

## فراوری انباشته‌های کانسنگ از معادن تل مسی و مس کنی محمدرضا قادری، بهرام سامانی: امور اکتشاف و استخراج، سازمان انرژی اتمی ایران منوچهر اولیاء زاده: گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی دانشگاه تهران

### چکیده

معدن «تل مسی» در حوزه معدنی انارک در ایران مرکزی قرار دارد و تقریباً در ۲۵ کیلومتری شمال غرب این مکان واقع شده است. معدن «مس کنی» در فاصله ۷ کیلومتری مغرب آن واقع است. این معادن در حدود ۲۰۰ سال پیش کشف شده‌اند، اما بهره‌برداری اصولی از آنها از سال ۱۳۱۴ آغاز شده است و پس از چند دوره فعالیت و تعطیلی موقت، در سال ۱۳۴۷ به کلی تعطیل شده‌اند. پس از کشف عناصر رادیو آکتیو در این منطقه، معادن مذکور به سازمان انرژی اتمی ایران واگذار شده و این سازمان عملیات اکتشافی خود را در این مناطق در مراحل مختلف انجام داده است. این مقاله نتیجه بررسی‌های کانه آرایبی روی مواد معدنی استخراجی از این کانسارهاست که در زمانهای مختلف طی استخراج این معادن، در قسمتهایی از این منطقه انباشته شده‌اند. در این بررسی از دو روش گرانشی و شناورسازی<sup>(۱)</sup> استفاده شده است؛ با روش شناورسازی که پس از خرد کردن مواد معدنی و یک مرحله نرمة گیری انجام گرفته نتایج بهتری بدست آمده است. محصول تغلیظ شده نهایی، پس از مرحله شناورسازی اولیه و ۲ مرحله تمیز کردن، دارای ۳۶/۶۴ درصد مس با بازیابی ۶۲ درصد، ۲/۱۴ درصد نیکل، ۷۸۱ گرم اورانیوم در تن و ۱/۲۵ گرم طلا در تن بوده است.

### ۱ - مقدمه:

ایران در کمربند جهانی مس قرار گرفته و ۵ درصد کل ذخایر مس را در اختیار دارد که در میان کشورهای آسیایی بعد از چین و اندونزی، سومین کشور استخراج کننده مس از معدن است [۱]. ناحیه انارک از نواحی معدن خیز ایران است. که در ۲۰۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان واقع شده و دارای کانسارهای متعدد و متنوعی از جمله: کبالت، نیکل، مولیبدن، اورانیوم، و انادیوم، تنگستن، بیسموت، کروم، سرب، مس و طلا می‌باشد. در این ناحیه بیش از ۲۰ نوع کانسار وجود دارد که در آنها کانی‌های مختلف متمرکز شده است؛ مهمترین معادن این ناحیه: تل مسی، مس کنی، باغ قرق و سه‌برز هستند (وضعیت معادن تل مسی و مس کنی در شکل ۱ نشان داده شده است) [۳].

مس از نظر شیمی زمین (ژئوشیمی) عنصری کمیاب محسوب می‌شود. این فلز بعد از آهن و آلومینیوم، مهمترین فلز صنعتی جهان به شمار می‌رود. مقدار آن در پوسته جامد زمین حدود ۰/۰۰۶ درصد تخمین زده می‌شود، و حال آنکه، مقادیر آهن و آلومینیوم به ترتیب ۵/۸ و ۸ درصد می‌باشند؛ به همین جهت استحصال مس حائز اهمیت است. این عنصر در طبیعت به صورتهای سولفید، اکسید، کربنات و سیلیکات یافت می‌شود که سولفید آن عمده‌ترین شکل است [۱].

کانسارهای مهم مس عبارتند از: مس پورفیری<sup>(۲)</sup>، اسکارن‌های<sup>(۳)</sup> مس دار، کانسارهای سولفید توده‌ای<sup>(۴)</sup>، کانسارهای مس رسوبی مرز لایه‌ای<sup>(۵)</sup>، ذخایر مس رگه‌ای<sup>(۶)</sup>. مس پورفیری از لحاظ میزان ذخیره و مس رگه‌ای از لحاظ عیار اهمیت دارند [۲].

- |                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| 1- Flotation    | 2- Porphyry         |
| 3- Skarns       | 4- Massive Sulfides |
| 5- Strata Bound | 6- Vein -Type       |



کانه آرای، از دو مرحله سنگ شکنی فکی و یک مرحله سنگ شکنی استوانه‌ای عبور داده شدند تا محصولی با ابعاد کوچکتر از ۸ مش بدست آید. هر یک از این نمونه‌ها پس از یک‌نواخت شدن، به نمونه‌های کوچکتر تقسیم و برای عبارسنجی و تهیه مقاطع صیقلی و تیغه‌های نازک - به منظور مطالعات میکروسکوپی - مورد استفاده قرار گرفتند. اطلاعات مربوط به وزن و عیار انباشته‌ها در جدول ۱ مندرج است.

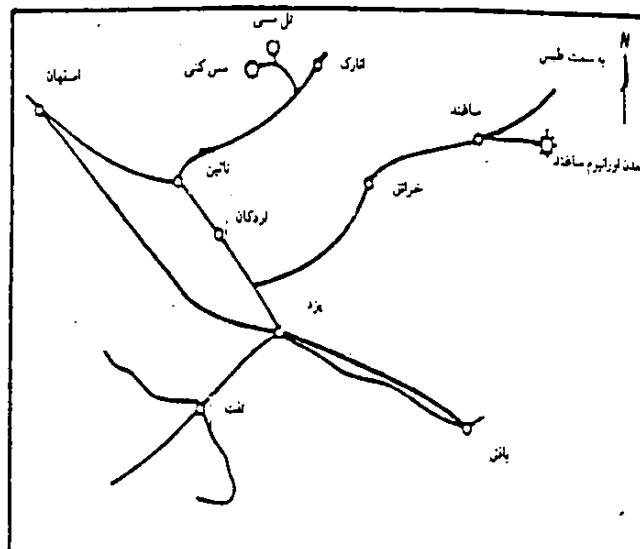
مطالعات میکروسکوپی انجام گرفته بر روی این نمونه‌ها نشان داد که کانی‌های اصلی موجود، سولفیدهای مس هستند که با مقدار کمتری از اکسیدهای آن آمیخته‌اند. کانی‌های سولفور مس به ترتیب فراوانی عبارتند از: کالکوزین، کولین، بورنیت و کانی‌های اکسید آن عبارتند از مالاکیت، آزوریت و مقدار کمتری کوپریت. کانی‌های اورانیوم (به ویژه پیچیلاند)، کانی‌های نیکل (نیکلین راملبرژیت) و طلا - به صورت آزاد - مجموعه بالا را همراهی می‌کنند. نمونه‌هایی نیز برای انجام آزمایش پراش پرتوهای ایکس تهیه شد؛ اطلاعات حاصل از این آزمایش نشان می‌دهد که کانی‌های کم ارزش در همه انباشته‌ها یکسان و شامل کوارتز، دولومیت، کلسیت، پلاژیوفلدسپارها، کلریت و اکسیدهای آهن (کمتر)، می‌باشند (شکل ۲).

با توجه به اطلاعات بدست آمده، به دلایل زیر نمونه‌های برداشته شده از انباشته‌های مختلف با یکدیگر مخلوط شده‌اند تا آزمایش‌های فراوری روی نمونه‌های حاصل انجام گیرد.

۱ - کانی‌های کم ارزش در تمام انباشته‌ها تقریباً یکسان بوده‌اند  
 ۲ - با مخلوط کردن نمونه‌های برداشته شده از انباشته‌ها می‌توان به عیار مطلوب ۱/۲ درصد مس رسید که در خوراک آزمایش‌های فراوری بکار رفتند (جدول ۱)

۳ - در صورت رها کردن انباشته‌های کم عیار و کم تناژ احتمالاً در آینده دیگر از آنها استفاده نخواهد شد

۴ - عیارهای مس در معادن تل مسی و مس کنی نزدیک به این عیار مطلوب هستند، که ممکن است در آینده مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱ - موضع معادن تل مسی و مس کنی در ناحیه مرکزی ایران

مطالعات زمین‌شناختی در معادن «تل مسی» و «مس کنی» نشان می‌دهند که کانی‌سازی مس و نیکل بیشتر در سنگهای آتشفشانی متوسط مربوط به دوره اتوسن صورت گرفته است. عمل کانی‌سازی شکل پیوسته نداشته و اغلب در شکاف‌های سنگها صورت گرفته است [۳].

با توجه به میزان تولید مس در کشور و به آمار پیش‌گفته، همچنین نظر به وجود عناصر نیکل، اورانیوم و کبالت به صورت ترکیب پیچیده همراه با مس در سنگهای این کانسارها - که مطالعه فراوری آن در کشور، به علت کم بودن کانسارهای مشابه کمتر به انجام رسیده است - می‌توان به اهمیت این طرح پی برد.

## ۲- روش کار

### ۱-۲ - نمونه‌گیری و شناخت نمونه‌ها

در منطقه مورد بحث، ۹ انباشته اصلی وجود دارد که نمونه‌برداری از آنها به توسط امور اکتشاف سازمان انرژی اتمی ایران، با توجه به نسبت وزن هر انباشته به وزن کل انباشته‌ها به صورت وزنی انجام گرفته است. نمونه‌ها به طور کلی از هر یک از انباشته‌ها بدون مخلوط کردن برداشته شدند. نمونه‌های کلی (۷) برداشته شده از هر یک از انباشته‌ها، پس از انتقال به آزمایشگاه

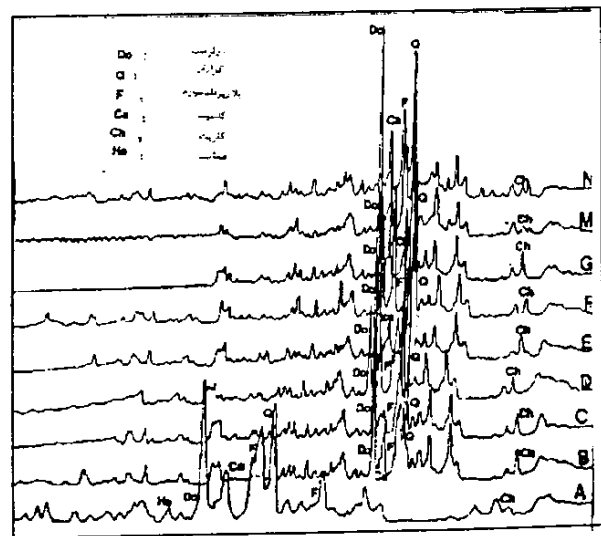
جدول ۱ - اطلاعات مربوط به وزن و عیار (عناصر اصلی) در انباشته‌های معادن تل مسی و مس کنی

| نام انباشته        | حجم متر مکعب | وزن مخصوص (گرم / سانتی متر مکعب) | وزن انباشته (تن) | عیار مس (درصد) | عیار نیکل (درصد) | عیار اورانیوم (درصد) | عیار آرسنیک (درصد) |
|--------------------|--------------|----------------------------------|------------------|----------------|------------------|----------------------|--------------------|
| A                  | ۴۴۵۷         | ۲/۷                              | ۱۲۰۰۰            | ۰/۱۵۸۰         | ۰/۱۱             | ۰/۰۰۱۹               | ۰/۳۱۶۵             |
| B                  | ۱۵۷۵۷        | ۲/۷                              | ۴۲۵۴۴            | ۰/۷۵۳۵         | ۰/۱۲             | ۰/۰۱۷                | ۰/۶۰۱۲             |
| C                  | ۲۳۱۷         | ۲/۷                              | ۶۲۲۵             | ۱/۳۹           | ۰/۲۴             | ۰/۰۱۹۸               | ۱/۱۴               |
| D                  | ۲۹۰۰         | ۲/۷                              | ۷۸۳۲             | ۰/۳۲           | ۰/۳۰             | ۰/۰۰۴۳               | ۰/۵۸               |
| E                  | ۱۷۴۷         | ۲/۷                              | ۴۷۱۸             | ۱/۲۱           | ۰/۰۵             | ۰/۰۰۵۴               | ۰/۵۵               |
| F                  | ۱۹۲۹         | ۲/۷                              | ۵۲۰۸             | ۰/۵۸           | ۰/۲۷             | ۰/۰۰۶۷               | ۰/۹۳               |
| G                  | ۲۸۲۳         | ۲/۷                              | ۱۰۳۲۲            | ۰/۶۲           | ۰/۱۷             | ۰/۰۰۸۲               | ۰/۷۴               |
| M*                 | ۳۰۸۹۹        | ۲/۷                              | ۸۳۴۲۷            | ۱/۶۵           | ۰/۰۲             | ۰/۰۰۴۱               | ۰/۱۱               |
| N*                 | ۱۰۹۷         | ۲/۷                              | ۲۹۶۳             | ۴/۱۵           | ۰/۰۱             | ۰/۰۰۳۱               | ۰/۰۰۰۹             |
| مجموع (متوسط وزنی) | ۶۴۹۲۶        | ۲/۷                              | ۱۷۵۲۳۹           | ۱/۲۰           | ۰/۰۸             | ۰/۰۰۶۵               | ۰/۳۷               |

\* توضیح: انباشته‌های M و N متعلق به معدن مس کنی و بقیه متعلق به معدن تل مسی هستند.

با مخلوط کردن تمام نمونه‌های مذکور با یکدیگر، نمونه متوسطی تهیه شد که ترکیب شیمیایی و عیار سنجی آن در جدول ۲ مندرج است. همچنین نمونه یک کیلوگرمی از آن با تجزیه سردی خشک تهیه شد که توزیع دانه‌بندی و نتایج تجزیه و تحلیل شیمیایی هریک از بخش‌های دانه‌بندی شده در جدول ۳ آمده است.

نتایج عیار سنجی حاصل از تجزیه سردی نشان می‌دهد که تفاوت عیار مس در بخش‌های مختلف قابل توجه نبوده و تقریباً به طور یکنواخت در کلیه بخش‌های دانه‌بندی توزیع شده است. برای تعیین درجه آزادی، از بخش‌های سردی مختلف دانه‌بندی، تعدادی تیغه نازک و مقطع صیقلی تهیه شد و مورد مطالعه قرار گرفت. در مجموع، با توجه به نتایج حاصل از تجزیه سردی و مطالعات میکروسکوپی به عمل آمده، می‌توان گفت که کانی‌های کم مس در ابعاد کوچکتر از ۷۵ میکرون به آسانی از کانی‌های کم ارزش جدا می‌شوند (درجه آزادی ۸۰ درصد).



شکل ۲ - نمودار مربوط به پراش پرتو ایکس انباشته‌های موجود



جدول ۲ - ترکیب شیمیایی و عیار سنگی نمونه متوسط

| CuO (%) | FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | Th (ppm) | Mo (ppm) | Pb (ppm) | Zn (ppm) | As (ppm) | Co (ppm) | U (ppm) | Ni (ppm) | Cu (%) | Au (ppb) |
|---------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|----------|
| ۰/۵۷    | ۳/۵۶                                    | ۷        | ۹        | ۴۰       | ۷۴       | ۳۳۲۱     | ۴۰       | ۶۴      | ۸۸۹      | ۱/۲۰   | ۱۰       |

جدول ۳ - توزیع دانه بندی و نتایج عیارسنجی XRF نمونه معرف مخلوط انباشته ها

| توزیع | عیار منس (%) | درصد وزنی | دانه بندی (میکرون) |
|-------|--------------|-----------|--------------------|
| ۱۷/۸۹ | ۱/۲۹         | ۱۶/۸      | از ۱۶۸۰ تا ۲۳۸۰    |
| ۳۱/۲۸ | ۱/۱۸         | ۳۲/۳۰     | از ۱۶۸۰ تا ۸۴۰     |
| ۱۰/۸۹ | ۱/۲۱         | ۱۰/۹۰     | از ۸۴۰ تا ۵۹۰      |
| ۱۵/۸۰ | ۱/۲۰         | ۱۶/۰۰     | از ۵۹۰ تا ۲۹۷      |
| ۵/۳۵  | ۱/۲۲         | ۵/۳۰      | از ۲۹۷ تا ۲۱۰      |
| ۵/۳۵  | ۱/۲۴         | ۵/۲۰      | از ۲۱۰ تا ۱۴۹      |
| ۵/۹۵  | ۱/۱۱         | ۶/۵۰      | از ۱۴۹ تا ۷۴       |
| ۷/۴۲  | ۱/۲۸         | ۷/۰۰      | کمتر از ۷۴         |
| -     | ۱/۲۱         | ۰۰/۰۰     | بیشتر از ۲۳۸۰      |

نیست، بنابراین باید ذرات این کانی ها را به وسیله کلکتور سطح تحت تأثیر قرارداد. زنتات ها، متداول ترین کلکتورهای سولفیدریل برای کانی های سولفیدی هستند [۷ و ۶].

نقش pH در خواص سطح کانی ها و نقطه های بدون بار الکتریکی آنها بسیار مهم است. یونهای OH<sup>-</sup> و H<sup>+</sup> تعیین کننده بار الکتریکی کانی ها هستند و می توانند سطح کانی ها را هیدراته کرده و خواص شناورشدگی آنها را تغییر دهند. اغلب کلکتورها - از جمله زنتات ها - تحت شرایط قلیایی پایدارند. در صنعت، برای افزایش pH از آهک، کربنات سدیم و هیدروکسید سدیم استفاده می شود [۸ و ۶].

برای شناورسازی کانی های غیر سولفیدی مس می توان از عمل سولفید کردن و سپس شناورسازی به وسیله زنتات ها استفاده کرد [۴].

## ۲-۲- روشهای فراوری

روش های عمده فراوری کانسنگ های مس دار عبارتند از: شناورسازی، روش های گرانشی و شستشوی اسیدی و بازی (۸). در صورت وجود ترکیبات آهن دار، می توان از روش های مغناطیسی نیز بهره برد [۱].

### الف - شناورسازی

این روش، متداول ترین و اقتصادی ترین روش بازیابی در مورد کانسنگ های سولفیدی مس است. شناورسازی کانی های غیر سولفیدی (اکسیدی، کربناتی، سیلیکاتی و مس طبیعی) دارای مشکلات زیادی است و کنترل شرایط باید با دقت و مطالعات بیشتری صورت گیرد [۵ و ۴].

به طور کلی، هیچ یک از کانی های سولفیدی مس آبران



از مقایسه آزمایشهای ۱ و ۲، این نتیجه بدست آمد که مصرف سدیم به عنوان فعال کننده باعث افزایش عیار و بازیابی در آزمایش ۲ شده است، به همین جهت آزمایشهای بعدی در حضور این ماده ادامه یافتند. بررسی نتایج آزمایشهای ۲ و ۳ و ۴ نشان می‌دهد که در شرایط آزمایش یکسان می‌توان با کلکتور آمیل زنتات پتاسیم نتیجه بهتری بدست آورد.

آزمایش ۵ در دو مرحله انجام گرفت: در مرحله اول بدون مصرف سولفور سدیم کانیهای سولفور به روش معمول اکسید شدند و در مرحله دوم با مصرف سولفور سدیم، کانیهای اکسید ابتدا فعال شده‌اند، سپس کف‌گیری انجام گرفته است. مقایسه نتایج آزمایشهای ۵ و ۲ نشان می‌دهد که مصرف سولفور سدیم از ابتدا و کف‌گیری یکبارگی کانی‌های سولفور و اکسید نتیجه بهتری بدست می‌دهد؛ به همین جهت آزمایشهای بعدی با کف‌گیری یک مرحله‌ای ادامه یافتند.

آزمایش ۶، نخست با مرحله نرمة‌گیری و پس از آن با شناورسازی انجام گرفته است. مقایسه نتایج این آزمایش با آزمایش ۲ لزوم نرمة‌گیری در ابتدا را به اثبات می‌رساند؛ بنابراین آزمایشهای بعدی ابتدا با مرحله نرمة‌گیری سپس با شناورسازی ادامه یافته‌اند.

برای بدست آوردن pH مناسب، آزمایشهای ۷، ۸ و ۹ را انجام داده و با آزمایش ۶ مقایسه کردیم. به طوری که در جدول ۴ منعکس است، ۱۰/۳ مناسبترین pH بدست آمده است.

برای دستیابی به مقدار بهینه سولفور سدیم مصرفی، آزمایشهای ۱۰ و ۱۱ انجام گرفتند و با آزمایش ۶ مقایسه شدند. جدول ۴ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار سولفور سدیم، مقدار درصد بازیابی مس افزایش ولی عیار آن کاهش می‌یابد، علت این است که با افزوده شدن مقدار سولفور سدیم و در نتیجه افزایش یونهای سولفوری در آب رگل، کانی‌های سولفور غریب می‌شوند و نتایج با نظریه‌ها همخوانی دارند. بهترین نتیجه با مقدار سولفور سدیم ۱۰۰۰ (گرم بر تن) بدست آمده است.

وجود رُس و نرمة، در کار شناورسازی مشکلاتی ایجاد می‌کند. میزان اثر سوء نرمة بر شناورسازی بستگی به میزان خرد کردن سنگ معدن و نوع کانی‌های کم ارزش دارد. نرمة باعث افزایش غلظت و چسبناکی (لزجت) آب رگل<sup>(۹)</sup> می‌شود و رس تمایل به جذب آب و انعقاد<sup>(۱۰)</sup> دارد. مشکل دیگری که از وجود نرمة ناشی می‌شود، افزایش مقدار مصرف کلکتور همراه با کاهش بازیابی حاصل از آن است. به هر حال نرمة به وجود آمده را می‌توان با یک مرحله نرمة‌گیری<sup>(۱۱)</sup> جدا کرد [۸].

با توجه به درجه آزادی به دست آمده، مدت خرد شدن نمونه در آسیاب برای استفاده از آن در آزمایشهای شناورسازی مشخص شد. در این مرحله، نمونه‌های ۱ کیلوگرمی با دانه بندی کوچکتر از ۸ مش مخلوط با ۱ لیتر آب به وسیله آسیای میله‌ای و در مدت‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ دقیقه خرد و به روش سرند کردن مرطوب تجزیه شدند. مناسبترین مدت برای دستیابی به دانه بندی مورد نظر ۲۰ دقیقه بود. در این مدت، قطر سوراخهای سرندي که ۸۰ درصد نمونه خرد شده از آن عبور می‌کرد (d<sub>80</sub>)، حدود ۵۱ میکرون بود.

با توجه به غلظت واقعی نمونه (۲/۵۶ گرم در لیتر) و ظرفیت واحد شناورساز آزمایشگاهی (۲/۵ لیتر)، غلظت وزنی آب رگل تهیه شده ۳۲ درصد بود که غلظت مناسبی تشخیص داده شد. آزمایشهای اصلی به وسیله نرمة‌گیر گردابی انجام شد. نمودار دانه‌بندی ذرات نرمة‌گیری شده نشان می‌داد که قطر بیش از ۹۰ درصد این ذرات کمتر از ۲۰ میکرون است.

در آزمایشهای انجام شده، آماده‌سازی مواد شیمیایی در خود واحد شناورسازی صورت گرفت. مدت آماده‌سازی برای سولفور سدیم در بیشتر آزمایشها ۱۰ دقیقه بود و این مدت برای کلکتورهای مصرف شده ۴ دقیقه و برای کف‌ساز ۱ دقیقه منظور شد. شرایط و نتایج آزمایشهای شناورسازی در جدول ۴ خلاصه شده‌اند. نتایج عیارسنجی سنگهای کم ارزش حاصل از آزمایشهای مذکور در جدول ۵ آمده است.

در آزمایشهای شناورسازی انجام شده ماده کف‌ساز: روغن کاج و تنظیم کننده pH: هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک بوده است.



جدول ۴- نتایج آزمایش‌های شناورسازی

| شماره آزمایش | کلکتور                |                    | فعال کننده  |                    | pH   | تخلیظ شده‌ها |                   |                 |
|--------------|-----------------------|--------------------|-------------|--------------------|------|--------------|-------------------|-----------------|
|              | نوع                   | مقدار (گرم در لتر) | نوع         | مقدار (گرم در لتر) |      | عیار مس (%)  | عیار اورانیوم (%) | عیار نیکل (ppm) |
| ۱            | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۵۰                | -           | -                  | ۱۰/۳ | ۶۸           | ۳/۳               | ۱۱۲             |
| ۲            | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۷۱           | ۸/۳               | ۱۸۱             |
| ۳            | ایزوپروپیل زنتات سدیم | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۷۳           | ۳/۳               | ۹۴              |
| ۴            | آمیل زنتات سدیم       | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۶۸           | ۴/۲               | ۱۰۷             |
| ۵            | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۳۷           | ۳/۱               | ۹۶              |
| ۶            | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۷۳           | ۹/۱               | ۳۴۱             |
| ۷            | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۱۱/۲ | ۵۹           | ۸/۲               | ۳۲۶             |
| ۸            | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۹    | ۷۳           | ۳/۱               | ۱۱۸             |
| ۹            | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۸    | ۷۲           | ۳/۶               | ۱۲۲             |
| ۱۰           | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۲۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۷۴           | ۴/۲۶              | -               |
| ۱۱           | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۳۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۷۸           | ۴/۰۴              | -               |
| ۱۲           | آمیل زنتات پتاسیم     | ۲۵۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۷۵           | ۵/۴۸              | -               |
| ۱۳           | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۵۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۷۲           | ۹/۳۷              | -               |
| ۱۴           | آمیل زنتات پتاسیم     | ۱۰۰                | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۷۱           | ۸/۷۸              | -               |
| ۱۵           | آمیل زنتات پتاسیم     | ۵۰                 | سولفور سدیم | ۱۰۰۰               | ۱۰/۳ | ۶۱           | ۱۰/۹۷             | -               |

جدول ۵- نتایج عیارسنجی شیمیایی مواد کم ارزش حاصل از شناورسازی

| شماره آزمایش        | ۱   | ۲   | ۳    | ۴   | ۵    | ۶    | ۷   | ۸   | ۹    | ۱۰   | ۱۱   | ۱۲   | ۱۳   | ۱۴  | ۱۵   |
|---------------------|-----|-----|------|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|------|
| عیار مس (%)         | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۴۴ | ۰/۵ | ۰/۳۴ | ۰/۱۹ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲۱ | ۰/۱۳ | ۰/۱۲ | ۰/۱۳ | ۰/۱۷ | ۰/۲ | ۰/۱۹ |
| عیار اورانیوم (ppm) | ۵۸  | ۶۵  | ۱۰   | ۵۰  | ۴۴   | ۳۵   | ۴۷  | ۳۰  | ۳۹   | -    | -    | -    | -    | -   | -    |
| عیار نیکل (ppm)     | ۵۹۳ | ۶۱۱ | ۵۷۴  | ۶۱۱ | ۶۹۳  | ۴۲۸  | ۵۶۲ | ۴۸۴ | ۴۹۱  | -    | -    | -    | -    | -   | -    |



درصد مس به صورت سولفور و ۲۵ درصد به صورت اکسید است. در مواد کم ارزش، مس اکسیدی بیشتری موجود است که شناور نشدن کانی‌های اکسیدی را نشان می‌دهد.

کنسانتره نهایی این آزمایش دارای ۷۸۱ گرم بر تن اورانیوم، ۳۶/۶۴ درصد مس است. اورانیوم در همه آزمایشها با مس همراه بوده و عیار آن با افزایش عیار مس نیز افزایش یافته است، ولی نسبت به افزایش عیار مس اُفت تدریجی نشان می‌دهد؛ علت این است که مقداری از کانی‌های اورانیوم که در اثر شناورسازی ذرات با کنسانتره اولیه آزمایش‌ها همراه شده‌اند، پس از مرحله تمیز کردن از کنسانتره نهایی جدا شده و به بخشهای دیگر منتقل می‌شوند.

#### ب - روشهای گرانشی

این روشها بر مبنای حرکت نسبی ذرات در محیط یک سیال پایه‌گذاری شده‌اند. نیروی اساسی مؤثر وارد بر این ذرات وزن آنهاست؛ مقاومت سیال (آب و هوا) نیروی دیگری است که در برابر حرکت ذرات ایجاد می‌شود و به ابعاد و شکل ذرات و سرعت حرکت آنها بستگی دارد. برای آن که بتوان دو کانی را به خوبی از هم جدا کرد لازم است بین جرم مخصوص آنها اختلاف قابل

برای تعیین مقدار بهینه کلکتور، آزمایش‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ با مقادیر مختلف کلکتور انجام گرفت. به طوری که ملاحظه می‌شود، با افزایش مقدار کلکتور بازیابی افزایش ولی عیار کاهش می‌یابد. بهترین نتیجه با مصرف ۱۵۰ گرم بر تن کلکتور آمیل زنتات پتاسیم بدست آمد (آزمایش ۱۳ تکرار آزمایش ۶ می‌باشد). برای تعیین مدت بهینه کف‌گیری آزمایش ۱۶ انجام شد (جدول ۶). در ۲ دقیقه اول کف‌گیری میزان عیار و بازیابی بسیار قابل توجه بوده است. به منظور رسیدن به حداکثر بازیابی و عیار مناسب، زمان کف‌گیری را می‌توان تا ۱۵ دقیقه ادامه داد. (این آزمایشها تحت شرایط آزمایش ۱۳ انجام گرفته‌اند).

آزمایش ۱۷ به منظور تمیز کردن انجام گرفته است. شرایط این آزمایش همان شرایط بهینه اعمال شده در آزمایش ۱۳ بوده است. در این آزمایش، عمل تمیز کردن روی کنسانتره شناورسازی اولیه بدون اضافه کردن مواد شیمیایی ۲ بار انجام گرفت. میزان عیار و بازیابی کنسانتره نهایی بسیار قابل توجه بوده است؛ علت افزایش چشمگیر عیار، وجود کانی کالکوزین - به عنوان کانی اصلی مس - بوده که از محتوی مس بالایی برخوردار است. بررسی‌های به عمل آمده در باره این آزمایش نشان می‌دهند که این کنسانتره حاوی ۷۵

جدول ۶ - اطلاعات مربوط به آزمایش ۱۶

| مس          | کنسانتره اول | کنسانتره دوم | کنسانتره سوم | کنسانتره چهارم | کنسانتره پنجم | کنسانتره ششم | مواد کم ارزش |
|-------------|--------------|--------------|--------------|----------------|---------------|--------------|--------------|
| عیار (%)    | ۲۵/۲۵        | ۴/۱۷         | ۲/۴          | ۱/۶۰           | ۱/۵۱          | ۰/۸          | ۰/۱۴         |
| بازیابی (%) | ۶۲/۶۳        | ۴/۵۵         | ۱/۹۰         | ۱/۲۷           | ۲/۱۰          | ۱/۳۵         | ۸/۵          |

جدول ۷ - نتایج آزمایش ۱۷ شناورسازی

| مس          | کنسانتره تمیز کردن مرحله دوم | تمیز کردن دوم مواد کم ارزش | تمیز کردن اول مواد کم ارزش نهایی | مس   |
|-------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------|
| عیار (%)    | ۳۶/۶۴                        | ۶/۱۳                       | ۱/۱۸                             | ۰/۱۶ |
| بازیابی (%) | ۶۲                           | ۸                          | ۴                                | ۹    |



با توجه به اختلاف وزن مخصوص بین کانی‌های با ارزش - کالکوزین، کوولین، بورنیت، کالکوپیریت، مس طبیعی و کوپریت با وزن مخصوص ۴/۶ تا ۸/۹۴ - و کانی‌های کم ارزش دولومیت، کوارتز، کلسیت، پلاژیوفلدسپارها و کلریت با وزن مخصوص ۲/۵۷ تا ۲/۸۴ - استفاده از روش‌های ثقلی منطقی به نظر می‌رسید. براین اساس، ابتدا آزمایش مایع سنگین با ماده شیمیایی بروموفورم به چگالی ۲/۹ برای بخش‌های ابعادی مختلف حاصل از تجزیه سرنبدی انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۸) مندرج است.

توجهی وجود داشته باشد. با استفاده از نسبت جرم مخصوص مؤثر (تفاوت جرم مخصوص کانی سنگین و سیال به تفاوت جرم مخصوص کانی سبک و سیال)، می‌توان کیفیت جداسازی را مورد بررسی قرار داد. این روشها در مورد نرمه بسیار حساس هستند، زیرا این ذرات باعث افزایش چسبناکی (لزجت) محیط و در نتیجه دقت در جداسازی می‌شوند [۵].

جدول (۸) نتایج بدست آمده از آزمایش مایع سنگین

| اندازه سرنبد (مش) | ۰.۱۲  | ۰.۲۰  | ۰.۳۰  | ۰.۵۰  | ۰.۷۰  | ۱.۰۰  |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| عیار مس (%)       | ۱۸/۷  | ۱۲/۳۴ | ۱۲/۹۲ | ۷/۵۴  | ۷/۲   | ۵/۹   |
| بازیابی مس (%)    | ۶۰/۷۸ | ۵۱/۶۸ | ۵۲/۳۴ | ۴۵/۳۷ | ۴۵/۰۳ | ۴۵/۵۴ |

جدول (۹) نتایج حاصل از بکار بردن میز لرزان به عنوان جداکننده گرانثی

| دانه بندی (مش) | شیب میز | درصد عیار مس حاصل |       |              | درصد بازیابی مس حاصل |       |              |
|----------------|---------|-------------------|-------|--------------|----------------------|-------|--------------|
|                |         | کنسانتره          | میانی | مواد کم ارزش | کنسانتره             | میانی | مواد کم ارزش |
| +۱۲            | ۲۰°     | ۲                 | ۰/۶   | ۰/۶          | ۷۶                   | ۱۳    | ۱۱           |
| +۲۰، +۳۰، +۵۰  | ۱۶°     | ۳                 | ۰/۸   | ۰/۸          | ۴۳                   | ۴۰    | ۱۷           |

جدول (۱۰). نتایج مربوط به آزمایشها به وسیله میز نرمه

| دبی میز نرمه (لیتر بر دقیقه) | دبی خوراک (لیتر بر دقیقه) | شیب میز | درصد عیار مس حاصل |              | درصد بازیابی مس حاصل |              |
|------------------------------|---------------------------|---------|-------------------|--------------|----------------------|--------------|
|                              |                           |         | کنسانتره          | مواد کم ارزش | کنسانتره             | مواد کم ارزش |
| ۴                            | ۴/۷                       | ۲/۲°    | ۲/۵               | ۰/۷۴         | ۵۷                   | ۴۳           |
| ۲                            | ۴/۷                       | ۲/۲°    | ۲/۵               | ۰/۷۹         | ۵۷                   | ۴۳           |





۷ - استفاده از سولفور سدیم برای سولفور کردن کانی‌های غیر سولفوری مس ضروری به نظر می‌رسد.

۸ - شرایط بهینه برای شناورسازی کانسنگ‌های مس بشرح زیر است:

- pH محیط: ۱۰/۳ و به وسیله هیدروکسید سدیم

- کلکتور: آمیل زنتات پتاسیوم (آثروزنات ۳۵۰):

۱۵۰ (گرم بر تن)

- سولفور سدیم (برای سولفور کردن): ۱۰۰۰ (گرم بر تن)

- کف ساز: روغن کاج

- زمان کف‌گیری: تا ۱۵/۵ (دقیقه).

۹ - محصول بدست آمده اولیه با عیار مس ۹/۳۷ درصد و بازیابی نسبی ۷۲ درصد قابل توجه است.

۱۰ - در همه آزمایشهای شناورسازی، کانی‌های اورانیوم، نیکل و کبالت به همراه مس به بخش کنسانتره منتقل شده‌اند که لزوم عملیات جداسازی ثانویه برای جدا کردن آنها از کنسانتره مس ضروری به نظر می‌رسد.

۱۱ - مطالعه و بررسی شناورسازی با دو مرحله تمیز کردن به طور جداگانه ضروری است، و در این دسته از آزمایشها با انجام آن، کنسانتره نهایی با عیار ۳۶/۶۴ درصد مس و بازیابی ۶۲ درصد، با آنکه دارای مقدار ۲/۱۴ درصد نیکل، ۷۸۱ گرم بر تن اورانیوم و ۱/۲۵ گرم بر تن طلا می‌باشد بسیار قابل توجه است.

۱۲ - به کارگیری روشهای گرانشی به وسیله میز لرزان، با توجه به ناکافی بودن درجه آزادی در دانه بندی‌های مورد نظر، مناسب نبوده و میز نرمه نیز نتایج مطلوبی را در بر نداشته است. به طور کلی استفاده از روشهای گرانشی به منظور پرعیارسازی نهایی نتیجه مناسبی بدست نداده است. در مورد پرعیارسازی اولیه نیز، به طوری که در جدولهای مربوط مندرج است، محصول بدست آمده از لحاظ عیار مس تفاوت چندانی با نمونه اولیه نشان نمی‌دهد، در ضمن مقداری از مس نیز به بخشهای میانی و کم ارزش می‌رود که قابل بازیابی نمی‌باشد.

با توجه به نزدیکی نتایج بخشهای دانه بندی شده بیشتر از ۲۰ و ۳۰، این بخشها در آزمایشهای میز لرزان به صورت مخلوط بکار برده شدند و بخش ۱۲ + جداگانه آزمایش شد. نتایج نشان می‌دهند که استفاده از این وسیله چندان مناسب نبوده و افزایش عیار چندان محسوس نیست. علت آن را می‌توان درگیری بین ذرات کم ارزش و ذرات با ارزش در این ابعاد تصور کرد، زیرا در این بخشهای دانه بندی شده، درجه آزادی کمتر از ۷۰ درصد بوده که جداسازی مطلوب را در این ابعاد با مشکل مواجه می‌سازد (جدول ۹).

به منظور انتخاب درجه آزادی مناسب (کوچکتر از ۷۵ میکرون)، نمونه‌های ۱ کیلوگرمی را در آسیاب به مدت ۲۰ دقیقه خرد کرده و سپس به وسیله میز نرمه مورد آزمایش قرار داده‌ایم (جدول ۱۰). بطوری که ملاحظه می‌شود، نتایج این دسته از آزمایشها چندان مطلوب نبوده است.

### ۳ - نتیجه‌گیری و بحث

۱ - کانسنگ انباشته‌های معادن تل مسی و مس کنی با عیار ۱/۲۰ درصد مس می‌تواند جهت فراوری مناسب باشد.

۲ - کانی‌های اصلی کانسنگ به ترتیب اهمیت عبارتند از: کالکوزین، کولین، بورنیت، کالکوپیریت، کوپریت، مس طبیعی، مالاکیت، آزوریت، نیکلین، راملسرژیت، پچیلاند و اورانینیت. کانی‌های کم‌ارزش: دولومیت، کلریت، کلسیت، کوارتز، پلاژیوفلدسپار و اکسیدهای آهن (هماتیت، منیتیت و گوتیت) می‌باشند.

۳ - در نمونه‌های مورد نظر، طلا به صورت آزاد دیده شده که رفتار آن بایستی مورد توجه قرار گیرد. مقدار مولیدن ناچیز (در حد گرم بر تن) گزارش شده است.

۴ - با توجه به درگیری کانی‌های مس با کانی‌های کم ارزش، کانی‌های این عنصر در ابعاد کوچکتر از ۷۵ میکرون به درجه آزادی مناسب ۸۰ درصد، می‌رسند.

۵ - بهینه‌سازی شرایط شناورسازی برای این کانسنگ به علت تنوع کانی‌های مس با مشکلاتی مواجه است.

۶ - یک مرحله نرمه‌گیری به روش گردابی برای رفع مشکلات ناشی از نرمه‌ها ضروری است.



#### فهرست منابع

- ۱ - علیرضا، میرمحمدصادقی - حسن شریف، «بررسی وضعیت فلز مس، تولید، توزیع، مصرف، قیمت، صادرات و واردات»، دانشگاه امام حسین (ع)، (۱۳۷۵).
- ۲ - محمدحسن کریم پور، «زمین شناسی اقتصادی کاربردی»، انتشارات جاوید، (۱۳۶۸).
- ۳ - واحد اکتشاف سازمان انرژی اتمی، «گزارش بررسی های زمین شناسی و متالورژی و اورانیوم در معادن تل مسی و مس کنی»، سازمان انرژی اتمی، (۱۳۶۰).
- 4 - Cyanamid Canada INC; "Mining Chemicals Handbook Mineral Dressing".Notes No. 26, C.C.INC.
- ۵ - رامز وقار، حکمت رضوی زاده، «متالورژی مس»، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، (۱۳۷۲).
- ۶ - حسین نعمت الهی، «کانه آرای»، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۷۲).
- ۷ - غلامرضا عالمی، «بازیابی مس موجود در سرباره کنورتر مجتمع مس سرچشمه به روش فلو تاسیون»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، (۱۳۷۵).
- ۸ - منوچهر اولیاء زاده، «مبانی فلو تاسیون و علم شناورسازی کانی ها» جزوه درسی، گروه مهندسی معدن دانشکده فنی دانشگاه تهران، (۱۳۷۴).



## **Ore processing of heaps sample from Talmesi & Meskani Mines; Anarak ore district**

*M.R.Ghaderi, B.A. Samani, Exploration and Mining Affairs, AEOI*

*M. Ovliazadeh Department of Mining Engineering, Tehran University.*

**Abstract:**

Talmesi and Meskani Mines are located on Anarak ore district in the Central part of Iran, about 25 km of north west of Anarak Twon. These deposits have been mined for more than 200 years, but the systematic exploration were carried out in 1935. These mines had experienced several discontinous operations for some periods, and have been closed since 1968 for copper ore exploitation. Up on the discovery of uranium mineralization, the AEOI has been done the supplimentary prospection, and research studies in these area.

This article presents the results of research studies of ore beneficiation from heaps, which have been dumped during several mining stages. Ore processing has been carried out using gravity and flotation methods. The best results has been obtained from the flotation method which was accomplished after grinding and one stage desliming. The final concentrate, after flotation and two stages of cleaning, includes 36.64% copper with 62% recovery, 2.14% nickle, 781 p.p.m uranium and 1.25 p.p.m gold, respectively.