



إمام خلد

سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران



مقایسه آنالیز طلا در روش فایر اسی (FA) و انحلال مایکروویو (AuMe+)

آذر ماه ۱۴۰۴



روش جدید آنالیز طلا و عناصر ردیاب (AuME⁺)

چکیده: چالش آنالیز طلا در نمونه های

معدنی از دیر باز بین فعالان معدنی و

آزمایشگاه های آنالیز مواد معدنی وجود

داشته است، در این بین روش های

متعددی به صورت هضم جزئی و کلی

توسعه یافته است که هر کدام مزایا و

محدودیت های مربوط به خود را دارد، با

توجه به اهمیت این امر، آزمایشگاه زرژما

به عنوان شرکت پیشگام در آنالیز مواد

معدنی، برای نخستین بار بر آن شد تا با

معرفی و راه اندازی روشی جدید، عنصر

طلا و عناصر همراه آن را به صورت

همزمان با استفاده از یک روش و با دقت

و صحت بالا، تجزیه نماید. بدین ترتیب

مشتریان محترم می توانند همراه طلا،

سایر عناصر ردیاب آن، شامل آرسنیک،

آنتیموان، بیسموت، نقره، مولیبدن ... و

جیوه را در گزارش خود داشته باشند.



روش جدید آنالیز طلا و عناصر ردیاب

مزایا	
صرفه جویی در هزینه آنالیز:	به صورت های برای دریافت نتایج طلا و عناصر همراه مشتریان ناچار به درخواست آنالیز ICP-MS و آنالیز طلا می باشد که هزینه هر کدام جداگانه محاسبه می شود. این در حالیتیست که در روش جدید گویه عناصر ردیاب به همراه طلا به صورت یکجا و با قدرت انحلال و رنگآوری بالا قابل اندازه گیری هستند که این امر موجب صرفه جویی در هزینه آنالیز خواهد شد.
صرفه جویی در زمان آنالیز:	در مقایسه با روش های قبلی، به دلیل واحد بودن روش آنالیز، زمان آنالیز های قبلی، تقابلی می یابد و در بازه ۴-۵ روز کاری گزارش آنالیز صادر می خواهد شد.
تکرار پذیری بسیار بالا:	از آنجا که تکرار پذیری هر روش وابستگی مستقیم به نوع آنالیز و پیچیدگی های آن در هر مرحله دارد. بیسموت، تکرار پذیری این روش خصوصاً در نمونه هایی با طایه های سنگین و ... را بالا می باشد به صورتی که در نتایج آزمایش طلا در بازه های مختلف مختلف و سایر عناصر RSD < 5% به صحت آمده است.
حذف عامل آنتاسی - خطای سیستماتیک:	در این روش بیش از ۱۸۰ فرآیند آنالیز با استفاده دستگاه و تجهیزات پیشرفته انجام می شود و نقش نیروی انسانی به حداقل ممکن کاهش می یابد که این مهم باعث افزایش دقت و صحت و از طرف دیگر کاهش خطای انسانی می گردد.
امکان دریافت عنصر جیوه:	یکی از بزرگترین اشکالات این روش گزارش عنصر جیوه در آنالیز می باشد، با توجه به اینکه در پی جویی و کشف اشکالات گذشته در کشور بررسی عنصر جیوه مغفول مانده است، نقش عنصر جیوه به عنوان یک ردیاب به مدار قوی جهت بررسی عنصر طلا را می توان ادامه گرفت، لذا این روش می تواند به عنوان گامی بزرگ برای شروع بررسی جیوه در پروژه های اکتشافی و معدنی قلمداد گردد.
طای محظوظ در شبکه سولفیدی:	طای محظوظ در شبکه سولفیدی از موارد چالش برانگیز در اندازه گیری عنصر طلا می باشد به صورتی که در متون علمی مختلف، روش های مختلفی از جمله پودر کردن نمونه به اندازه ۴۰۰ مش و پرشته کردن (Roasting) قبل از فرآیند آنالیز پیشنهاد شده است این در حالیتیست که در این روش به دلیل قدرت تهپ به سایر طلا تحت فشار و دما، نیاز به هیچگونه آماده سازی اولیه قبل از آنالیز وجود ندارد و پرشتای طای محظوظ در شبکه سولفیدی در معرض خواش و اندازه گیری قابل خواهد گرفت.
امکان ردیابی سایر عناصر همراه با طلا:	به جهت صرفه جویی در هزینه آنتالین گاه مشتریان تنها به آنالیز طلا بسنده می کنند و از آنالیز سایر عناصر دیگر مانند نقره، جیوه و عناصر نرزشمند غافل می شوند. در این آنالیز عناصر نرزشمند همراه طلا نیز گزارش شده و می توان بررسی دقیق تری روی نمونه مورد نظر داشت.
امکان بررسی طای سولفیدی و اکسیدی:	از آنجا که همراه با عنصر طلا، گوگرد نیز با حد تشخیص بالا گزارش می شود، لذا امکان بررسی طلا در شبکه سولفیدی یا اکسیدی می باشد.

محدودیت ها

حد تشخیص طلا در این روش ۲۰ میا گرم در تن (20 ppb) می باشد که در مقایسه با روش آ-ایر اسی با حد تشخیص ۵ میا گرم در تن (5 ppb) بالاتر بوده و با بار بار روش مناسبی برای پروژه های ژئوشیمی نمی باشد.	حد تشخیص طلا در این روش ۲۰ میا گرم در تن (20 ppb) می باشد که در مقایسه با روش آ-ایر اسی با حد تشخیص ۵ میا گرم در تن (5 ppb) بالاتر بوده و با بار بار روش مناسبی برای پروژه های ژئوشیمی نمی باشد.
از آنجا که در این روش مقدار کمتر از ۵ گرم از نمونه در فرآیند هضم استفاده می گردد لذا این روش برای نمونه های با طلا درشت دانه و بافت ناهمگن مناسب نمی باشد و تنها می تواند معرف نمونه برداشت شده جهت هضم باشد. لذا پیشنهاد می گردد در این روش های چالگن مانند لیج سالیادی که در حدود یک کیلوگرم از نمونه جهت هضم استفاده می شود بهره برد.	از آنجا که در این روش مقدار کمتر از ۵ گرم از نمونه در فرآیند هضم استفاده می گردد لذا این روش برای نمونه های با طلا درشت دانه و بافت ناهمگن مناسب نمی باشد و تنها می تواند معرف نمونه برداشت شده جهت هضم باشد. لذا پیشنهاد می گردد در این روش های چالگن مانند لیج سالیادی که در حدود یک کیلوگرم از نمونه جهت هضم استفاده می شود بهره برد.

AuME⁺:

Element	Au	Ag	As	Bi	Cd	Cu	Hg	Mo	Pb	S	Sb	Se	Te	Tl	W	Zn
Unit	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DL	20	0.50	0.5	1	0.10	1	1	0.5	1	50	0.50	1	0.5	0.5	0.5	1
UL	500,000	1,000	50,000	1,000	1,000	150,000	5,000	30,000	200,000	400,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	200,000
Method	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03	AuME-W03



مقایسه آنالیز طلا به روش FA و روش انحلال با
مایکروویو (Microwave digestion **MVD**)

مزایا و معایب روش FA

- دقیق ترین روش برای اندازه گیری طلا در رنج ppm و ppb
- در نمونه های ناهمگون جواب بهتری می دهد (قابلیت ذوب نمونه با حجم بیشتر)
- مستقل از ماتریکس نمونه است (Matrix-independent)
- در حال حاضر به عنوان مرجع رسمی آنالیز طلا در جهان شناخته می شود.

- روش زمان بری است (چندین ساعت)
- روش خطرناکتری است و نیازمند اوپراتور ماهرتری است
- هزینه بالاتری دارد
- برای آنالیز چند عنصر مناسب نیست

مزایا و معایب روش MWD

- سرعت بالاتر آنالیز (۱۰ تا ۴۵ دقیقه)
- مصرف مواد کمتر
- کنترل بهتر شرایط هضم
- امکان آنالیز چند عنصر به صورت هم زمان
- ایمنی بیشتر نسبت به روش های هضم سنتی و ذوب
- دقت پایین تر برای طلا (بخصوص در نمونه های ژئوشیمی با عیار کم)
- بازیابی کمتر طلا به دلیل جذب روی دیواره کپسول
- وزن نمونه مورد استفاده کم است (افزایش خطا در نمونه های ناهمگن)
- نیازمند دستگاه اندازه گیری دقیق و اپراتورهای متخصص تر

توزیع ذرات طلا در تیپ های مختلف کانسازی

سیستم های مختلف کانه زایی طلا

انتخاب چند تیپ کانی سازی

شاخص برای بررسی تغییرات ابعاد

طلا و تکرارپذیری آنالیز

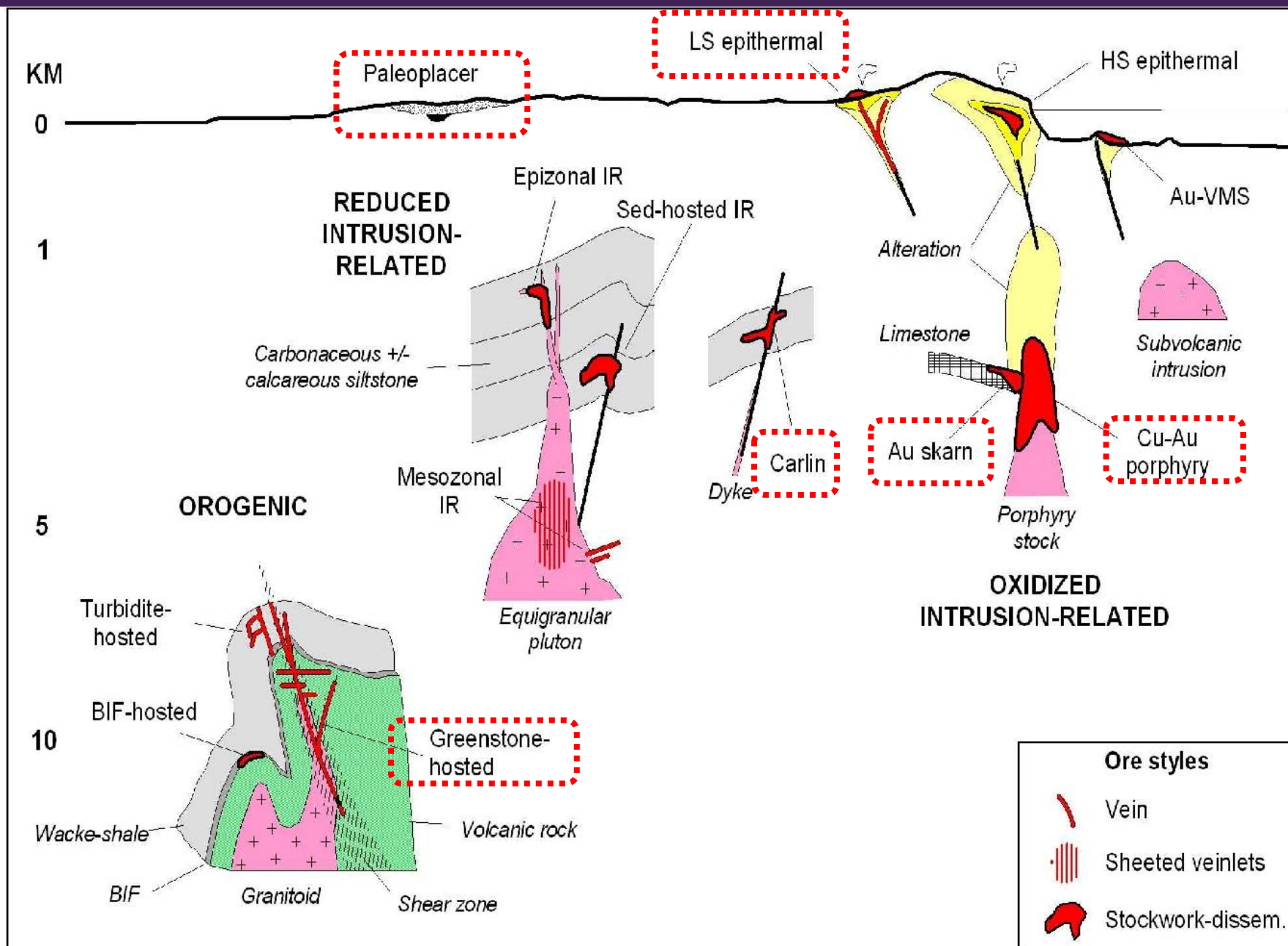


Figure 1: Schematic cross section showing the key geologic elements of the main gold systems and their crustal depths of emplacement. Note the logarithmic depth scale. Modified from Poulsen et al. (2000), and Robert (2004a).

رتبه بندی تیپ های کانساری بر اساس میزان تغییرپذیری ذاتی طلا در طبیعت

کمترین تغییرپذیری

تیپ کارلین

- طلای ریز دانه
- نامرئی
- بدون ناگت

اپی ترمال کم سولفید

- رگه ای و نسبتاً یکنواخت

پورفیری مس-طلا

- طلای پراکنده به همراه پیریت

گرین استون/مزوترمال

- رگه ای
- ناگت متوسط

اسکارن طلا

- ناهمگونی بالا

پلاسر طلا

- ذرات طلای آزاد
- طلای دانه درشت
- اثر ناگت شدید

بیشترین تغییرپذیری

What makes it a **Carlin** deposit?

Sometimes called 'sediment-hosted disseminated-gold' deposits

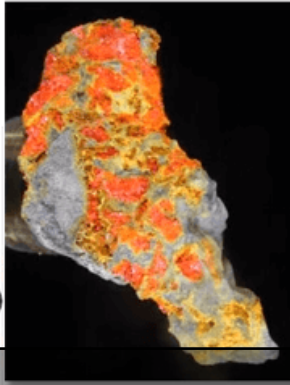
Hosted in 'dirty carbonate' rocks

Gold occurs as 'micron gold' in disseminated pyrite (hematite if oxidized)

Associations:

- common: orpiment/realgar (arsenic sulfides)
- fairly common: carbon, silicification (jasperoid)
- absent: silver, base metals

Otherwise, they are very similar to some epithermal deposits



طلای کم سولفید اپی ترمال

رتبه بندی تیپ های کانساری بر اساس
میزان تغییرپذیری ذاتی طلا در طبیعت



طلای سنگ سبز

رتبه بندی تیپ های کانساری بر اساس میزان تغییرپذیری ذاتی طلا در طبیعت



رتبه بندی تیپ های کانساری بر اساس برداشت نمونه و تکرارپذیری آنالیز

تیپ کارلین

- طلای ریز دانه
- نامرئی
- بدون ناگت

اپی ترمال کم سولفید

- رگه ای و نسبتاً یکنواخت

پورفیری مس-طلا

- طلای پراکنده به همراه پیریت

گرین استون/مزوترمال

- رگه ای
- ناگت متوسط

اسکارن طلا

- ناهمگونی بالا

پلاسر طلا

- ذرات طلای آزاد
- طلای دانه درشت
- اثر ناگت شدید

سهولت برداشت نمونه معرف
تکرار پذیری بالای نتایج آنالیز

مشکل برداشت نمونه معرف
عدم تکرار پذیری نتایج آنالیز

تیپ کارلین

- طلای ریز دانه
- نامرئی
- بدون ناگت

اپی ترمال کم سولفید

- رگه ای و نسبتاً یکنواخت

پورفیری مس-طلا

- طلای پراکنده به همراه پیریت

گرین استون/مزوترمال

- رگه ای
- ناگت متوسط

اسکارن طلا

- ناهمگونی بالا

پلاسر طلا

- ذرات طلای آزاد
- طلای دانه درشت
- اثر ناگت شدید

با افزایش تغییرپذیری عیار کانسار (مانند طلا) بایستی با افزایش **وزن نمونه**، این تغییرپذیری را مدیریت کرد تا نمونه ارسالی به آزمایشگاه معرف بوده و تکرار پذیری آنالیز بالاتر رود

تیپ کارلین

- طلای ریز دانه
- نامرئی
- بدون ناگت

اپی ترمال کم سولفید

- رگه ای و نسبتاً یکنواخت

پورفیری مس-طلا

- طلای پراکنده به همراه پیریت

گرین استون/مزوترمال

- رگه ای
- ناگت متوسط

اسکارن طلا

- ناهمگونی بالا

پلاسر طلا

- ذرات طلای آزاد
- طلای دانه درشت
- اثر ناگت شدید

با افزایش تغییرپذیری عیار کانسار (مانند طلا) بایستی با افزایش **تعداد جزء نمونه** برداشت شده، این تغییرپذیری را مدیریت کرد تا نمونه ارسالی به آزمایشگاه معرف بوده و تکرار پذیری آنالیز بالاتر رود

برخی موارد مطرح شده در روش MWD

در برخی مقالات و مطالعات انجام شده روی نمونه های هضم اسیدی، منجر به بازدهی ۸۰ تا ۸۲٪ طلا در مقایسه با FA شده است.

در مواردی که با ماتریکس سیلیکاتی سروکار داریم استفاده از HF باعث آزادسازی طلا و افزایش بازیابی طلا در روش MVD شده است.

بدون داشتن یک برنامه دقیق QA/AC نباید از روش MVD به جای FA استفاده نمود.

اگر چه روش هضم مایکروویو با آنالیز چند عنصری می تواند زمان آنالیز را به طور قابل توجهی کاهش دهد و برای تعیین چند عنصر مناسب باشد. اما به علت محدودیت استخراج کامل طلا و احتمال از دست رفتن طلا در ماتریس های پیچیده نباید به عنوان جایگزین روش FA در نمونه های دارای طلای ناگت و نمونه های حساس استفاده شود (Helmeczi et al., 2018).

بهترین پیشنهاد استفاده از ترکیب روش FA ، SFA ، MWD (AuME+) با توجه به شرایط پروژه است.

اسکرین فایر اسی

با تشکر از توجه شما