



# درآمدی بر روش های نوین زمین شناسی و اکتشاف کانسارهای طلا

مؤلف

محمد به سفی

(مدیر واحد زمین شناسی و اکتشاف شرکت معدنی معدنکاو)

احسان حاجی حسینی

(رئیس هیئت مدیره شرکت تامین آب هرمز ابدال)

|                     |                                                                                              |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | یوسفی، محمد، ۱۳۶۰ -                                                                          |
| عنوان و نام پدیدآور | در آمدی بر روش‌های نوین زمین‌شناسی و اکتشاف کانسارهای طلا/مؤلف محمد یوسفی، احسان حاجی‌حسینی. |
| مشخصات نشر          | تهران: علم استادان، ۱۳۹۷.                                                                    |
| مشخصات ظاهری        | ۶۸۳ ص.                                                                                       |
| شابک                | 978-622-99473-9-5                                                                            |
| وضعیت فهرست نویسی   | فیا                                                                                          |
| موضوع               | طلا -- معدن و ذخایر معدنی                                                                    |
| نوع                 | Gold mines and mining                                                                        |
| شماره افزوده        | حاجی‌حسینی، احسان، ۱۳۵۲ -                                                                    |
| رده بندی کنگره      | ۱۳۹۷ ۹۵۴ ی/۱۰/۴۱۰ TN                                                                         |
| رده بندی دیویی      | ۶۲۲/۳۴۲۲                                                                                     |
| شماره کتابت سی      | ۵۳۹۰۷۸۱                                                                                      |

## در آمدی بر روش‌های نوین زمین‌شناسی و اکتشاف کانسارهای طلا

|             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| تألیف:      | محمد یوسفی - احسان حاجی‌حسینی |
| ناشر:       | انتشارات علم استادان          |
| صفحه‌آرایی: | موسسه مهراد                   |
| طراح جلد:   | موسسه مهراد (محسن مولایی)     |
| نوبت چاپ:   | اول/۱۳۹۷                      |
| تیراژ:      | ۱۱۰۰ جلد                      |
| شابک:       | ۹۷۸-۶۲۲-۹۹۴۷۳-۹-۵             |
| چاپخانه:    | مهر                           |
| صحافی:      | مهر                           |
| قیمت:       | ۹۰۰۰۰ تومان                   |

کلیه حقوق این اثر متعلق به مؤلف می‌باشد و تحت حمایت حقوق مولفین قرار دارد.

انتشارات علم استادان: خیابان انقلاب- نبش خیابان ۱۲ فروردین  
پلاک ۱۳۱۴ - طبقه اول- واحد ۲- تلفن: ۶۶۴۱۸۴۹۳

## پیشگفتار

بشر از آغاز آفرینش پیوسته برای ادامه زندگی خود به مواد متشکله زمین متکی بوده و به سبب اهمیت مواد معدنی برای یافتن آن‌ها پیوسته در تلاش و تکاپو بوده است. به طور کلی می‌توان گفت ادامه زندگی انسان تا حدود زیادی به مواد معدنی بستگی دارد. استحصال این مواد و استفاده از آن در موارد متنوع، تهیه مواد غذایی، مواد اولیه صنعتی تقریباً همزمان با پیدایش انسان آغاز می‌گردد.

مواد معدنی اساس و پایه صنایع و از مولفه‌های اساسی رونق اقتصادی در هر جامعه‌ای بوده و اکتشاف منابع جدید همیشه از اولویت‌های توسعه اقتصادی کشور محسوب می‌شود. منابع انرژی نظیر زغال، فلزات باارزش و پایه، سنگ‌دانه‌ها و فلزات نادر خاکی از جمله منابعی هستند که فناوری بشر به آن وابسته است و این وابستگی هر روز بیشتر می‌شود. تعجب برانگیز نیست که قوی‌ترین اقتصادهای امروزی یا از نظر تاریخی دارای صنایع معدنی قدرتمندی بوده‌اند و امروزه بسیاری از اقتصادهای نوظهور در حال توسعه صنایع مهم معدنی هستند. رشد شتابنده جمعیت روی کره زمین و استاندارد زندگی در براساس نیاز به همه تولیدات منابع معدنی را افزایش داده است. این نیازها محققاً به رشد خود ادامه می‌دهند. همزمان جستجو برای یافتن گانه‌ها هر روز بیش از پیش پیچیده‌تر می‌شود و گانه‌ها را در اعماق بیشتر مورد کاوش قرار می‌دهند. برای تامین مواد مورد نیاز در آینده باید نگرش‌ها و فنون نوین، مکمل شیوه‌ها و فنون بازمی‌یابی و معدنکاری بایستی بهبود یابد تا توده‌های بزرگ کانی‌های مجاور سطح زمین اکنون اقتصادی نیستند به مرحله بهره‌برداری برسند. به این دلیل کارشناسان و فارغ التحصیلان دانشگاه معدن باید علاوه بر دانش فنی، خلاقیت مهندسی داشته باشند و این کار مستلزم ابتکار و نوآوری و نه احاطه کامل به دانش فنی می‌باشد.

ایران با دارا بودن حدود ۶۸ نوع ماده معدنی، ۳۷ میلیارد تن منابع اثبات شده و بیش از ۵۷ میلیارد تن منابع بالقوه جزء ده کشور برتر دنیا از نظر تنوع ماده معدنی و جزء ۱۵ کشور مهم غنی از مواد معدنی در سطح جهان است.<sup>۱</sup> بدیهی است که با بهره‌برداری از این گدازه‌های جدید و به کارگیری سیستماتیک روش‌های اکتشافی که کار صحرائی زمین‌شناسی از اجرای کارهای اکتشافی این منابع اثبات شده افزایش خواهد یافت که این امر موجب پیشبرد رشد اقتصادی کشور می‌گردد.

اکتشاف امری سیستماتیک بوده و نیاز به یک برنامه سازمان یافته دسته‌بندی شده تا میزان ریسک موجود را به حداقل برساند. اکتشاف منابع معدنی به صورت مرحله‌ای آغاز شده و انتخاب روش اکتشافی مناسب به نوع ماده معدنی، تپ کانسار مورد اکتشاف، ویژگی‌های زمین‌شناسی، اقلیمی، اجتماعی، زیست محیطی، منابع (بودجه، دانش فنی، نیروی انسانی و زمان)، مطالعات انجام شده قبلی و سیاست ملی معدنی هر کشور بستگی دارد. برای موفقیت در امر اکتشاف منابع معدنی، تدوین و ساماندهی مراحل مختلف اکتشاف، تهیه ضوابط و معیارهای علمی-فنی و دستورالعمل‌های لازم برای مطالعه، برنامه ریزی، اجرا و تصمیم‌گیری، تدوین نظام آمار و اطلاعات، نظارت و ارزشیابی و شرایط قراردادی در فعالیت‌های مختلف اکتشافی می‌بایست در راستای استانداردهای جهانی صورت گیرد.

<sup>۱</sup> روزنامه انگلیسی ایران دیلی، ۱۱ نوامبر ۲۰۰۸ (۲۱ آبان ۱۳۸۷)

با عنایت به اینکه ایران جزئی از قلمرو تکتونیکی پالتوتیس و نئوتیس بوده و نواحی وسیعی از ایران محل فعالیت فروورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس، بسته شدن این اقیانوس و متعاقباً برخورد صفحه عربی با صفحه ایران مرکزی بوده است و فرایندهای متعدد و مهم زمین شناسی مرتبط با کانی زایی از جمله پدیدۀ ریفتینگ، فروورانش، کوهزایی، دگرگونی و فازهای متعدد ماگماتیسم را متحمل شده است، لذا محیط تکتونو- رسوبی- ماگمایی ایران جهت تشکیل تعدادی از تیپ های کانساری مهم از جمله کانسارهای پورفیری و اپی ترمال بسیار مناسب است. همچنین با توجه به این فعالیت های ژئودینامیکی و همچنین قرارگیری در سلسه جبال آلپ- هیمالیا، مناطق زیادی از ایران دارای پتانسیل بالایی از منابع معدنی فلزی می باشند، که نیاز به اکتشاف بهینه و سیستماتیک دارند. با توجه به اینکه ذخایر کشف شده و در حال بهره برداری از این تیپ کانسارها، در مقایسه با وسعت و پتانسیل معدنی ایران اندک است بهره گیری از دانش و ایده های نوین و آگاهی از پیشرفت های صورت گرفته در زمینه ساخت مدل های توصیفی و ژنتیکی جدید و کلیدهای اکتشافی، ضمن کاهش زمان و هزینه ها، درصد موفقیت را برای اکتشاف این تیپ ذخایر معدنی افزایش می دهد.

ایران بدلیل عدم اکتشاف سیستماتیک و منطبق بر معیارهای جهانی، یکی از نادر کشورهایی است که هنوز دارای منابع ناشناخته زیادی است. امروزه بسیاری از مهندسين اکتشاف و زمین شناسان بخش خصوصی و دولتی کشورشان دانش اکتشاف سیستماتیک، به روز و حرفه ای منابع معدنی بدلیل عدم ارتباط کافی با شرکت های بین المللی معدنی محروم می باشند. این مجموعه در راستای استانداردهای اجرایی مراحل مختلف فعالیتهای اکتشافی کشورهای دارای فن آوری برتر و همچنین کمپانی های بین المللی فعال در ایران، معیارهای استاندارد اکتشافی شرکت های خصوصی و مراکز دولتی و همچنین استراتژی کشورهای پیشرفته (ایالات متحده آمریکا، استرالیا، کانادا و آفریقای جنوبی)، شرایط خاص محیط اکتشاف ماده معدنی مورد نیاز و ضوابط، مقررات و قوانین معدنکاری موجود در ایران تدوین گردیده است. برخی از اهداف تفصیلی این دستور عبارتند از:

۱. بررسی استراتژی مراحل مختلف اکتشاف منابع و ذخایر معدنی کشورهای دارای فن آوری برتر و کمپانی های بین المللی فعال در ایران.
۲. تعیین مراحل چهارگانه اکتشاف و فعالیت های اکتشافی هر مرحله
۳. شناسایی و ارائه مدل های توصیفی و ژنتیکی تیپ های مختلف و متد جهانی کانسارهای طلا و مقایسه آنها با انواع مشابه در ایران.
۴. استنتاج و ارائه معیارهای اکتشافی ویژه تیپ های مختلف کانسارهای طلا، با در نظر گرفتن مدل های توصیفی و ژنتیکی و ایالت های متالوژنی. معیارهای ویژه باید بگونه ای انتخاب شوند که بتوان آنها را در مراحل مختلف اکتشاف با استفاده از فن آوری های مدرن اکتشافی تشخیص داد.
۵. بررسی، تعیین و مرحله بندی نیازمندی های فنی و اجرایی بخش شناسایی و پی جویی (اکتشاف ناحیه ای) برای تعیین مناطق امیدبخش کانی سازی منابع طلا.

۶. بررسی، تعیین و مرحله بندی نیازمندی‌ها فنی و اجرایی بخش اکتشاف عمومی و تفصیلی برای مشخص نمودن وضعیت سطحی و نیمه عمیق کانسار و آنومالی‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی در رابطه با کانسار احتمالی در عمق و تعیین ذخیره، عیار متوسط و شکل هندسی کانسار در عمق در مرحله تفصیلی.

ایران یک کشور غنی از منابع با ذخایر بزرگ آهن، مس، روی و طلا، و همچنین کانی‌های صنعتی، نفت و گاز است. بسیاری از این منابع در پاسخ به رویدادهای تغییر شکل انقباضی پیچیده و طولانی وابسته به فرو رانش و بسته شدن نهایی اقیانوس نئوتتیس در اواخر مزوزوئیک و سنوزوئیک تشکیل شده‌اند. در این نوشتار روی کانسارهای پورفیری مس  $\pm$  مولیبدن  $\pm$  طلا و کانسارهای طلای اپی‌ترمال مرتبط با آن، بحث شده است که زمانی تصور می‌شد که مترادف با فرو رانش هستند، اما در حال حاضر مشخص شده است که در طول رویدادهای تصادم و فرآیندهای تکتونیکی بعد از فرو رانش تشکیل شده‌اند. پیشرفت‌های اخیر در بازسازی زمین‌ساختی و دیرینه‌مغناطیس، و داده‌های جدید زمین‌سن-سنجی و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که در واقع بسیاری از کانسارهای اصلی پورفیری و اپی‌ترمال ایران در این دسته به از فرو رانش قرار می‌گیرند (مانند سونگون، ساری‌گونای، میدوک، سرچشمه). همین امر برای چند کانسار اصلی در کشور همسایه، ترکیه (به عنوان مثال، کیسلاداک، کوپلر)، صدق می‌کند، در حالی که فرو رانش ادامه دارد. مکران به زیر غرب پاکستان فقط برای تعدادی از کانسارهای پورفیری نرمال مرتبط با فرو رانش در منطقه (به عنوان مثال، ساینداک، رکودیک) در نظر گرفته شده است.

تعدادی سنگ‌های آذرین یا منابع معدنی مرتبط با اقیانوس پالنوتتیس در ایران رخ داده است (یافت شده است)، هرچند که چند کمربند اقیانوس پالنوزوئیک حفظ شده، و کانسارهای اکسید آهن-آپاتیت نوع کایرونا با سن اوایل کامبرین در منطقه شرق ایران مرکزی یافت شده است. ماگماتیسیم کمان مرتبط با فرو رانش مزوزوئیک اقیانوس نئوتتیس بطور گسترده در زون سهندج-سیرجان رخ داده است، اما هیچ کانسار پورفیری یا اپی‌ترمال با این سن تا به امروز کشف نشده است، که احتمالاً به علت فرسایش تا سطوح باتولیت‌ها می‌باشد. ماگماتیسیم کمان به سمت کمان ماگمایی ارومیه-دختر و بلوک لوت در اواخر پالئوژن-اوایل نئوژن منتقل شده و اولین کانسار مهم پورفیری را در انوسن و الیگوسن تشکیل داده است. اما با این حال، در این منطقه هیچ کانسار پورفیری بعد از آن و در اوایل تا اواسط میوسن، همزمان با برخورد نهایی صفحات آفریقا-عربستان (آفروعرین) و اوراسیا رخ داده است. چند کانسار مس پورفیری بزرگ (سونگون، میدوک، و سرچشمه)، و نیز کانسار طلای اپی‌ترمال مرتبط با پورفیری ساری‌گونای (داشکسن)، در این زمان (۲۰-۱۱ میلیون سال) در امتداد طول کوهزایی تشکیل شده‌اند. فرو رانش فعال تنها در زیر مکران در جنوب شرق ایران و غرب پاکستان ادامه دارد، که در آن بزرگ‌ترین کانسارهای مس پورفیری ساینداک (۲۲-۲۰ میلیون سال) و رکودیک (۱۳-۱۰ میلیون سال) تشکیل شده‌اند. اکتشاف معدنی در ایران تا به امروز عمدتاً به مناطق رخنمون‌دار محدود شده است، اما به نظر می‌رسد که پتانسیل برای گسترده‌ای از کانسارهای شناخته شده یا اکتشافات "کور (مخفی)" زیر پوشش کواترنر بالا باشد.

ویژگی‌هایی نظیر تجدیدنپذیری، روند رو به کاهش و نیاز روز افزون ذخایر معدنی ایجاب می‌کند که مراحل مختلف شناسائی، اکتشاف، فرآوری و... بصورتی دقیق، برنامه ریزی شده، بهینه، علمی و موثر انجام شوند تا ضایعات و خسارات به حداقل برسند.

نظریه‌های جدید، تشکیل کانسارها را ناشی از تکوین چرخه‌های ابرقاره‌ای و تکتونیک جهانی متأثر از آن می‌دانند. بنابراین درک صحیح چرخه‌های ژئودینامیکی، کلیدی در جهت شناخت بهتر محیط‌های تشکیل و جایگاه تکتونیکی کانسارها می‌باشد. امروزه انگیزه اصلی مطالعه تیپ‌های کانساری درک صحیح از ایالت‌های متالورژی و جایگاه تکتونیکی کانسارها است، که عاملی جهت افزایش احتمال کشف و کاهش هزینه‌هاست. از اینرو، مطالعه تیپ‌های کانساری و ارتباط آن با جایگاه‌های تکتونیک، در دو دهه گذشته (از سال ۱۹۸۶ به بعد) مورد توجه محققین قرار گرفته است.

در مبحث پهنه‌های ساختاری و تکوین آن در ایران زمین تحقیقات فراوانی توسط محققین مختلف معدن و زمین‌شناسی صورت گرفته و تئوری‌های ژئودینامیکی متفاوتی نیز ارائه شده است. از آنجا که برخی تیپ‌های کانساری خاص، به جایگاه‌های ژئودینامیکی بخصوصی تعلق دارند، لذا مطالعه تیپ‌های کانساری موجود در کشور، درک متقابلی از چرخه‌های ژئودینامیکی و فرآیندهای متالورژی ایجاد می‌نماید. به همین دلیل و با توجه به اهمیت اقتصادی طلا و وجود تیپ‌های کانساری متعدد و مطالعات پیشین، بهتر است، به تکنیک ژئودینامیکی نئوتتیس و بر اساس تئوری‌های مختلف ارائه شده و نیز نقشی که این فرضیه‌های تکوینی در ایجاد تیپ‌های کانساری طلا در پهنه سهندج- سیرجان و کمان ماگمائی ارومیه- دختر دارند، پرداخت شود. در این راستا، شناخت رژیم‌های تکتونیکی در تکوین نئوتتیس با توجه به تئوری‌های ارائه شده و مقایسه آن‌ها با جایگاه‌های تکتونیکی مشابه و تیپ‌های کانساری منسوب به آن در دنیا، راهکاری جدید را برای اکتشاف کانسارهای اکتشاف نشده در این پهنه‌ها، با توجه به داده‌های موجود، مطرح می‌سازد. هرگونه که کشورهای همسایه ایران مانند ترکیه توانسته‌اند با انجام این کار پیشرفت قابل توجهی از خود نشان دهند. این اهداف محقق نمی‌شوند، مگر با شناخت و درک درست و علمی از ساز و کارها و فرآیندها. کانسارهای موثر و کنترل کننده در کانه‌سازی و شناخت قلمروهای تشکیل انواع ذخایر معدنی، نگاهی به اکتشافات موجود در ایران و ذخائر ایران و مقایسه آن با ذخائر و تولیدات جهانی در این بخش خالی از لطف نیست. ذخیره جهانی حدود ۵۰ هزار تن در حالیکه میزان ذخیره ما در حال حاضر حدود ۵۰۰ تن است (حدود ۱ درصد). میزان تولید طلا در کشور، تنها در حدود ۹۰۰-۱۰۰۰ کیلوگرم (؟) در سال می‌باشد که این رقم در مقایسه با تولید ۲/۴۴۵ هزار تن جهانی، رقم بسیار جزئی می‌باشد (۰/۰۴٪). میزان ذخیره کشور ترکیه با زمین شناسی مشابه ایران و انجام مطالعات بنیادی به حدود ۹۷۹ تن طلا در سال‌های اخیر رسیده است.

پهنه‌های تکتونیکی سهندج- سیرجان و ارومیه- دختر، به لحاظ متالورژی، جایگاه ژئودینامیکی و ارتباط آن با تکوین نئوتتیس جزء پرتانسیل‌ترین و مستعدترین مناطق کشور از لحاظ ذخایر معدنی بویژه طلا محسوب می‌شوند. مطالعات انجام شده در طی دهه گذشته (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت‌های خصوصی)، به شناسائی و شناخت بیشتر تعدادی کانسار طلا در منطقه منجر گردیده است. بگونه‌ای که شماری از این کانسارها، به عنوان کانسارها و معادن متوسط

تا بزرگ مورد توجه قرار گرفته است. آنچه مسلم است، حضور پراکنده چنین تیپ ذخایری در این محور و مقایسه آن با محورهای مشابه در دنیا نوید کشف ذخایر جدید بر اساس روش‌های جدید اکتشافی و مدل‌سازی را می‌دهد.

در فصل اول کتاب حاضر رفتار و ویژگی‌های ژئودینامیکی و متالورژی عنصر طلا و مناطق طلا دار ایران به تفصیل توصیف شده‌اند تا مبنایی برای توجیه رفتار مشابه این عنصر معرفی شود. در فصل بعدی انواع کانسارهای طلا از منظر زمین‌شناسی طبقه‌بندی شده‌اند. در فصل سوم سیستم‌های طلای مرتبط با توده نفوذی احیای، در فصل چهارم سیستم‌های اپی‌ترمال، در فصول پنجم و ششم و هفتم سیستم‌های پورفیری، در فصل هشتم روش‌های اکتشافی تیپ‌های مهم کانه‌سازی طلا و در فصل نهم معیارهای اکتشافی و شناسنامه‌های نیاز منابع معدنی طلا در مراحل مختلف چهارگانه اکتشاف معرفی شده‌اند.

در این کتاب سعی شده است با تکیه بر ظرفیت کشور عزیزمان ایران در زمینه برخورداری از منابع طلا، گامی که یک در جلب توجه دانشگاهیان گرانقدر، دست اندرکاران صنعت معدن و کارشناسان معدن و زمین‌شناسی نسبت به این عنصر ارزشمند و نیز شناساندن ماهیت و ویژگی‌های این عنصر برداشته شود. در تدوین کتاب سعی شد که همه جنبه‌های اساسی موضوع چه از نظر تئوری و چه از نظر کاربردی حفظ شود تا ابهامات موجود در مورد مطالب بیان شده به حداقل برسد و دانشجویان بتوانند با برخورداری از حداقل راهنمایی از آن بهره‌مند شوند. تأخیر و تاخیر ارائه مطالب علمی و تسلسل آن بنحوی است که با سایر کتب مرجع و منابع مختلف در این زمینه هماهنگی لازم را داراست و در امر تدوین بیشترین کارایی مطلوب را در فراگیری مطالب درسی ارائه می‌نماید. ز تمامی اساتید محترم، دانشجویان و فعالان صنعت معدن و زمین‌شناسان عزیز تقاضا داریم ما را در جریان انتقادات، نظرات و پیشنهادات سخاوتمندانه خویش قرار داده و بستر مناسب جهت رفع نواقص و بهبود کیفیت محتویات کتاب حاضر را برای ما فراهم سازند.

بر خود لازم می‌دانیم از موسسه چاپ و انتشارات مارت جهت طراحی جلد و چاپ کتاب صمیمانه تقدیر و تشکر شود. تلاش زیادی شده است تا این کتاب با حداقل اشکالات به دست خوانندگان برسد با این حال مسئولیت تمامی اشکالات احتمالی به عهده دست و از اساتید محترم، همکاران و دانشجویان ارجمند خواهشمندیم نواقص این کتاب را از طریق ایمیل<sup>1</sup> به نویسندگان گوشزد نمایند تا در چاپ‌های بعدی کتاب اعمال گردد. امیدواریم مطالب این کتاب برای متخصصین گرامی سودمند واقع شود.

محمد یوسفی

مدیر واحد زمین‌شناسی و اکتشاف شرکت مهندسی معدنکاو

احسان حاجی حسینی

رئیس هیئت مدیره شرکت تامین آب هرمز ابدال