

مقایسه روش‌های ثقلی و مغناطیسی با سیانوراسیون جهت پرعیار سازی کانسنگ‌های غیر مقاوم طلا

رحمان احمدی، منوچهر اولیازاده و محمد نوع پرست

چکیده: امروزه فرآیندهای مختلف پرعیار سازی از قبیل روش‌های ثقلی، مغناطیسی، فلوتاسیون و سیانوراسیون در فرآوری کانسنگ‌های طلا بکار می‌رود. منطقه‌ی طرقله در استان خراسان از لحاظ کانی سازی، پاراژنزی ساده دارد. ذرات طلا بصورت آزاد به همراه پیریت و کالکوپیریت و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت و لپیدوکروسیت) در گانگ سیلیسی وجود دارد.

از آنجا که دستگاه‌های مورد استفاده در روش پرعیار سازی ثقلی برای محدوده ابعادی مشخصی مناسب می‌باشند، لذا جهت کاهش حجم عملیات و انتخاب وسیله مناسب، آنالیز طلا برای بخش‌هایی مختلف ابعادی انجام شد. برای محدوده ابعادی ریزتر از ۳۸ میکرون از دستگاه مولتی گراویتی استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز طلا و مطالعات میکروسکوپی بر روی نمونه کانسنگ طلای طرقله حاکی از دانه ریزی ذرات طلا و توزیع آنها در ابعاد مختلف می‌باشد. با توجه به اینکه از روش‌های ثقلی و مغناطیسی نتایج مطلوبی حاصل نشد، لذا روش سیانوراسیون مورد بررسی قرار گرفت.

کانسنگ طلای طرقله غیر مقاوم می‌باشد و با استفاده از روش سیانوراسیون بازیابی بیش از ۹۰ درصد به دست آمد. در این مقاله به ارائه و تحلیل نتایج حاصل از کاربرد روش‌هایی پرعیار سازی ثقلی (جیگ، میز لرزان، مولتی گراویتی و ماریپیج همفری)، روش‌هایی مغناطیسی (خشک و تر) و روش سیانوراسیون برای فرآوری کانسنگ‌های طلا (در این مورد طلای طرقله) پرداخته شده است و این روش‌های با هم مقایسه شده اند.

واژه‌های کلیدی: طلا، طرقله، پرعیار سازی ثقلی، پرعیار سازی مغناطیسی، سیانوراسیون

۱. مقدمه

کانسنگ طلای طرقله در هشت کیلومتری غرب مشهد واقع است. عملیات اکتشاف نیمه تفصیلی آن شامل عملیات صحرایی، تهیه نقشه توپوگرافی و تهیه نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ برای محدوده‌ای از کانسار به مساحت ۱۰۰ هکتار، توسط سازمان زمین شناسی کشور در سال ۱۳۷۷ انجام گرفت [۱].

میزان ذخیره این کانسار بر طبق عملیات اکتشاف تفصیلی در سال ۱۳۷۸، ۳۵۰۰ کیلوگرم طلا برآورد شده است. این کانسار از نوع هیدروترومال رگه‌ای و در ارتباط با توده آذرین گرانیتی می‌باشد. پرعیار سازی این کانسنگ با استفاده از

روش‌هایی ثقلی و مغناطیسی و در نهایت سیانوراسیون مورد بررسی قرار گرفت، که این مقاله به ارائه و تحلیل این مطالعات اختصاص دارد. هدف اصلی این مطالعه، بررسی توانایی روش‌هایی ثقلی، مغناطیسی [۲] و در مقایسه با سیانوراسیون برای پرعیار سازی کانسنگ طلای طرقله می‌باشد.

۲. مواد و روش‌های

نمونه برداری از کانسار طلای طرقله با اهداف خاصی صورت پذیرفت. در ابتدا تعدادی نمونه از کارهای قدیمی اکتشافی و استخراجی همانند تونل‌ها و چاهک‌ها برداشت گردید. نمونه برداری از زون‌های کانی سازی بوپزه بخش‌های منطبق با کارهای استخراجی قدیمی و رخنمون رگه‌های سیلیسی، جهت استفاده در مطالعات فرآوری انجام شد.

از رخنمون رگه‌های کانی سازی، سنگ‌های میزبان رگه‌ها در مناطق مختلف کانسار، کمر پایین و کمر بالای زون کانی سازی و دنباله رگه‌های استخراج شده در تونل (دبواره‌ها، سقف و کف تونل‌ها) با هدف انجام بررسی‌های پتروگرافی و مینرالوگرافی نمونه برداری صورت گرفت [۳].

مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۱/۲۶ دریافت شده و در تاریخ ۱۳۸۲/۸/۱۸ به تصویب نهایی رسیده است.

آقای رحمان احمدی، کارشناس پژوهشی پژوهشکده توسعه صنایع شیمیایی ایران، rahmadi@irdci.ac.ir

دکتر منوچهر اولیازاده، عضو هیأت علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران، گروه مهندسی معدن

دکتر محمد نوع پرست، عضو هیأت علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران، گروه مهندسی معدن، mnoaparast@yahoo.com

ضمناً حدود ۳۰۰ کیلوگرم نمونه انتخابی از بخش‌های مختلف معدن جهت انجام آزمایش‌های مختلف، سنگ شکنی و خرد شدند.

سپس نمونه معرف، تهیه و آنالیز شیمیایی آن با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام شد، که نتایج حاصل از آن در جدول ۲ ارائه شده است.

از آنجا که شناسایی دقیق ماهیت یک نمونه سنگ معدنی، جهت انجام عملیات فرآوری امری ضروری به نظر می‌رسد [۳]، لذا به منظور اطلاع از عیار طلا و همچنین فازهای کانی سازی موجود، چهار نمونه معرف به وزن یک کیلوگرم و با محدوده ابعادی ریزتر از ۱۵۰ میکرون از زون‌های مختلف نمونه برداری تهیه و عیار سنجی شدند که نتایج مربوطه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. عیار نمونه‌های برداشت شده از زونهای مختلف کانسار طریقه

مقدار طلا (گرم در تن)	محل برداشت نمونه
۲/۹	رگه سیلیسی
۲/۱	کار قدیمی - مجاورت رگه معدنی BH13
۱/۷	کار قدیمی - مجاورت رگه معدنی بخش کم عیار
۴	کار قدیمی - تونل بزرگ

جدول ۲. آنالیز شیمیایی نمونه متوسط کانسنگ طلای طریقه (بر حسب درصد)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	L.O.I
۸۹/۱۹	۲/۴۰	۲/۱۶	۱/۹۴	۱/۰۶	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۳۱	۰/۰۶۳	۰/۰۴۵	۱/۷۴
۵۸/۷۵	۱۲/۳۶	۶/۳۸	۳/۷۳	۴/۱۰	۱/۴۲	۱/۰۶	۰/۱۳۶	۰/۵۶۱	۰/۲۰۲	۴/۶۴
۶۸/۳۸	۱۴/۹۳	۳/۸۲	۳/۹۳	۲/۹۴	۲/۷۴	۱/۰۷	۰/۰۸۸	۰/۳۸۲	۰/۱۹۴	۱/۱۲

نزدیکی قطعات گوتیت، جدایش مغناطیسی به دو روش تر و خشک انجام گردید.

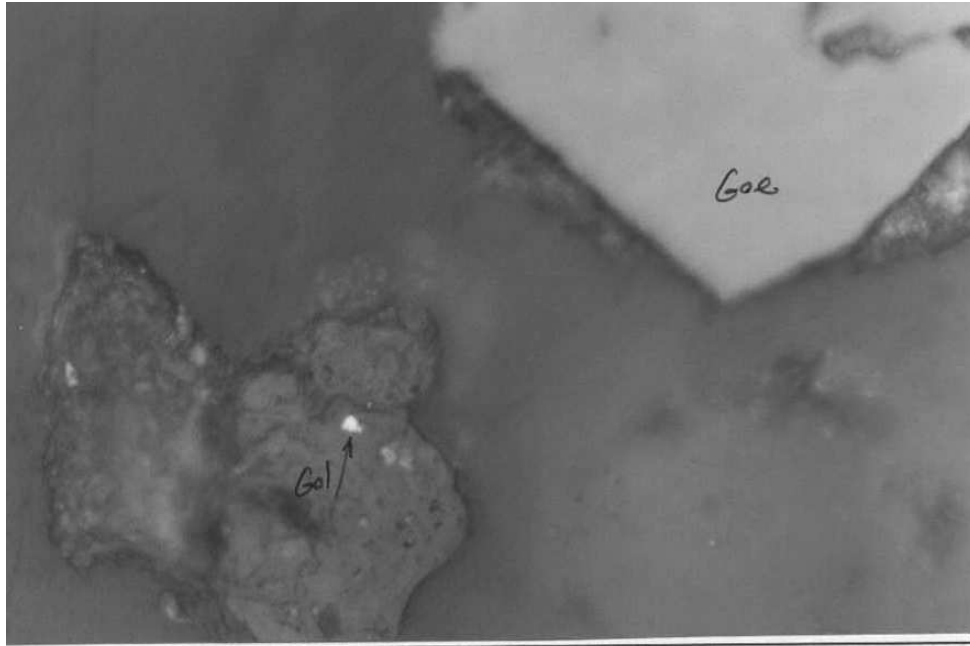
در روش مغناطیسی خشک، ۲۰۰ گرم نمونه با محدوده ابعادی ۷۵+۸۵- میکرون در دستگاه مغناطیسی دیسکی دو قطبی با شدت جریان دو آمپر و ولتاژ ۲۸ ولت مورد فرآیند قرار گرفت، سپس بخش‌هایی کنسانتره و باطله مورد آنالیز طلا قرار گرفت که به علت وزن کم کنسانتره صرفاً بخش باطله آنالیز شد.

در روش تر حدود دو کیلوگرم نمونه با ابعاد ریزتر از ۱۵۰ میکرون بوسیله جداکننده مغناطیسی شدت بالا به دو بخش کنسانتره و باطله تبدیل شد، که آنالیز طلا برای هر دو بخش صورت پذیرفت. از آنجا که از روش‌های ثقی و مغناطیسی جواب مطلوبی حاصل نشد، لذا با توجه به دانه ریز بودن ذرات طلا و توزیع آنه در محدوده‌هایی ابعادی مختلف، از روش سیانوراسیون استفاده گردید که نتایج به دست آمده در بخش‌های بعدی ارائه شده است.

پس از تعیین درجه آزادی ذرات طلا از طریق مطالعه مقاطع صیقلی، نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش‌هایی بر عیار سازی آماده شدند. اندیس کار نمونه متوسط طبق آزمایش استاندارد باند [4] و با استفاده از آسیای گلوله‌ای طی دو آزمایش تعیین گردید. آزمایش‌های خردایش به منظور تعیین زمان بهینه خردایش با استفاده از آسیای گلوله‌ای در زمان‌هایی مختلف و به دو روش خشک و تر انجام شد.

آزمایش‌های بر عیار سازی ثقی با استفاده از جیگ آزمایشگاهی [۵] در دو محدوده ابعادی ۲۳۶۰+۵۰۰- و ۲۰۰۰+۵۰۰- میکرون، میز لرزان در محدوده‌هایی ابعادی ۵۰۰-، ۳۰۰-، ۱۰۰۰+۵۰۰-، ۵۰۰+۷۵-، ۳۰۰+۷۵-، ۱۵۰- میکرون، مولتی گراویتی موزلی در محدوده ابعادی ۷۵- میکرون و ماریپیج همفری در محدوده (۱۰۰۰-۲۰۰+) میکرون انجام شد.

با توجه به مطالعات میکروسکوپی و شناخت کانی‌هایی کدر همانند اکسید و هیدروکسیدهای آهن و احتمال وجود طلا در



شکل ۱. طلا در کوارتز و در مجاورت گوتیت (×400)

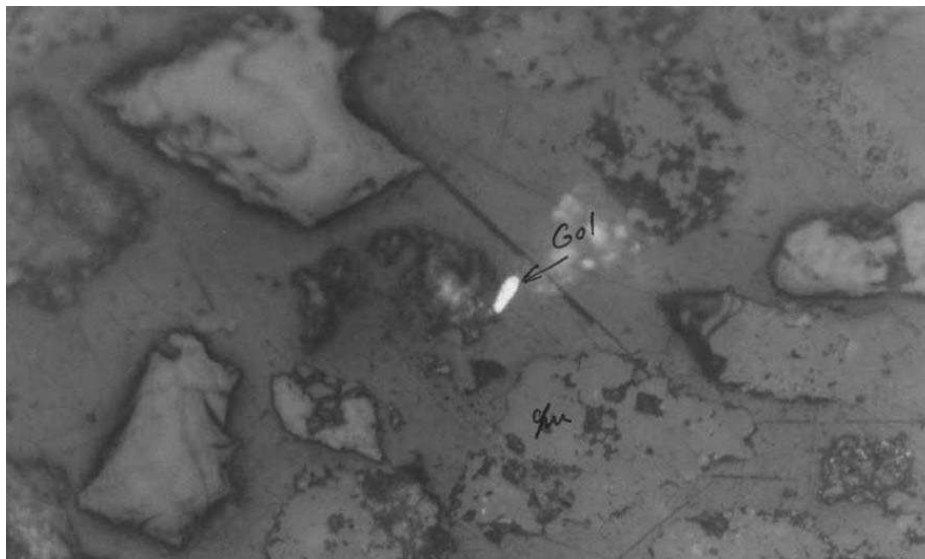
نتایج حاصل از این مطالعات دلالت بر آن دارد که طلا بصورت آزاد در زون‌هایی خرد شده گسلی وجود دارد. ذرات طلا در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند.

۴. خردایش و آماده سازی نمونه‌های

عملیات خردایش به منظور دستیابی به درجه آزادی مناسب انجام می‌شود، که این مقدار به پارامترهایی مختلفی مانند نوع کانه، پیچیدگی و تفرق کانی سازی و غیره بستگی دارد [۶]. جهت بررسی قابلیت خردایش کانسنگ طلای طبقه آزمایش تعیین اندیس کار در دو مرحله انجام شد.

۳. مطالعات میکروسکوپی

مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی گام اول در جهت آغاز عملیات فرآوری محسوب می‌گردد. این امر بدلیل اهمیت اطلاع از فاز تشکیل کانی با ارزش است، که در تصمیم‌گیری برای انتخاب روش مناسب فرآوری و کوتاه شدن مدت زمان انجام مطالعه و اقتصادی کردن مراحل عملیات نقشی اساسی دارد [۵]. منطقه طبقه از لحاظ کانی شناسی پاراژنزی ساده دارد. به منظور انجام مطالعات کانی شناسی و مینرالوگرافی، از نمونه آماده شده مقاطع صیقلی و تیغه نازک در ابعاد مختلف تهیه شد و سپس هر یک از آنها مورد بررسی‌هایی میکروسکوپی واقع گردید.



شکل ۲. طلای آزاد (×200).

به منظور تعیین زمان بهینه خردایش، سه نمونه ۱۲۰۰ گرمی در زمان‌های ۱۷، ۲۵، ۳۲ دقیقه در آسیای گلوله‌ای خرد شدند و درصد مواد باقیمانده بر روی الک ۲۰۰ مش بدست آمد. خردایش به روش تر و با جامد ۶۶٪ انجام شد (۱۲۰۰ گرم جامد و ۶۰۰ سی سی آب).

مقادیر اندیس کار برای نمونه متوسط طی دو آزمایش برابر با ۱۴ و ۱۴/۵ کیلو وات ساعت بر تن به دست آمد، که بیانگر سختی نسبتاً بالای ماده از نظر قابلیت خردایش می‌باشد. بالا بودن این مقادیر احتمالاً بعثت حضور سیلیس در نمونه می‌باشد و نتایج آنالیز شیمیایی جدول ۲ نیز این امر را تأیید می‌کند.

جدول ۳. تعیین زمان خردایش

زمان خردایش (دقیقه)	مش (+ ۲۰۰)		مش (- ۲۰۰) (گرم)
	گرم	درصد	
۱۷	۵۵۸/۴۴	۴۶/۵	۶۴۱
۲۵	۳۴۲/۴۶	۲۸/۵	۸۵۷
۳۲	۲۴۰/۶۵	۲۰/۱	۹۵۹

۵. آنالیز ابعادی طلا

در صورتیکه تمرکز کانی با ارزش و یا مجموعه‌ای از کانی‌ها با خواص مشترک (مثلاً کانی‌های سنگین) در یک بخش بیشتر باشد، می‌توان عملیات فرآوری آن بخش ابعادی را جداگانه انجام داد و با حذف آن عملیات برای اندازه‌های دیگر، حجم کار را کاهش داد [4].

بنابراین اندازه‌گیری طلا در هر بخش ابعادی ضروری است. به منظور تشخیص نحوه توزیع طلا در دانه بندی‌های مختلف، یک نمونه یک کیلوگرمی توسط سنگ شکن غلطکی تا ابعاد ریزتر از ۲۳۶۰ میکرون خرد شد و سپس مورد تجزیه سرنده قرار گرفت. مقادیر باقیمانده روی سرنده‌های ۱۸، ۱۰، ۳۵، ۲۳۰، ۱۲۰، ۶۰، ۴۰۰ مش و بخش عبور کرده از سرنده ۴۰۰ مش عیار سنجی شدند. جدول ۴ آنالیز طلای بخش‌های مختلف ابعادی را نشان می‌دهد.

بنابراین با فرض، زمان خردایش $T =$ (برحسب دقیقه) و درصد باقیمانده روی الک ۲۰۰ مش $X =$ (برحسب درصد)، سه نقطه $B(x=28/5\%, t=25)$ ، $A(x=46/5\%, t=17)$ ، $C(x=20/1\%, t=32)$ بدست می‌آیند، که خط حاصل از این سه نقطه، کمک مؤثری در محاسبه زمان خردایش می‌نماید، معادله این خط بصورت ذیل می‌باشد:

$$y = 0/0147x^2 - 1/549x + 57/188 \quad (1)$$

به منظور انتخاب روش آسیای بهینه جهت خردایش سنگ معدن طلای طریقه، آزمایش‌های آسیا به دو روش خشک و تر در زمان‌های ماند مختلفی انجام شد و پس از مقایسه، روش آسیای گلوله‌ای تر برای این منظور انتخاب گردید.

جدول ۴. آنالیز طلا برای بخش‌های مختلف ابعادی.

اندازه ذرات (میکرون)	درصد وزنی مواد روی سرنده	عیار طلا (گرم در تن)	توزیع طلا (درصد)	توزیع تجمعی طلا (درصد)
+۲۰۰۰	۶/۶۴	۲/۴	۴/۵۸	۴/۵۸
-۲۰۰۰ +۱۰۰۰	۲۸/۷۶	۲/۷	۲۲/۴۵	۲۷/۰۳
-۱۰۰۰ +۵۰۰	۳۳/۰۰	۲/۹	۲۷/۴۷	۵۴/۵۰
-۵۰۰ +۲۵۰	۸/۶۰	۳/۳	۸/۲۷	۶۲/۷۷
-۲۵۰ +۱۲۵	۱۰/۶۸	۴/۰	۱۲/۴۱	۷۵/۱۸
-۱۲۵ +۶۳	۴/۱۲	۵/۹	۷/۱۰	۸۲/۲۸
-۶۳ +۳۸	۱/۶۰	۶/۲	۲/۹۵	۸۵/۲۳
-۳۸	۶/۶۰	۷/۸	۱۴/۸۰	۱۰۰

۶. پرعیار سازی با استفاده از جیگ

با استفاده از روش‌های پرعیار سازی ثقلی می‌توان مخلوطی از مواد معدنی با ابعاد، شکل و جرم مخصوص مختلف را بر اساس پارامترهایی نظیر نیروی ثقل، نیروی گریز از مرکز و دیگر نیروها به وسیله جریان سیال، بویژه آب (و یا هوا) به بخش‌هایی با خواص هیدرودینامیکی غیرمتشابه تفکیک نمود [7].

آزمایش‌های جیگ با خوراکی در محدوده ابعادی $۲۰۰۰+۵۰۰$ - و $۲۳۶۰+۵۰۰$ - میکرون انجام شدند، که محصولات در دو بخش کنسانتره و باطله پس از خشک و پودر شدن عیارسنجی شدند. لازم به ذکر است که این دو آزمایش حاصل بهینه سازی شرایط جدایش در جیگ می‌باشد و از چندین آزمایش انجام شده، این دو آزمون گزارش شده‌اند. نتایج حاصل از این آزمایش‌های در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. نتایج حاصل از پرعیار سازی با استفاده از جیگ.

شماره آزمایش	محدوده ابعادی (میکرون)	محصول	مقدار طلا (گرم در تن)	بازیابی طلا (درصد)
۱	$۲۳۶۰+۵۰۰$	کنسانتره باطله	۳/۱ ۳/۰	۴۴/۶۳
۲	$۲۰۰۰+۵۰۰$	کنسانتره باطله	۴/۳ ۲/۸	۴۸/۵

بیشترین بازیابی مربوط به محدوده ابعادی ۱۵۰- میکرون می‌باشد، که ریزترین محدوده می‌باشد. میزان بازیابی با افزایش شیب از ۳۰ تا ۳/۵۰ افزایش و پس از آن بازیابی کاهش می‌یابد. البته مقادیر بازیابی طلا برای دو شیب ۳/۵ و ۴ درجه بسیار نزدیک به هم می‌باشد (به ترتیب ۴۵/۷۴ و ۴۵/۴۵ درصد برای ۳/۵ و ۴ درجه). در هر حال باید به عیار کنسانتره در شیب ۳/۵ درجه (۱۱/۸) توجه داشت که در مقایسه با شیب ۴ درجه (۶) به مراتب بالاتر است. بنابراین شیب ۳/۵۰ بهترین شیب می‌باشد.

همانطوری که مشاهده می‌شود تمرکز طلا در مقدار باطله بالا است و عیار کنسانتره نیز افزایش چندانی نسبت به عیار خوراک ورودی (۲/۹ گرم در تن) نداشته است. در آزمایش اول میزان توزیع طلا در بخش کنسانتره ۴۴/۶۳ درصد است. بنابراین بیش از ۵۵ درصد از طلا به باطله تمرکز یافته است، که مقدار قابل توجهی می‌باشد. هرچند در آزمایش ۲ با کوچکتر کردن محدوده ابعادی، عیار و بازیابی بیشتری حاصل شد، ولی در این محدوده ابعادی نیز بیش از ۵۰ درصد از طلا به بخش باطله رفته است. لذا با توجه به دانه ریزی و پراکندگی ذرات طلا در ابعاد مختلف [8]، استفاده از جیگ جهت پرعیار سازی این کانسنگ مناسب نمی‌باشد.

۸. پرعیار سازی با مولتی گراویتی

از آنجائیکه جدایش مواد در محدوده ابعادی ریزتر از ۷۵ میکرون به کمک میز لرزان میسر نیست [9]، لذا از دستگاه ثقلی مولتی گراویتی که قادر به فرآوری ذرات کوچکتر از ۱۰۰ میکرون است، استفاده شد [10]. به منظور انجام این آزمایش شش نمونه حدوداً یک کیلوگرمی در شیب و دبی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. ضمناً یک نمونه اصلی ۵۰ گرمی از این نمونه‌ها به همراه کنسانتره‌ها و باطله‌ها برای عیارسنجی به آزمایشگاه ارسال شد. در آزمایش اول بعلت کم بودن مقدار وزنی کنسانتره، صرفاً باطله آنالیز شد. در تمامی این آزمایش‌های دبی جامد، سه متر مکعب بر ساعت و دبی آب همراه خوراک دو لیتر بر دقیقه در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این آزمایش‌های در جدول ۷ ارائه شده است.

۷. آزمایش‌های میز لرزان

امروزه از این دستگاه که احتمالاً مؤثرترین نوع دستگاه ثقلی هم می‌باشد، برای پرعیار سازی اولیه مواد دانه‌ریز و در بعضی مواقع به عنوان پرعیار سازی نهایی استفاده می‌شود. این دستگاه از ظرفیت مناسب و بازدهی بالایی برخوردار می‌باشد [7]. در ابتدا دو آزمایش اولیه با خوراک‌های ۳۰۰- میکرون و ۵۰۰- میکرون انجام شد تا ایده کلی نسبت به محدوده ابعادی خوراک و همچنین شیب مناسب میز بدست آید [9] و سپس سه آزمایش دیگر با ابعاد محدودتر و شیب‌های مختلف انجام گردید. نتایج حاصل از عیارسنجی برای تمامی آزمایش‌های در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به جدول ۶، در شیب‌های ثابت ۳۰

جدول ۶. نتایج پر عیار سازی با استفاده از میز لرزان

شماره آزمایش	محدوده ابعادی (میکرون)	زاویه میز	دبی حجمی خوراک (متر مکعب در ساعت)	نوع محصول	مقدار طلا (گرم در تن)	بازیابی طلا (درصد)
۱	-۵۰۰	۳°	۱/۲	کنسانتره میانی باطله	۱۶/۸ ۳/۹ ۲/۸	۲۶/۷
۲	-۳۰۰	۳°	۱/۲	کنسانتره میانی باطله	۱۷/۸ ۳/۷ ۳/۲	۱۴/۳۶
۳	-۱۰۰۰+۵۰۰	۶/۲°	۱/۲۸	کنسانتره میانی باطله	۳/۴ ۳ ۳/۱	۷/۲۶
۴	-۵۰۰+۷۵	۳/۵°	۱/۲۴	کنسانتره میانی باطله	۱۱/۸ ۳ ۲/۸	۴۵/۷۴
۵	-۳۰۰+۷۵	۴°	۱/۱۴	کنسانتره میانی باطله	۶ ۴ ۲/۷	۴۵/۴۵
۶	-۱۵۰	۳°	۱/۲	کنسانتره میانی باطله	۱۴/۸ ۳/۲ ۲/۶	۳۳/۶۹

جدول ۷. نتایج حاصل از پرعیارسازی با مولتی گراوبیتی

شماره آزمایش	محدوده ابعادی (میکرون)	شیب دستگاه	دبی آب همراه خوراک (لیتر بر دقیقه)	دبی آب شستشو (لیتر بر دقیقه)	عیار باطله (گرم در تن)	عیار کنسانتره (گرم در تن)	بازیابی طلا (درصد)
۱	-۷۵	۶°	۲	۴	۲/۸	-	-
۲	-۷۵	۶°	۲	۲	۲/۲	۱۰	۵۴
۳	-۷۵	۶°	۲	۳/۵	۲/۰	۱۰	۵۹
۴	-۷۵	۴°	۲	۴	۲/۷	۹/۸	۴۰
۵	-۷۵	۴°	۲	۲	۲/۴	۵/۸	۶۳
۶	-۷۵	۲°	۲	۲	۲/۲	۷/۹	۵۸

تاکنون به ندرت تغییرات اساسی در ساختار اولیه این دستگاه انجام گرفته است [11].

در این آزمایش حدود ۲۰ کیلوگرم نمونه در محدوده ابعادی (-۷۵+۱۰۰۰) میکرون به وسیله ماریپیج همفوری به دو محصول کنسانتره و باطله تبدیل شد، که هر دو بخش برای آنالیز طلا به آزمایشگاه ارسال شد و نتایج حاصل در جدول ۸ آورده شده است. ملاحظه می شود که مقدار طلا در بخش باطله زیاد می باشد.

در این آزمایش نیز مقدار بازیابی قابل توجه نمی باشد و لذا استفاده از ماریپیج همفوری برای فرآوری کانسنگ طلای طرقله منطقی به نظر نمی رسد.

جدول ۸. نتایج حاصله از آنالیز طلا (ماریپیج همفوری).

محصول	مقدار طلا (گرم در تن)	بازیابی طلا (درصد)
کنسانتره	۳/۴	۶۰/۵
باطله	۲/۶	

عیار نمونه کلی پس از آنالیز طلا معادل ۳/۸ گرم در تن به دست آمد.

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۵، بیشترین بازیابی مربوط به شیب ۴ درجه و دبی آب شستشوی ۲ لیتر بر دقیقه (۶۳ درصد) و کمترین بازیابی مربوط به شیب ۴ درجه و دبی آب شستشوی ۴ لیتر بر دقیقه (۴۰ درصد) بدست آمد.

در شیب ۶ درجه، با افزایش دبی آب شستشو، مقدار بازیابی بیشتر شده است.

ضمناً با کاهش شیب میز از ۶ درجه به ۴ درجه، میزان بازیابی طلا تحت دبی آب شستشو ۲ لیتر بر دقیقه، کاهش می یابد. بنابراین با توجه به بازیابی های حاصل، دستگاه مولتی گراوبیتی جهت پرعیارسازی این نمونه مناسب نمی باشد.

۹. پر عیار سازی با استفاده از ماریپیج همفوری

جدا کننده های ماریپیچی از جمله جدا کننده های ثقلی هستند که در سال ۱۹۴۰ میلادی عرضه شدند و از آن هنگام

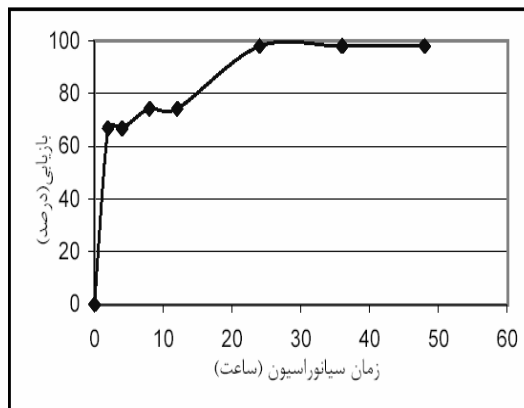
سیانوراسیون تنظیم شد. pHهای طبیعی در ابتدای کار یادداشت گردید و $pH=10/5$ در طول زمان فروشویی ثابت نگه داشته شد.

در این روش، پالپ شامل ۲ لیتر آب و $1333/33$ گرم جامد بوده است. آزمایش سیانوراسیون با افزایش سیانور با غلظت (ppm) ۱۰۰۰ آغاز شد.

این آزمایش به مدت ۴۸ ساعت انجام گرفت. پس از سپری شدن زمان‌های ۲ و ۴ و ۸ و ۱۲ و ۲۴ و ۳۶ و ۴۸ ساعت از زمان شروع آزمایش، توسط بشر استوانه‌ای کوچکی، نمونه‌هایی در حدود ۳۰ میلی‌لیتر از ظرف برداشته شد و پس از فیلتر کردن، محلول آنها مورد عیارسنجی قرار گرفت تا مقدار طلای حل شده در محلول سیانوری معین شود.

ضمناً در هر مرحله مقدار سیانور آزاد اندازه‌گیری شد، تا سیانور مصرفی با اضافه نمودن سیانور به پالپ جبران شود [14].

در این پس از پایان آزمایش پالپ فیلتر شد و مقدار طلای موجود در جامد باقیمانده تعیین گردید. با در دست داشتن نتایج این آزمایش منحنی بازبایی طلا برحسب زمان سیانوراسیون رسم گردید که در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳. نمودار فروشویی زمانی

با توجه به این منحنی، در زمینه طراحی فلوشیت سیانوراسیون اطلاعات مفیدی می‌توان کسب نمود. این آزمایش در دو ظرف موازی انجام شد تا با مقایسه منحنی‌های این دو نمونه بتوان خطاهای تصادفی را حذف کرد و سطح اطمینان را افزایش داد.

با توجه به آزمایش‌های فروشویی زمانی و نمودارهای مربوط به آن، حدود ۷۰ درصد از طلا در همان ساعات اولیه وارد محلول سیانوری می‌شود که این امر نشان دهنده آزاد بودن ذرات طلا و انحلال سریع آنها می‌باشد. مقداری از طلا به میزان یک دهم گرم در تن حتی پس از ۴۸ ساعت در جامد

۱۰. پرعیار سازی با استفاده از جدایش مغناطیسی

جدایش مغناطیسی به عنوان یک روش مؤثر تجاری جهت بازبایی کانی‌ها از زمان شروع قرن گذشته شناسایی شد و امروزه با اطمینان می‌توان گفت که روش مغناطیسی از دقت و صحت بالایی برخوردار است [12-13].

نتایج حاصل از آنالیز نمونه کانسنگ طلای طرقله به روش جدایش مغناطیسی خشک و تر

در جدول ۹ آورده شده است. با توجه به نتایج حاصل، مقدار طلای موجود در باطله بالا بود که این امر موجب کاهش بازبایی شده است.

در پرعیار سازی به روش مغناطیسی، بازبایی بسیار پایینی (۱۷ درصد) به دست آمد.

با توجه به تمرکز بسیار کم ذرات طلا در بخش کنسانتره مغناطیسی، روش مذکور برای پرعیار سازی کانسنگ طلای طرقله پیشنهاد نمی‌گردد.

جدول ۹. نتایج حاصل از آنالیز طلا (روش مغناطیسی).

بازبایی (درصد)	عیار باطله (گرم در تن)	عیار کنسانتره (گرم در تن)	ابعاد (میکرون)	روش
۱۷	۳/۱	۱۷/۴	-۱۵۰	تر
-	۳/۱	-	-۸۵۰+۷۵	خشک

۱۱. روش سیانوراسیون

از آنجا که از روش‌های ثقلی و مغناطیسی نتیجه مطلوبی به دست نیامد، لذا روش سیانوراسیون در دستور کار قرار گرفت. انحلال طلا توسط سیانور از ابتدای قرن نوزدهم شناخته شده است، اما تا اواخر سال ۱۹۸۰ بطور اقتصادی مورد استفاده قرار نگرفته است.

مواد معدنی که طلای آزاد دارند و مقدار بازبایی آنها به روش سیانوراسیون بیشتر از ۸۰ درصد باشد، به روش سیانوراسیون مستقیم فرآوری می‌شوند [14-15].

در این روش معمولاً کانسنگ تا ابعاد حدود ۷۵-۶۰ درصد ریزتر از ۷۴ میکرون خرد می‌شود و سپس مستقیماً تحت فرآیند سیانوراسیون قرار می‌گیرد [16].

در این آزمایش پس از بهینه سازی عوامل مؤثر بر سیانوراسیون مانند دانه بندی، اثر pH و غلظت سیانور، ۲ نمونه از ماده معدنی تا ابعاد $d_{80}=60/16$ میکرون خرد شد و در داخل دو ظرف استوانه‌ای در باز ریخته شد. پس از تنظیم درصد جامد (۴۰ درصد) و با تنظیم pH (برابر ۱۰/۵) بوسیله آهک، سرعت همزنی عملیات

دانه‌ریز بودن ذرات طلا، روش سیانوراسیون بهترین و مناسبترین روش در فرآوری نمونه‌های کانسنگ طلای طریقه می‌باشد.

مراجع

[۱] واعظی‌پور، محمد جواد، «اکتشاف تفصیلی کانسار طلای طریقه»، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مشاور شرکت توسعه علوم زمین، ۱۳۷۸.

[2] Tucker, P., Modeling the M.G.S. XV, Int. Mine. Proce. Cong., PP.77-91, 1991.

[۳] احمدی، رحمان، «بررسی تکمیلی فرآوری کانسنگ طلای طریقه در مقیاس آزمایشگاهی با هدف طراحی کارخانه نیمه صنعتی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

[4] Weiss, N.L., SME. Mineral Processing Handbook, SME. Pub. Vol. 1, 1985, PP.4-32, 4-52.

[۵] حسینی پاک، علی اصغر، «نمونه‌برداری معدنی (اکتشاف، استخراج و فرآوری)»، انتشارات دانشگاه تهران، سال ۱۳۸۰.

[۶] رضایی، بهرام، «تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (خردایش و طبقه‌بندی)»، انتشارات دانشگاه هرمزگان، سال ۱۳۷۶.

[7] Jong, T.R.de., Dalmijn, W.L., "Improving jigging results of nonferrous car scrap by application of an intermediate Layer". Int. J. Miner Processing 49, 1997, pp. 59-72.

[8] Falcon Concentrators Ltd, "Selection Batch – Type, Fluidized Bed Enhanced Gravity Concentrating Equipment", Langley British Columbia, Canada, 2001.

[9] Abouzeid, A.Z.M., "Mineral Processing Laboratory Manual", 1990, pp. 83.

[10] Wills, B.A., Mineral Processing Technology, 5th. Edn, Pergamon Press, 1992, PP. 433-442.

[11] Walsh, D., Kelly, E., "An investigation of the performance of a Spiral using radioactive Gold tracers", Min. & Met. Proc., Vol 9., No 3., 1992, PP. 105-109.

[12] Denver SALA BASIC, Selection Guide for Process equipment, 1994, PP.4-39.

باقی می‌ماند. بنابراین این بخش از طلا را می‌توان طلای مقاوم و تقریباً غیر قابل حل در سیانور دانست. با توجه به این آزمایش‌های، کانسنگ غیر مقاوم می‌باشد.

۱۲. نتیجه گیری

نمونه کانسنگ طلای طریقه مورد بررسی‌های مختلف کانی شناسی و فرآوری قرار گرفت.

نتایج مطالعات کانی شناسی دلالت بر آن دارد که طلا بصورت آزاد و ندرتاً درگیر با کانی آرسنوپیریت در زون‌های خرد شده گسلی وجود دارد.

همچنین اکسید و هیدروکسیدهای آهن که بعضاً اشکال پسودومورف پیریت را نشان می‌دهند، به مقدار کمتر از پنج درصد در نمونه مشاهده گردید و البته در یکی از نمونه‌های مقدار آن قابل ملاحظه بود. نتایج آنالیز طلا در محدوده‌های مختلف ابعادی، بیشترین تمرکز طلا را در محدوده ۳۸- میکرون نشان داد، که بیانگر دانه ریزی ذرات طلا می‌باشد. توجه به آنکه این محدوده ابعادی قابل کاربرد در دستگاه جیگ و میز لرزان نمی‌باشد، از مولتی گراویتی موزلی استفاده گردید.

برای سایر ابعاد با توجه به شرایط خاص سنگ و کانی سازی طلا، روش‌های مختلف ثقلی همانند جیگ، میز لرزان و ماریچج همفری استفاده گردید.

نتایج حاصل از پر عیار سازی یگ تمرکز بیش از ۵۵ درصد از طلا را در بخش کنسانتره نشان داد، که مقدار قابل توجهی می‌باشد، لذا با توجه به این امر و دانه ریزی ذرات طلا و توزیع آن در ابعاد ریز، استفاده از جیگ پیشنهاد نمی‌گردد.

بازایی‌های حاصل از روش‌های میز لرزان، ماریچج همفری، مولتی گراویتی موزلی نیز با توجه به آزمایش‌های متعدد و با شرایط متفاوت، نتایج مطلوبی را به دست ندادند.

کاربرد روش مغناطیسی، تنها موجب بازایی پایینی معادل ۱۷ درصد گردید.

در ادامه، آزمایش سیانوراسیون برای دو نمونه کانسنگ طریقه انجام شد که با توجه به آن حدود ۷۰ درصد از طلا در همان ساعات اولیه وارد محلول سیانوری گردید. که این امر بیانگر آزاد بودن ذرات طلا و انحلال سریع آنها است.

مقداری از طلا به میزان یک دهم گرم در تن حتی پس از ۴۸ ساعت از آزمایش سیانوراسیون، در جامد باقی می‌ماند.

بنابراین می‌توان اظهار نمود که این بخش از طلا، طلای مقاوم و تقریباً غیر قابل حل در سیانور می‌باشد.

با توجه به بررسی‌های مختلف انجام شده، به علت کم بودن زون سولفور، حضور بسیار کم مصرف کننده‌های سیانور و

[15] Jeffery, M.I., & Breuer, P.L., "The Cyanide Leaching of Gold in Solutions Containing Sulfide", Minerals Engineering, Vol 13, No 10-11, 2000, pp. 1079-1106.

[16] Yannopoulos, J.C., *The Extractive Metallurgy of Gold*, Van Nostrand Reinhold, New York. 1990.

[13] Augusto, P.A., "Magnetic Separation and filtration: theory and practice", Trans. Filteration Soc., (Submitted), 2001.

[14] Augusto, P.A., Martins, J.P., "Innovation features of a new Magnetic Separator and Classifier", Miner. Process. Extractive Metall., 2001, Rev.36(1-3), pp. 231-247.