 6280-6295.
23. Zhang, Y., Shao, Y.J., Zhang, R.Q., Li, D.F., Liu, Z.F. and Chen, H.Y., 2018b. Dating ore deposit using Garnet U-Pb geochronology: an example from the Xinqiao Cu-S-Fe-Au Deposit, Eastern China. Minerals 8, 1–19.
24. Zhao, W. W. and Zhou, M. F., 2015. In-situ LA–ICP-MS trace elemental analyses of magnetite: The Mesozoic Tengtie skarn Fe deposit in the Nanling Range, South China. Ore Geology Reviews, 65: 872-883.
25. Zhu, Q., Xie, G., Mao, J., Hou, K., Sun, J. and Jiang, Z., 2017. Formation of the Jinshandian Fe skarn ore field in the Edong district, Eastern China: Constraints from U–Pb and 40Ar/39Ar geochronology. Ore Geology Reviews, 86: 1-20.
26. Zuo, P., Liu, X., Hao, J., Wang, Y., Zhao, R. and Ge, S., 2015. Chemical compositions of garnet and clinopyroxene and their genetic significances in Yemaquan skarn iron–copper–zinc deposit, Qimantagh, eastern Kunlun. Journal of Geochemical Exploration, 158: 143-154.

توزیع زمین‌ساختی کانسارهای مس چینه‌سان با میزبان رسوبی در ایران

علی رجب‌زاده *
دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی
a.rajabzadeh72@gmail.com

چکیده

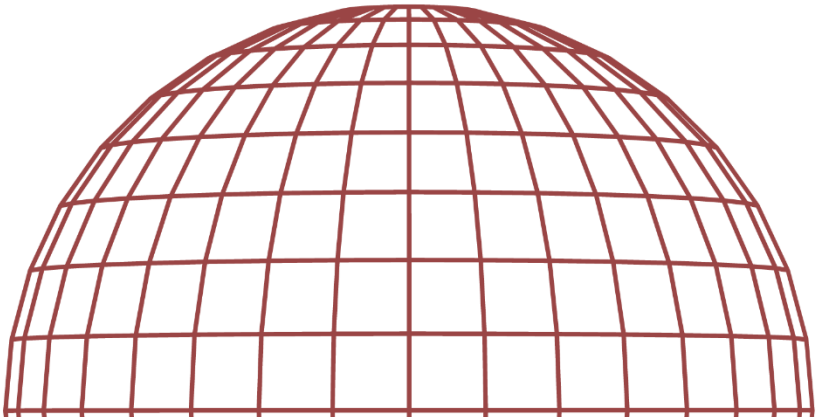
حوضه‌های توسعه‌ای که از مراحل شکاف قاره‌ای و گسترش پس از برخورد عبور کرده اند، محیط زمین ساختی صفحه اصلی برای نهشته‌های نوع SSC ایران هستند. کانسارهای مختلف از نوع SSC در محیط‌های زمین‌شناسی مختلف ایران شناسایی شده‌اند و توالی سنگ میزبان آن‌ها از کامبرین اولیه/ اردویزین تا میوسن پسین/ پلیوسن متغیر است. همه نهشته‌های نوع SSC در توالی‌های سنگ‌های رسوبی آواری ژوراسیک و الیگوسن-میوسن قرار داند به ترتیب در شکاف‌های قاره‌ای و جایگاه‌های گسترش پس از برخورد تشکیل شده‌اند که در طی فرورانش پوسته نئوتتیس در زیر صفحه ایران ایجاد شده‌اند. این نوع ذخایر را براساس پراکندگی رخدادهای معدنی به ۵ منقطه تقسیم می‌شود که در این بین دو بلوک طبس و زون CIGS امیدوارکننده‌ترین استان‌های متالوژنیک ایران برای اکتشاف نوع SSC هستند، زیرا این حوزه‌ها بیشترین فراوانی و بزرگ‌ترین ذخایر مس را دارند. این‌ها شامل کانسار مرکشه در بلوک طبس و کانی سازی قابل توجه مس در توالی بستر قرمز میوسن در مناطق بوستان آباد-تبریز-تسوج و آوج-دوزکند-مشمپا در CIGS می باشد. نهشته‌های نوع SSC ایران معمولاً با بسترهای قرمز رنگ یا بسترهای قرمز رنگ سابق همراه هستند که تغییر شکل کوهزایی و دگرگونی حالت اکسیداسیون سنگ ها را تغییر داده است. نهشته‌ها عموماً لایه‌ای هستند، به این معنی که آن‌ها به یک فاصله چینه‌شناسی خاص در توالی سنگ‌های رسوبی محدود می‌شوند.

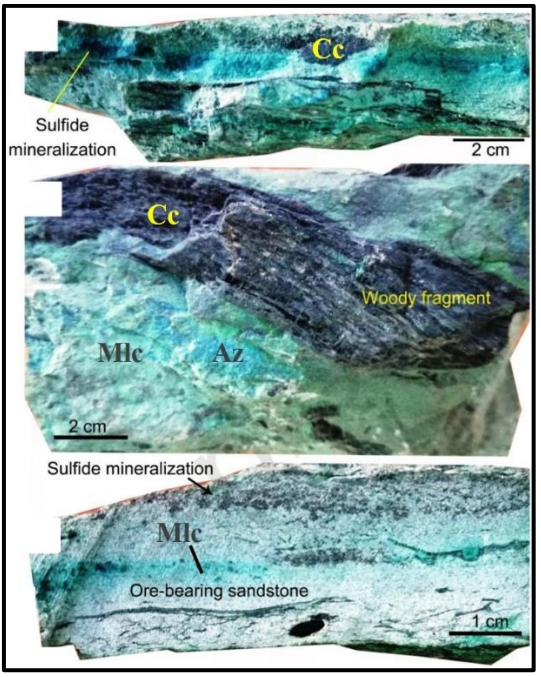
مقدمه

ذخایر مس میزبان سنگ رسوبی، دومین منبع مهم مس در سطح جهان پس از مس پورفیری هستند که حدود ۱۱ درصد مس را در سطح جهان تشکیل می دهند (Mudd and Jowitt, 2018). این ذخایر مهم و از نظر اقتصادی جذاب هستند، به طوری که انواع کلاس جهانی این کانسارها در ناحیه کوپفرشایفر شمال مرکزی اروپا (بورگ و همکاران، ۲۰۱۲) و کمربند مس آفریقای مرکزی (Sillitoe) et al., 2017 قرار دارد. کانسارهای SSC یکی از اولین انواع ذخایر فلزی بودند که در مقیاس صنعتی استخراج و پردازش شدند. تخمین زده‌شده که این ذخایر اقتصادی تقریباً حاوی ۲۳ درصد مس کشف شده جهان و ۱۲ درصد از نقره آن است. کانسارهای نوع SSC منبع مهمی از

سایر فلزات هستند که در بین تمام انواع ذخایر در تولید جهانی کبالت (Co) رتبه اول را دارند و در تولید نقره (Ag) رتبه چهارم را در بین تمام انواع ذخایر دارند (Bornhorst and Williams, 2013, Bourque et al., 2015).

ذخایر مس استراتی باند با سنگ میزبان رسوبی را کانه‌زایی‌های مسی می دانند که حاوی کانی‌های ریز مس و کانی‌های دانه ریز مس – آهن سولفید می‌باشند و به صورت استراتی باند تا استراتی فرم در سنگ‌های رسوبی سیلیسی – کلسیتی یا دولومیتی رخ داده اند. این ذخایر در لایه‌های رسوبی سیاه، قهوه‌ای، سبز یا سفید و احیایی، درون یا بالای یک مقطع ضخیم از لایه‌های قرمز (اکسیدی) نهشته شده‌اند (Taylor et al., 2013). انواع ذخایر ویژه‌ای که با این نوع کانسار مس در ارتباط هستند، عبارتند از تبخیری‌ها، ذخایر نوع آهن – اکسید-مس-طلا (IOCG) و ذخایر مس جانشینی یا رگه‌ای با میزبان رسوبی دارای کنترل ساختاری (Cox and Burnstein, 1986; Pirajno et al., 2016). این ذخایر مس با کانی‌های تبخیری و لایه‌های قرمز قاره‌ای مرتبط هستند که در آب و هوای خشک تشکیل شده‌اند (Hitzman et al., 2010, Zarasvandi et al., 2020, Zientek et al., 2014a, Zientek et al., 2014b, Zientek et al. .). به طور معمول، کانه‌های این ذخایر شامل کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت است (شکل ۱). توالی‌های قرمز قاره‌ای ضخیم در ریفت‌ها رسوب کردند که متعاقباً به حوضه‌های اصلی درون کراتونی تبدیل شدند، مانند حوضه Zechstein در شمال اروپا و حوضه Katanga در آفریقای مرکزی (Hitzman et al., 2010, Borg et al., 2012). چند ذخایر مس از این نوع در سایر جایگاه‌های کششی، از جمله حوضه‌های فراکششی و intermountain یافت می شود (Cox et al., 2003, Durieux and Brown, 2007, Perelló et al., 2017). برخی از آن‌ها در محدوده حوضه‌های کششی درون کراتونی سابق یافت می‌شوند اما در سنگ‌های میزبان رسوبی درشت ملاسی که در طی یا پس از مرحله برخورد بعدی تکتونیک صفحه‌ای رسوب کرده‌اند (Wilson, 1966, Cox et al., 2003).

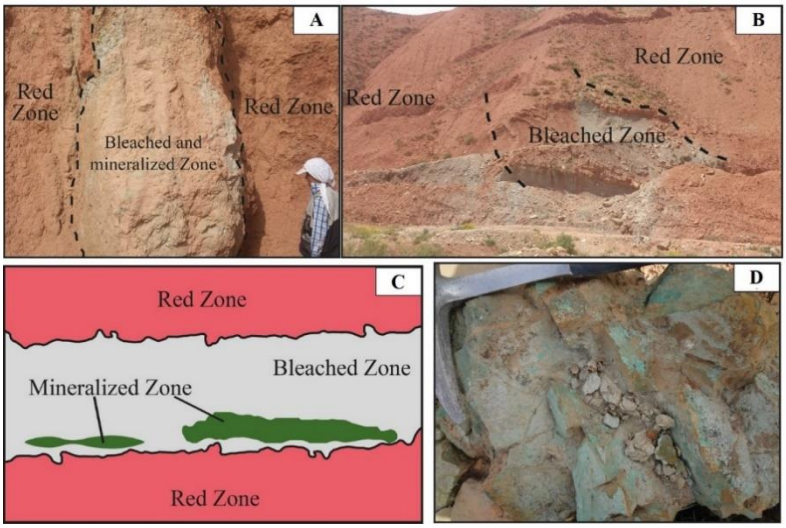




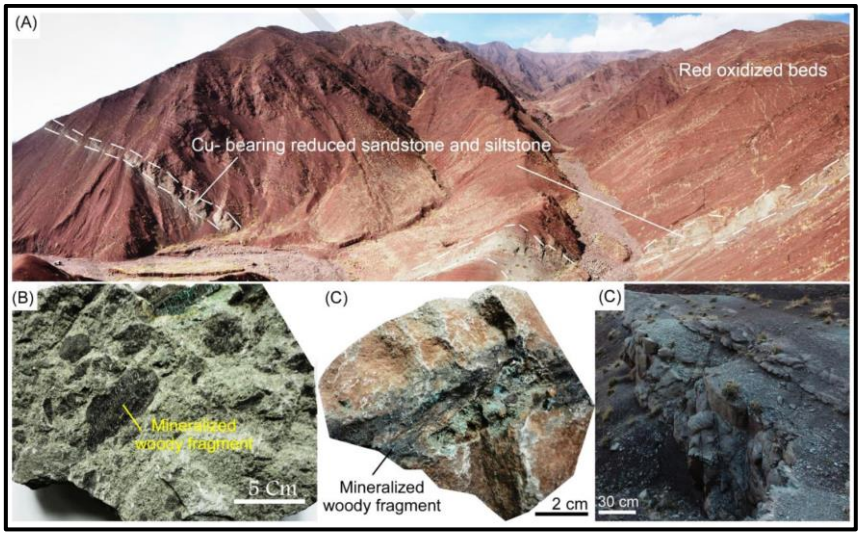
شکل ۱. نمونه دستی از کانه‌زایی کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت در کانسارهای مس رسوبی (تصاویر از Maghfouri et al., 2020)

شکل لایه‌ای و تقریباً همشیب با زاویه کم کانسارهای نوع کوپفرشیفر (SSC-type) بیانگر کانه‌زایی دیرزاد است بافت کانه‌ها در فضاهای منفذی سنگ‌های میزبان نشان داده که فاز اصلی کانه‌زایی همزمان با دیاژنز بوده است سن سنجی رادیومتریک سن کانه‌زایی در کانسارهای کوپفرشیفر را ده‌ها سال بعد از رسوب‌گذاری نشان داده است. براساس این سن‌سنجی و سایر سن‌سنجی‌های انجام شده عمق کانه‌زایی بین یک تا سه کیلومتر تخمین زده شده است بر اساس میانبارهای سیال کانی‌های رسی و درجهٔ بلوغ مواد آلی در شیل‌های میزبان دمای کانه‌زایی بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد تخمین زده شده است سیال درون میانبارهای سیال شوری بالایی می‌باشد. خصوصیت متداول مهم در محل نهشت ماده معدنی مرز اکسیداسیون - احیا بین سنگ‌های اکسیدی و احیایی است منطقه‌بندی عمودی و افقی کانه‌ها و کانی‌های، باطله همچنین شیمی و توزیع ماده آلی در رسوبات میزبان نشان داده که ماده معدنی در مرز اکسیداسیون - احیا قرار دارد (شکل ۲و ۳) ماده معدنی و کانی‌های

دگرسانی با فاصله گرفتن از رخساره‌های هماتیتی فاقد مواد آلی درجات بیشتری از خاصیت احیایی را نشان می‌دهند براساس این توالی از کانی‌ها سیال کانه ساز به صورت یک سیال اکسیدی، در محل تشکیل کانسار

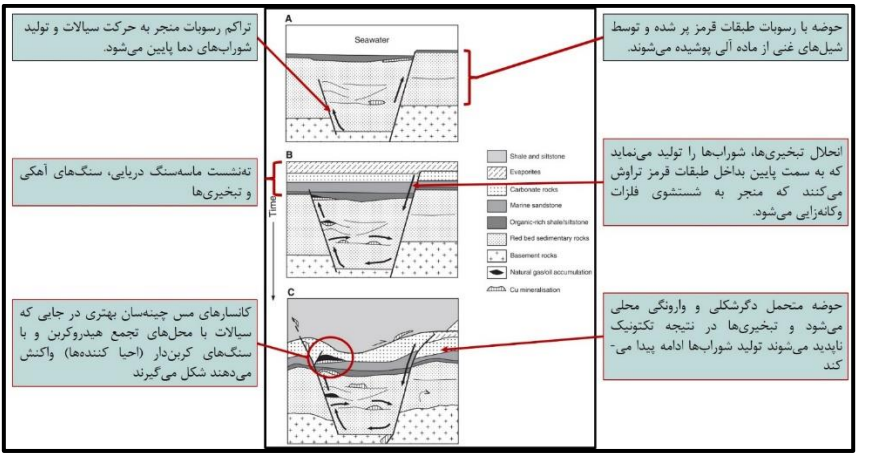


شکل ۲. A و B نماهایی از پهنه‌ی قرمز اکسیدان، پهنه‌ی شسته‌شده و پهنه احیایی کانه‌دار C- تصو شماتیک از چگونگی قرارگیری و ارتباط پهنه‌های مختلف در افق احیایی میزبان کانه‌زایی D - نما نزدیک از پهنه‌ی احیایی کانه‌دار (Rajabzadeh, 2018).



شکل ۳. تصاویری از منطقه‌بندی و مرز منطقه اکسیداسیون و احیایی (تصاویر از Maghfouri et al., 2020).

وارد و پس از برهم کنش با مواد آلی به تدریج به یک سیال احیایی تبدیل شده است بنابراین نهشت ماده معدنی در کانسارهای نوع کوپفرشیفر، حاصل جریان سیالات کانه‌ساز اکسیدی شور حاوی مقادیر فراوان مس شسته شده از سنگ‌های حوضه‌ای و تماس یافتن با سنگ‌های رسوبی احیایی است. منشأهای مختلفی برای سولفیدهایی پیشنهاد شده است که موجب نهشت ماده معدنی در کانسارهای مختلف شده‌اند سولفید می‌تواند به صورت محلی حضور داشته باشد (شکل ۴).



شکل ۴ . تصویر شماتیک از مراحل کانه‌زایی در کانسارهای مس رسوبی (Pirajno, 2009, 2014).

پراکندگی زمین‌ساختی کانسارهای مس رسوبی در ایران

کانسارهای نوع SSC ایران به طور کلی تنها موضوع مطالعات متالوژنتیکی توسط محققان ایرانی در دهه گذشته بوده است و بسیاری از یافته‌های آنها در مقالات بین المللی موجود نیست. با این حال، بیشتر تحقیقات بر روی کانسارهای SSC ایران بر روی کانسارهای منفرد، انواع کانسارهای تک سنگی و قوانین متالوژنیک منطقه‌ای متمرکز شده است.

ایران بین رشته‌کوه‌های آلپ و هیمالیا قرار دارد و بخشی را در سراسر حوضه تتیان از صفحه آفریقا تا قاره اوراسیا فراهم می‌کند (Agard et al., 2011; Alavi, 1994). این کمربند کوهزایی حاوی تعداد زیادی ذخایر از نوع SSC در ایران است. الگوهای وقوع و پراکنش این نهشته‌ها ارتباط تنگاتنگی با تکامل اقیانوس تتیان دارد و بنابراین استان‌های متالوژنیک انواع SSC ایران در واحدهای تکتونو چینه‌شناسی اصلی حوضه شکل می‌گیرند. اگرچه موقعیت زمین‌ساختی کلی نهشته‌های نوع SSC در محیط‌های حوضه قاره‌ای است، معمولاً در مرحله گذار از شکاف قاره‌ای اولیه به مرحله فرورفتگی حرارتی با تجاوز دریایی بر روی توالی‌های بستر قرمز، مکان نهشته‌های SSC ایران از این جهت متفاوت است که توالی‌های بستر قرمز و کاهش سنگ‌های میزبان معمولاً با گسترش قاره‌ای و برخورد کوه‌زایی مرتبط هستند.

کانسارهای مختلف از نوع SSC در محیط‌های زمین‌شناسی مختلف ایران شناسایی شده‌اند و توالی سنگ میزبان آن‌ها از کامبرین اولیه/ اردویزین تا میوسن پسین/ پلیوسن متغیر است. قدیمی‌ترین

نهشته‌های نوع SSC در ایران نهشته‌های دهمدان کامبرین اولیه/ اردویسین و خونگاه واقع در زون زاگرس هستند. به طور کلی، همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، نهشته‌های متعددی از نوع SSC در ایران وجود دارد که بیشتر در پنج زون ساختاری قرار دارند:

۱) زون زاگرس با نهشته‌های مس دهمدان و خونگاه، میزبان دولومیت کامبرین اولیه تا اردوویسین (Salahshouri, 1998; Ghasemi, 2008; Aghazade and Badrzadeh, 2010; Zarasvandi et al., 2020).

۲) بلوک طبس با نهشته‌های نوع SSC منطقه راور-طبس-عشق آباد میزبان لایه‌های قرمز ژوراسیک (Mahdavi, 2008; Aghazade and Badrzadeh; 2010; Mahdavi et al., 2011; Azaraien et al., 2016).

۳) منطقه تدریجی زمین شناسی و ساختاری ایران مرکزی با (الف) کانسار مس قره تپه میزبان دولومیت‌های پرمین، (ب) نهشته‌های SSC در منطقه بوستان آباد- تبریز- تسوج به میزبانی سازند بستر قرمز بالایی میوسن، (ج) نهشته‌های SSC از منطقه آوج دوزکند-مشمپا، میزبان سازند بستر قرمز فوقانی میوسن و (د) کانی سازی مس با سنگ میزبان کنگلومرای پلیوسن (به عنوان مثال کانسار قره آغاج مس) (Maghfouri et al., 2015; Bekdeli et al., 2015; Dare, 2015; Hosseinzadeh et al., 2015; Anayati Kollaei et al., 2016; Sadati et al., 2016; Jamalipoor, 2016; Mohammadi, 2016; Rajabpour et al., 2017; Ghasemlou et al., 2017; Rajabzadeh et al., 2017; Haghighi, 2017; Azizi et al., 2018).

۴) زون سبزوار با کانسارهای SSC تربت حیدریه میزبان بست لایه‌های قرمز ائوسن الیگوسن و کنگلومرا الیگوسن و کانسار مس بنده قیچی (Milvish, 2015; Salehinasab, 2015).

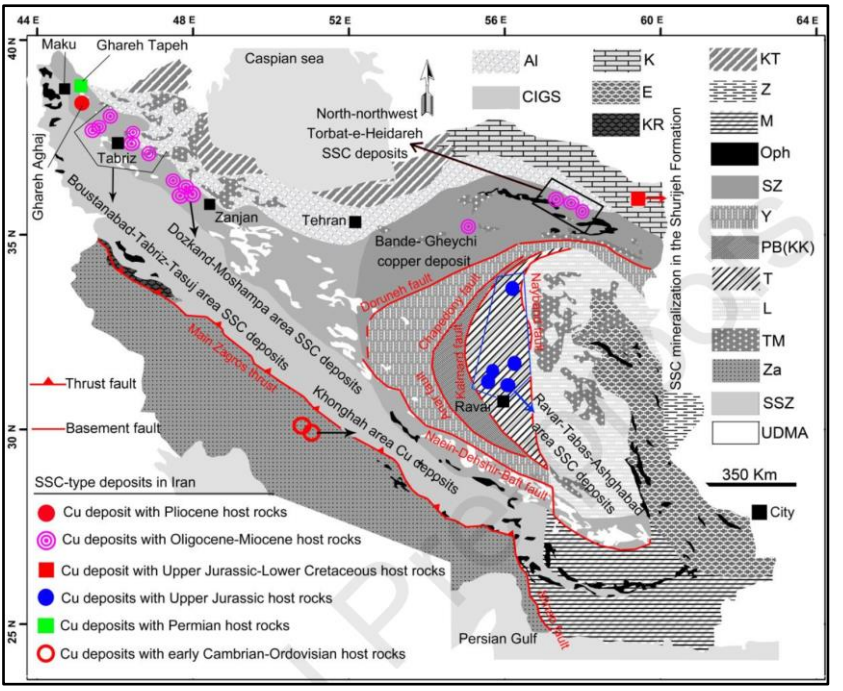
۵) زون کپه داغ با کانی سازی SSC در سازند شوریجه کرتاسه زیرین (Bograbadi, 2014).

نهشته‌های نوع SSC ایران معمولاً با بسترهای قرمز رنگ یا بسترهای قرمز رنگ سابق همراه هستند که تغییر شکل کوهزایی و دگرگونی حالت اکسیداسیون سنگ ها را تغییر داده است. نهشته‌ها عموماً لایه‌ای هستند، به این معنی که آنها به یک فاصله چینه‌شناسی خاص در توالی سنگ‌های رسوبی محدود می‌شوند، اما به شدت از بستر رسوبی یا لایه‌بندی چینه‌شناسی پیروی نمی‌کنند. ارتباط نهشته‌های نوع SSC با بسترهای قرمز و ویژگی لایه‌ای آن‌ها، نهشته‌های این طبقه را از سایر طبقات رسوبات مس رسوب‌دار متمایز می‌کند. به عنوان مثال، نهشته‌های مس میزبان رسوب در

دهمدان، خونگاه و قره تپه، اگرچه لایه‌پوش هستند، اما با بسترهای قرمز همراه نیستند و در داخل دولوستون‌های نزدیک رخساره به سنگ‌های آهکی رخ می‌دهند (Ghasemi, 2008; Salahshouri, 1998; Dare, 2015).

مناطق با بیشترین پتانسیل اقتصادی

دو منطقه، منطقه راور-طبس-عشق آباد در بلوک طبس و منطقه آوج-دوزکند مشمپا در منطقه تدریجی زمین شناسی و ساختاری ایران مرکزی در شمال غرب زنجان، بیش از ۸۰ درصد از نهشته‌های شناخته شده از نوع SSC را تشکیل می دهند. بزرگترین رسوبات SSC در طول ژوراسیک فوقانی (لایه‌های سازند قرمز گَردو) و میوسن (لایه‌های سازند قرمز بالایی) تشکیل شده است (Azaraien et al., 2016; Sadati et al., 2016; Rajabpour et al., 2017; Azizi et al., 2018).



شکل۵ . نقشه پراکندگی کانسارهای مس رسوبی در ایران (تصاویر از Maghfouri et al., 2020).

بلوک طبس

لوک ایران مرکزی از شرق به غرب از سه حوزه پوسته اصلی تشکیل شده است: بلوک لوت، بلوک طبس و بلوک یزد (علوی، ۱۳۷۰). این بلوک‌ها توسط یک سری گسل‌های متقاطع در مقیاس منطقه-ای از هم جدا می شوند. بلوک طبس، واقع در بخش مرکزی بلوک ایران مرکزی، توسط چندین پهنه گسلی اصلی محدود شده است (Stöcklin and Nabavi, 1969; Konon et al., 2016). این بلوک‌های پوسته‌ای در طی دوره پالئوزوئیک از گندوانا جدا شدند و در طول دوره مزوزوئیک به جنوب اوراسیا اضافه شدند (Stöcklin, 1974; Berberian and King, 1981; Stampfli, 2000; Allen et al., 2011). بلوک طبس – راور بخش اصلی کانه‌زایی می‌باشد که حاوی چندین کانسار یا رخدادهای نوع SSC از نوع لایه‌های قرمز است که در حدود ۴۰۰ کیلومتر در جهت N-S پراکنده شده اند. مهدوی (2008) در ابتدا این کمربند متالوژنیک را شناسایی کرد و آن را لایه‌های قرمز مس‌دار RTEA نامید. این کمربند از جمله شامل کانسارهای مارکشه، آقل مسی، باغ باهلنوان، تولمبه، مقیم آباد، شمال باغ پهلوان، تنگه، چاه کورو، پسندو، خورمو، کمر رامسی، کلوت نمکزار، کمر قرمز و گل وشور است. شکل ۴). همه نهشته‌ها و رخدادها به‌خوبی توسط ترانشه‌های اکتشافی کوتاه و شفت‌های کم‌عمق که معمولاً به فراتر از پوشش هوازده کانی‌ها نفوذ نمی‌کنند، آشکار می‌شوند. کانی سازی مس عمدتاً در سازند بستر قرمز Garedu میزبانی می شود و از کانی‌های کالکوسیت، کالکوپیریت، پیریت و سوپرژن تشکیل شده است. کانی‌سازی از کانال‌های پالئوی اصلی و ساختارهای فرار سیال پیروی می‌کند. فاصله کانی‌سازی شده چرخه‌های ریزدانه‌ای رسوبی به سمت بالا را نشان می‌دهد. کانی‌سازی در RTEA عمدتاً با وجود قطعات چوبی، مشابه رسوبات نوع SSC در جاهای دیگر کنترل می‌شود. (Maghfouri et al., 2020).

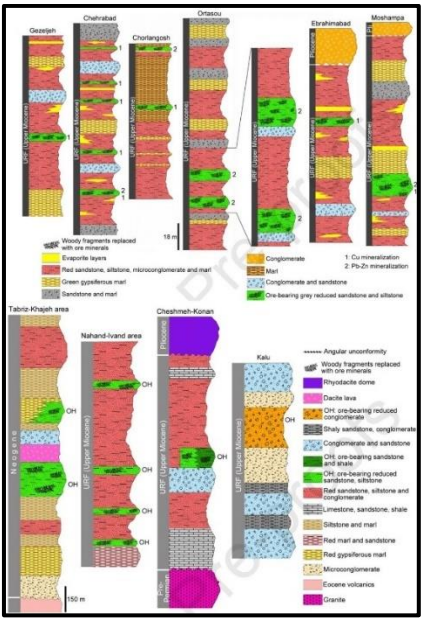
زون تدریجی زمین شناسی و ساختاری ایران مرکزی (CIGS)

CIGS با برجستگی متوسط، که در داخل سیستم کوهزایی آلپ-هیمالیا در غرب آسیا پوشش می دهد و در بخش وسیع بین دو نقطه برخورد سیستم آلپ-هیمالیا قرار دارد. رشته‌های البرز و کپه داغ از شمال، رشته‌های زاگرس و مکران از غرب و جنوب، و شرق ایران از شرق با این منطقه مرزی دارد. CIGS که در شمال شرقی شکاف نئوتتیس زاگرس-مکران و کمان ماگمایی سنوزوییک زیر موازی آن قرار دارد، ناحیه‌ای از تغییر شکل مداوم قاره‌ای در پاسخ به همگرایی مداوم بین صفحات عربی (گوندوانا) و توران (اوراسیا) است (Ramezani and Tucker, 2003). کانسارهای مس قره تپه،

کانسارهای مس منطقه آوج-دوزکند-مشمپا، کانسارهای مس بوستان آباد-تبریز-تسوج (BTTA) و کانسار مس قره آغاج همگی در داخل CIGS قرار دارند (Maghfouri et al., 2020) (شکل۶).

نتیجه‌گیری

وجود لایه‌های آواری قرمز نقش مهمی در شکل‌گیری و کانه‌زایی کانسارهای مس رسوبی دارد و با توجه به گستردگی شرایط رسوب‌گذاری واحدهای سنگی قرمز در دوره‌های مختلف زمین‌شناسی و در پهنه‌های ساختاری ایران، این نوع کانسار پتانسیل بالایی اکتشافی دارد. به طور کلیکانسارهای مس رسوبی ایران را بر پایه پراکندگی که در پهنه‌های ساختاری دارند می‌توان به مناطق (1) زون زاگرس، (2) بلوک طبس، (3) منطقه زمین‌شناسی و ساختاری تدریجی ایران مرکزی (CIGS)، (4) زون سبزوار، و (5) زون کپه داغ. نهشته‌های نوع SSC که در دوره‌های زمانی گسسته و در ایران تشکیل شده‌اند، تقسیم کرد. که در منطقه مواردی از رخدادهای معدنی در حال بهره برداری می‌باشد. که در دو منطقه‌ی راور-طبس-عشق آباد (RTEA) و منطقه آوج-دوزکند-مشمپا دارای پتانسیل بالاتر بوده و در حال حاضر استخراج می شوند.



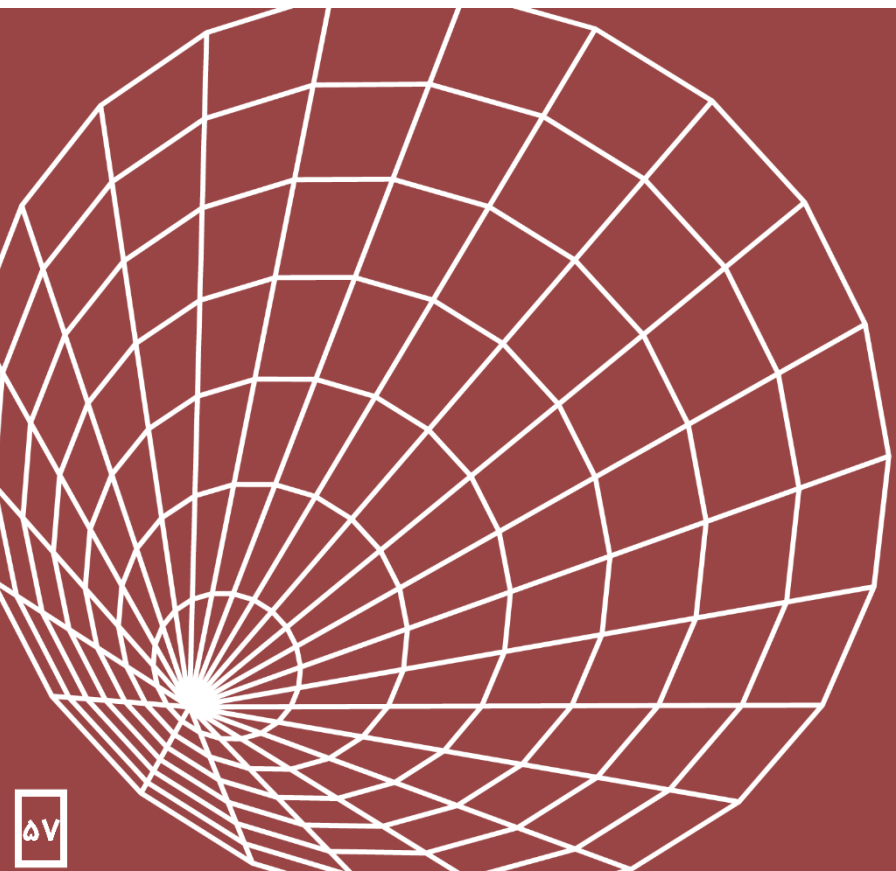
شکل۶. ستون‌های چینه‌شناسی واحدهای مناطق رخدادهای معدنی در منطقه‌ی CIGS که در آن تعداد افق‌های کانه‌دار و ضخامت لایه مشخص گردیده است (Maghfouri et al., 2020).

مراجع

1. Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monié, P., Meyer, B., Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. Geol. Mag. 148 (5–6), 692–725.
2. Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. Tectonophysics 229, 211–238.
3. Azaraien, H., Shahabpour, J., Aminzadeh, B., 2016. Metallogenesis of the sediment-hosted stratiform Cu deposits of the Ravar Copper Belt (RCB), Central Iran. Ore Geology Reviews 81, 369–395.
4. Azizi, H., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., Siahcheshm, K., 2018. Geology and geochemistry of the sediment-hosted stratabound red bed-type Cu-Pb (Zn-Ag) mineralization in the Dozkand-Moshampa Area, NW Zanjan, Iran. N. Jb. Miner. Abh. (J.Min.Geochem.), 123- 143.
5. Bograbadi. A., 2014. Geological report of Cu mineralization in the Shurijeh Formation. Department of Industries, Mines and Trade of Khorasan Razavi Province, 56pp.
6. Borg, G., Piestrzyñski, A., Bachmann, G., Püttmann, W., Walther, S. and Fiedler, M., 2012. An Overview of the European Kupferschiefer Deposits. Economic Geology, Spec. Publ. 16, 455- 486.
7. Durieux, C.G., Brown, A.C., 2007. Geological context, mineralization, and timing of the Juramento sediment-hosted stratiform copper–silver deposit, Salta district, northwestern Argentina. Miner Deposita, 42:879–899.
8. Cox, D.P., Lindsey, D.A., Singer, D.A., Moring, B.C., and Diggles, M.F., 2003. Sediment-hosted copper deposits of the world; deposit models and database: U.S. Geological Survey OpenFile Report 03–107, 53 p.

9. Ghasemi, M., 2008. Exploration of Cu-Zn-Co mineralization in the Chahar Mahal-e-Bakhtyari province. Scientific Investigations Report. Geological Survey of Iran.
10. Maghfouri S, Rastad E, Borg G, Hosseinzadeh MR, Movahednia M, Mahdavi A, Mousivand F. Metallogeny and temporal–spatial distribution of sediment-hosted stratabound copper (SSC-type) deposits in Iran; implications for future exploration. Ore Geology Reviews.
11. Hayes, T.S., Cox, D.P., Piatak, N.M., Seal, R.R., 2015. Sediment-hosted stratabound copper deposit model. Scientific Investigations Report 2010–5070–M. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
12. Hitzman, M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J., Selly, D., 2005. The sediment hosted stratiform copper ore system. In: Thompson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds) 100th Anniversary volume. Society of Economic Geologists, pp 609–642.
13. Hitzman, M.W., Selley, D., Bull, S., 2010. Formation of sedimentary rock-hosted stratiform copper deposits through earth history. Economic Geology, v. 105, pp. 627–639.
14. Jamalipoor, S., 2016. Mineralogy and geochemistry of the host rocks and Pb orebody at Cherlanghush area, NE Mahneshan: Unpublished M.Sc. Thesis, University of Zanjan, Iran 134 pp. (in Persian with English abstract).
15. Kirkham, R.V., 1989. Distributions, settings, and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits, in Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C., and Kirkham, R.V., Sediment-hosted stratiform copper deposits: Geological Association of Canada, Special Paper 36, p. 3–38.
16. Mahdavi, A., 2008. Geological, Mineralogical, Geochemical and Genesis of Markesheh Copper Deposit, Northwest of Ravar, Kerman: Unpublished M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University of Tehran, Iran 188pp. (in Persian with English abstract).

17. Mahdavi, A., Rastad, E., Hosseini, M., 2011. Mineralogy, structure and texture and genesis of Markesheh sedimentary-diagenetic copper deposit, Red-bed type, in Garedu Formation, with a Jurassic age, South of Central Iran. Geosci. Iran 81, 81–92 (In Persian) with English Abstract.
18. Perelló, J., Sillitoe, R.H., Yakubchuk, A.S., Valencia, V.A., Cornejo, P., 2017. Age and tectonic setting of the Udokan sediment-hosted copper-silver deposit, Transbaikalia, Russia. Ore Geology Reviews 86, 856–866.
19. Rajabpour, S., Abedini, A., Alipour, S., Lehmann, B., Jiang, Sh., 2017. Geologyn and geochemistry of the sediment-hosted Cheshmeh-Konan redbed-type copper deposit, NW Iran. Ore Geology Reviews, 86; p. 154–171.
20. Rajabzadeh, A., Kouhestani, H., Mokhtari, A.A., Zohdi, A., 2017. Mineralization, structure and texture and mineralogy of Chehrabad Pb-Zn-Cu deposit, NW Zanjan. 35th national geosciences conference, Tehran, Iran.



ماشین لرنینگ در زمین‌شناسی اقتصادی

الناز گراوندی*
دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی
elnazgeravandi@gmail.com

چکیده

با ورود علوم زمین به عصر داده‌های بزرگ، یادگیری ماشینی در پردازش کلان داده ها موثر است، که اکنون به طور قابل توجهی به حل مشکلات در علوم زمین کمک می‌کند، با این حال کاربردهای کمی در زمین‌شناسی اقتصادی وجود دارد. یادگیری ماشینی در حال تبدیل شدن به یک ابزار قدرتمند در زمینه های مختلف علوم زمین، از جمله انفورماتیک آب و هوا، پیش بینی تغییرات آب و هوا، و برآورد منابع معدنی است. با این حال، کاربردهای یادگیری ماشین در زمین‌شناسی اقتصادی، نیاز به پیشرفت بیشتری دارد. در زمینه زمین‌شناسی اقتصادی، محتویات عناصر کمیاب در محل مواد معدنی، که می‌توان با لیزر فرسایش-طیف سنجی جرمی جفت شده القایی پلاسما (LA-ICP-MS) به دست آورد، برای درک منشاء ذخایر سنگ معدن مفید است. به دست آوردن داده های LA-ICP-MS نسبتاً ارزان است و تعداد فزاینده مجموعه داده‌های مقیاس بزرگ پتانسیل بسیار زیادی را برای کاربرد یادگیری ماشین ارائه می‌دهد.

کاربرد ماشین لرنینگ در زمین‌شناسی اقتصادی و اکتشاف ذخایر معدنی

روش‌های یادگیری ماشین در اکتشاف معدن به خوبی ثابت کرده‌اند که میتوانند الگوهای موجود در داده‌های آموزش را تشخیص دهند سپس این اطلاعات می‌توانند برای دسته‌بندی توانمندی معدن در هر مکان مشخص مورد استفاده قرار گیرند. روش‌های مبتنی بر داده و یادگیری ماشین مانند منطق فازی و وزن شواهد برای شناسایی مناطق احتمالی برای سیستم‌های مس پورفیری در آریزونا (ایالات‌متحده آمریکا) استفاده‌شده‌اند (Lindsay et al., 2014). Random Forest (RF) یک روش یادگیری ماشینی است به منظور شناسایی مناطق بسیار مستعد احتمالی برای کانی‌سازی طلا استفاده شده است. forest methods برای کانی‌سازی طلا در جنوب اسپانیا (Rodriguez-Galiano et al., 2014; Rodriguez-Galiano et al., 2015) و استرالیای غربی (Hariharan et al., 2017) و همچنین برای اکتشاف طلا و مس در فیلیپین (Carranza & Laborte, 2015a, 2015b, 2016) استفاده شده است. ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) یک روش یادگیری ماشینی برجسته است که برای اکتشاف ذخایر طلای میزبان توربیدایت در نوا اسکوشیا کانادا (Zuo & Carranza, 2011)، اکتشاف کانی‌سازی مس در ایران (Abedi et al., 2012; Shabankareh & Hezarkhani, 2017; Zandiyyeh et al., 2016) و ذخایر روی در شمال غربی هند (Porwal & Yu, 2010) و سیستم‌های مس پورفیری در مرکز بریتیش کلمبیا کانادا

(Granek & Haber, 2016). علاوه بر این، Neural Networks(ANN) برای پیش‌بینی مکان کانی‌سازی طلا در شمال غربی چین (Zhang et al., 2018)، نیو ساوت ولز (استرالیا (Brown et al., 2000) استفاده‌شده است. روش Decision Trees برای تولید نقشه‌های شواهدی برای کانی‌سازی بالقوه آهن اسکارن در چین استفاده‌شده‌اند (Chen et al., 2014). سایر برنامه‌های کاربردی یادگیری ماشین برای اکتشاف مواد معدنی از جنگل تصادفی (RF) برای طبقه‌بندی سنگ‌شناسی با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی در شناسایی کانی‌سازی نیکل و فلزات پایه در غرب تاسمانی (استرالیا) استفاده کرده‌اند (Radford et al., 2018). همچنین با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی در شناسایی کانی‌سازی مس-طلا اکسید آهن در شمال برزیل (Leite & de Souza Filho, 2009) برای شناسایی فاصله تا نزدیک‌ترین کانی¬سازی مس-روی از داده‌های حفاری در شمال ژاپن استفاده‌شده است. شبکه‌های عصبی همچنین برای کشف اثرات طبقه‌بندی اشتباه در نقشه‌برداری یادگیری ماشین برای کانی‌سازی چندفلزی آهن در جنوب غربی چین استفاده‌شده‌اند (Xiong & Zuo, 2017) . اخیراً، ماشین‌های بردار پشتیبان برای ارزیابی اثرات مجموعه داده‌های نامتعادل در تولید محصولات اکتشاف مواد معدنی مورداستفاده قرارگرفته‌اند .(Prado et al., 2020) این روش‌ها در اکتشاف مواد معدنی مفید هستند، زیرا الگوهای موجود در مجموعه داده‌های آموزشی را شناسایی می‌کنند، مانند مکان فضایی یک سیستم فرتایل و یک سیستم بَرن، که می‌توانند بعداً برای مواد معدنی در هر مکان معین استفاده شوند(Carranza 2011 (Prado et al., 2020

۱-کاربرد ماشین لرنینگ در اکتشاف پورفیری

منابع معدنی که برای توسعه جامعه انسانی مهم هستند، با افزایش نیاز ما به پیشرفت تکنولوژی، به‌طور فزاینده‌ای مصرف می‌شوند. با این مصرف نیاز به شناسایی منابع اضافی وجود دارد که بسیاری از آن‌ها ممکن است در سطح زمین مخفی باشند. این امر روش‌های اکتشاف کنونی را به چالش می‌کشد و نیازمند توسعه تکنیک‌های جدید برای شناسایی سنگ‌های کانی‌سازی شده در زیر سطح زمین است. استفاده از روش‌های مبتنی بر داده‌ها مانند آمار احتمالی و مدل‌سازی محاسباتی مبتنی بر داده‌های مشاهده‌ای با ویژگی‌های زمین‌شناسی مانند مکان انواع کانسارهای شناخته‌شده، از دهه ۷۰ به‌عنوان ابزار اکتشاف معدنی استفاده‌شده (Agterberg, 1971; Carranza, 2011; Harris, 1968). طی دهه‌های گذشته با پیشرفت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری کامپیوتر، در دسترس بودن پایگاه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، توسعه ابزارها و روش‌های مبتنی بر GIS و ادغام آن‌ها با کتابخانه‌های منبع باز، به توسعه و دسترسی به این روش‌های مبتنی بر داده‌ها کمک کرده است (Prado et al., 2020). این منجر به افزایش سریع برنامه‌های کاربردی برای اکتشاف مواد

معدنی (Prado et al., 2020) با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی موجود که معمولاً در اکتشافات معدنی استفاده می‌شوند.

یادگیری ماشینی علم استفاده از رایانه برای تشخیص خودکار الگوها در داده‌ها است و این زمینه اخیراً در ارتباط با پیشرفت در قابلیت‌های محاسباتی به‌سرعت توسعه‌یافته است (Bishop, 2006). در طول دهه گذشته، الگوریتم‌های یادگیری ماشین به‌طور گسترده در علوم زمین برای حل مسائل پیچیده، ازجمله تعیین دما و فشار تبلور ماگما (Petrelli et al., 2020)، تخمین ضخامت پوسته (Zou et al., 2021)، شناسایی محیط تکتونیکی که در آن سنگ‌ها تولیدشده‌اند (Kuwatani et al., 2014; Petrelli & Perugini, 2016; Zhong et al., 2021)، پیش‌بینی شار گرمایی زمین‌گرمایی (Lösing & Ebbing, 2021; Rezvanbehbahani et al., 2017) و اکتشافات ژئوشیمیایی (Nathwani et al., 2022) استفاده شده است.

روش‌های یادگیری ماشین با استفاده از یک مجموعه داده‌های جهانی از شیمی زیرکن و شیمی سنگ کل برای ارزیابی کانی‌سازی مس پورفیری در نواحی ماگمایی توضیح داده می‌شوند. این کار نشان می‌دهد که روش‌های یادگیری ماشینی رویکردی قوی، دقیق و مؤثر برای شناسایی منابع معدنی مس پورفیری ارائه می‌کنند.

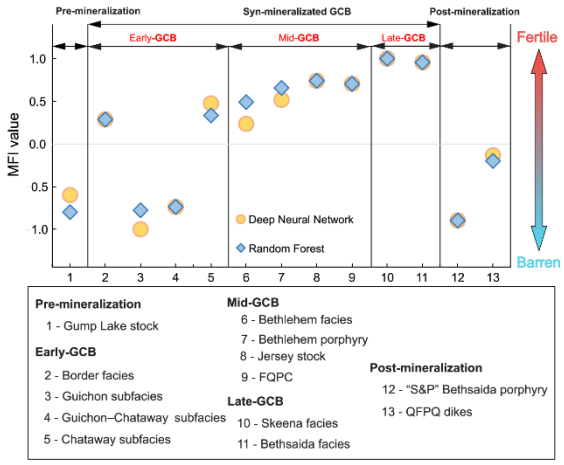
ذخایر مس پورفیری بیشتر مس جهان و همچنین مقادیر قابل‌توجهی از طلا، مولیبدن و رنیم را تأمین می‌کند (Sillitoe, 2010) که آن‌ها را به اهداف کلیدی اکتشاف برای صنعت معدن تبدیل می‌کند (Richards, 2016). این ذخایر با نسبت‌های Sr/Y، V/Sc، Sr/MnO، Ta/Nb، و*Eu/Eu مشخص می‌شوند (Baldwin & Pearce, 1982; Lang & Titley, 1998; Loucks, 2014; Richards, 2011). بنابراین، این نشانه‌های ژئوشیمیایی سنگ کل اغلب به‌عنوان شاخص‌های باروری ماگما برای ارزیابی پتانسیل متالوژنیک در نواحی ماگمایی استفاده می‌شوند (Loucks, 2014; Lu et al., 2015; Richards & Kerrich, 2007; Wells et al., 2020). بااین‌حال، می‌توانند به‌راحتی تحت تأثیر هوازدگی، دگرسانی گرمابی، و دگرگونی قرار گیرند و هنگامی‌که به‌عنوان شاخص در طول اکتشاف مواد معدنی مورداستفاده قرار می‌گیرند، منجر به نتایج مبهم می‌شود (Chen et al., 2019; Wang et al., 2017). شیمی عناصر کمیاب و نسبت‌های عناصر کمیاب (به‌عنوان‌مثال، Eu/Eu*، Ce/Ce*، Ce/Nd، و Eu/Eu*/Y) در زیرکن نیز معمولاً به‌عنوان شاخص‌های باروری ماگما برای تشخیص باروری متالوژنیک استفاده می‌شوند (Dilles et al., 2015; Lu et al., 2015; Shu et al., 2019).

بااین‌حال، چندین مطالعه نشان داده‌اند که این نسبت‌های یک‌بعدی زیرکن به عنصر کمیاب یا نمودارهای طبقه‌بندی باینری برای کانسارهای مس پورفیری در مناطق مختلف با یکدیگر یا با محدوده‌های طبقه‌بندی از قبل موجود مطابقت ندارند (Chen et al., 2019; Pizarro et al., 2020; Zhong et al., 2019)؛ این ممکن است به این دلیل باشد که برخی دیگر از سیگنال‌های

عنصر ردیابی زیرکن که اطلاعات مربوط به باروری ماگما را ثبت می‌کنند، در طبقه‌بندی گنجانده نشده‌اند که منجر به بی‌هنجاری مثبت کاذب می‌شود. از نظر ریاضی، شیمی زیرکن را می‌توان به‌عنوان بردارهایی با ابعاد بالا در نظر گرفت که نمایش و درک کامل آن با استفاده از تکنیک‌های تجسم داده‌های سنتی چالش‌برانگیز است. یادگیری ماشینی علم استفاده از الگوریتم‌های محاسباتی برای شناسایی الگوها در داده‌ها و استفاده از آن‌ها برای پیش‌بینی است. یک مجموعه ابزار قدرتمند برای رمزگشایی اطلاعات پنهان در داده‌های با ابعاد بالا فراهم می‌کند.

از دو الگوریتم یادگیری ماشینی تحت نظارت، جنگل تصادفی (RF) و شبکه عصبی عمیق (DNN)، برای ارزیابی باروری ماگماهای مربوط به رسوبات مس پورفیری استفاده شد. مدل‌های جنگل تصادفی و شبکه عصبی عمیق برای اولین بار با استفاده از شیمی عنصر ردیابی دانه‌های زیرکن از سنگ‌های عقیم و مس پورفیری کانی شده در سراسر جهان آموزش دیدند. پس از ارزیابی عملکرد، باروری ناحیه مس پورفیری Highland Valley (جنوب مرکزی بریتیش کلمبیا، کانادا) و کمربند Gangdese جنوبی (تبت، چین) با استفاده از این مدل‌های آموزش‌دیده ارزیابی شد.

سپس یک شاخص باروری بر اساس خروجی‌های مدل‌های یادگیری ماشینی برای تعیین کمیت باروری ماگما طراحی شد. پتانسیل کانی‌سازی پیش‌بینی‌شده توسط شاخص باروری با اطلاعات لیتوژئوشیمیایی و کانی‌شناسی قبلی مقایسه می‌شود. این مقایسه نشان داد که مدل‌های یادگیری ماشینی می‌توانند کارایی و دقت تشخیص عقیم و پورفیری بارور را بهبود بخشند و پتانسیل روش‌های یادگیری ماشین را برای بهبود میزان موفقیت در شناسایی ذخایر عمیق مدفون نشان می‌دهند (شکل ۱).



شکل ۱. مقادیر شاخص باروری ماگمایی (MFI) زیرکن در سنگ‌های آذرین از فازهای مختلف سوئیت‌های نفوذی در کانسار مس پورفیری Highland Valley، کانادا.

۲-کاربرد ماشین لرنینگ در تمایز ژئوشیمیایی و ویژگی¬های موقعیت تکتونیکی ماگمایی

تمایز ژئوشیمیایی محیط زمین ساختی رویدادهای ماگمایی یکی از مهم‌ترین و مفیدترین کاربردهای ژئوشیمی سنگ کل است (Pearce & Cann, 1973). این رویکرد اجازه می‌دهد تا محیط تکتونیکی مجموعه معینی از سنگ‌های آتشفشانی را با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی سنگ کل، ازجمله عناصر اصلی و کمیاب و ترکیبات ایزوتوپی، تشخیص دهیم. این داده‌ها همچنین امکان شناسایی شباهت‌ها و تفاوت‌های بین شرایط تشکیل سنگ و فرآیندهای زمین‌شناسی را که در محیط‌های زمین‌ساختی مختلف رایج هستند، ازجمله شرایط فشار و دما در طول ذوب جزئی، روابط فاز در حین ذوب (به‌عنوان‌مثال، درجه ذوب جزئی و باقی‌مانده) روابط فازی در طول ذوب و ترکیبات منبع (به‌عنوان‌مثال، بی‌آب در مقابل آب، تغییرات در مقدار مواد بازیافتی، و باروری) را فراهم می‌کند. نمودارهای تفکیک دوتایی یا سه‌تایی که فقط از چند عنصر استفاده می‌کنند، از دهه ۱۹۷۰ به‌طور گسترده برای تمایز ژئوشیمیایی محیط تکتونیکی ماگماتیسم مورداستفاده قرارگرفته‌اند (Pearce, 2008; Pearce & Cann, 1973; Vermeesch, 2006; Wood, 1980). اگرچه این نمودارهای دوبعدی مفید، آسان برای استفاده و درک بصری آسان هستند، تحقیقات اخیر نشان داده است که استفاده از چند عنصر به این معنی است که این نمودارها نمی‌توانند چندین موقعیت زمین-ساختی را شناسایی کنند و این موضوع صحت آن را موردتردید قرار داده است. لی و همکاران (Li et al., 2015) تأکید کردند که تمایز تکتونیکی مؤثر به عناصر متعددی نیاز دارد و استفاده از نمودارهای تغییرات چند عنصری را برای تمایز زمین‌ساختی کیفی توصیه می‌کنند. علاوه بر این نمودارهای چند عنصری، ابزارهای تفکیک کمی ژئوشیمیایی جایگزین بر اساس (Decision trees (Snow, 2006 و تجزیه‌وتحلیل تفکیک خطی (Agrawal et al., 2004, 2008; Verma & Armstrong-Altrin, 2013; Vermeesch, 2006) از دهه ۲۰۰۰ پیشنهاد شده است (شکل ۲). یادگیری ماشین برای این مشکل نیز زمین‌ساختی ژئوشیمیایی به کار گرفته‌شده است. طبقه‌بندی نظارت‌شده یک کار یادگیری ماشین است که در آن داده‌های برچسب‌گذاری شده برای نشان¬دادن داده‌های آموزشی در نظر گرفته می‌شوند که می‌تواند برای تعیین اینکه کدام متمایزکننده می‌تواند مجموعه داده موردنظر را به بهترین شکل طبقه‌بندی کند، مورداستفاده قرار می‌گیرد. یکی از قدرتمندترین تکنیک‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، ماشین بردار پشتیبان (SVM) است (Cortes & Vapnik, 1995).

SVM می‌تواند مناسب‌ترین تصمیم صفحه ترکیبی با ابعاد بالا را تعیین کند که می‌تواند به‌طور مؤثر نمونه‌ها را در دسته‌های طبقه‌بندی مختلف متمایز کند. پترلی و پروجینی (Petrelli & Perugini, 2016) یک SVM را برای مشکل تمایز زمین‌ساختی ژئوشیمیایی اعمال کردند که منجر به توسعه یک تکنیک بسیار دقیق برای تمایز بین موقعیت مختلف زمین‌ساختی ماگمایی شد. بااین‌حال، مقدار اطلاعات ژئوشیمیایی استخراج‌شده از مطالعه محدود بود، زیرا SVM غیرخطی به

صراحت بردارهای ویژگی را خروجی نمی‌کند. علاوه بر این، حتی اگر این خروجی‌ها ارائه شوند، احتمالاً ژئوشیمیدانان برای استفاده از آن‌ها مشکل خواهند داشت زیرا هم غیرخطی هستند و هم ابعاد بالایی دارند.

دو تکنیک قدرتمند و کمی یادگیری ماشین که جایگزینی برای SVM هستند و می‌توانند برای تشخیص ژئوشیمیایی ماگماها از موقعیت زمین‌ساختی شناخته‌شده استفاده شوند. اولین مورد از این تکنیک‌ها، جنگل تصادفی (RF)، یک روش یادگیری گروهی مبتنی بر درخت‌های تصمیم است (Breiman, 2017)، درحالی‌که رویکرد دیگر، رگرسیون چندجمله‌ای پراکنده (SMR)، یک نوع پراکنده از روش تشخیص خطی کلاسیک با استفاده از تعداد نسبتاً کمی از عناصر می‌باشد. روش SMRامکان تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی، موقعیت زمین¬ساختی و همچنین تعیین ویژگی‌های نمونه‌های منفرد زمین ساختی را فراهم می‌کند. نمودارهای تفکیک دوتایی یا سه‌تایی که فقط از چند عنصر استفاده می‌کنند، از دهه ۱۹۷۰ به‌طور گسترده برای تمایز ژئوشیمیایی محیط تکتونیکی ماگماتیسم مورداستفاده قرارگرفته‌اند (Pearce, 2008; Pearce & Cann, 1973; Vermeesch, 2006; Wood, 1980). اگرچه این نمودارهای دوبعدی مفید، آسان برای استفاده و درک بصری آسان هستند، تحقیقات اخیر نشان داده است که استفاده از چند عنصر به این معنی است که این نمودارها نمی‌توانند چندین موقعیت زمین-ساختی را شناسایی کنند و این موضوع صحت آن را موردتردید قرار داده است. لی و همکاران (Li et al., 2015) تأکید کردند که تمایز تکتونیکی مؤثر به عناصر متعددی نیاز دارد و استفاده از نمودارهای تغییرات چند عنصری را برای تمایز زمین¬ساختی کیفی توصیه می‌کنند. علاوه بر این نمودارهای چند عنصری، ابزارهای تفکیک کمی ژئوشیمیایی جایگزین بر اساس (Snow, 2006) Decision trees و تجزیه‌وتحلیل تفکیک خطی (Agrawal et al., 2004, 2008; Verma & Armstrong-Altrin, 2013; Vermeesch, 2006) از دهه ۲۰۰۰ پیشنهاد شده است (شکل ۲).

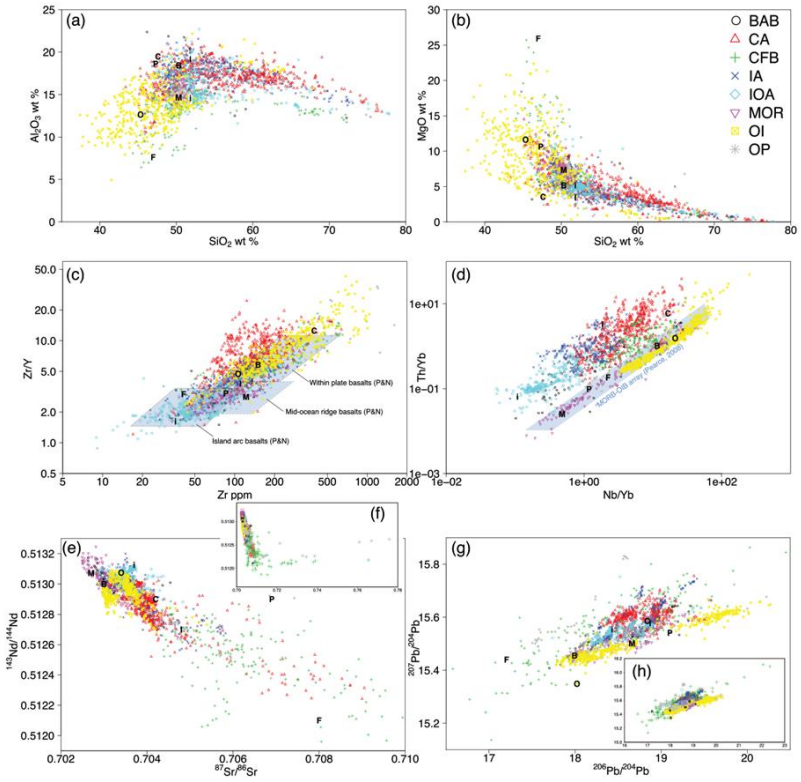
یادگیری ماشین برای این مشکل نیز زمین‌ساختی ژئوشیمیایی به کار گرفته‌شده است. طبقه‌بندی نظارت‌شده یک کار یادگیری ماشین است که در آن داده‌های برچسب‌گذاری شده برای نشان‌دادن داده‌های آموزشی در نظر گرفته می‌شوند که می‌تواند برای تعیین اینکه کدام متمایزکننده می‌تواند مجموعه داده موردنظر را به بهترین شکل طبقه‌بندی کند، مورداستفاده قرار می‌گیرد. یکی از قدرتمندترین تکنیک‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، ماشین بردار پشتیبان (SVM) است (Cortes & Vapnik, 1995).

SVM می‌تواند مناسب‌ترین تصمیم صفحه ترکیبی با ابعاد بالا را تعیین کند که می‌تواند به‌طور مؤثر نمونه‌ها را در دسته‌های طبقه‌بندی مختلف متمایز کند. پترلی و پروجینی (Petrelli & Perugini, 2016) یک SVM را برای مشکل تمایز زمین‌ساختی ژئوشیمیایی اعمال کردند که منجر به توسعه یک تکنیک بسیار دقیق برای تمایز بین موقعیت مختلف زمین‌ساختی ماگمایی شد.

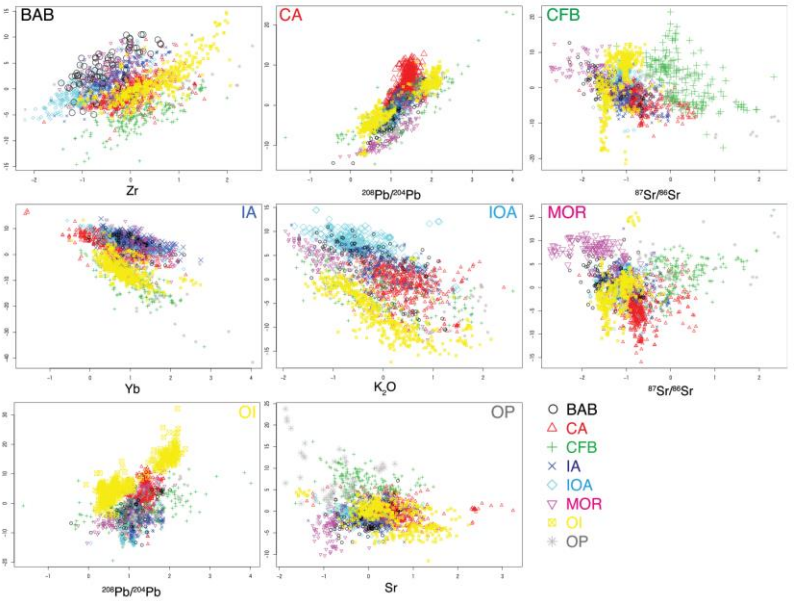
بااین‌حال، مقدار اطلاعات ژئوشیمیایی استخراج شده از مطالعه محدود بود، زیرا SVM غیرخطی به‌صراحت بردارهای ویژگی را خروجی نمی‌کند. علاوه بر این، حتی اگر این خروجی‌ها ارائه شوند، احتمالاً ژئوشیمیدانان برای استفاده از آن‌ها مشکل خواهند داشت زیرا هم غیرخطی هستند و هم ابعاد بالایی دارند. دو تکنیک قدرتمند و کمی یادگیری ماشین که جایگزینی برای SVM هستند و می‌توانند برای تشخیص ژئوشیمیایی ماگماها از موقعیت زمین‌ساختی شناخته‌شده استفاده شوند. اولین مورد از این تکنیک‌ها، جنگل تصادفی (RF)، یک روش یادگیری گروهی مبتنی بر درخت‌های تصمیم است (Breiman, 2017)، درحالی‌که رویکرد دیگر، رگرسیون چندجمله‌ای پراکنده (SMR)، یک نوع پراکنده از روش تشخیص خطی کلاسیک با استفاده از تعداد نسبتاً کمی از عناصر می‌باشد. روش SMR امکان تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی، موقعیت زمین‌ساختی و همچنین تعیین ویژگی‌های نمونه‌های منفرد زمین ساختی را فراهم می‌کند. بررسی دقیق کمیت‌های ویژگی، مانند اهمیت نسبی عناصر مختلف و تعیین ترکیبات توده‌ای نماینده برای هر محیط تکتونیکی، همچنین امکان استخراج اطلاعات ژئوشیمیایی در مورد شرایط و فرآیندهای ذوب را فراهم می‌کند.

روش‌های یادگیری ماشینی مانند SVM و RF به‌طور فزاینده‌ای در علوم زمین مورداستفاده قرار می‌گیرند (Belgiu & Drăguţ, 2016; Cracknell & Reading, 2013; Li et al., 2017; Petrelli & Perugini, 2016; Rouet-Leduc et al., 2017).

SMR راه‌حل‌های پراکنده‌ای به دست می‌دهد و نتایج نشان می‌دهد که این تکنیک با موفقیت هم عناصر و هم ایزوتوپ‌هایی را که می‌توانند به‌طور مؤثر برای تمایز بین موقعیت زمین ساختی مختلف مورداستفاده قرار گیرند، شناسایی کرد (شکل ۳).



شکل۲. تغییرات در غلظت عنصری و نسبت‌های ایزوتوپی در مجموعه داده‌های مورداستفاده در هشت محیط تکتونیکی مختلف، نشـان داده‌شـده در (الف) Al_2O_3 در مقابل SiO_2 و (ب) نمودار MgO در مقابل SiO_2 نوع هارکر، (c) نمودار Zr در مقابل Zr/Y (Li et al., 2015; Pearce & Cann, 1973; Pearce & Norry, 1979)و (د) نمودارهای تمایز باینری Th/Yb در مقابل Nb/Yb (Li et al., 2015; Pearce, 2008) و (e) نمودارهـای تغییرات ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ و $^{206}Pb/^{204}Pb$ (g) در مقـابـل Pb/204Pb207. محـدوده ترکیبی کـامـل مجموعـه داده در $^{87}Sr/^{86}Sr$ در مقـابـل $^{144}Nd/^{143}Nd$ و $^{206}Pb/^{204}Pb$در مقابل فضای $^{207}Pb/^{204}Pb$ در شکل‌های داخلی نشان داده‌شده است (به ترتیب شکل‌های 4f و 4h). زمینه‌های تمایز (Pearce & Norry, 1979) و MORB-OIB (Pearce, 2008) به ترتیب در شکل 4c و 4d نشان داده‌شده است. اختصارات ترکیبات نماینده هر محیط تکتونیکی را نشان می‌دهد به شـرح زیر:B، back-arc basin ،C :continental arc ،F :continental flood ;island arc I, ;i oceanic plateau ،P :oceanic islands ،O ;midocean ridge ،M intraoceanic arc;



شکل ۳. نمودار پراکندگی با استفاده از ترکیبات تبدیل شده باکس-کاکس که نتایج تمایز مبتنی بر SMR را نشان می دهد. نمونه‌ها بر روی نموداری رسم می‌شوند که آموزنده‌ترین ویژگی را با سایر ویژگی‌های خلاصه شده برای به دست آوردن یک بعد با استفاده از یک طرح وزنی مقایسه می‌کند. نمادها مانند شکل ۲ هستند.

مراجع

1. Abedi, M., Norouzi, G.-H., & Bahroudi, A. (2012). Support vector machine for multi-classification of mineral prospectivity areas. *Computers & Geosciences*, *46*, 272-283.
2. Agrawal, S., Guevara, M., & Verma, S. P. (2004). Discriminant analysis applied to establish major-element field boundaries for tectonic varieties of basic rocks. *International Geology Review*, *46*(7), 575-594.
3. Agrawal, S., Guevara, M., & Verma, S. P. (2008). Tectonic discrimination of basic and ultrabasic volcanic rocks through log-transformed ratios of immobile trace elements. *International Geology Review*, *50*(12), 1057-1079.
4. Agterberg, F. (1971). A probability index for detecting favourable geological environments. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, *10*, 82-91.
5. Baldwin, J., & Pearce, J. A. (1982). Discrimination of productive and nonproductive porphyritic intrusions in the Chilean Andes. *Economic Geology*, *77*(3), 664-674.

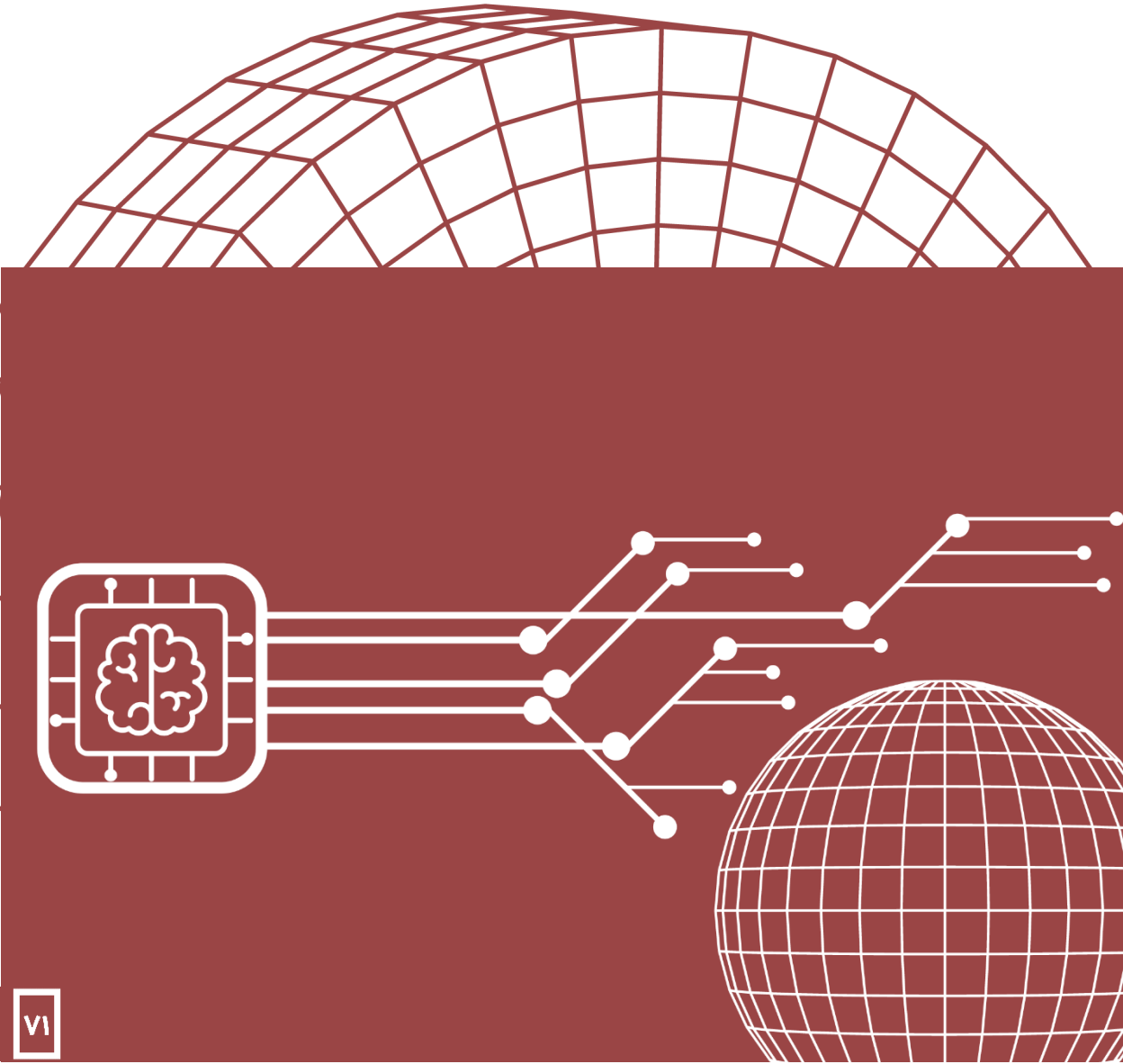
6. Belgiu, M., & Drăguţ, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, *114*, 24-31.
7. Bishop, C. (2006). Pattern recognition and machine learning. *Springer google schola*, *2*, 5-43.
8. Breiman, L. (2017). *Classification and regression trees*. Routledge.
9. Brown, W. M., Gedeon, T., Groves, D., & Barnes, R. (2000). Artificial neural networks: a new method for mineral prospectivity mapping. *Australian journal of earth sciences*, *47*(4), 757-770.
10. Carranza, E. J. M. (2011). Geocomputation of mineral exploration targets. In (Vol. 37, pp. 1907-1916): Elsevier.
11. Carranza, E. J. M., & Laborte, A. G. (2015a). Data-driven predictive mapping of gold prospectivity, Baguio district, Philippines: Application of Random Forests algorithm. *Ore Geology Reviews*, *71*, 777-787.
12. Carranza, E. J. M., & Laborte, A. G. (2015b). Random forest predictive modeling of mineral prospectivity with small number of prospects and data with missing values in Abra (Philippines). *Computers & Geosciences*, *74*, 60-70.
13. Carranza, E. J. M., & Laborte, A. G. (2016). Data-driven predictive modeling of mineral prospectivity using random forests: A case study in Catanduanes Island (Philippines). *Natural Resources Research*, *25*, 35-50.
14. Chen, C., He, B., & Zeng, Z. (2014). A method for mineral prospectivity mapping integrating C4. 5 decision tree, weights-of-evidence and m-branch smoothing techniques: a case study in the eastern Kunlun Mountains, China. *Earth Science Informatics*, *7*, 13-24.
15. Chen, X., Richards, J. P., Liang, H., Zou, Y., Zhang, J., Huang, W., Ren, L., & Wang, F. (2019). Contrasting arc magma fertilities in the Gangdese belt, Southern Tibet: Evidence from geochemical variations of Jurassic volcanic rocks. *Lithos*, *324*, 789-802.
16. Cracknell, M. J., & Reading, A. M. (2013). The upside of uncertainty: Identification of lithology contact zones from airborne geophysics and satellite data using random forests and support vector machines. *Geophysics*, *78*(3), WB113-WB126.
17. Dilles, J. H., Kent, A. J., Wooden, J. L., Tosdal, R. M., Koleszar, A., Lee, R. G., & Farmer, L. P. (2015). Zircon compositional evidence for sulfur-degassing from ore-forming arc magmas. *Economic Geology*, *110*(1), 241-251.
18. Granek, J., & Haber, E. (2016). Advanced geoscience targeting via focused machine learning applied to the QUEST project dataset, British Columbia. *Geoscience BC Summary of Activities*, *2011*.
19. Hariharan, S., Tirodkar, S., Porwal, A., Bhattacharya, A., & Joly, A. (2017). Random forest-based prospectivity modelling of greenfield terrains using sparse deposit data: An example from the Tanami Region, Western Australia. *Natural Resources Research*, *26*, 489-507.

20. Harris, D. P. (1968). *Alaska's Base and Precious Metals' Resources: a probabilistic regional appraisal*. Pennsylvania State University, College of Earth and Mineral Sciences.
21. Kuwatani, T., Nagata, K., Okada, M., Watanabe, T., Ogawa, Y., Komai, T., & Tsuchiya, N. (2014). Machine-learning techniques for geochemical discrimination of 2011 Tohoku tsunami deposits. *Scientific reports*, *4*(1), 7077.
22. Lang, J. R., & Titley, S. R. (1998). Isotopic and geochemical characteristics of Laramide magmatic systems in Arizona and implications for the genesis of porphyry copper deposits. *Economic Geology*, *93*(2), 138-170.
23. Leite, E. P., & de Souza Filho, C. R. (2009). Artificial neural networks applied to mineral potential mapping for copper-gold mineralizations in the Carajás Mineral Province, Brazil. *Geophysical Prospecting*, *57*(6), 1049-1065.
24. Li, L., Solana, C., Canters, F., & Kervyn, M. (2017). Testing random forest classification for identifying lava flows and mapping age groups on a single Landsat 8 image. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *345*, 109-124.
25. Lindsay, M. D., Betts, P. G., & Ailleres, L. (2014). Data fusion and porphyry copper prospectivity models, southeastern Arizona. *Ore Geology Reviews*, *61*, 120-140.
26. Lösing, M., & Ebbing, J. (2021). Predicting geothermal heat flow in Antarctica with a machine learning approach. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *126*(6), e2020JB021499.
27. Loucks, R. (2014). Distinctive composition of copper-ore-forming arcmagmas. *Australian journal of earth sciences*, *61*(1), 5-16.
28. Lu, Y.-J., Loucks, R. R., Fiorentini, M. L., Yang, Z.-M., & Hou, Z.-Q. (2015). Fluid flux melting generated postcollisional high Sr/Y copper ore–forming water-rich magmas in Tibet. *Geology*, *43*(7), 583-586.
29. Nathwani, C. L., Wilkinson, J. J., Fry, G., Armstrong, R. N., Smith, D. J., & Ihlenfeld, C. (2022). Machine learning for geochemical exploration: classifying metallogenic fertility in arc magmas and insights into porphyry copper deposit formation. *Mineralium Deposita*, *57*(7), 1143-1166.
30. Pearce, J. A. (2008). Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, *100*(1-4), 14-48.
31. Pearce, J. A., & Cann, J. R. (1973). Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, *19*(2), 290-300.
32. Petrelli, M., Caricchi, L., & Perugini, D. (2020). Machine learning thermo-barometry: Application to clinopyroxene-bearing magmas. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *125*(9), e2020JB020130.

33. Petrelli, M., & Perugini, D. (2016). Solving petrological problems through machine learning: the study case of tectonic discrimination using geochemical and isotopic data. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, *171*, 1-15.
34. Pizarro, H., Campos, E., Bouzari, F., Rousse, S., Bissig, T., Gregoire, M., & Riquelme, R. (2020). Porphyry indicator zircons (PIZs): Application to exploration of porphyry copper deposits. *Ore Geology Reviews*, *126*, 103771.
35. Porwal, A., & Yu, L. (2010). SVM-based base-metal prospectivity modeling of the Aravalli Orogen, northwestern India. EGU General Assembly Conference Abstracts,
36. Prado, E. M. G., de Souza Filho, C. R., Carranza, E. J. M., & Motta, J. G. (2020). Modeling of Cu-Au prospectivity in the Carajás mineral province (Brazil) through machine learning: Dealing with imbalanced training data. *Ore Geology Reviews*, *124*, 103611.
37. Radford, D. D., Cracknell, M. J., Roach, M. J., & Cumming, G. V. (2018). Geological mapping in Western Tasmania using radar and random forests. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *11*(9), 3075-3087.
38. Rezvanbehbahani, S., Stearns, L. A., Kadivar, A., Walker, J. D., & van der Veen, C. J. (2017). Predicting the geothermal heat flux in Greenland: A machine learning approach. *Geophysical Research Letters*, *44*(24), 12,271-212,279.
39. Richards, J. (2016). Clues to hidden copper deposits. *Nature Geoscience*, *9*(3), 195-196.
40. Richards, J. P. (2011). High Sr/Y arc magmas and porphyry Cu±Mo±Au deposits: Just add water. *Economic Geology*, *106*(7), 1075-1081.
41. Richards, J. P., & Kerrich, R. (2007). Special paper: adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology*, *102*(4), 537-576.
42. Rodriguez-Galiano, V., Chica-Olmo, M., & Chica-Rivas, M. (2014). Predictive modelling of gold potential with the integration of multisource information based on random forest: a case study on the Rodalquilar area, Southern Spain. *International Journal of Geographical Information Science*, *28*(7), 1336-1354.
43. Rodriguez-Galiano, V., Sanchez-Castillo, M., Chica-Olmo, M., & Chica-Rivas, M. (2015). Machine learning predictive models for mineral prospectivity: An evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines. *Ore Geology Reviews*, *71*, 804-818.
44. Rouet-Leduc, B., Hulbert, C., Lubbers, N., Barros, K., Humphreys, C. J., & Johnson, P. A. (2017). Machine learning predicts laboratory earthquakes. *Geophysical Research Letters*, *44*(18), 9276-9282.

45. Shabankareh, M., & Hezarkhani, A. (2017). Application of support vector machines for copper potential mapping in Kerman region, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, *128*, 116-126.
46. Shu, Q., Chang, Z., Lai, Y., Hu, X., Wu, H., Zhang, Y., Wang, P., Zhai, D., & Zhang, C. (2019). Zircon trace elements and magma fertility: insights from porphyry (-skarn) Mo deposits in NE China. *Mineralium Deposita*, *54*, 645-656.
47. Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry copper systems. *Economic Geology*, *105*(1), 3-41.
48. Snow, C. A. (2006). A reevaluation of tectonic discrimination diagrams and a new probabilistic approach using large geochemical databases: Moving beyond binary and ternary plots. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *111*(B6).
49. Verma, S. P., & Armstrong-Altrin, J. S. (2013). New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. *Chemical Geology*, *355*, 117-133.
50. Vermeesch, P. (2006). Tectonic discrimination of basalts with classification trees. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *70*(7), 1839-1848.
51. Wang, R., Tafti, R., Hou, Z.-q., Shen, Z.-c., Guo, N., Evans, N. J., Jeon, H., Li, Q.-y., & Li, W.-k. (2017). Across-arc geochemical variation in the Jurassic magmatic zone, Southern Tibet: Implication for continental arc-related porphyry CuAu mineralization. *Chemical Geology*, *451*, 116-134.
52. Wells, T., Meffre, S., Cooke, D., Steadman, J., & Hoye, J. (2020). Porphyry fertility in the Northparkes district: indicators from whole-rock geochemistry. *Australian journal of earth sciences*, *67*(5), 717-738.
53. Wood, D. A. (1980). The application of a ThHfTa diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters*, *50*(1), 11-30.
54. Zandiyyeh, F., Shayestefar, M. R., Ranjbar, H., & Saadat, S. (2016). Prospectivity mapping of iron oxide-copper-gold (IOCG) deposits using support vector machine method in Feyzaabad area (east of Iran). *Journal of Himalayan Earth Sciences*, *49*(2), 50-62.
55. Zhang, N., Zhou, K., & Li, D. (2018). Back-propagation neural network and support vector machines for gold mineral prospectivity mapping in the Hatu region, Xinjiang, China. *Earth Science Informatics*, *11*, 553-566.
56. Zhong, R., Deng, Y., & Yu, C. (2021). Multi-layer perceptron-based tectonic discrimination of basaltic rocks and an application on the Paleoproterozoic Xiong'er volcanic province in the North China Craton. *Computers & Geosciences*, *149*, 104717.
57. Zhong, S., Seltmann, R., Qu, H., & Song, Y. (2019). Characterization of the zircon Ce anomaly for estimation of oxidation state of magmas: a revised Ce/Ce* method. *Mineralogy and Petrology*, *113*, 755-763.

58. Zou, S., Chen, X., Xu, D., Brzozowski, M. J., Lai, F., Bian, Y., Wang, Z., & Deng, T. (2021). A machine learning approach to tracking crustal thickness variations in the eastern North China Craton. *Geoscience Frontiers*, *12*(5), 101195.
59. Zuo, R., & Carranza, E. J. M. (2011). Support vector machine: A tool for mapping mineral prospectivity. *Computers & Geosciences*, *37*(12), 1967-1975.



معرفی، مورفولوژی و چینه‌شناسی اسکلوکودونت‌ها

سجاد یونسی *
دانشجوی کارشناسی ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی ، دانشگاه خوارزمی
sajadyounesi001@gmail.com

چکیده

اسکلوکودونت‌ها (Scolecodonts) یکی از اجزای همراه و میکروفسیل‌های شاخص در مطالعات پالئوپالینولوژی بوده که در محیط‌های رسوبی دریایی پالئوزوئیک، همراه با کیتینوزوآ، آکریتارش و اسپور و پولن مشاهده می‌شود. این میکروفسیل‌ها غالبا اشکالی به‌صورت بخش‌های کیتینیزه داشته و سختی شبیه آرواره نیز دارند. اسکلوکودونت‌ها در رسوبات دوره‌های مختلف زمین‌شناسی از اردویسین تا عهد حاضر وجود دارند. از نظر اندازه اسکلوکودونت‌ها مانند کیتینوزوآ تغییرات قابل توجهی داشته و غالبا اندازه آن ها ۱۰۰ میکرون تا ۲۰۰ میکرون است. بنابراین مطالعه آن ها به روش جداسازی فرامینیفرها از رسوبات نیز امکان‌پذیر است. با وجو این اسکلوکودونت‌ها به تعداد زیاد همراه دیگر پالینومورف‌ها در اسلایدهای پالینولوژیکی قابل مشاهده و مطالعه می‌باشند. در این مقاله، ابتدا به معرفی کلی و سیستماتیک اسکلوکودونت‌ها پرداخته شده و سپس مورفولوژی و چینه‌شناسی آن ها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

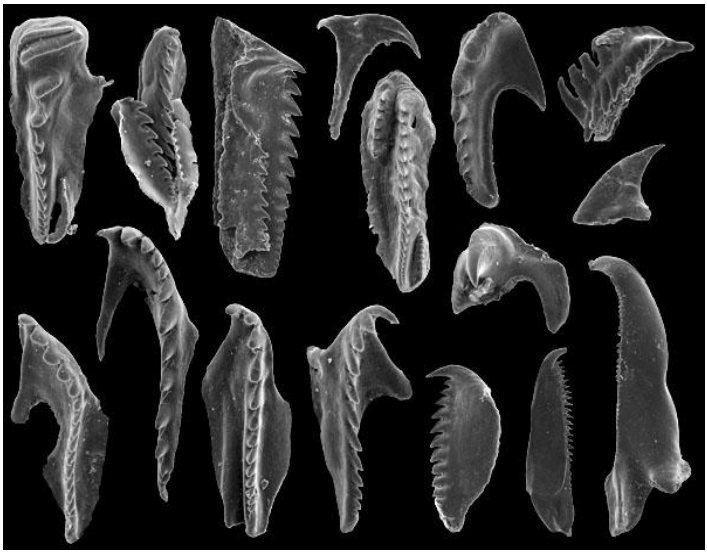
واژه‌های کلیدی: *پالئوپالینولوژی، میکروفسیل‌ها، رخساره‌های زیستی، پالئوزوئیک، اسکلوکودونت‌ها، پالینوفاسیس*

مقدمه

عده‌ای از صاحبنظران معتقد هستند که اسکلوکودونت‌ها بخش‌های جدا شده سخت آرواره کرم‌های دریایی هستند. این آرواره‌ها از دو بخش داخلی و خارجی تشکیل شده است که لایه داخلی از جنس کربنات کلسیم و لایه خارجی آن از کیتین می‌باشد و در تجزیه‌های پالینولوژیکی تنها بخش خارجی کیتینیزه باقی مانده و بخش داخلی کربناته آن در اسیدها حل شده و از بین می‌رود. با وجود این که اسکلوکودونت‌ها در رسوبات دریایی یافت می‌شوند ولی آثار آن ها از رسوبات غیردریایی سنوزوئیک گزارش شده است (Germeraad, 1989).

وجود اسکلوکودونت‌ها در رسوبات خشکی غیرعادی است و به نظر می‌رسد که به صورت نابجا باشد. اسکلوکودونت‌ها مانند کیتینوزوآها در زیر میکروسکوپ به رنگ تیره دیده می‌شوند بنابراین مطالعه آن ها با میکروسکوپ‌های الکترونیک (SEM) مناسب‌تر از میکروسکوپ‌های معمولی می‌باشد. اسکلوکودونت‌ها در شیل‌های دریایی اردویسین – پرمین فراوان بوده و نیز Craig وJansonius در سال ۱۹۸۰ آن‌ها را از رسوبات مزوزوئیک و سنوزوئیک با فراوانی کم گزارش کرده‌اند.

مطالعه اسکلوکودونت‌ها در مقایسه با دیگر گروه‌های پالینومورف بسیار مشکل است زیرا این گروه دارای مورفولوژی بسیار پیچیده و متغیر بوده و این امر مطالعه سیستماتیک آن ها را مشکل می‌سازد. با وجود اینEdgar در سال ۱۹۸۰ با مطالعه بخش‌های سخت دهان کرم‌های امروزی سه قسمت اساسی به نام‌های بخش قدامی آرواره (Anterrior maxillae)، بخش خلفی آرواره (Posterior maxillae) و بخش حفره‌ای آرواره (Carriers)، در آن‌ها معرفی کرد که هریک از بخش‌های فوق‌الذکر به نوبه خود دارای تقسیمات جداگانه می‌باشد. در میان بخش‌های مختلف آرواره کرم‌ها، MI یعنی آرواره پشتی در تشخیص اسکلوکودونت بسیار مهم است. در هر صورت باید توجه داشت که قسمت سخت و کیتینیزه آرواره کمتر به صورت کامل یافت شده و غالبا به صورت تکه‌های منفرد در داخل رسوبات پراکنده است (قویدل سیوکی، ۱۳۷۱).



شکل۱. چند نمونه از اسکلوکودونت‌های دوران‌های اردویسین و سیلورین از منطقه بالتیک. منبع تصویر: Rabet, N. 2023

کنودونت‌ها گاهی اوقات با اسکلوکودونت‌ها اشتباه گرفته می‌شوند ولی باید توجه داشت که کنودونت‌ها دارای ترکیبات فسفاته بوده که در تجزیه‌های پالینولوژیکی حل شده و از بین می‌روند؛ در حالی که اسکلوکودونت‌ها در این تجزیه سالم باقی می‌مانند. از طرف دیگر کنودونت‌ها دارای منشا بیولوژیکی نامشخص بوده در حالی که اسکلوکودونت‌ها دارای منشا مشخص می‌باشند. همچنین اندازه اسکلوکودونت‌ها معمولا بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون بوده ولی اندازه کنودونت‌ها بین ۳۰۰ تا ۱۵۰۰

میکرون می‌باشد. بنابراین با وجود برخی از شباهت‌های ظاهری بین این دو گروه، می‌توان به سهولت آن ها را از یکدیگر تفکیک نمود (قویدل سیوکی، ۱۳۷۱).

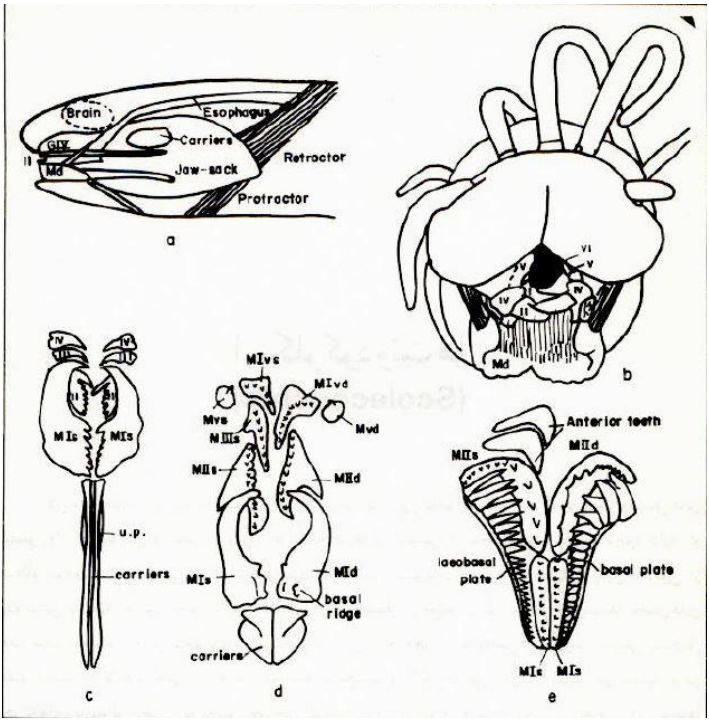
ساختمان اسکلوکودونت‌ها که از مواد آلی بسیار مقاوم تشکیل شده‌اند. از انجایی که کرم‌ها دارای بدن نرم بودند به سرعت بعد از مرگ تجزیه شده و از بین می‌روند و از این رو به ندرت در آثار فسیلی گذشته حفظ می‌شوند. در واقع، اسکلوکودونت‌ها دارای مورفولوژی فک و آرواره‌های خاصی بودند که که در بعضی از گونه و جنس‌ها، فک ها حالت پیچیده به خود گرفته و معمولا از آرواره‌های جفت مانند تشکیل شده اند. گاهی اوقات اگر از تکنیک‌های صحیح برای نمونه‌برداری این موجودات استفاده شده باشد، مورفولوژی دقیق و پیچیدگی‌های آرواره و فک‌ها را می‌توان تشخیص و تصویر آن ها را بازسازی نمود. اسکلوکودونت‌ها متاسفانه کمتر مورد بررسی، آنالیز و معرفی قرار گرفتند؛ یکی از عواملی که موجب شده مطالعه سیستماتیک آن ها با مشکل همراه باشد، می‌توان به تکامل نسبتا آهسته در طی زمان، پیچیده و متغییر بودن مورفولوژی، وابستگی شدید رخساره‌ها به محیط و حفظ‌شدگی کم آن ها اشاره نمود.

در مورد منشا این موجودات نظریات متفاوتی میان دانشمندان علوم زمین و پالینولوژیست‌ها وجود دارد. عده‌ای معتقد هستند که در دوران نئوپروتروزوییک، نهشته‌هایی یافت شده که در آن شکل‌هایی مشابه اسکلوکودونت‌ها داشته و مورفولوژی آن ها شبیه به کرم‌های باستانی می‌باشد. به عنوان مثال، نهشته‌های رسوبی دوران ادیاکاران در تپه‌های جنوب مرکزی استرالیا و نهشته‌های رسوبی منطقه فسیلی شیل برگس در بریتیش کلمبیا کانادا را می‌توان نام برد (Eriksson,M.2007).

اسکلوکودونت‌ها برای اولین بار به طور رسمی، از توالی‌های رسوبی دوران سیلورین جزیره Saaremaa استونی در سال ۱۸۵۴ گزارش شده‌اند (EICHWALD, E. 1854). اما آن‌ها به اشتباه به عنوان آرواره و دندان‌های ماهی در نظر گرفته شدند. یک سال بعد، برداشت‌هایی از کرم‌های چندشاخه کامل با آرواره‌های ضعیف حفظ شده از رسوبات دوران سنوزوئیک ایتالیا توصیف شد (MASSALONGO, A. 1855).

بعدها E. Ehlers در مورد مورفولوژی و چند شاخگی‌های اخیر این موجودات تحقیق نمود، و نیز آن ها را از رسوبات منطقه سولن‌هوفن به سن ژوراسیک باواریا آلمان ثبت و مورد بررسی قرار داد. او نام‌های Eunicites و Lumbriconereites را پیشنهاد کرد. مطالعات گسترده‌تری در اواخر قرن نوزدهم توسط جورج جی هنده بر روی مواردی از انگلستان، ولز، کانادا و سوئد انجام گرفت و او مبنایی را برای نامگذاری اسکلوکودونت‌ها و شناسایی آرواره و فک‌های آن ها طراحی نمود.

لازم به یادآوری است که نامگذاری آن ها بر مبنای واژه‌های جانورشناسی بوده و بنابراین با معیارهای پالینولوژیکی مطابقت ندارد.



شکل۲. نمایش مورفولوژی اسکلوکودونت‌ها و نامگذاری قسمت‌های مختلف آن. a – بخش‌های مختلف گونه Eunice siciliencis از نیمرخ و ارتباط آن ها از جلو به عقب. b – مقطع عرضی Eunice siciliencis و نامگذاری قسمت‌های مختلف آن. c – نامگذاری بخش‌های مختلف آرواره کرم. d– نامگذاری اعضا سخت دهان یک کرم که به صورت فسیل اسکلوکودونت ظاهر می‌شدند. e– دیاگرام قسمت‌های دهانی گونه Diopatria. منبع تصویر: قویدل سیوکی، ۱۳۸۹.

هریک از عناصر فک دارای یک حفره پایه (حفره یا میوکول) هستند که به طور کلی امتداد آن به نوک دنتیکول یا دندان ها متصل می‌شود. دنتیکول‌ها که عناصر مخروطی شکل یا به نوعی دندان نامیده می‌شوند، در حاشیه پشتی فک داخلی قرار داشته و معمولا از سمت جلو بزرگتر هستند (J&C,1971).

در مجموع، بیش از ۵۰ جنس از اسکلوکودونت‌های دوران اردویسین شناخته شده است. اولین موجودات دارای ساختمان بدنی ساده و دستگاه فک ابتدایی بودند. براساس شواهد فسیلی، تزیینات و تغیر شکل آرواره‌های اسکلوکودونت‌ها از اردویسین آغاز گشته و در میان این موجودات، پلی‌کاته‌ها بیشترین تغییرات را در طی زمان داشتند.

بررسی‌های اخیر نشان می‌دهد که اسکلوکودونت‌های دوران سوم از دو واحد ساخته شدند: یک کوتیکول بیرونی متراکم و لایه‌ای، با رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه که سرشار مواد آلی است. دوم یک پوشش داخلی با رنگ‌های روشن‌تر با توبول‌های کوچک متعدد می‌باشند. در برخی نمونه‌ها ظاهرا توبول‌ها از سلول‌های رشد سرچشمه می‌گیرند و در سراسر پوشش داخلی فک گسترش می‌یابند (www.jstor.org).

تجزیه و تحلیل پراش اشعه ایکس و طیف شناسی اسکلوکودونت‌ها نشان می‌دهد که دوران‌های اردویسین و سیلورین، که آن ها از فلورآپاتیت و مقادیر کمی کلسیم، مس، سیلیس و منیزیم تشکیل شده‌اند. اخیرا تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که فک کرم Nereis virens Sars دارای الگویی پیچیده و ماده آلی درون آن شبیه به ساختار بنزن – اسید کربولیک بوده و تحلیل طیف‌شناسی نشان می‌دهد که نیز دارای مقادیری از کلسیم و مس هستند (Schwab,1966)

شکل۳. تعدادی از اسکلوکودونت‌های دوران اردویسین را نشان می‌دهد. منبع تصویر: Sa'id Al-Hajri, 2015

نتیجه گیری

اسکلوکودونت‌ها، یکی از اجزای همراه و میکروفسیل‌های شاخص در مطالعات پالئوپالینولوژی بوده که در محیط‌های رسوبی دریایی پالئوزوئیک، همراه با کیتینوزوآ، آکریتارش و اسپور و پولن مشاهده می‌شود. عده‌ای از صاحبنظران معتقد هستند که اسکلوکودونت‌ها بخش‌های جدا شده سخت آرواره کرم‌های دریایی هستند. همان طوری که اشاره شد، اسکلوکودونت‌ها همراه دیگر پالینومورف‌ها از اردویسین تا عهد حاضر یافت می‌شوند اما فراوانی آن ها در اردویسین- پرمین زیاد بوده و در رسوبات مزوزوئیک و سنوزوئیک بسیار ناچیز است. اسکلوکودونت‌ها به دلیل پیچیدگی مورفولوژی تاکنون به طور جدی مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند بنابراین از نظر بایواستراتیگرافی ارزش آن ها هنوز ناشناخته است. امید می‌رود با مطالعه بیشتر آن ها در آینده‌ای نزدیک کاربرد آن ها در زمین‌شناسی بیش از بیش شناخته شود. بهره‌گیری این موجودات از تمامی این زیستگاه‌ها نشان‌دهنده این است که مورفولوژی و فیلوژنی این موجودات، با انواع مختلف محیطها سازش‌پذیری قابل ملاحظه‌ای داشته است. در ایران نیز، وجود پالینوفاسیس‌ها، رخساره‌های پالینولوژیکی و محیط‌های رسوبی دیرینه بخشی از تاریخ زمین شناسی این مرز و بوم می‌باشد.

مراجع

1. قویدل سیوکی، محمد.، پالینولوژی و کاربرد آن درزمین‌شناسی : پره‌کامبرین (پروتروزوئیک)، پالئوزوئیک و مزوزوئیک با تاکید بر نمونه‌های فسیل از ایران، ۱۳۸۹، نشر تک رنگ.
2. خسرو تهرانی، خسرو.، میکروپالئونتولوژی کاربردی، ۱۳۹۰، انتشارات دانشگاه تهران.
3. چهرازی، علی بابا.، چینه شناسی، ۱۳۹۰، انتشارات دانشگاه پیام نور.
4. خسرو تهرانی.، خسرو.، چینه شناسی و رخدادهای زمین شناسی، ۱۳۹۲، انتشارات دانشگاه تهران.
5. بینو، ژرار.، ریز دیرینه شناسی، ترجمه قاسمی نژاد، ابراهیم.، ۱۳۸۲، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.
6. خسرو تهرانی، خسرو.، چینه شناسی ایران، ۱۳۸۹، انتشارات دانشگاه تهران.
7. وزیری، محمد رضا.، داستانپور، محمد.، ناظری، وحیده.، مبانی دیرینه شناسی، ۱۳۹۲، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
8. خسرو تهرانی، خسرو.، شناخت رخساره‌های رسوبی در مقیاس ماکروسکوپی (میکروفاسیس)، ۱۳۶۰، انتشارات دانشگاه تهران.
9. آقانباتی، سید علی.، زمین شناسی ایران، ۱۳۸۳، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
10. درویش زاده، علی.، زمین شناسی ایران، ۱۳۸۲، انتشارات امیرکبیر.
11. خسرو تهرانی، خسرو.، دیرینه شناسی، ۱۳۹۰، انتشارات دانشگاه تهران.
12. تاربوک، ادوارد جی.، و لونگن، فردیک ک.، مبانی زمین شناسی، ترجمه اخروی، رسول.، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
13. خسرو تهرانی، خسرو.، اطلس رخساره‌های میکروسکوپی، جلد اول، ۱۳۹۰، انتشارات دانشگاه تهران.

14. خسرو تهرانی، خسرو.، چینه شناسی ایران، ۱۳۸۹، انتشارات دانشگاه تهران.
15. Gueriau, P., Parry, L. A., Rabet, N. 2023. Gilsonicaris from the Lower Devonian Hunsrück slate is a eunicidan annelid and not the oldest crown anostracan crustacean. Biology Letters, 19 .,(8)
16. Hints, O., Ainsaar, L., Lepland, A., Liiv, M., Männik, P., Meidla, T., Nõlvak, J., Radzevičius, S. 2023. Paired carbon isotope chemostratigraphy across the Ordovician–Silurian boundary in central East Baltic: Regional and global signatures. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 624, 1-17.
17. Hints, O., Tonarová, P. 2023. A diverse Hirnantian scolecodont assemblage from northern Estonia and resilience of polychaetes to the end-Ordovician mass extinction. Estonian Journal of Earth Sciences, 72 (1), 46-49.
18. Tonarová, P., Suttner, T. J., Kubajko, M., Hints, O. 2023. Late Ordovician jawed polychaete fauna from the Spiti Valley, northern India. Estonian Journal of Earth Sciences, 72 (1), 160-160.
19. Tonarová, P., Vodrážková, S., Hints, O., Nõlvak, J., Kubajko, M., Čáp, P. 2023. Latest Ordovician jawed polychaetes, chitinozoans and depositional environments of the Levín section, Prague Basin, Czech Republic. Geobios, 81, 179-198.
20. Bek, J., Štorch, P., Tonarová, P., Libertín, M. 2022. Early Silurian (mid-Sheinwoodian) palynomorphs from the Loděnice-Špičatý vrch, Prague Basin, Czech Republic. Bulletin of Geosciences, 97 (3), 385-396.
21. Shcherbakov, D. E., Tzetlin, A. B., Zhuravlev, A. Y. 2022. Boreognathus pogorevichi, a remarkable new polychaete annelid from the lower Permian of the Pechora Basin, Russia. Papers in Palaeontology, 8 (5), e1461 .
22. https://www.graptolite.net/scolecodonts.
23. scolecodonts.net
24. Microstructure of Some Fossil and Recent Scolecodonts. Karl W. Schwab. Journal of. Paleontology. Vol. 40, No. 2 (Mar., 1966), pp. 416-423 (10 pages). Published By: SEPM Society for Sedimentary Geology.

دستاوردهای جدید در مطالعات معدنی با استفاده از میکرو سپکتروسکوپی رامان

صبا میرغیاثی*[1] ، پدرام سمائی[2]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد پترولوژی ، دانشگاه تهران
sabamirghiasi@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی زمین‌شناسی ، دانشگاه تهران
samaeipedram@gmail.com

چکیده

امروزه با استفاده از میانبارهای سیال برای بدست آوردن اطلاعات بیشتر و دقیق تر از کانی های مختلف که در کانسارها قرار دارند، می‌توان به نکات مهمی از جمله منشا سیال کانه ساز، دمای سیال، مقدار شوری و محلول های آن پی برد که این اطلاعات تاثیر بسیار مهمی در روند فرآیند اکتشاف و بهره برداری بیشتر از کانسار خواهند داشت.

میانبارهای سیال به طور کلی مایع، جامد و گازهایی هستند که در داخل نقاط ضعف یا نقص بلور به دام افتاده اند. این مواد به دام افتاده می‌تواند محلول آبگین یا همان سیال کانه ساز باشد که با خود مواد زیادی را حمل کرده است و در صورت به دام افتادن در داخل کانی، مطالعه آن و اجزای به دام افتاده توسط سیال، اطلاعات دقیقی از منشا سیال به ما می‌دهد.

روش های متنوعی برای مطالعه این میانبارها وجود دارد که یکی از این روش ها استفاده از طیف سنج رامان است. این روش یکی از دقیق ترین و مناسب‌ترین روش های مطالعه میانبارهای سیال می‌باشد که در آن اطلاعات کامل تری از اجزای داخل میانبار سیال به ما می‌دهد. اطلاعاتی که توسط آنالیز رامان به دست می آید، اجزای میانبارهای سیال را از نظر کمی و کیفی بررسی می‌کند که این اطلاعات مطالعه میانبارهای سیال را آسان‌تر می‌کند.

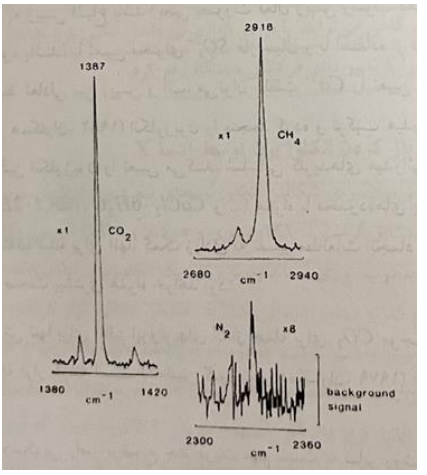
کلید واژه: *طیف سنجی رامان، اسپکتروسکوپی رامان، میانبارهای سیال، محلول های آبگین، کوارتز*

معرفی

با استفاده از تکنیک میکرو طیف سنجی رامان تاریخ پیچیده‌ی زمین را می‌توان بهتر بررسی کرد. نمونه‌های آزمایشگاهی برای۲ منطقه‌ی مختلف در لهستان است(fore studies , carpathians) و اجزای سیال انکلوزیون های داخل کوارتزهای این ۲ منطقه بررسی شده است. از تحلیل‌های انجام شده نتیجه می‌گیریم که حباب‌های گازی داخل این انکلوزیون‌ها ترکیب پیچیده‌ای از(N2, CH4, CO2) دارند که در نسبت‌های مختلف دیده می‌شوند که این ترکیبات به محل نمونه بستگی دارد. این کوارتزها دارای زمینه‌ی غیر فلوئورسیونی هستند اما در مناطق دیگر با وجود پس زمینه‌ی فلوئورسیونی فقط متان در طیف سنجی‌های رامان دیده می‌شود(Shepherd, 2013).

رامان چیست؟

تئوری اسپکتروسکوپی رامان بر اساس ارتعاش پیوندهای بین اتم‌ها در فرکانس‌های مختلف بسته به نوع اتم‌ها می‌باشد. در روش تحریک لیزری ۱ منبع نور لیزری قوی با چند میکرون قطر به داخل نمونه متمرکز شده و تشعشعات رامان حاصل از آن آنالیز می‌شود. تجهیزات آن شامل ۱ میکروسکوپ نوری استاندارد بوده و امکان آنالیز انکلوزیون‌های انتخاب شده را در کانی‌های شفاف میسر می‌سازد. تابش رامان حاصل ارتعاش پیوندهای بین اتم‌ها بوده و لذا محدود به گونه‌های چند اتمی از جمله (-NaCL, CO2, SO4 2) می‌باشد. یون‌های تک اتمی موجود در محلول سیال و گازهای تک اتمی مانند آرگون تابش رامان تولید نمی‌کنند. از طیف فرکانسی این تابش‌ها برای شناسایی فازهای موجود و از مقایسه‌ی ارتفاع پیک‌ها برای تعیین نسبت‌های نسبی اجزای تشکیل دهنده استفاده می‌شود یعنی غلظت متناسب با ارتفاع پیک است. سپس می‌توان آن‌ها را با استانداردهای مصنوعی داخل لوله‌های مویینه شیشه‌ای مقایسه کرد(Shepherd, 2013).



گازها

(H2O, CO2, N2, H2S, H2, CH4, C2H6, C3H8) همگی در داخل انکلوزیون‌های سیال ردیابی و مورد آنالیز کمی قرار گرفته‌اند. این روش به خصوص موفق‌ترین روش برای آنالیز مخلوط‌های همگن گازها در حباب‌های بخار انکلوزیون‌های می‌باشد(Shepherd, 2013).

جامدات

این روش همچنین برای تعیین فازهای جامد داخل انکلوزیون‌ها مناسب می‌باشد چون همگی این‌ها چند اتمی هستند. طیف رامان حاصله از طریق مقایسه‌ی دقیق تمامی پیک‌های موجود

عمدتا همانند روش پراش اشعه‌ی ایکس تفسیر می‌شود. هماتیت، کلسیت، انیدریت، و ناکولیت همگی به این روش شناسایی شده‌اند(Shepherd, 2013).

محلول‌های مایع(آبگین)

از آنجایی که فقط امکان به دست آوردن طیف برای یون‌های چند اتمی داخل محلول میسر است آنالیز فاز آبگین برخلاف گازها هنوز چندان گسترده نیست. با وجود این می‌توان غلظت یون‌هایی چون (SO4 2-, HCO3 -, HS -) را از طریق مقایسه‌ی پیک‌های اجزا با پیک‌های آب و سپس با مطابقت دادن آن‌ها با محلول استاندارد تعیین کرد. به علاوه این آنالیز در برخی موارد امکان تعیین غلظت‌های کاتیون‌ها را نیز میسر می‌سازد. برای مثال اگر محلولی نسبت به ژیپس اشباع باشد یعنی به صورت فعال ژیپس را روسوب دهد یا کانی‌های نوزاد ژیپس در آن موجود باشد با تعیین محتوای (SO4 2-) فاز سیال و با استفاده از داده‌های مرجع منتشر شده در مورد روابط تعادلی بین ژیپس و آب می‌توان غلظت (Ca2+) را تعیین کرد. در ۱ روش جدید انکلوزوین را منجمد کرده و ترکیب هیدراتهای نمک تشکیل شده در بخش آبگین انکلوزیون را تعیین می‌کنند. شناسه‌های کلریدهای هیدراتی مختلف همراه با محدوده‌های پایداری منتشر شده و دماهای ذوب مشاهده شده برای آن‌ها کمک زیادی به تفسیر مطالعات انجماد خواهد کرد و تعیین شیمی سیالات با صحت بیشتری همراه خواهد بود(Shepherd, 2013).

ایزوتوپ‌ها

این روش تنها برای آنالیز ایزوتوپهای کربن از جمله برای (CO_2) موجود در انکلوزیون‌های سیال مورد استفاده قرار گرفته است اما به وضوح پتانسیل بیشتری دارد(Shepherd, 2013).

مزیت های روش اسپکتروسکپی

روش اسپکتروسکوپی رامان به وضوح چند مزیت مهم نسبت به سایر روش‌های آنالیزی دارد اما برخی مشکلات نیز دارد اولا چون این روش برای مطالعات انکلوزیون‌های سیال نسبتا جدید است لذا داده‌های کافی در رابطه با پیک‌های مشخص شده‌ی رامان وجود ندارد ثانیا برای اندازه‌گیری‌های کمی استانداردها از نظر شیمیایی باید خیلی شبیه به مواد مورد آنالیز باشد چون سایر ترکیبات ممکن است با بخش مورد نظر از طیف تداخل کنند ثالثا باید از ۱ منبع نور با روشنایی (قدرت لیزر به سطح) نسبتا پایین استفاده شود. در غیر این صورت انکلوزوین بیش از حد گرم می‌شود و این می‌تواند منجر به جا به جا شدن فازهای ناهمگن در داخل انکلوزوین شود لذا تفسیر نتیجه‌ی آنالیز غیر ممکن خواهد بود. یا اینکه ممکن است انحلال حاصل شود. اگر شدت نور کم باشد زمان بیشتری برای حصول به ۱ آنالیز لازم است. تداخل فلئورسانس و پراش تابش رامان توسط کانی میزبان ایجاد می‌شود. این اثرات

موجب ایجاد پیک‌های متداخل بر روی طیف رامان می‌شوند که پیک‌های مورد نظر را مبهم کرده و یا می‌پوشانند. گرچه اشعه‌ی ایکس می‌تواند تا ۱حد معین به داخل انکلوزوین متمرکز شود اما همیشه اثراتی توسط کانی میزبان ایجاد می‌شود. اکثر کانی‌ها مشکلات کمی ایجاد می‌کنند اما فلوریت، آپاتیت و اسفالریت گاهی می‌توانند با برخی از اجزای داخل انکلوزیون تداخل کنند. از نظر تئوری می‌توان این مسئله را با تغییر دادن فرکانس دستگاه رفع کرد(Wolkowicz, 2019).

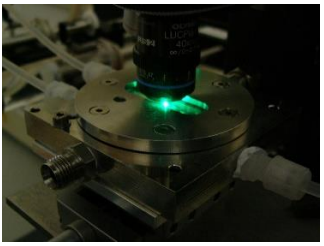
معرفی طیف سنج رامان

طیف سنج رامان ۱ ابزار اکتشافی عملی برای مطالعه‌ی زمین‌شناسی است. این تکنیک روشی سریع و قابل اعتماد است که بیشتر برای تعیین ترکیب سنگ‌های قیمتی یا دولومیت استفاده می‌شود. مطالعه‌ی رامان بر روی مقاطع نازک انجام می‌شود نمونه‌های نازک ارائه شده در حوزه‌های مختلف علوم زمین کاربرد دارد کانی‌شناسی، گوهر شناسی، سنگ شناسی، دیرینه شناسی، سیاره شناسی و آتشفشان شناسی. این روش بر این پایه استوار است که وقتی فوتون‌ها با هر ماده‌ای تعامل می‌کنند مانند زمانی که نور بر روی ۱ سنگ نمونه در زیر میکروسکوپ متمرکز می‌شود می‌تواند منعکس شود جذب شود یا پراکنده شود. همانطور که نور پراکنده رامان با حالت‌های ارتعاشی ملکول تعامل می‌کند و طیف ارتعاشی که به دست می‌آید امکان شناسایی ملکول‌ها و در اصل ترکیب شیمیایی آنها را فراهم می‌کند. در این مقاله نمونه‌های مختلف برای بررسی میان بار سیال این ۲ منطقه در لهستان توسط رامان بررسی می‌شود و پتروگرافی و ترکیبات آنها نیز مشخص خواهد شد(Wolkowicz, 2019).

اثر میکروسپکترومتری رامان

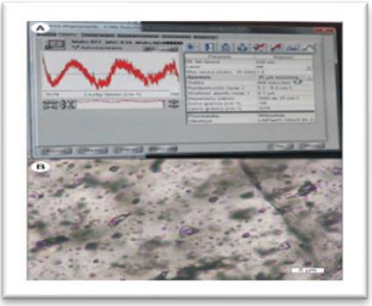
طیف سنج رمان برای مطالعه‌ی برهم‌کنش بین نور و جسم است که در آن نور پراکنده می‌شود. به این فرآیند اثر رمان می‌گوید. در آزمایش طیف سنجی رامان فوتون‌ها یک طول موج (در محدوده‌ی مرئی نوری با رنگ درخشان) روی ۱ نمونه متمرکز می‌شود فوتون‌ها با مولکول‌ها برهم کنش می‌کنند و منعکس می‌شود، جذب می‌شود، منتقل می‌شود یا پراکنده می‌شود. با طیف‌سنجی رمان در اصل فوتون‌های پراکنده مطالعه می‌شود. فوتون هایی که با ملکول‌ها برهم کنش می‌کنند معمولا به صورت الاستیکی پراکنده می‌شود (این پراکندگی ریلی است). با پراکندگی رامان فوتون تابیده شده با جسم یا ماده تعامل می‌کند طول موج آن پایین‌تر یا بالاتر خواهد رفت (به ترتیب قرمز یا آبی می‌شود) فوتون‌های قرمز تغییر یافته رایج‌تر هستند. اتفاقی که افتاده این است که فوتون‌ها با ابر الکترونی پیوندهای گروه عاملی بر هم کنش داده و ۱ الکترون را برانگیخته می‌کنند سپس الکترون به حالت ارتعاشی یا چرخشی برانگیخته می‌شود. این باعث می‌شود که فوتون مقداری انرژی از خود را از دست بدهد و به عنوان پراکندگی استوکس رامان شناسایی می‌شود. این اتلاف انرژی مستقیما با گروه عاملی و ساختار مولکولی ارتباط دارد هر ملکول یا گروه عاملی پراکندگی رامان نشان نمی‌دهد. شدت

پراکندگی رامان توسط عواملی مثل پولاریزاسیون مولکول تعیین می‌شود. هرچه گروه عاملی قطبی تر باشد شدت اثر پراکندگی رامان بیشتر می‌شود به این معنی است که برخی از انتقال‌های ارتعاشی یا چرخشی که قطبش پذیری پایینی از خود نشان می‌دهند در طیف‌های رامان ظاهر نمی‌شود. ۱ میکروسپکترومتر رامان شامل ۱ طیف سنج رامان با طراحی خاص است که با ۱ میکروسکوپ نوری ادغام شده است این امکان به دست آوردن طیف رمان از نمونه‌های میکروسکوپی را بیشتر می‌کند. در زمانی که نمونه‌های کوچکتر نیاز به بررسی شدن دارند کاربرد بیشتری دارد. طیف سنج‌های رامان اغلب به لیزرهای متعدد با طول موج‌های متفاوت مجهز می‌شود نمونه‌های مختلف ممکن است با طول موج‌های مختلف تحریک شود تا قوی‌ترین سیگنال رامان را به دست آورند(Wolkowicz, 2019).



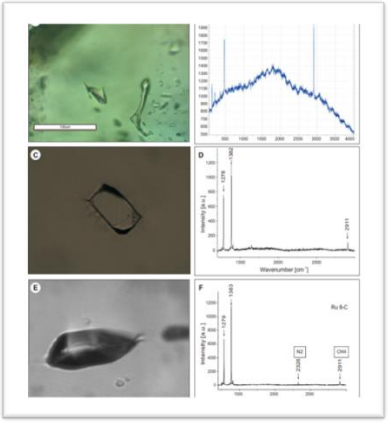
روش مطالعه

نمونه‌هایی برای تعیین رامان در مقاطع نازک استفاده می‌شود که برای پتروگرافی میانبارهای سیال استفاده می‌شود. برای این کار از لیزر ۵۳۲ نانومتری (سبز رنگ) استفاده می‌کنند که توانی از ۳ تا ۸ میلی وات را بر روی سطح نمونه تامین میکند. که ایجاد طیف را امکان‌پذیر می‌کند. طیف نقطه‌ای بسته به نمونه مورد مطالعه در مدت زمان ۲۰ و ۵۰ میلی ثانیه تحریک می‌شود طیف‌ها در مانیتور کامپیوتر مشاهده و ثبت می‌شود طیف‌های ثبت شده با جداول شناسایی مقایسه می‌شود. این طیف‌ها اندازه‌گیری می‌شود و درصد فازهای آن بر اساس روابط به دست می‌آید در این صورت پترو گرافی دقیق خواهد بود(Wolkowicz, 2019).



تعیین طیف رامان برای کوارتز محدوده (Carpathians)

در ۱ آزمایش انجام شده ۱ کوارتز را در نظر گرفتند (نمونه برداری شده از منطقه‌ی مورد مطالعه) و اجزای گازی آن را بررسی کردند. طیف‌های بررسی شده و ثبت شده نشان داد که طیف‌ها در بازه‌ی ۳۷ تا ۴۰۰۰ یک بر روی سانتی‌متر چند نقطه پیک یا قله دارد که نقطه‌ها مربوط به ترکیب خاصی از گازها هستند. با تجزیه و تحلیل‌های انجام شده دریافتند که این نمونه‌های میان بار سیستم‌های ۲ فازی هستند که حباب بزرگ فاز گاز دارای مخلوطی از(H2S, CH4, N2, CO2) است که در فاز مایع محصور شده است. این گازهای مخلوط شده هر کدام نسبت متفاوتی دارند. این نتایج می‌تواند به محتوای مایعات و گازهایی که در سیستم حضور دارد اشاره کند. ترکیب اجزای میان بارهای سیال این کوارتز با رامان بررسی شده است. این کوارتزها از رگه‌های سنگ‌های آن منطقه نمونه برداری شده است. برای تعیین محتوای گازی این کوارتزها از رامان استفاده شد تا مشخص شود که چه گازهایی و چند درصد در این کوارتزها به تله افتاده‌اند.(CO2) بیشترین میزان را داشت و مخلوطی از (CH4, H2S, N2) دیده می‌شود. نیتروژن در این نمونه‌ها باعث ایجاد ۲ قله در نمودار شد که اولی مربوط به نیتروژن به دام افتاده و دومی مربوط به نیتروژن با منشا اتمسفری یعنی نیتروژن داخل هوا است(Wolkowicz, 2019).



نتایج به دست آمده از طیف سنج رامان

تجزیه و تحلیل رامان از اجزای سیال امکان تشخیص یا شناسایی کیفی فازهای گازی و مایع و همچنین کانی‌های محصور شده را فراهم می‌کند همان طور که در مقاله ذکر شده در برخی موارد تجزیه و تحلیل‌های کمی امکان‌پذیر است. درصد مولی در مخلوط‌های گازی و غلظت املاح در مایعات هم اندازه‌گیری می‌شود. مزایای عمده‌ی طیف‌سنجی رامان آماده سازی کمترین مقدار نمونه با وضوح

عالی است. می‌توان حتی اجزای سیال بسیار کوچک را هم مطالعه کرد. از آنجایی که رمان ۱ تکنیک غیر مخرب است برای به دست آوردن ترکیب نیازی به کاهش میانبار سیال نیست. فلوئورسانس که طیف رامان را پوشش می‌دهد مهم‌ترین نقطه ضعف را نشان می‌دهد بنابراین فلورسانس باید همیشه هنگام انتخاب نمونه‌های سیال برای تجزیه و تحلیل در نظر گرفته شود. یکی دیگر از معایب این آنالیز نبود منابع کافی برای بررسی طیف‌های مرجع است تا کنون هیچ تکنیک دیگری پیدا نشده که بتواند فازهای مایع جامد و گاز را بر به این شکل تجزیه و تحلیل کند به همین دلیل این روش بسیار برای سیالات به دام افتاده در زمین شناسی مهم است(Wolkowicz, 2019).

مراجع

1. Ernst.A.J.Bruke., 2000. Raman Microspectrometry of Fliud Inclusion.
2. Shepherd.T., 2013. A Practical Guid To Fluid Inclusion Studies., P220-223.
3. Wolkowicz.K., Kararzyna.J., 2019. New Achivment In The Mineral Studies By Use Of The Raman Microspectroscopy.

یادداشت

ژئوتوریسم ایران

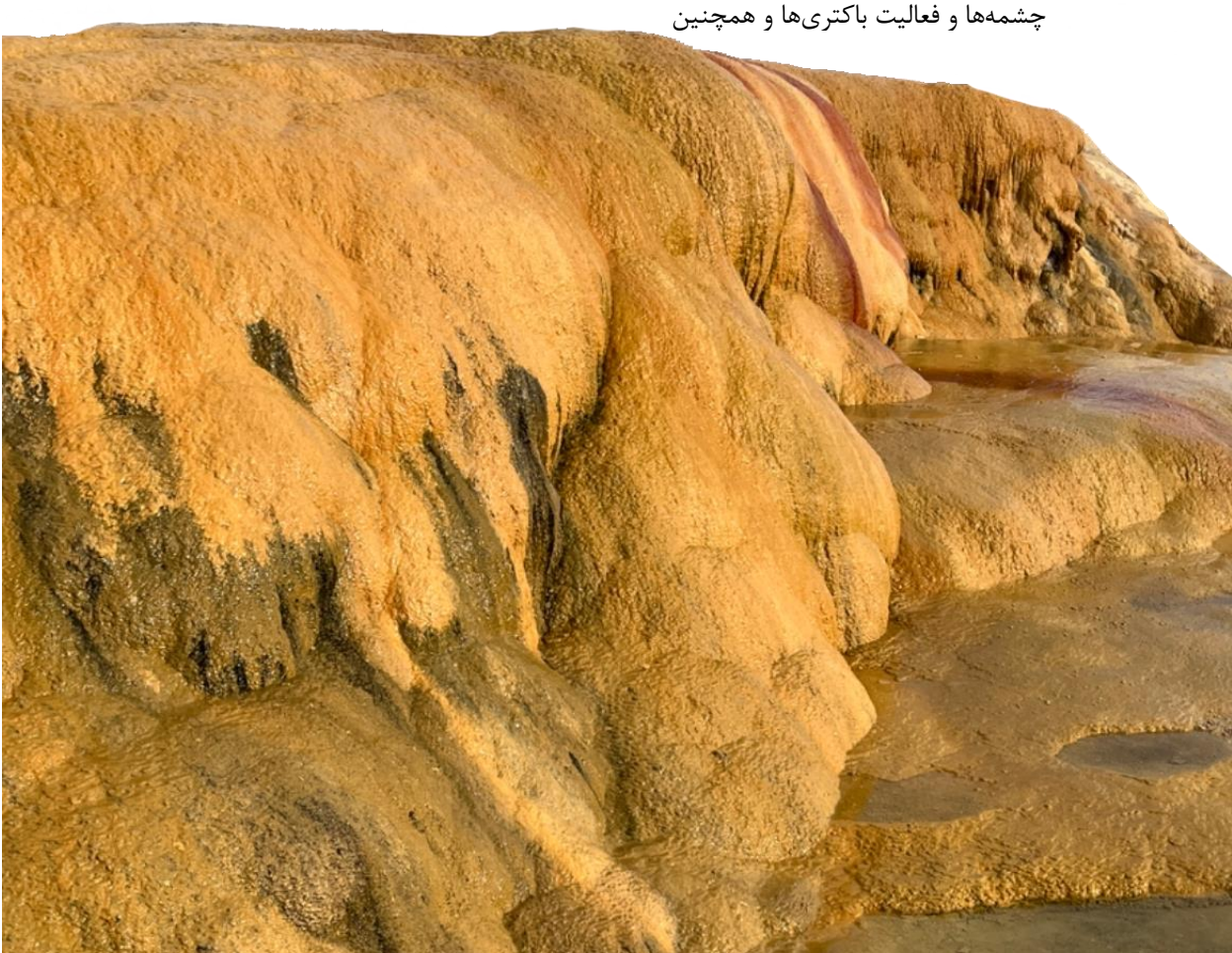
ژئوپارک لوت

وجود چشم اندازهای بی‌نظیر کلوت‌ها، نبکاها و تل‌ماسه‌های بادی و جاذبه مهم "گرم‌ترین نقطه زمین" و همچنین گونه‌های کم نظیر از بافت‌ها و ساختاهای کویری و بیابانی از ویژگی‌های دشت گسترده لوت است. یک ژئوپارک به مرکزیت شهر باستانی شهداد، می‌تواند یک ژئوپارک بی‌نظیر در جهان باشد، یک ژئوپارک با ۴ رکورد زمین شناختی و جغرافیایی جهانی! کلوت‌های بیابان لوت میراث زمین‌شناختی برتر جهان ثبت شدند. کرمان شهریست کویری که در دل کویر لوت قرار گرفته است. مکان‌های دیدنی کرمان بسیار زیاد هستند ولی مهم‌ترین جاذبه گردشگری و طبیعی آن کلوت شهداد می‌باشد.

کلوت شهداد یکی از مقاصد طبیعت گردی و جاذبه‌های گردشگری استان کرمان هستند که از فاصله های دور دست مانند شهری متروکه و یا باستانی به نظر می‌رسند. شهداد نام کویری است که کلوت‌ها در حدود ۱۰۰ هزار هکتار از آن را در برگرفته‌اند. کلوت‌ها به شکل جوشش تخم مرغی هستند و نمک زارند. هیچ جنبنده‌ای در کلوت ها زندگی نمی کند و به همین خاطر طبیعت بکر و دست نخورده‌ی آن با سکوت کویر قرین شده و همین هم باعث آرامش می‌شود، و هم نگاه و دل رهگذران را پر از وحشت می‌کند. اما در کل زیبایی آن آرامش بخش و شگفت انگیز است.

چشمه تراورتن ساز گئچی قالاسی

در ناحیه جلفا چشمه‌های تراورتن ساز متعددی به چشم می‌خورد .تراورتن نوعی سنگ اهک است که در اثر فعالیت چشمه‌های آب معدنی (گرم وسرد) و اغلب در محیط خشکی تشکیل می‌شود. فعالیت‌های آتشفشانی و گسترش سازندهای آهکی در طبقات زمین از الزامات تشکیل چشمه های تراورتن‌ساز است .سنگ‌های تراورتن عموما فاقد رنگ هستند اما به دلیل وجود ناخالصی و حضور عناصر با غلظت متفاوت در آب چشمه‌ها و فعالیت باکتری‌ها و همچنین نوسان فعالیت چشمه‌ها، به رنگ‌ها و بافت‌های لایه‌ای مختلف دیده می‌شود . این چشمه حالت جهنده (آرتزین)دارد و جریان آب با فشار از دهانه آن خارج شده و پولک‌های ظریف کلسیت به رنگ‌های زرد ،قرمز، لیمویی، قهوه‌ای و سفید در اطراف دهانه آن در حال تشکیل است . در ناحیه مذکور سنگ‌های تراورتن بلورین و از جنس اراگونیت نیز دیده می‌شود و زیبایی‌های آن را دوچندان کرده است.



جزیره قشم

در ایران جزیره قشم به علت داشتن پتانسیل‌های فراوان و وجود اشکال مختلف زمین‌شناسی، از نظر ژئوتوریسم (زمین‌گردشگری) پتانسیل‌های بیشتری دارد و با تبدیل شدن برخی از جاذبه‌های آن به ژئوپارک، شرایط برای توسعه ژئوتوریسم در این منطقه بیش از گذشته فراهم شده است. اما به صورت کلی، ژئوتوریسم ایران به علت کمبود متخصصان در این حوزه و نبود تجهیزات کافی، هنوز رونق نگرفته است. چند سایت ژئوپارک قشم که از نظر جاذبه‌های ژئوتوریستی بسیار حائز اهمیت هستند عبارتند از:

تنگه چاهکوه

به صورت دو تنگه باریک عمود بر هم با دیوارهای عمودی که حفره‌ها و درزهای بسیار زیبای آن در نتیجه فرسایش انحلالی در لایه‌های مارن، سیلیت و آهک آن شکل گرفته است.

دره ستاره افتاده

این منطقه به عنوان ژئوپارک در یونسکو ثبت شده است. اشکال متنوع و زیبای این دره توسط فرسایش شکل گرفته‌اند.

جزیره هرمز

هرمز جزیره‌ای ایرانی در خلیج فارس و در ۸ کیلومتری بندرعباس است. این جزیره بیضی‌شکل با مساحتی بالغ بر ۴۲ کیلومتر مربع در مجاورت تنگه هرمز قرار گرفته و از مقصدهای گردشگری جنوب ایران است. شهر هرمز که در شمال جزیره قرار گرفته، تنها نقطه جمعیتی جزیره است. محال است در ایران زندگی کنید و تا کنون از جاذبه‌های گردشگری آن نشنیده باشید. در ادامه به برخی از جاذبه‌های گردشگری جزیره هرمز می‌پردازیم.

ساحل سرخ

ساحل سرخ به‌لحاظ رنگ شبیه مریخ است. اگرچه رنگ سرخ در همه قسمت‌های جزیره هرمز به چشم می‌خورد و به نمادی از جزیره هرمز تبدیل شده‌است؛ اما در ساحل سرخ و معدن خاک سرخ بسیار ملموس‌تر و پررنگ‌تر است. آب دریا در ساحل سرخ تا چند متری، قرمز رنگ دیده می‌شود و دلیل آن حل شدن موادمعدنی خاک در آب دریا است.

الهه نمک

الهه نمک یکی از دیدنی‌های هرمز است که شامل کوهی نمکی با رنگ‌های متنوع و سطحی است تراش خورده که در اثر فرسایش خاک و همچنین کندن کوه در گذشته برای برداشت نمک به این شکل درآمده و به یکی از دیدنی‌های جزیره زیبای هرمز تبدیل شده است. کوه الهه نمک در واقع یک بلور نمکی بزرگ است. این کوه و غار دورن آن، طی سالیان زیاد در اثر فعالیت‌های زمین‌شناسی و فرسایش آبی و بادی شکل گرفته‌اند. کوه الهه نمک برخلاف دیگر کوه‌ها صدا را منعکس نمی‌کند. زیر کوه الهه نمک، آبی با رنگ نارنجی جریان دارد. جریان این آب به کمک پدیده‌های طبیعی دیگر، طی سال‌های زیاد سبب ظهور غار الهه نمک یا غار فیروزه‌ای در دل کوه الهه نمک شده‌اند.

راک فال

سنگ افت ، حرکت مواد سست به سمت پایین به عنوان یکی ار فرایند های ژئومورفولوژیکی خطرناک شناخته شده است که به دلایل مختلف رخ می‌دهد ، زلزله مهم ترین عامل محرک ریزش سنگ است .مشاهدات میدانی از سراسر قلمرو ژئوپارک ارس حاکی از آن است که این منطقه زلزله های تاریخی ویرانگری را تجربه کرده است به طوری که اثرات آن بویژه در بخش های غربی و شمال غربی منطقه مشهود است. ریزش صخره در مسیر جاده جلفا به پلدشت عمدتا در اطراف نمازخانه چوپان مارا قادر می‌سازد تا وقوع زلزله در این مناطق را تایید کنیم. در نتیجه بلوک های بزرگی از کنگلومرا قرمز از توالی رسوبی ائوسن از دامنه شمالی کوه علی باشی سقوط کرده اند. این امر حاکی از از پتانسیل خطرات طبیعی برای ایجاد خسارت در منطقه است و میتواند زنگ خطری برای مردم محلی باشد.

مهلا ظفریزدی
دانشجوی مقطع کارشناسی

فناوری و زمین‌شناسی

پهپاد

بهترین راه برای مطالعه سیاره زمین استفاده از ابزارهای متنوع است، زیرا فرآیندهای زمین شناسی در تمام مقیاس‌ها اتفاق می‌افتند. برای مثال، از ماهواره‌ها و لرزه نگارها برای مطالعه زمین در مقیاس جهانی استفاده می‌شود، در حالی که از میکروسکوپ‌ها و طیف سنج‌های جرمی برای مطالعه زمین در مقیاس بلور و اتم استفاده می‌شود. کشفیات علوم زمین اغلب با پیشرفت‌های تکنولوژیکی در ابزارهایی که برای ثبت مشاهدات و انجام اندازه گیری‌ها استفاده می‌شود، همبستگی دارد. در برخی موارد، این پیشرفت‌ها به دانشمندان اجازه می‌دهد تا چیزهایی را که قبلا ناشناخته بوده‌اند، کشف کنند. یکی از این ابزارها که به تازگی در حال متحول کردن مطالعه سیاره زمین است، سیستم‌های هواپیمای بدون سرنشین **(UAS)** است که به طور معمول به عنوان **"پهپاد"** شناخته می‌شوند.

عکس برداری هوایی و سنجش از راه دور (روشی که شامل به دست آوردن اطلاعات از یک شی و/یا منطقه از راه دور است) داده‌های مهمی را تولید می‌کند که زمینه‌ای را برای مطالعات میدانی فراهم می‌کند. اطلاعات مربوط به توپوگرافی سطح و عوارض زمین -ویژگی‌هایی که به طور معمول برای مشاهده در سطح زمین بسیار بزرگ هستند- به زمین شناسان کمک می‌کند تا بفهمند چگونه اندازه گیری‌های آنها در مقیاس خروجی در یک تصویر منطقه‌ای بزرگتر قرار می‌گیرد. ارزیابی و کاهش خطرات زمین شناسی (مانند سیل و فوران های آتشفشانی)، نظارت بر فرآیندهای سطحی (مانند فرسایش رودخانه و رانش زمین)، مدیریت منابع آب و ساخت نقشه‌های زمین‌شناسی تنها چند جنبه از علوم زمین است که به طور منظم به اطلاعات و مشاهدات به روز از سطح زمین نیاز دارد.

به طور تاریخی، عکاسی هوایی و سنجش از راه دور از هواپیماها و هلیکوپترها تنها برای مطالعات بزرگ و با بودجه مناسب در دسترس بوده است، یا به عنوان بخشی از مطالعات منطقه ای ارائه می شود که اغلب پیامدهای فوری رویدادهای زمین شناسی غیرمنتظره مانند زلزله و سونامی را از دست می دهد.

پهپادها **[drones]** که در ارتفاع پایین پرواز می‌کنند، می‌توانند اطلاعات سطحی

و توپوگرافی را که به طور سنتی از **LiDAR** هوابرد (تشخیص نور و اندازه گیری فاصله) یا اسکن لیزری زمینی **(TLS)** ، ثبت کنند.

برداشت‌های **LiDAR** هوابرد برای مناطق وسیع (بیش از ۵ مایل مربع) مناسب‌تر هستند، در حالی که برداشت های پهپاد در ارتفاع پایین برای مکان های کوچک تا متوسط (کمتر از ۵ مایل مربع) ایده‌آل هستند. نقشه‌برداری با پهپاد و نرم افزار پردازش تصویر می‌تواند نقشه‌هایی با دقت مشابه و رزولوشن بالاتر نسبت به بسیاری از تکنیک‌های فتوگرامتری (که در آن اندازه گیری‌ها از روی عکس‌ها انجام می‌شود) و همچنین با هزینه‌ای بسیار کمتر ایجاد کند. علاوه بر این، اکثر پهپادها کوچک، سبک و بسیار قابل حمل هستند و بنابراین به سرعت برای ثبت رویدادهای کوتاه مدت (مانند جریان های آوار) یا برای عکاسی تکراری از رویدادهای طولانی مدت (مانند فرسایش رودخانه) مستقر می‌شوند. این ویژگی‌ها باعث شده است تا تعداد فزاینده‌ای از زمین شناسان، پهپادها را به جعبه ابزار زمین شناسی خود اضافه کنند.

پهپادها به دو دسته کلی بالگرد **[rotary-wing]** و هواپیمای بدون سرنشین **[fixed-wing]** تقسیم می‌شوند که هر کدام مزایا و محدودیت‌های خاص خود را دارند. مهمترین مزایای پهپادهای بالگرد، مانند کوادکوپترها (چهار پروانه) و هگزاکوپترها (شش پروانه)، امکان برخاست و فرود عمودی و توانایی معلق ماندن در هوا است.در نتیجه، پهپادهای بالگرد برای مناطق کوچک که پرواز دقیق در آن‌ها اهمیت دارد (مانند دره‌های باریک) یا زمانی که برای انجام اندازه‌گیری‌های تکراری نیاز به معلق ماندن در هوا است، ایده‌آل هستند. علاوه بر این، قابلیت‌های معلق ماندن و سرعت کمتر هواپیماهای بالگرد، زمان بیشتری را برای ارزیابی شرایط محیطی فراهم می‌کند که به طور معمول محیط یادگیری امن‌تری را برای کاربران جدید ایجاد می‌کند.

در مقابل، پهپادهای ثابت بال معمولاً از ساختار ساده‌تری برخوردار هستند، با سرعت بیشتری پرواز می‌کنند و مدل‌های طراحی‌شده برای مصرف‌کنندگان حرفه‌ای و مأموریت‌های صنعتی، به واحدهای GPS داخلی، فشارسنج و واحدهای اندازه‌گیری مجهز هستند که به هدایت روان و دقیق هواپیما توسط کاربر کمک می‌کند. علاوه بر این، جدیدترین مدل‌های پهپاد دارای تجهیزاتی پیشرفته، مانند دوربین‌های

مادون قرمز، حسگرهای دید دوگلنه و مسافت‌یاب‌های فراصوت هستند. این ویژگی‌ها به جلوگیری از سقوط ناشی از خطای کاربر و شرایط آب و هوایی ، کمک می‌کند.

کاربردهای پهپاد در علوم زمین

با توجه به مقرون به صرفه بودن، قابلیت حمل آسان و دقت بالای نقشه‌های تولید شده با تکنیک ساختار از حرکت (SFM)، استفاده از پهپادها در میان زمین شناسان دانشگاه‌ها، سازمان‌های زمین شناسی دولتی و ایالتی و همچنین صنایع مختلف رواج پیدا کرده است.

در ادامه به خلاصه‌ای از نحوه استفاده فعلی زمین شناسان از پهپادها، پتانسیل استفاده از آن‌ها در نیومکزیکو و پیشرفت‌های احتمالی این فناوری در سال های آینده می‌پردازیم.

پایش خطرات

یکی از مهمترین کاربردهای پهپادها، ارزیابی و پایش خطرات زمین شناسی است. پس از زمین لرزه ۷.۸ ریشتری در نوامبر ۲۰۱۶ در جزیره جنوبی نیوزلند، پهپادها اطلاعات اولیه حیاتی در مورد شکستگی‌های سطحی در امتداد گسل‌ها و همچنین مکان و بزرگی رانش زمین ارائه کردند. رصدخانه‌های آتشفشانی از تصاویر اپتیکی و حرارتی مبتنی بر پهپاد برای ردیابی جریان‌های گدازه و تغییرات در شکل منافذ آتشفشانی استفاده می‌کنند. تجهیزات پایش گاز نصب‌شده روی پهپاد می‌توانند از میان توده‌های آتشفشانی پرواز کنند تا مستقیماً گازهایی را اندازه‌گیری کنند که زمین‌شناسان برای پیش‌بینی فوران‌ها از آن‌ها استفاده می‌کنند.

سازمان‌های امدادی که به خطرات زمین‌شناسی و آب‌وهوایی واکنش نشان می‌دهند، از پهپادها در عملیات جستجو و نجات، ارزیابی زیرساخت‌ها و نقشه‌برداری خسارات استفاده می‌کنند. تولیدکنندگان پهپاد در حال توسعه هواپیماهایی هستند که قادر به حمل کالاهایی مانند تجهیزات پزشکی، غذا و آب برای امدادرسانی به بلایا باشند. به همین ترتیب، محققان در حال طراحی پهپادهایی هستند که خود به عنوان نقاط اتصال بی‌سیم سیار عمل می‌کنند تا به عملیات ارتباطی اضطراری کمک کنند.

پهپادها در زمین‌شناسی صنعتی

این پرنده‌های بدون سرنشین به طور فزاینده‌ای برای کاربردهای زمین شناسی

صنعتی نیز مهم هستند. پهپادها اکنون در سراسر چرخه عمر عملیات معدن و حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. پهپادهای مجهز به مغناطیس سنج (ابزاری برای تشخیص مواد معدنی مغناطیسی) برای اکتشاف مواد معدنی مفید هستند. بررسی‌های تکراری معادن فعال و سکوهای حفاری، اطلاعات تقریبا لحظه‌ای را در مورد عملیات روزانه ارائه می‌دهند. مدل های دیجیتال سطح با می‌دهد تا موجودی ذخیره شده را اندازه گیری کنند و به سرعت کمیت مواد حمل شده در سراسر منطقه کار را تعیین کنند. پهپادها می‌توانند پایداری شیب دیوارهای معادن روباز و توده‌های سنگ باطله را کنترل کنند، همچنین به سرعت تجهیزاتی مانند دکل های حفاری و سکوی‌های حفاری فراساحلی را بازرسی کنند و بدین ترتیب قرار گرفتن انسان در معرض محیط‌های کاری خطرناک را محدود کنند. پهپادها همچنین در تأثیرات زیست محیطی معدن و حفاری نقش دارند. به علاوه تهیه نقشه‌های با دقت بالا قبل و بعد از معدن و حفاری برای فعالیت‌های احیا را نیز انجام می‌دهند.

چاپ سه بعدی: ابزاری کاربردی در علوم زمین

در علوم زمین، با چالش اساسی روبرو هستیم: عشق به طبیعت، در حالی که ابعاد آن می‌تواند بسیار عظیم یا به طرز شگفت انگیزی ریز، بسیار دور یا به شدت نادر باشد. وظیفه ما غلبه بر این شرایط و برقراری ارتباط موثر در مورد طبیعت است. چاپ سه بعدی به سادگی می‌تواند نمونه‌های دستی از مناطق فرورلنش، فرامینفرا، توپوگرافی مریخ و داده‌های لرزه‌ای را بسازد. این مدل‌ها بلافاصله کاربردی هستند، زیرا بخش زیادی از آنچه نیاز به انتقال آن داریم، شکل و فرم است. برای این اهداف، می‌توانیم مدل‌های آموزشی ارزان قیمت را بر حسب تقاضا تولید کنیم، در حالی که نمونه‌های منحصر به فرد را برای مخاطبان گسترده‌تری به ارمغان می‌آوریم.

چاپ سه بعدی نمونه طبیعی را به نقطه شروع تبدیل می‌کند. مدل‌های دیجیتال (به عنوان مثال، مقیاس، آینه کاری، تحریف) توسط یک مدرس یا دانشجو قابل تغییر هستند تا مفاهیمی مانند مورفولوژی، اغراق عمودی یا فشار را بررسی کنند. با کمی کار با نرم‌افزار طراحی به کمک رایانه (CAD)، می توانیم فسیل های انعطاف پذیر بسازیم تا نحوه حرکت موجودات، منقرض شده و موجود، را به طور مؤثرتری منتقل کنیم.

زمین‌شناسان و قدرت چاپ سه بعدی

زمین‌شناسان از بزرگترین تولیدکنندگان داده‌های سه بعدی هستند. اما این داده ها نباید فقط در کامپیوتر باقی بمانند، بلکه باید در دستان ما نیز باشند. کامپیوترها می‌توانند محاسبات دقیق و سریعی روی مجموعه داده های سه بعدی انجام دهند که برای انسان غیرممکن است. با این حال، ذهن انسان و سیستم حسی آن قدرت درک کیفی جنبه‌های اشیاء فیزیکی را دارد که در حال حاضر فراتر از توانایی کامپیوترهاست.

چاپ سه بعدی، که به طور خلاصه به عنوان "نمونه سازی سریع" شناخته می‌شود، در حال تغییر نحوه تعامل دانشمندان، مهندسان، پزشکان و

هنرمندان با داده‌ها و مدل‌های سه بعدی است. این فناوری به افراد اجازه می‌دهد داده‌ها را لمس کنند و از هر زاویه‌ای در شرایط واقعی ببینند. مهمتر اینکه، چاپ سه بعدی اشیاء ملموسی تولید می‌کند که برای دانشجویان، افراد غیر زمین شناس و تصمیم گیرندگان به راحتی قابل درک است. این امر باعث تسهیل در برقراری ارتباطات علمی و درک مفاهیم پیچیده زمین‌شناسی می‌شود

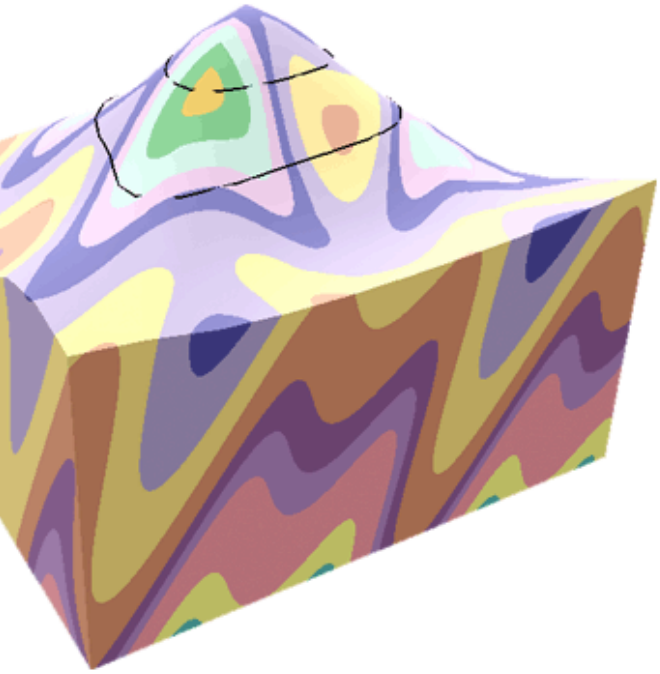
مهلا ظفریزدی
دانشجوی مقطع کارشناسی

چند نرم‌افزار و ابزار آنلاین کاربردی برای زمین‌شناسان

در دنیای امروز کمتر کسی را می‌توان پیدا کرد که با وسایل هوشمند برخوردی نداشته باشد، تلفن‌های همراه، رایانه‌ها و اخیرا اضافه شدن ابزارهای هوش‌مصنوعی سبب شده تا جهان پا به عرصه جدیدی بگذارد و همچنین دنیای علم را به مراحل بالاتری سوق دهد، به همین منظور باید از این شرایط محیا شده به بهترین وجه استفاده نمود و در راستای ارتقای توان علمی خود کوشید. در این قسمت تلاش شده تا برخی از نرم‌افزارها و ابزارهای آنلاین مرتبط با رشته زمین‌شناسی معرفی شود تا علاقه‌مندان این رشته با آن‌ها آشنا شده و از آن‌ها استفاده نمایند.

Visible Geology

یک ابزار مدل‌سازی آنلاین و مناسب علاقه‌مندان رشته تکتونیک و زمین‌ساختمانی است. در این محیط کاربر می‌تواند تجربه آموزنده و لذت بخشی از زمین‌شناسی به دست آورد. در این ابزار آنلاین می‌توان لایه های زمین را به دلخواه و به صورت ۳بعدی، مدل‌سازی کرد برای آن‌ها شیب‌های مختلف در نظر گرفت و رخدادهای زمین‌ساختی همچون انواع گسل‌ها، انواع دایک، انواع چین‌ها، انواع ناپیوستگی‌ها و شرایط مختلف توپوگرافی را بر روی آن اعمال کرد، و در نهایت از آن مدل به صورت ۳بعدی یا ۲ بعدی خروجی گرفت و از آن‌ها برای امور پژوهشی یا آموزشی استفاده نمود. از نقاط قوت این ابزار محیط کاربری ساده آن است که استفده از آن را بی‌دغدغه نموده. همچنین امکان ترسیم Cross-Section وDrill در هر قسمت و راستایی از مدل ترسیم شده وجود دارد، اندازه گیری شیب لایه ها و استریونت از دیگر قابلیت‌های این محیط می‌باشد. خوب است که بدانید تصویری که هم اکنون ملاحظه می‌فرمایید، با کمک این ابزار مدل سازی شده است.



My Earthquake Alerts

یکی از بهترین نرم افزارهای هشدار زلزله می‌باشد که می‌توانید بر روی تلفن همراه خود داشته باشید، این اپلیکیشن مناسب رابط‌های کاربری اندروید و IOS است. این اپلیکیشن اطلاعاتی از قبیل: موقعیت مکانی همه زلزله‌ها در دنیا و فاصله آن‌ها از ما، قدرت آن‌ها و هشدار های زلزله در محل زندگی ما ارائه کند.

Flyover Country

یکی از برنامه‌های جالب مخصوص علاقه‌مندان به زمین است، هنگامی که شما در سفر هستید، این برنامه بر روی تلفن همراه شما مواردی مانند نقشه های مختلف زمین‌شناسی، مناطق فسیلی، نقشه‌های آفلاین، مقالات ویکی‌پدیا و موارد دیگری را به شما نشان می‌دهد. این برنامه از وب‌سایت‌های زمین شناسی به عنوان منبع استفاده می‌کند و به صورت رایگان عرضه شده است.

Smart geology

از ابزارهای مناسبی برای سنگ‌ها و مواد معدنی است که می‌وانید بر روی تلفن همراه خود نصب داشته باشید، این برنامه با داشتن مقیاس زمانی زمین‌شناسی به درک تاریخ زمین کمک می‌کند و با افزوده شدن ویژگی واقعیت مجازی، تجربه یادگیری را افزایش می‌دهد، جدول تناوبی عناصر، جدول حلالیت، فرهنگ لغت زمین‌شناسی و موارد دیگر از جمله ویژگی‌های این برنامه است.

Geology Quiz

این برنامه برای سنجش دانش شما از زمین شناسی طراحی شده و شما را به چالش می‌کشد، در این برنامه سوالاتی توسط متخصصان طراحی شده و شما می‌توانید با پاسخ دادن به آن‌ها دانش خود را بیازمایید، رایگان بودن، محیط کاربری آسان، طراحی گرافیکی جذاب از نقاط قوت این نرم افزار به حساب می‌آید. این برنامه در واقع نوعی شبکه اجتماعی بزرگ است که کاربران می‌توانند در آن دانش خود رابه اشتراک بگذارند و با هم بازی علمی انجام دهند.

Engineering Geology and Science

برنامه بسیار جامع و کاربردی مختص به علاقه‌مندان زمین‌شناسی مهندسی است. این برنامه به افراد در هر سطح دانشی کمک می‌کند تا دانش خود را افزایش دهند در این برنامه مطالبی در موضوعات مختلفی چون: ۱. قسمت‌های داخلی و خارجی زمین ۲. لایه‌های زمین ۳. زلزله ۴. تشکیل خاک و فرسایش ۵. کانی‌ها ۶. سنگ‌های رسوبی، دگرگونی و آذرین ۷. ساختار سنگ‌ها و خواص آن‌ها و زمین شناسی کاربردی ارائه گردیده است. این نرم افزار محیط کاربری ساده و جذابی داشته و همچنین جدیدترین اخبار زمین‌شناسی را به مخاطب می‌رساند.

علاقه‌مندان می‌توانند تمامی نرم‌افزارهای معرفی شده در این بخش را از Google play بارگیری کرده و استفاده نمایند. امید است که این بخش مفید واقع شده باشد.

محمد فراست
دانشجوی مقطع کارشناسی

گزارش

گزارش عملکرد انجمن علمی دانشجویی زمین شناسی دانشگاه خوارزمی در شانزدهمین جشنواره بین المللی حرکت

شانزدهمین جشنواره بین‌المللی حرکت روز شنبه دوم دی ماه آغاز به کار کرد. در این دوره از جشنواره حرکت، دانشگاه شهید بهشتی میزبان بیش از ۳۰۰ دانشجو از ۷۰ دانشگاه کشور بود، انجمن‌های علمی در طی ۲ روز دستاوردهای عرصه علمی خود را به نمایش گذاشتند و در حوزه‌های انجمن برتر، فعالیت خلاقانه، نشریه برتر، محتوای دیجیتال، مسابقه علمی، بخش‌ویژه، کارآفرینی علمی، انجمن آموزش‌محور، کتاب، اختراع، بخش انجمن پویا، دانشگاه، آزمایش انجمن‌های علمی فناوری دانشجویی و بخش آزمایشی انجمن‌های بین‌المللی به رقابت پرداختند، در نهایت در روز چهارم دی ماه اختتامیه جشنواره با حضور وزیر علوم، تحقیقات و فناوری برگزار و برگزیدگان این دوره از جشنواره معرفی شدند. **در این دوره انجمن علمی دانشجویی زمین‌شناسی دانشگاه خوارزمی در حوزه فعالیت علمی خلاقانه مقام برتر را کسب نمود.**

همچنین در بخش کارشناسان، از دانشگاه خوارزمی، آقای نعمت آزادی رئیس اداره انجمن‌های علمی دانشجویی عنوان کارشناس برتر کشور را به دست آورد. علاوه بر آن سایر انجمن‌های علمی دانشجویی دانشگاه خوارزمی نیز در بخش نمایشگاهی جشنواره حضور فعال داشتند. این جشنواره همچنین فرصتی برای دانشجویان و انجمن‌های علمی فراهم آورد تا مستقیما دغدغه‌ها و درخواست‌هایشان را به سمع مسئولینی چون دکتر محمد علی زلفی گل، وزیر محترم علوم، تحقیقات و فناوری برسانند تا در راستای رفع آن‌ها تلاش صورت گیرد.

گزارش بازدید مشترک انجمن علمی دانشجویی زمین‌شناسی و عمران دانشگاه خوارزمی از شرکت تونل‌ساز ماشین

با همکاری انجمن‌های علمی دانشجویی زمین‌شناسی و عمران دانشگاه خوارزمی، در تاریخ ۲۰ آذر ماه بازدیدی از شرکت تونل‌ساز ماشین به سرپرستی آقایان، دکتر محمدرضا آصف و دکتر احسان پگاه، اعضای هیئت علمی زمین‌شناسی دانشگاه خوارزمی صورت گرفت. در این بازدید یک روزه، ۴۰ نفر شرکت کردند.

شرکت تونل سازماشین در کیلومتر ۲۰ جاده قزوین ـ کرج واقع گردیده است. این شرکت از جمله شرکت های موفق و فعال در زمینه حفاری مکانیزه و تونل‌سازی است. این شرکت با فعالیت‌های، اقدام به تاسیس کارخانه تولید قطعات و دستگاه‌های حفاری در داخل کشور نمود، امروزه این شرکت علاوه بر تأمین نیاز داخلی، به ۱۰ کشور جهان نیز صادرات دارد.

بخش‌هایی چون، واحد طراحی مکانیک، واحد طراحی برق و کنترل، واحد ساخت و اجرا در کنار سایر بخش‌های این کارخانه، توانایی این را دارند تا با ارائه راه حل‌های کامل، تمام نیازهای فنی و اجرایی پروژه‌های حوزه حفاری را در بخش زیر برآورده نماید:

۱. فاز امکان سنجی، طراحی اولیه و ارائه روش اجرا

۲. فاز تهیه و تأمین و نیز طراحی و ساخت تجهیزات و ماشین‌آلات حفاری متناسب با نیاز پروژه

۳. فاز راهبری و اجرای پروژه

این شرکت در تلاش است تا با افزایش توانمندی‌های خود در حوزه ماشین‌آلات حفاری، موفقیت ۶۰ الی ۷۰ درصدی بومی سازی روند طراحی، ساخت و تولید ماشین‌آلات TBM و MTBM افزایش دهد و نیاز به واردات در این صنعت را کاهش دهد.

محمد فراست
دانشجوی مقطع کارشناسی

سرگرمی

سلام دوست من!!

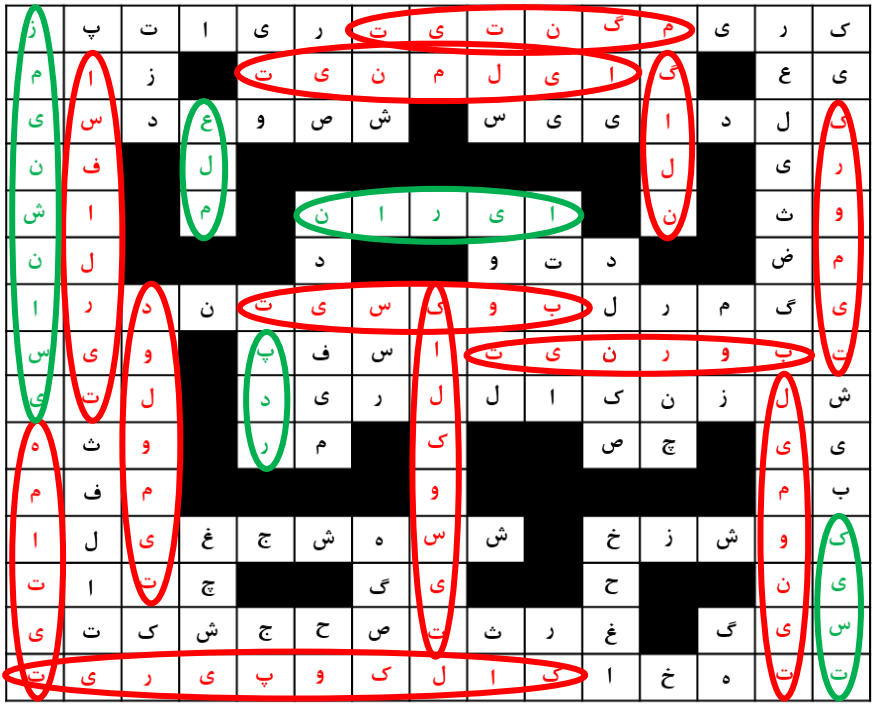
در این بخش از نشریه زمین‌پویا، برای شما یک بازی و سرگرمی جدید در نظر گرفته شده است. طراح قصد دارد با انجام این بازی، هوش ریاضی و همچنین چگونگی حل مسائل شما را بسنجد. طراح بازی، در تعطیلات نوروز ۱۴۰۳ یک سفر به یکی از مکان‌های ژئوتوریسمی کشور داشته است. این مکان ژئوتوریسمی معمای این بازی می‌باشد که شما تنها با حل جدول اعداد سودوکو در ذیل و قرار دادن اعداد نشانه‌گذاری شده می‌توانید به پاسخ آن پی ببرید. سودوکو یکی از بهترین تمرین‌های مغز و تقویت IQ است. این بازی امروزه یکی از سرگرمی‌های رایج در کشورهای مختلف جهان به شمار می‌آید. در صورت یافتن پاسخ معما تا تاریخ ۱۴۰۳/۰۱/۱۳، می‌توانید با پیامک آن به شماره ۵۰۰۰۴۰۰۱۴۸۰۵۹۸ در قرعه‌کشی این مسابقه شرکت داده شوید. برنده قرعه‌کشی یک جایزه ویژه از طرف انجمن علمی دانشجویی زمین‌شناسی دانشگاه خوارزمی دریافت می‌نماید.

۳			۲		۴			۸
		۱		۳		۵		؟
	۲	؟		؟			۶	
	؟	۳	۴		۸	۷		
		؟			؟			؟
		۵	۶		۷	۸		
	۶			؟		؟	۹	
		۷		۹		۲		
۹			۸		۱		؟	۴

° ′ ″N ° ′ ″E

پاسخ معما:

کلید جدول نشریه شماره ۲۹ زمین پویا



سؤال جدول: پدر علم زمین‌شناسی ایران کیست؟
رمز جدول: عبدالکریم قریب

برنده قرعه‌کشی مسابقه جدول نشریه شماره ۲۹ زمین‌پویا

فاطمه میرعبداللهی دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد آب زمین‌شناسی دانشگاه خوارزمی

سهند فکوری
دانشجوی مقطع کارشناسی

سال ۱۴۰۳ در یک نگاه

فروردین

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
				۱	۲	۳
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱

اردیبهشت

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۲۹	۳۰	۳۱				

خرداد

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
			۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	

تیر

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
						۱
۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
۳۰	۳۱					

مرداد

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
		۱	۲	۳	۴	۵
۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱		

شهریور

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
					۱	۲
۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
۳۱						

مهر

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۲۸	۲۹	۳۰				

آبان

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
			۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰		

آذر

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
					۱	۲
۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰

دی

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۲۹	۳۰					

بهمن

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
		۱	۲	۳	۴	۵
۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۷	۲۸	۲۹	۳۰			

اسفند

ش	ی	د	س	چ	پ	ج
				۱	۲	۳
۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	

SPECIALIZED
SCIENTIFIC QUARTERLY

ZAMIN POUYA

NO. 30
WINTER 2024

GEOLOGICAL SOCIETY OF KHARAZMI UNIVERSITY