دانشگاه تهران
دانشکده فنی
دانشکده معدن

# موضوع:

**بررسی تاثیر سیلیکات سدیم به عنوان بازداشت کننده گانگ‌های سیلیکاته وکربناته، روی عیار و بازیابی فلوتاسیون سرب خاک کم عیار مجتمع تغلیط سرب و روی انگوران**

نویسنده: محمد مظلومی

اساتید راهنما:

دکتر محمد نوع پرست

دکتر شفائی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته

فرآوری مواد معدنی

تابستان۱۳۸۷

## چکیده

معدن سرب و روی انگوران جزو بزرگترین معادن سرب و روی کشور می‌باشد که دارای ذخیره بزرگ سرب و روی می باشد. یکی از زونهای بزرگ این معدن زون اکسیدی سرب و روی می‌باشد. از این رو فرآوری و استحصال سرب و روی از این زون یک امر مهم می‌باشد. در تحقیق حاضر با توجه به پائین بودن عیار و بازیابی فلوتاسیون سرب خط کم عیار در مجتمع تغلیظ سرب و روی انگوران، به دلیل وجود گانگ‌های سیلیکاتی و کربناته اثر بازداشت کنندگی سیلیکات سدیم، روی این گانگ‌ها مطالعه شده است. در خط فلوتاسیون کارخانه تغلیظ سرب و روی انگوران مواد معدنی پس از خردایش اولیه و اختلاط توسط دستگاههای انباشت و برداشت وارد سنگ شکن مخروطی سر کوتاه شده و تا کوچکتر از ۱۵ میلیمتر خرد می‌شوند. مواد خرد شده با تقسیم به دو فراکسیون ۲-۰ و۱۵ -۲ میلیمتر در دو خط فلوتاسیون کم عیار(۲-۰) و پرعیار(۱۵-۲) وارد فرآیند فلوتاسیون سرب می‌شوند. نمونه مورد مطالعه از مسیر خروجی سنگ شکن به قسمت واسطه سنگین با فواصل منظم در طول سه شیفت تهیه شده و پس از جدایش ذرات بالای دو میلیمتر که دارای عیار بالاتری می‌باشند، مطالعات کانی شناسی روی آنها انجام شده است. با مطاله کانی شناسی این نمونه ها، فازهای اصلی کربناته وسیلیکاته در آنها تشخیص داده شد. به دلیل اینکه این مواد در فراکسیون‌های ریز ابعادی تمرکز می‌کنند مشکلات عدیده‌ای در فرآیند فلوتاسیون بوجود می‌آورند. بنابراین برآن شدیم تا با استفاده از بازداشت کننده‌ها و بهینه سازی شرایط فلوتاسیون به دنبال راه‌حل باشیم. روش مورد استفاده برای طراحی و آنالیز آزمایش‌ها روش تاگوچی می‌باشد که با استفاده از نرم افزار Dx7 انجام شده است. با توجه به تعداد فاکتورهای اثرگذار در فرآیند، مناسب‌ترین آرایه استاندارد معرفی شده توسط روش تاگوچی $L_{27}(3^{13})$ می‌باشد که با کمترین آزمایش مدل قابل اطمینانی از فرآیند را ایجاد می‌کند. آزمایش‌ها ابتدا با آماده سازی نمونه و بررسی زمان خردایش مناسب توسط آسیای گلوله-ای آزمایشگاهی شروع شد و پس از انجام آزمایش‌های زیاد به منظور تعیین شرایط اولیه فلوتاسیون کانی‌های اکسیدی سرب(عمدتاً سروزیت) وارد فاز طراحی آماری شدند. پس از طراحی آزمایش‌ها و وارد نمودن اطلاعات حاصل، یعنی مقدار عیار و بازیابی در هر تست و آنالیز این نتایج توسط روش تاگوچی و نرم افزارDx7، شرایط مناسب برای انجام فلوتاسیون بدست آمد. پس از این مرحله سه تست تکمیلی برای اطمینان از صحت نتایج حاصل، اثر سیلیکات سدیم روی عیار و بازیابی فلوتاسیون سرب، در pH=9 ، درصد جامد۲۵٪، میزان مصرف کلکتور آمیل اگزنتات پتاسیم ۱۱۰۰ گرم برتن، زمان ماند ۱۲ دقیقه و دور موتور ۱۳۰۰ دور بر دقیقه انجام و مستندسازی گردید. با توجه به نتایج حاصل، به منظور بهبود شرایط خط فلوتاسیون سرب در مجتمع تغلیظ سرب و روی انگوران اضافه نمودن سیلیکات سدیم به عنوان بازداشت کننده گانگ‌های سیلیکاته و کربناته به میزان ۷۰۰ گرم بر تن پیشنهاد گردید.

# فهرست مطالب


مقدمه ..... ۱

**فصل۱ (معدن وکارخانه تغلیظ سرب و روی انگوران)**

۱-۱- موقعیت و سابقه معدن ..... ۳

۱-۲- زمین شناسی ..... ۵

۱-۳- ابعاد کانسار ..... ۵

۱-٤-کانیهای متشکله ..... ۵

۱-۵- برآورد ذخیره معدن ..... ٦

۱-٦- زون بندی ..... ٦

۱-۷- خلاصه و نتیجه گیری ..... ۸

۱-۸-کارخانه تغلیظ کالسیمین ..... ۹

۱-۹- سنگ شکنی مرحله اول ..... ۱۰

۱-۱۰- سیستم حمل و نقل هوایی ..... ۱۰

۱-۱۱- یکنواخت سازی خوراک کارخانه ( انبار هویت رابینز) ..... ۱۲

۱-۱۲- سنگ شکن دوم ..... ۱٤

۱-۱۳- سنگ شکن جانبی ..... ۱۵

۱-۱٤- واسطه سنگین ..... ۱٦

۱-۱۵- آسیا و فلوتاسیون ..... ۱۸

۱-۱٦- فلوتاسیون کانه های سرب و روی ..... ۱۹

۱-۱۷- شرح تفصیلی از واحد آسیا و فلوتاسیون ..... ۱۹

۱-۱۸- فیلتراسیون ..... ۲۱

۱-۱۹- فیلتر پرس ..... ۲۳

۱-۲۰- کوره های کلسیناسیون ..... ۲۷

**فصل۲ (فرآوری کانسنگهای سرب و روی)**

۲-۱- مقدمه ..... ۳۰

۲-۲- فرآوری کانه‌های سولفیدی سرب و روی ..... ۳۰

۲-۳- فرآوری کانه‌های اکسیده سرب و روی ..... ۳۳

۲-٤- مثال‌هایی از کارخانه‌های کانه‌آرایی کانه‌های سرب و روی ..... ۳۵
۲-٤-۱- ایران ..... ۳۵
۲-٤-۱-الف- پرعیارسازی کانهٔ سرب و روی معادن ایران‌کوه (باما) ..... ۳٦
۲-٤-۱-ب- پرعیارسازی کانهٔ سرب و روی انگوران ..... ۳۹
۲-٤-۱-ج- فلوتاسیون کانهٔ سولفیدی سرب و روی معدن هفته عمارت ..... ٤۰
۲-٤-۲- جهان ..... ٤۲
۲-٤-۲-الف- فلوتاسیون کانهٔ سرب و روی در معدن تایناگ ..... ٤۲
۲-٤-۲-ب- فلوتاسیون کانهٔ سرب و روی در China Mine ..... ٤۳
۲-٤-۲-ج- فلوتاسیون کانهٔ سرب و روی در معدن گورونو ..... ٤٤
۲-٤-۲-د- فلوتاسیون کانه‌های سرب و روی در معدن ماسوا ..... ٤۵
۲-۵-۲-هـ- آرایش کانه‌های اکسیدی در معدن بوگرو ..... ٤٦
۲-٤-۲-و- فلوتاسیون کانهٔ سرب و روی در معدن آرژانتیرا ..... ٤۷
**فصل۳ (اصول اساسی طراحی آماری آزمایش ها)**
۳-۱- مقدمه ..... ۵۰
۳-۲- روش کلاسیک ..... ۵۰
۳-۳- طراحی آماری آزمایشها ..... ۵۱
۳-٤- مراحل استفاده از طراحی آزمایشها ..... ۵۲
۳-٤-۱- طراحی آزمایش ..... ۵۲
۳-٤-۲- انجام آزمایشها ..... ۵۲
۳-٤-۳- تحلیل نتایج ..... ۵۳
۳-٤-٤- اعتبار بخشی به آزمایشات ..... ۵۳
۳-۵- معمول ترین روشهای طراحی آزمایشها ..... ۵۳
۳-٦- روش تاگوچی ..... ۵٤
۳-۷- اصول اساسی روش تاگوچی ..... ۵۵
۳-۷-۱- طراحی سیستم ..... ۵٦
۳-۷-۲- طراحی پارامتر ..... ۵٦
۳-۷-۳- طراحی تلورانس ..... ۵٦
۳-۸- فنون روش تاگوچی ..... ۵۷
۳-۸-۱-ارائه نظرات اولیه ..... ۵۷
۳-۸-۲-آرایه های متعامد ..... ۵۷
۳-۸-۳- طراحی پارامتر ..... ۵۷

۳-۹- آرایه های متعامد ..... ۵۸
۳-۱۰- مزایا و محدودیت های استفاده از آرایه متعامد ..... ۵۹
۳-۱۱- تحلیل آماری یک فرآیند و بهینه سازی ..... ٦۰
۳-۱۱-۱- تجزیه و تحلیل واریانس ..... ٦۰
۳-۱-۱- تجزیه و تحلیل آماری بیش از یک عامل ..... ٦۵

**فصل۴ (آزمایش های کانه آرایی)**

٤-۱- مقدمه ..... ٦۹
٤-۲- نمونه مورد آزمایش ..... ٦۹
٤-۳- تعیین وزن مخصوص نمونه ..... ٦۹
٤-۳-۱- وزن مخصوص ظاهری ..... ٦۹
٤-۳-۲- وزن مخصوص واقعی ..... ۷۰
٤-٤- آنالیز نمونه ..... ۷۰
٤-۵- خردایش نمونه ..... ۷۲
٤-٦- مواد مورد استفاده در تستهای فلوتاسیون ..... ۷۳
٤-٦-۱- سولفید سدیم ..... ۷۳
٤-٦-۲- آمیل اگزنتات پتاسیم ..... ۷٤
٤-٦-۳- کف ساز روغن کاج ..... ۷٤
٤-۷- انواع بازداشت کننده ها ..... ۷٤
٤-۸- سیلیکات سدیم ..... ۷۷
٤-۹- مثالهایی از بکارگیری سیلیکات سدیم در فلوتاسیون ..... ۸۱
٤-۹-۱- جدایش گالن، سروزیت، فلورین و باریت ..... ۸٤
٤-۱۰- فاکتورهای انتخاب شده در طرح آزمایشها ..... ۸۷
٤-۱۱- انجام تستهای فلوتا سیون ..... ۸۸
٤-۱۲- سلول مورد استفاده ..... ۸۹
٤-۱۳- شرح آزمایشها ..... ۸۹
٤-۱٤- تحلیل نتایج ..... ۹۲
٤-۱۵- تحلیل نتایج به روش تاگوچی و استفاده از نرم افزار ..... ۹٤
٤-۱٦- نتایج تستهای فلوتاسیون ..... ۹٤
٤-۱۷- آنالیز پاسخها برای بازیابی ..... ۹٤
٤-۱۷-۱- تعیین پارامترهای موثر ..... ۹۵
٤-۱۷-۲- نمودارهای تشخیصی ..... ۹۷

٤-١٧-٣- نمودارهای مدل ..... ١٠٠
٤-١٨- آنالیز پاسخها برای عیار ..... ١٠١
٤-١٨-١- تعیین پارامترهای موثر ..... ١٠١
٤-١٨-٢- نمودارهای تشخیصی ..... ١٠٣
٤-١٩- آنالیز نتایج ..... ١٠٥
٤-١٩-١- بهینه سازی ..... ١٠٩
٤-١٩-٢- تستهای تکمیلی ..... ١١٠
**فصل٥ (خلاصه ونتیجه گیری)**
٥-١- خلاصه و نتیجه گیری ..... ١١١
٥-٢- پیشنهادات ..... ١١٢
منابع: ..... ١١٣

# فهرست شکل ها


شکل۱-۱- نماهایی از معدن سرب و روی انگوران ..... ۴

شکل ۱-۲- نماهای مختلف از کارخانه کالسمین ..... ۱۰

شکل۱-۳- سیستم نقاله هوایی خاک معدن انگوران ..... ۱۱

شکل۱-۴- باکتهای سیستم نقاله هوایی کارخانه کالسیمین ..... ۱۱

شکل۱-۵- تصویر انباشت کن مواد معدنی در کارخانه تغلیظ سرب و روی انگوران ..... ۱۳

شکل۱-۶- تصویر دستگاه برداشت کن مورد استفاده در کارخانه تغلیظ سرب و روی انگوران ..... ۱۳

شکل۱-۷- سنگ شکن مخروطی سیمونز، کارخانه تغبیظ سرب و روی انگوران ..... ۱۴

شکل ۱-۸- شماتیک عملیات سنگ شکن جانبی ..... ۱۵

شکل۱-۹- سرندهای ویبره برای شستشو و جداسازی مواد درشت و نیز فروسیلیس واسطه سنگین ..... ۱۷

شکل۱-۱۰- جداکننده مغناطیسی برای بازیابی مواد فروسیلیسی واسطه سنگین ..... ۱۷

شکل ۱-۱۱- فلوشیت ساده عملیات سنگ شکن دوم – هویت رابینز و هوی مدیا ..... ۱۸

شکل۱-۱۲- نمایی از واحد فلوتاسیون مجتمع تغلیظ سرب و روی انگوران ..... ۲۰

شکل۱-۱۳- تیکنر سرب مورد استفاده در مجتمع تغلیظ سرب و روی انگوران ..... ۲۱

شکل۱-۱۴- تیکنر روی مجتمع تغلیظ سرب و روی انگوران ..... ۲۱

شکل۱-۱۵- فیلتر دیسکی در خط فلوتاسیون مجتمع تغلیظ سرب و روی انگوران ..... ۲۲

شکل۱-۱۶- فیلتر نواری خط فلوتاسیون مجتمع تغلیظ سرب و روی انگوران ..... ۲۲

شکل۱-۱۷- فیلتر پرس خط فلوتاسیون مجتمع تغلیظ سرب و روی انگوران ..... ۲۳

شکل۱-۱۸-فلوشیت واحدهای فلوتاسیون و فیلتراسیون مجتمع تغلیظ سرب و روی انگوران ..... ۲۶

شکل۱-۱۹- فلوشیت عملیات کلسیناسیون کنسانتره سرب مجتمع تغلیظ سرب و روی انگوران ..... ۲۸

شکل ۲-۱- شمای کلی واحدهای مختلف فرآوری کانسنگ‌های سولفیدی سرب و روی ..... ۳۲

شکل ۲-۲- شمای کلی واحدهای مختلف فرآوری کانسنگ‌های اکسیدی سرب و روی..... ۳۴
شکل ۲-۳- شمای کلی کارخانه فرآوری سرب و روی باما ..... ۳۸
شکل ۲-۴- شمای کلی کارخانه فرآوری سرب و روی انگوران..... ۴۱
شکل۴-۱- عیار سرب و روی در فراکسیون های مختلف خوراک خط کم عیار کارخانه تغلیظ سرب و روی انگوران..... ۷۲
شکل۴-۲- منحنی دانه بندی نمونه موردمطالعه برای انجام آزمایشهای فلوتاسیون کم عیار..... ۷۳
شکل۴-۳- طبقه بندی مواد تغییر دهنده در فرآیندهای فلوتاسیون ..... ۷۶
شکل۴-۴- قابلیت شناور شدن مونازیت، زیرکن و روتیل به عنوان تابعی از غلظت متاسیلیکات سدیم با استفاده از کلکتور هیدروگزیمات..... ۸۰
شکل۴-۵- غلظت لگاریتمی اجزای سیلیکات محلول در سیستم محتوی ۰/۰۰۱ مول سیلیکات سدیم ..... ۸۲
شکل۴-۶- بازیابی کلسیت نسبت به pH..... ۸۳
شکل۴-۷- بازیابی کلسیت نسبت به pH (اولئات ۰/۰۰۰۱مولار) در حضور و نبود سیلیکات سدیم ..... ۸۳
شکل۴-۸- سلول مورد استفاده در آزمایشهای فلوتاسیون ..... ۸۸
شکل۴-۹- ترتیب اجرای دستورات در نرم افزارDx7 برای روش تاگوچی ..... ۹۳
شکل ۴-۱۰- نتایج ورودی به نرم افرار Dx7..... ۹۴
شکل۴-۱۱- نشان دهنده پیش فرض آنالیز بدون ترنسفورم ..... ۹۵
شکل۴-۱۲- فاکتورهای درصد جامد، pH و مقدار مصرف سیلیکات سدیم به عنوان فاکتورهای اصلی روی پاسخ بازیابی ..... ۹۶
شکل۴-۱۳- آنالیز واریانس برای فاکتورهای انتخاب شده در پاسخ بازیابی ..... ۹۶
شکل ۴-۱۴- نمودار نرمال برای پاسخ بازیابی ..... ۹۷
شکل۴-۱۵- نمودار باقیمانده ها نسبت به مقادیر پیشبینی شده در آنالیز پاسخ بازیابی ..... ۹۸
شکل۴-۱۶- نمودار مقادیر پیش بینی نسبت به مقادیر واقعی در بازیابی ..... ۹۹
شکل۴-۱۷ نمودار کاکس باکس برای پاسخ بازیابی ..... ۹۹
شکل۴-۱۸- نمودار تاثیرات فاکتور درصد جامد روی بازیابی ..... ۱۰۰
شکل۴-۱۹- نمودار تاثیرات فاکتور pH روی بازیابی ..... ۱۰۰
شکل۴-۲۰- نمودار تاثیرات فاکتور مصرف سیلیکات سدیم روی بازیابی..... ۱۰۱

شکل۴-۲۱- فاکتوهای اثرگذار انتخابی اصلی برای عیار.....۱۰۲
شکل۴-۲۲- آنالیز واریانس برای فاکتورهای انتخاب شده در پاسخ عیار.....۱۰۳
شکل۴-۲۳- نمودار نرمال برای پاسخ عیار .....۱۰۳
شکل۴-۲۴- نمودار باقیمانده ها نسبت به مقادیر پیش بینی شده در آنالیز پاسخ عیار .....۱۰۴
شکل۴-۲۵- نمودار مقادیر پیش بینی نسبت به مقادیر واقعی در عیار.....۱۰۴
شکل۴-۲۶- نمودار کاکس باکس برای پاسخ عیار .....۱۰۵
شکل۴-۲۷- گراف مدل اراده شده برای درصد جامد روی پاسخ بازیابی .....۱۰۶
شکل۴-۲۸- گراف مدل اراده شده برای مصرف سیلیکات سدیم روی پاسخ بازیابی .....۱۰۶
شکل۴-۲۹- گراف مدل اراده شده برای pH روی پاسخ بازیابی.....۱۰۷
شکل۴-۳۰- گراف مدل اراده شده برای درصد جامد روی پاسخ عیار .....۱۰۸
شکل۴-۳۱- گراف مدل اراده شده برای مصرف سیلیکات سدیم روی پاسخ عیار.....۱۰۸
شکل۴-۳۲- گراف مدل اراده شده برای pH روی پاسخ عیار .....۱۰۹

# فهرست جداول


جدول ۱-۱- مشخصات و میزان ذخیره چهار بخش مختلف معدن انگوران ..... ۶

جدول ۱-۲- زون بندی معدن انگوران براساس عیار سرب و روی ..... ۷

جدول ۱-۳- زون بندی معدن انگوران براساس چینه بندی ..... ۷

جدول ۲-۱- مشخصات کارخانه های فعال سرب و روی کشور ..... ۳۵

جدول ۲-۲: مقدار و محل افزودن مواد شیمیایی در کارخانه فلوتاسیون معدن تیانگ ..... ۴۳

جدول ۲-۳- مصرف مواد شیمیایی و نتایج حاصل از فلوتاسیون در معدن گورونو ..... ۴۵

جدول ۲-۴- مصرف مواد شیمیایی و نتایج حاصل از فلوتاسیون در معدن ماسوا ..... ۴۶

جدول ۲-۵- مصرف مواد شیمیایی و نتایج حاصل از فلوتاسیون در معدن بوگرو ..... ۴۷

جدول ۲-۶- نتایج عملیات فلوتاسیون بر روی کانهٔ سرب و روی ..... ۴۸

جدول۳-۱- مقایسه روش طراحی فاکتوریل ( کلاسیک) و تاگوچی ..... ۵۵

جدول۳-۲- آرایه های متعامد استاندارد $L_{27}(3^{13})$ تاگوچی ..... ۵۹

جدول۳-۳- داده های مربوط به یک آزمایش یک عاملی ..... ۶۱

جدول۳-۴- تجزیه و تحلیل واریانس برای یک آزمایش یک عاملی ..... ۶۴

جدول۳-۵- تجزیه و تحلیل واریانس برای یک طرح دو عاملی ..... ۶۷

جدول۴-۱- آنالیز XRF نمونه برای انجام آزمایشهای فلوتاسیون سرب ..... ۷۱

جدول۴-۲- نتایج حاصل برای تعیین میزان خردایش نمونه ها ..... ۷۲

جدول۴-۳- انواع بازداشت کننده های معمول در فلوتاسیون ..... ۷۵

جدول۴-۴- تاثیر کبراکو و سیلیکات سدیم روی ویسکوزیته پالپ و بازیابی مس از کانسار پرفیری مس حاوی رس ..... ۸۱

جدول۴-۵- فاکتورها و سطوح فاکتورها در تست های انجام شده در فلوتاسیون سرب ..... ۸۷

جدول۴-۶- آزمایشهای طراحی شده برای بررسی شرایط فلوتاسیون سرب نمونه خاک کم عیار ..... ۸۹

جدول۴-۷- مقادیر عیار باطله، کنسانتره و خوراک تستهای فلوتاسیون انجام شده روی نمونه های خاک کم عیار ..... ۹۰

جدول ۴-۸- خلاصه طرح آزمایشات و مقادیر پاسخ ها ..... ۹۲

جدول۴-۹- شرایط بهینه ارائه شده برای نتایج حاصل با نرم افزار Dx7 ..... ۱۱۰

جدول۴-۱۰- نتایج حاصل از انجام تستهای تکمیلی ..... ۱۱۰

**مقدمه**

معدن و صنایع وابسته به آن در اقتصاد مناطق معدنی و نیز در اقتصاد یک کشور نقش حیاتی و مهمی ایفا می‌کنند. کاهش منابع معدنی امروزه به نگرانی اصلی سیاستگذاران و مدیران تبدیل شده است. به همین دلیل با کاهش این ذخایر که تولید کننده اصلی مواد اولیه صنایع گوناگون می‌باشند، در واقع این بحران در تمامی صنایع وابسته نمود می‌یابد. در راستای کاهش بروز چنین مشکلاتی ذخایر کم عیار جهت افزایش ارزش افزوده مورد توجه قرارگرفته اند. به این ترتیب تحقیق و بررسی امکان استخراج و فرآوری و بکارگیری چنین منابعی که می‌توانند بسیار ارزشمند باشند، باید در دستور کار مدیران معادن وصنایع قرار گیرد.

معدن سرب و روی انگوران که در ۱۲۰ کیلومتری شهر زنجان قرار دارد جزو بزرگترین معادن سرب و روی ایران می باشد. کارخانه تغلیظ سرب و روی انگوران یکی از شرکت-های اصلی تولید کننده کنسانتره سرب و روی کشور می‌باشد که خوراک ورودی آن از معدن انگوران تامین می‌شود. با توجه به کاهش عیار و بازیابی خط کم عیار فلوتاسیون سرب این کارخانه، که به نظر می‌رسد به دلیل افزایش گانگ‌های کربناته و سیلیکاتی در خوراک کم عیار بوجود آمده باشد، در تحقیق حاضر امکان افزایش عیار و بازیابی خاک کم عیار معدن سرب و روی انگوران با استفاده از سیلیکات سدیم و تاثیر آن به عنوان بازداشت کننده گانگ‌های سیلیکاتی و کربناته و وبهینه سازی شرایط فلوتاسیون سرب بررسی شده است. روش مورد استفاده برای بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های فلوتاسیون روش تاگوچی می‌باشد و آرایه مورد استفاده با توجه به تعداد فاکتورهای انتخاب شده، $L_{27}(3^{13})$ در نظر گرفته شد. و در نهایت پس از بررسی نتایج، شرایط بهینه برای فلوتاسیون پیشنهاد شده است.

# فصل ۱

# معدن وکارخانه تغلیظ سرب و روی انگوران

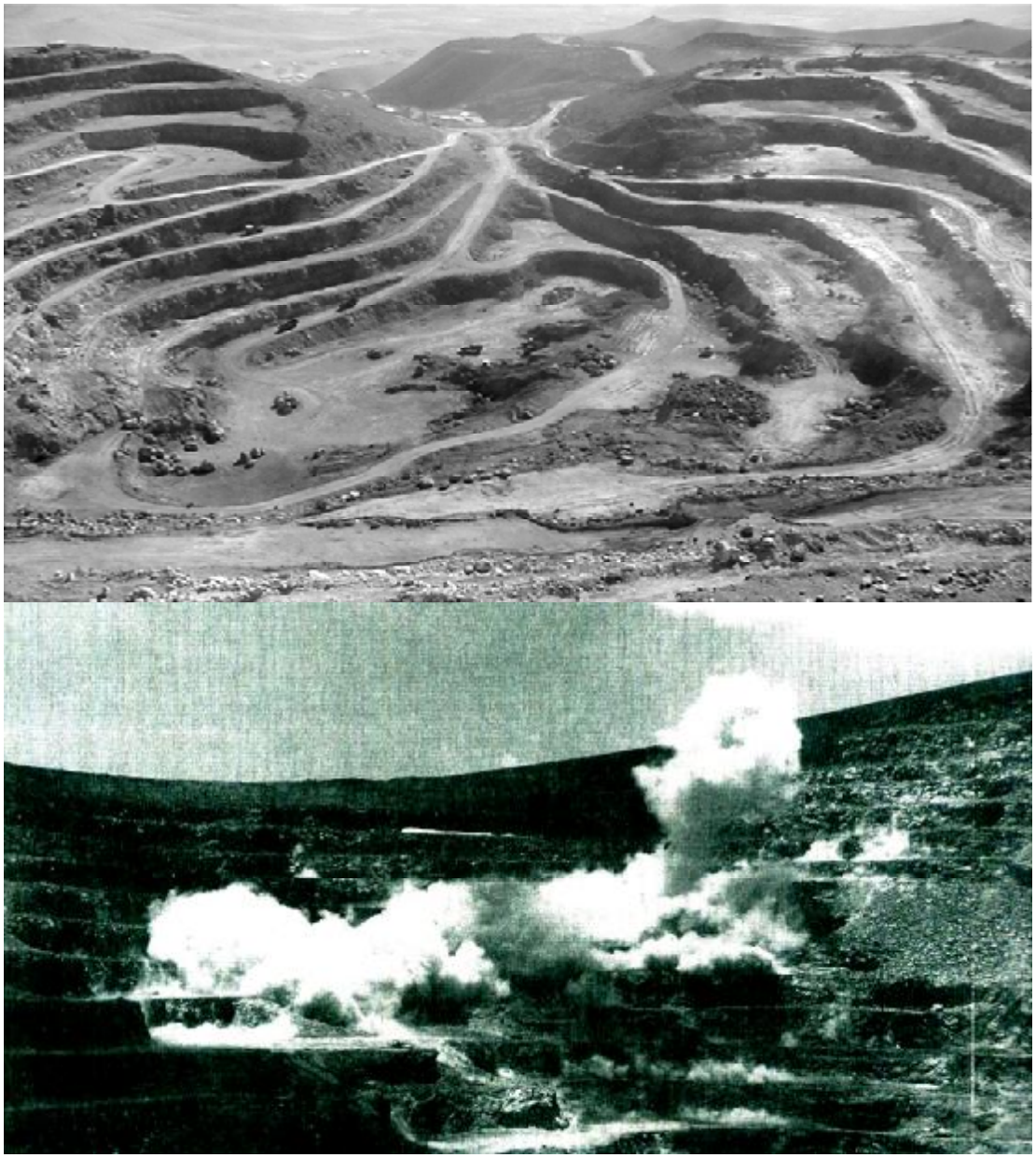
**۱-۱- موقعیت و سابقه معدن**

معدن سرب و روی انگوران یکی از معادن قدیمی کشورمی باشد، که در ۱۳۰ کیلومتری جنوب غربی زنجان در طول جغرافیایی ٤٧ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ٣٦ درجه ٤٠ دقیقه در منطقه ای با ارتفاع ۲۹۵۰ متر از سطح دریا واقع است. راه اصلی دسترسی معدن به طول حدود ۱۲۰ کیلومتر، از ۵ کیلومتری جاده زنجان بیجار جدا و به کارخانه دندی و سپس معدن انگوران منتهی می‌شود[۱].

عملیات اکتشافی معدن از قبل از سال ١٣٤٤ شروع شده و تا به امروز نیز ادامه داشته است. این عملیات مشتمل بر حفر تونل‌های اکتشافی، حفر چاه، حفر گمانه‌های اکتشافی و غیره می‌باشد. با عملیات اکتشافی و بررسی‌های کانی‌شناسی مشخص شد که شکل ماده معدنی را می‌توان به دو صورت لایه‌ای شکل و یا عدسی شکل تصور کرد.

براساس مطالعات برآورد ذخیره، ذخیره کلی معدن ۲۵،٤۸۰،۰۰۰ تن برآورد شده است. این معدن در ابتدا با استخراج انتخابی سنگ‌های پرعیار مورد بهره برداری قرار می‌گرفت که پس از کلسینه کردن با عیار مناسب در بازارهای جهانی عرضه می‌شد. ولی با مطرح شدن استخراج انبوه و همچنین طراحی معدن روباز، کانه-آرایی و تغلیظ سنگ معدن نیز مورد توجه قرار گرفت.

اولین پروانه بهره‌برداری معدن در سال ۱۳۰۱ به آقای صفاری واگذار گردیده، ولی به‌دلیل مخالفت وزارت جنگ وقت، معدن تا سال ١٣٢٤ فعالیت نداشت. در این سال پروانه بهره‌برداری به شرکت اتحاد سرب و روی انگوران منتقل می‌شود. در سال ١٣٤٥ مجوز بهره‌برداری به شرکت سهامی انگوران و در سال ١٣٤٨ به شرکت کالسیمین واگذار می‌شود که هنوز هم ادامه دارد. بهره‌برداری از این معدن در حال حاضر به صورت روباز و مکانیزه و با استفاده از ماشین آلات سنگین انجام می‌شود. در شکل ۱-۱ نماهایی از معدن انگوران و پیت معدن نشان داده شده است. ظرفیت سالیانه استخراج معدن حدود ۷۰۰،۰۰۰ تن سنگ معدن می‌باشد. برای استخراج این مقدار ماده معدنی لازم است که حدود ۲،۸۰۰،۰۰۰ تن روباره جابه‌جا شود[۱].



شکل۱-۱- نماهایی از معدن سرب و روی انگوران[۲].

### ۱-۲- زمین شناسی

بر طبق آخرین بررسی‌های انجام شده توسط گروه زمین‌شناسی معدن انگوران، زمین‌شناسی معدن بدین شرح گزارش شده است[۱].

ماده معدنی بصورت لایه‌ای ضخیم یا عدسی بزرگ با ضخامتی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر با شیبی بطرف شرق در بین شیست و آهک قرار گرفته است. کمر بالای آن را آهک‌های بلورین با حفراتی بزرگ تشکیل داده که اکثرا توسط کلسیت پر شده است. در بعضی حالات بلورهای رشد یافته کلسیت و آراگونیت با بافت کل کلمی خوشه‌ای و سوزنی یافت می‌شود. در ناحیه شمالی این سنگ آهک و درون درزه‌ها و شکستگی‌ها کانی فلورین به میزان کم مشاهده شده است.

کمر پایین ماده معدنی را شیست سست با تورق کاملا مشخص تشکیل داده است. این سنگ‌ها عبارتند از: سریسیت – کوارتز – شیست، سریسیت– شیست، شیل‌های سیلتی و مقدار کمی هماتیت –کوارتز – شیست.

در بین واحدهای شیستی، توده‌ها یا لایه‌هایی هم شیب شیست از سنگ‌های اولترابازیک و مافیک از قبیل سرپانتینیت، دونیت، پریدوتیت و دیاباز مشاهده می‌شود. سن کمر بالا کرتاسه و کمر پایین پرکامبرین تشخیص داده شده است[۱].

### ۱-۳- ابعاد کانسار

با توجه به حفاری‌ها و پله‌های فعلی طول معدن حدود ۷۰۰ متر و عرض آن در امتداد خط شبکه N ۱۰۰۰ حدود ۶۰۰ متر می‌باشد، ولی به سمت ناحیه جنوبی عرض آن کمتر شده و روی خط، ۹۵۰ به ۲۵۰ متر می‌رسد[۱].

### ۱-٤-کانی‌های متشکله

در بخش اکسیده کانی اصلی روی اسمیت‌زونیت ($ZnCO_3$) می‌باشد و کانی‌های فرعی عبارتند از همی‌مورفیت ($Zn_4(OH)_2Si_2O_7H_2O$) و هیدروزینکیت ($Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$) کانی اصلی سرب نیز سروزیت ($PbCO_3$) است و به صورت فرعی کانی‌های میمتیت $Pb_5Cl_2(AsO_4)_3$ و بویدانتیت $PbFe_3(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$ نیز مشاهده می‌شود. کانی‌های گانگ در درجه اول کوارتز و کلسیت و در درجه دوم کائولینیت، سریسیت، مونت‌موریلونیت، کلریت، هماتیت و گوتیت است. در بخش سولفوره کانی‌های اصلی اسفالریت ($ZnS$) و گالن ($PbS$) است و کانی‌های گانگ در این بخش عمدتا کوارتز و کلسیت هستند[۳].

### ۱-۵- برآورد ذخیره معدن

در سال ۱۳٦٦ گروه زمین‌شناسی معدن انگوران میزان ذخیره کل معدن را معادل ۲۵،٤۸۰،۰۰۰ تن با عیار متوسط ۲۷/۸۸ درصد روی و ٤/۵۵ درصد سرب اعلام کرده است که از این مقدار ۱،٦٤۷،۲۰۰ تن احتمالی و بقیه قطعی گزارش شده است. در این برآورد، ذخیره معدن به چهار بخش به شرح زیر تقسیم شده است[۱]:

- بخش اکسیده کم‌عیار
- بخش اکسیده پرعیار
- بخش سولفیده
- بخش مخلوط

مشخصات و میزان ذخیره چهار بخش فوق‌الذکر بطور جداگانه در جدول۱-۱ آورده شده است[۱].

جدول ۱-۱- مشخصات و میزان ذخیره چهار بخش مختلف معدن انگوران[۱]

| بخش | | عیار روی (٪) | عیار سرب (٪) | وزن مخصوص ($g/cm^3$) | ذخیره قطعی (هزار تن) | ذخیره احتمالی (هزار تن) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اکسیده | کم عیار | ۱۷/۵ | ۳/۰۸ | ۳/۰ | ۱۰٦۰۰ | ۱۰۲۲ |
| | پر عیار | ۳۵/۲۸ | ٦/٤۳ | ۳/۵ | ۸۱٤۰ | ۹۵/۲ |
| سولفیده | | ٤۰/۷۷ | ٤/۳٦ | ٤/۰ | ۳۵۰۰ | ۱۲/۹۲ |
| مخلوط | | ۳۲/۹٦ | ٤/۱۸ | ۳/۲ | ۱٦۷۰ | ٤۰۰/۸ |

### ۱-٦- زون بندی

زون‌بندی کانسنگ سرب و روی معدن انگوران به دو صورت و بر مبنای عیار روی و چینه شناسی کانسار انجام شده است[۱].

***الف- زون‌بندی براساس عیار سرب و روی***

بر این اساس معدن به چهار زون مطابق جدول ۱-۲ تقسیم شده است.

جدول ۱-۲- زون بندی معدن انگوران براساس عیار سرب و روی[۱]

| شماره | زون | عیار روی | عیار سرب |
|---|---|---|---|
| ۱ | پرعیار روی کم عیار سرب | ٪۳۰ | ٪۱ |
| ۲ | پرعیار سرب و روی | ٪۳۰ | ٪۵ |
| ۳ | پرعیار سرب و کم عیار روی | ٪۲۰ | ٪۱۰ |
| ٤ | کم عیار روی و سرب | ٪۲۰ | ٪۱ |

**ب- زون بندی چینه‌بندی**

دومین و آخرین زون بندی درسال ۱۳٦٦ شده توسط گروه زمین‌شناسی معدن انگوران و بر اساس چینه‌بندی معدن مطابق جدول ۱-۳ ارائه شده است[۱].

در حال حاضر بخش‌های اکسیده پرعیار و متوسط عیار این معدن مورد بهره‌برداری و فرآوری قرار می‌گیرد. در مورد بخش سولفوره هیچ‌گونه عملیاتی صورت نمی‌گیرد و پیش‌بینی می‌شود که این بخش در سال‌های آتی به روش زیرزمینی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

جدول ۱-۳- زون بندی معدن انگوران براساس چینه‌بندی[۱]

| زون | واحد سنگی | عیار روی [٪] | عیار سرب [٪] | عیار سیلیس [٪] |
|---|---|---|---|---|
| *پرعیار* | سولفوره | ۳۰ | ۵ | - |
| | مخلوط سولفوره و اکسید | ۳۰ | ۵ | - |
| | کربنات سخت | ۳۰ | ۵-۱۰ | ۱۰ |
| | کالامین | ۳۵ | ۲ | ۵ |
| *عیار متوسط* | کربنات نرم با بافت شیستی | ۱۵-۲۰ | ۳-۷ | ۱۰-۲۰ |
| | کربنات نرم همراه با گل رس | ۵-۱۰ | ۵ | ۲۰ |
| | کربنات نرم با بافت برشی | ۲۰-۳۰ | ۳-۱۰ | ۱۰-۲۰ |
| **کم عیار** | **کربناته- سیلیکات - کم عیار همراه با آهک** | **۱۰** | **۳** | **≥۲۰** |

### ۱-۷- خلاصه و نتیجه گیری

در گذشته ذخایر کم‌عیار و پیچیده به دلیل عدم وجود تکنولوژی مناسب و هزینه تولید بالا چندان مورد توجه قرار نداشتند. حتی در بیشتر موارد بخش‌های کم‌عیار که به ناچار به همراه بخش‌های پرعیار استخراج می-شدند، مورد فرآوری قرار نگرفته و در نزدیکی معدن انباشت می‌شدند. امروزه با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در تکنولوژی استخراج و استحصال مواد معدنی و افزایش روزافزون قیمت آنها، ذخایر کم‌عیار و حتی باطله‌های معادن و کارخانه‌های فعال سال‌های نه چندان دور نیز مورد توجه قرار گرفته است. افزایش چشمگیر قیمت سرب و روی در سال‌های اخیر باعث توجه بیش از پیش شرکت‌های بزرگ معدنی به ذخایر و معادن این فلزات شده است.

معدن سرب و روی انگوران به عنوان یکی از معادن بزرگ دنیا محسوب می‌شود. عیار سرب و روی در این معدن به اندازه‌ای است که طی بیش از سی سال عمر کارخانه کانه‌آرایی، عمدتاً بخش‌های پرعیار و متوسط عیار مورد بهره‌برداری و فرآوری قرار گرفته است و توجه چندانی به بخش کم‌عیار نشده و این بخش پس از استخراج در محلی در نزدیکی معدن انباشت شده است تا در آینده در صورت نیاز مورد استفاده قرار گیرد.

در سال‌های اخیر افزایش خیره‌کننده قیمت سرب و روی باعث توجه بیش از پیش شرکت‌ها به بخش‌های کم‌عیار معدن و باطله‌های کارخانه شده است. البته بهره‌برداری این بخش‌ها نیازمند انجام یک سری مطالعات سیستماتیک فرآوری و فنی- اقتصادی است. با این وجود با انجام محاسبات سرانگشتی به شرح زیر می‌توان به اهمیت اقتصادی بهره‌برداری از بخش‌های کم‌عیار مورد مطالعه در این طرح پی برد[۱].

**الف- ارزش روی موجود در دپوی کم‌عیار**

| | | |
|---|---|---|
| - تناژ تقریبی دپوی کم‌عیار | = | ۱،۰۰۰،۰۰۰ تن |
| - عیار روی | = | ۱۰ درصد |
| - بازیابی تقریبی روی | = | ۸۰ درصد (در نظر گرفته می‌شود) |
| - قیمت فعلی روی | = | ۳۳۰۰ دلار بر تن |

ارزش روی موجود در دپو = ۱،۰۰۰،۰۰۰×۰/۱×۰/۸×۳۳۰۰ = ۲٦٤،۰۰۰،۰۰۰ دلار بر تن

**ب- ارزش سرب موجود در دپوی کم‌عیار**

| | | |
|---|---|---|
| - تناژ تقریبی دپوی کم‌عیار | = | ۱،۰۰۰،۰۰۰ تن |
| - عیار سرب | = | ۳ درصد |

- بازیابی تقریبی سرب = ۸۰ درصد (در نظر گرفته می‌شود)
- قیمت فعلی سرب = ۲٦٤۰ دلار بر تن

---

دلار ٦۳،۳٦۰۰۰۰ = ۲٦٤۰×۰/۸×۰/۰۳×۱،۰۰۰،۰۰۰= ارزش روی موجود در دپو

ریال ۲،٦۱۸،۸۸۰،۰۰۰،۰۰۰ = ۸۰۰×(٦۳،۰۰۰،۳٦۰ + ۲٦٤،۰۰۰،۰۰۰)= ارزش ریالی سرب و روی موجود در دپو

با در نظر گرفتن هر دلار معادل ۸۰۰۰ ریال ارزش سرب و روی موجود در این بخش بطور تقریبی بالغ بر ۲٦۰ میلیارد تومان خواهد شد که رقم قابل توجهی بوده و به وضوح اهمیت بهره‌برداری از این منابع را نشان می‌دهد.

هرچند در حال حاضر روی موجود در کانسنگ معدن انگوران (کنسانتره روی و کانسنگ استخراج شده از معدن) به روش هیدرومتالورژی استحصال می‌شود، ولی با کاهش عیار روی و افزایش باطله‌های موجود در آن، مصرف مواد شیمیایی مختلف مورد نیاز جهت استحصال روی نیز بطور چشمگیری افزایش خواهد یافت. بنابراین در این مواقع به منظور کاهش هزینه‌های مربوط به مواد شیمیایی و نیز کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از روش‌های هیدرومتالورژی، لازم است که با انجام عملیات پرعیارسازی بر روی کانسنگ اقدام به تهیه کنسانتره شود. زیرا انجام فرآیند هیدرومتالورژی بر روی کنسانتره دارای هزینه‌ها و اثرات زیست محیطی کمتری است.

### ۱-۸-کارخانه تغلیظ کالسیمین

کارخانه فرآوری سرب و روی کالسمین با ظرفیت حدود ۱٤۰ تن بر ساعت ، در ۱۰۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان زنجان واقع شده است(شکل۱-۲). خوراک این کارخانه، کانسنگ اکسیده سرب و روی بوده و از معدن انگوران واقع در ۲۰ کیلومتری کارخانه تامین می شود. کانیهای اصلی سرب و روی در این معدن سروزیت و اسمیت زونیت می باشد. طراحی کارخانه براساس درصد روی، برای دو نوع خوراک پر عیار و کم عیار صورت گرفته است. عملیات نصب کارخانه در سال ۱۳۵۲ آغاز و در سال ۱۳۵۸ به پایان رسیده است. عیار سرب و روی در خوراک پر عیار