



معاونت پژوهش و فناوری



جمهوری اسلامی ایران

گزارش نهایی

**امکان سنجی جداسازی کمپلکس‌های سیانیدی طلا  
از کربن فعال شده با استفاده از الوئنت‌های متداول حاوی شکر  
کد طرح (۵۵-۱۸۹۹)**

مجری طرح:

جهد دانشگاهی تربیت مدرس

گروه پژوهشی مهندسی فرآوری مواد معدنی

مجری:

علی غفاری - محسن ایوب زاده

تیرماه - ۱۳۹۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



معاونت پژوهش و فناوری



جمهوری اسلامی ایران

گزارش نهایی

**امکان سنجی جداسازی کمپلکس‌های سیانیدی طلا  
از کربن فعال شده با استفاده از الوئنت‌های متداول حاوی شکر  
کد طرح (۵۵-۱۸۹۹)**

مجری طرح:

جهاد دانشگاهی تربیت مدرس

گروه پژوهشی مهندسی فرآوری مواد معدنی

مجری:

علی غفاری - محسن ایوب زاده

تیرماه - ۱۳۹۴

## شناسنامه گزارش

عنوان گزارش: گزارش نهایی

شماره ویرایش: اول

عنوان فارسی طرح پژوهشی: امکان‌سنجی جداسازی کمپلکس‌های سیانیدی طلا از کربن فعال شده با استفاده از الوئنت‌های متداول حاوی شکر

عنوان انگلیسی طرح: Separation of gold cyanide complexes from activated carbon by conventional eluents contain sugar

کد طرح: ۵۵-۱۸۹۹

نام فایل گزارش: Document2

تالیف کننده‌ها: علی غفاری (۲۰ درصد) - محسن ایوب زاده (۸۰ درصد)

ویرایش علمی: محمدرضا توکلی محمدی

ویرایش ادبی: محمدرضا توکلی محمدی

تاریخ طرح‌نامه: ۸۹/۳/۱۶

تاریخ تصویب در شورای بررسی نهایی طرح‌ها: ۸۹/۸/۲

تاریخ شروع اجرای طرح: ۸۹/۸/۲۹

سطح دسترسی به سند: نامحدود/محرمانه(بدون موافقت کتبی، نسخه‌برداری یا تکثیر ممنوع است)

کارکرد در طرح به ساعت	عناوین فعالیت‌هایی که در طرح انجام داده‌اند	تخصص	محل استخدام	نام مسئول یا همکار
۱۴۰۰	مجری	فرآوری مواد معدنی	جهاد دانشگاهی واحد تربیت مدرس	علی غفاری
۱۴۰۰	مجری	فرآوری مواد معدنی	جهاد دانشگاهی واحد تربیت مدرس	محسن ایوب زاده
۵۷۰	همکار	فرآوری مواد معدنی	جهاد دانشگاهی واحد تربیت مدرس	مهدی ذاکری
۵۷۰	همکار	فرآوری مواد معدنی	جهاد دانشگاهی واحد تربیت مدرس	مجید ذوالقدری
۵۷۰	همکار	فرآوری مواد معدنی	جهاد دانشگاهی واحد تربیت مدرس	رضا آرام

سازمان مجری: جهاد دانشگاهی واحد تربیت مدرس

گروه مجری: گروه تخصصی فرآوری مواد معدنی

نشانی: تهران، بزرگراه جلال آل احمد، دانشگاه تربیت مدرس، ساختمان امور دانشجویی، دانشگاه تربیت مدرس

تلفن محل کار تالیف‌کننده اصلی: ۰۲۱-۸۸۲۲۰۲۹۵

نشانی پست الکترونیک تالیف‌کننده: ghaffari\_622@yahoo.com

این سند به همه همکارانی که برای انجامکارهای پژوهشی در کشور بی دریغ کوشش می نمایند، تقدیم می شود.

Archive of SID

## چکیده

سیانید آزاد بر جذب سطحی کمپلکس‌های سیانیدی طلا تاثیر زیان‌آوری دارد و در صورتی که دما نیز افزایش یابد این امر مشهودتر می‌شود، از این رو، اغلب برای واکنش واجذب طلا از کربن فعال از غلظت‌های بالای سیانید آزاد استفاده می‌شود. افزایش غلظت سیانید یا سود تا سطوح خیلی بالا اثرات منفی روی نرخ الوشن دارد. قدرت یونی بالای الوئنت فوآند مثبت این عوامل را خنثی می‌سازد و به همان صورت کاهش عوامل، عدم کارایی تولید را به دنبال خواهد داشت. با توجه به آزمایش‌های انجام شده برای الوشن طلا از کربن فعال حاوی طلا نتایج مفیدی بدست آمد. با افزودن شکر به محلول الوئنت تا مقدار ۳٪ بازیابی طلا از کربن فعال افزایش یافته است و پس از آن، روند افزایش بازیابی متوقف شد (حدوداً ۱۷/۵٪). بنابراین غلظت بهینه شکر برابر ۳٪ انتخاب شد و در این مقدار بازیابی طلا تا مدت زمان ۲ ساعت افزایش داشته و بعد از آن بدون تغییر باقی ماند. با افزایش دما از ۵۰ تا ۹۸ درجه سانتیگراد، بازیابی طلا از کربن فعال افزایش یافت (حدوداً ۲۵٪) که این افزایش در مقادیر دمای پایین‌تر کمتر بود. بررسی‌های اقتصادی نشان می‌دهد که اگر در کارخانه طلای موته و آق‌دره از الوئنت‌های حاوی شکر به جای الوشن موجود، استفاده شود به ترتیب سالانه ۸۵۱۴۰۰ و ۷۸۰۴۵۰ دلار صرفه‌جویی در هزینه‌های عملیاتی آن‌ها خواهد شد.

**کلید واژگان:** الوئنت، الوشن، شکر، طلا، کربن فعال

## فصل اول: استحصال طلا به روش سیانیداسیون

- ۱-۱- مقدمه انجام طرح ..... ۲
- ۲-۱- فرایند سیانیداسیون طلا، نقره و جیوه ..... ۳
- ۳-۱- بازیابی طلا از محلول ..... ۵
- ۱-۳-۱- تهنشین سازی با پودر روی ..... ۵
- ۲-۳-۱- جذب سطحی بر روی کربن فعال ..... ۶
- ۴-۱- تصفیه طلا ..... ۸

## فصل دوم: روش های الوشن طلا از کربن فعال

- ۱-۲- مقدمه ..... ۱۰
- ۲-۲- فرایندهای متداول الوشن طلا ..... ۱۱
- ۱-۲-۲- روش های زادرا و آنگلو ..... ۱۱
- ۲-۲-۲- الوشن کربن فعال با گلیکول و الکل ..... ۱۴
- ۳-۲-۲- فرآیند الوشن گلیکول ..... ۱۵
- ۲-۲- واحدهای الوشن در کارخانه های ایران ..... ۱۶
- ۱-۳-۲- کارخانه فرآوری طلای موته ..... ۱۷
- ۱-۱-۳-۲- واحد سیانیداسیون ..... ۱۷
- ۲-۱-۳-۲- سرندهای جدایش کربن باردار ..... ۱۷
- ۳-۱-۳-۲- واحد شستشوی کربن و جداسازی طلا ..... ۱۹
- ۴-۱-۳-۲- تانک اسیدشویی ..... ۱۹
- ۵-۱-۳-۲- ستون الوشن ..... ۱۹

۲۰	..... سلول‌های الکترووینینگ ۶-۱-۳-۲
۲۱	..... تانک الوشن ۷-۱-۳-۲
۲۲	..... واحد فعال‌سازی کربن ۸-۱-۳-۲
۲۲	..... کارخانه فرآوری طلای پویازرکان آق دره ۲-۳-۲
۲۲	..... واحد شستشوی کربن باردار ۱-۲-۳-۲
۲۳	..... ستون اسیدشویی ۲-۲-۳-۲
۲۳	..... ستون جدایش ۳-۲-۳-۲
۲۵	..... کوره فعال‌سازی کربن ۴-۲-۳-۲
۲۵	..... فرایند الوشن و الکترووینینگ در کارخانه Tau Lekoa ۲-۳-۲
۲۵	..... مدار الوشن ۱-۳-۳-۲
۲۶	..... شرح فرآیند زادرا ۲-۳-۳-۲

### فصل سوم: تئوری الوشن طلا از کربن فعال

۲۹	..... فاکتورهای موثر در الوشن طلا ۱-۳
۲۹	..... تاثیر دما بر الوشن طلا ۱-۱-۳
۳۴	..... سینتیک الوشن طلا ۲-۳
۳۵	..... واکنش‌های الکتروشیمیایی الکترووینینگ طلا ۳-۳
۳۶	..... الوشن کربن فعال با افزودن شکر به الونت ۴-۳
۳۶	..... خلاصه ۱-۴-۳
۳۶	..... اهداف و مزایا ۱-۱-۴-۳
۳۷	..... توضیح کلی فرایند ۲-۴-۳
۳۸	..... عملیات فرایند الوشن ۳-۴-۳
۴۰	..... مثال ۱: تاثیر یون‌های کلسیم ۱-۳-۴-۳
۴۰	..... مثال ۲: تاثیر استفاده از آب معمولی ۲-۳-۴-۳



- ۳-۳-۳-۳-۳: مقایسه فرایند جدید با فرایندهای قبلی..... ۴۳
- ۳-۳-۴-۳-۳: افزودن مواد به فرایند زادرا..... ۴۳
- ۳-۳-۴-۵-۳: تاثیر چرخش مجدد الوئنت ..... ۴۶
- ۳-۳-۴-۶-۳: تاثیر اسیدشویی در الوشن ..... ۴۶
- ۳-۴-۴-۴-۳: توضیحات تکمیلی ..... ۴۹

### فصل چهارم: فعالیتهای آزمایشگاهی

- ۴-۱-۱-۴: تهیه کربن فعال باردار حاوی طلا از کارخانههای فرآوری طلا ..... ۵۲
- ۴-۲-۲-۴: مشخصه یابی کربن فعال باردار ..... ۵۳
- ۴-۲-۱-۴: تعیین وزن مخصوص کربن باردار ..... ۵۳
- ۴-۲-۲-۴: تعیین حجم بستر ..... ۵۳
- ۴-۲-۳-۴: اسیدشویی کربن فعال باردار ..... ۵۴
- ۴-۲-۴-۴: تعیین عیار طلا در کربن فعال باردار ..... ۵۴
- ۴-۳-۳-۴: بررسی فاکتورهای موثر در الوشن طلا ..... ۵۴
- ۴-۳-۱-۴: مواد و روشها ..... ۵۵
- ۴-۳-۲-۴: تاثیر شکر بر الوشن طلا ..... ۵۷
- ۴-۳-۳-۴: تاثیر زمان بر الوشن طلا ..... ۵۸
- ۴-۳-۴-۴: تاثیر دما بر الوشن طلا ..... ۶۱

### فصل پنجم: آزمایشهای بهینه‌سازی، بررسی فنی و اقتصادی

- ۵-۱-۱-۵: مقدمه ..... ۶۴
- ۵-۲-۲-۵: بهینه‌سازی آزمایشها ..... ۶۵

۶۴	..... ۵-۲-۱- تعیین سطح بهینه شکر
۶۶	..... ۵-۲-۲- تاثیر زمان عملیات
۶۶	..... ۵-۲-۳- تاثیر دما بر الوشن طلا
۶۸	..... ۵-۳- معرفی کاربردهای اقتصاد مهندسی
۷۴	..... ۵-۴- مقایسه‌های پروژه‌های مختلف از دیدگاه اقتصاد مهندسی
۷۹	..... ۵-۵- مقایسه اقتصادی روش استفاده از شکر در الونت‌های استحصال طلا با سایر روش‌ها
۷۹	..... ۵-۵-۱- مقایسه واحد الوشن واحد طلای مخته با روش پیشنهادی
۸۰	..... ۵-۵-۱-۱- دمای فرایند
۸۰	..... ۵-۵-۱-۲- فشار فرایند
۸۰	..... ۵-۵-۱-۳- هزینه اضافه کردن شکر
۸۱	..... ۵-۵-۱-۴- هزینه‌های عملیاتی
۸۱	..... ۵-۵-۱-۵- هزینه تولید آب دیونیزه
۸۲	..... ۵-۵-۲- مقایسه واحد الوشن واحد طلای پویازرکان آقی دره با روش پیشنهادی
۸۳	..... ۵-۵-۳- هزینه‌های سرمایه‌گذاری

### فصل ششم: نتیجه‌گیری

۸۶	..... ۶-۱- نتیجه‌گیری
۸۸	..... منابع

جدول ۱-۲: مشخصات فیزیکی الکل ها	۱۵
جدول ۲-۲: مشخصات فنی و عملیاتی تانک‌های لیچینگ	۱۸
جدول ۳-۲: مشخصات تانک اسیدشویی	۱۹
جدول ۴-۲: مشخصات فنی و عملیاتی ستون الوشن	۲۰
جدول ۵-۲: مشخصات فنی و عملیاتی سلول الکترووینینگ	۲۱
جدول ۶-۲: مشخصات فنی و عملیاتی سرنده بازیابی کربن فعال	۲۲
جدول ۷-۲: مشخصات فنی و عملیاتی ستون اسیدشویی واحد بازیابی کربن باردار	۲۳
جدول ۱-۳: تاثیر کلسیم بر روی بازدهی الوشن در حضور و غیاب شکر	۴۰
جدول ۲-۳: استفاده از آب معمولی در الوشن	۴۰
جدول ۳-۳: مقایسه فرآیند جدید با فرآیندهای قبلی	۴۳
جدول ۴-۳: افزودن مواد به فرآیند زادرا	۴۳
جدول ۵-۳: تاثیر چرخش مجدد الوئنت	۴۶
جدول ۶-۳: تاثیر اسیدشویی در الوشن	۴۶
جدول ۱-۴: شرایط آزمایش‌های بررسی افزودن شکر و تاثیر آن در غلظت‌های مختلف بر الوشن طلا از کربن باردار	۵۷
جدول ۲-۴: شرایط آزمایش‌های بررسی تاثیر زمان بر الوشن طلا از کربن باردار در غلظت ۱٪ شکر	۵۹
جدول ۳-۴: شرایط آزمایش‌های بررسی تاثیر زمان بر الوشن طلا از کربن باردار در غلظت ۳٪ شکر	۶۰
جدول ۴-۴: شرایط آزمایش‌های بررسی تاثیر دما بر الوشن طلا از کربن باردار در غلظت ۳٪ شکر و زمان ۲ ساعت	۶۲

شکل ۱-۲: فلوشیتالوشن گلیکول	۱۶
شکل ۲-۲: شمای کلی مراحل اسیدشویی و بازیابی طلا از سطح کربن	۲۴
شکل ۳-۲: مدار الوشن کارخانه Tau Lekoa در آفریقای جنوبی	۲۶
شکل ۴-۲: فلوشیت فرآیند الوشن زادرا در کارخانه Tau Lekoa در آفریقای جنوبی	۲۷
شکل ۱-۳: رابطه دما و بازدهی الوشن	۳۱
شکل ۲-۳: رابطه نرخ الوشن طلا و قدرت یونی محیط	۳۱
شکل ۳-۳: نمودار جذب سطحی سیانید طلا بر روی کربن فعال در دماهای مختلف	۳۲
شکل ۴-۳: تاثیر خیساندن اولیه کربن فعال در محلول KCN بر روی الوشن طلا	۳۳
شکل ۵-۳: اجزا و جریان‌های اصلی عملیات الوشن در حضور و غیاب شکر	۳۷
شکل ۶-۳: تاثیر کلسیم بر روی بازدهی الوشن در حضور و غیاب شکر	۴۱
شکل ۷-۳: منحنی بازیابی الوشن برای شکر، شکر/ کلسیم و درغیاب شکر با آب مقطر و آب معمولی (شهری)	۴۲
شکل ۸-۳: منحنی بازیابی الوشن در فرایند جدید نسبت به فرایندهای زادرا و آنگلو	۴۴
شکل ۹-۳: افزایش در فرایند زادرا با استفاده از الونت شکر/ کلسیم	۴۵
شکل ۱۰-۳: بازیابی الوشن فرایند جدید، مزیت دو بار عبور الونت از کربن تازه	۴۷
شکل ۱۱-۳: بازیابی الوشن برای شستشوی کربن با اسید نسبت به بدون شستشو توسط اسید	۴۸
شکل ۱۲-۳: اجزا و جریان‌های اصلی در فرایند جدید	۴۹
شکل ۱-۴: کربن فعال باردار کارخانه فرآوری طلای زرمهر	۵۵
شکل ۲-۴: الف) نمایی از حمام روغن ب) چگونگی تنظیم دما	۵۶
شکل ۳-۴: محلول الونت حاوی طلا	۵۶
شکل ۴-۴: تاثیر شکر بر الوشن طلا از کربن فعال باردار	۵۸
شکل ۵-۴: تاثیر زمان بر الوشن طلا از کربن فعال باردار	۵۹
شکل ۶-۴: تاثیر زمان بر الوشن طلا از کربن فعال باردار	۶۰
شکل ۷-۴: تاثیر دما بر الوشن طلا از کربن فعال باردار	۶۲

شکل ۵-۱: بیان اختلاف دو پروژه A و B به صورت پارامترهای اقتصادی برای سهولت در تصمیم‌گیری ..... ۷۵

شکل ۵-۲: نمایی از سوله مورد نیاز برای واحد الکترووینینگ در کارخانه‌های فرآوری طلا ..... ۸۴

شکل ۵-۳: جانمایی تجهیزات مدار الکترووینینگ در سوله ..... ۸۴

Archive of SID

# فصل اول

## استحصال طلا به روش سیانیداسیون

Archive of SID



## ۱-۱- مقدمه انجام طرح

طلا و نقره جزء فلزات گران بها می باشند و معمولاً در صنعت برای بازیابی این فلزات از کانسنگ آن از فرایند سیانیداسیون استفاده می شود. کانسنگ پس از خردایش و آزاد شدن کانی های حاوی فلزات یا ذرات آزاد آن وارد مرحله لیچینگ می شود. لیچینگ کانسنگ خرد شده طلا و نقره در محیط قلیایی و در حضور اکسیژن و با استفاده از محلول رقیق سیانید سدیم انجام می شود. طلا با یون سیانید واکنش داده و تشکیل کمپلکس سیانیدی طلا می دهد. کمپلکس سیانیدی طلا بر روی کربن فعال شده به صورت سطحی جذب شده و کربن از فرایند خارج می شود. کربن پس از شستشو با آب و اسید وارد ستون جداسازی می شود. در این ستون با چندین بار عبور محلول حاوی سیانید سدیم و سود با غلظت بالا از داخل ستون کربن در فشار بالا، طلا از سطح کربن آزاد شده و وارد محلول می گردد. آب مورد استفاده در این فرایند باید دی یونیزه باشد. این فرایند به خاطر چرخش مداوم این محلول در ستون کربن، طولانی بوده و همچنین به خاطر دما و فشار بالای اعمال شده خطرناک می باشد. محلول به دست آمده از مرحله جداسازی، محلول باردار طلا نامیده می شود و برای بازیابی طلا از این محلول از ترسیب با پودر روی یا الکترووینینگ استفاده می شود. در صورت همراه بودن نقره در کانسنگ طلا، نقره نیز در تمامی فرایندها رفتاری مشابه طلا دارد.

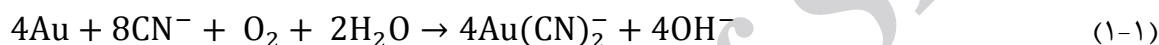
برای آشنایی بیشتر با فرایند استحصال طلا از کانسنگ آن به روش سیانیداسیون در ادامه مراحل مختلف این فرایند آورده شده است.



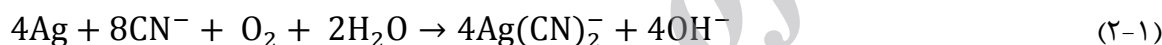
قابل ذکر است که در فرایند پیشنهادی در این طرح از محلول سود و سیانید سدیم (الوئنت<sup>۱</sup>) متداول برای جداسازی کمپلکس سیانیدی طلا از کربن فعال استفاده می‌شود ولی با این تفاوت که به آن شکر افزوده می‌شود تا زمان فرایند و مصرف مواد شیمیایی را کاهش دهد. در این فرایند، بر خلاف فرایندهای زادرا و آنگلو، هر نوع آبی (از لحاظ کیفیت آب و سختی آن، مانند آب شهری) نیز می‌تواند استفاده شود.

### ۱-۲- فرایند سیانیداسیون طلا، نقره و جیوه

در سال ۱۸۴۶، Elsener برای اولین بار در نشریه‌ای اعلام کرد که طلا در محلول سیانیدی و فقط در حضور اکسیژن حل می‌شود که معادله واکنش آن به صورت زیر می‌باشد [۱]:



معادله واکنش سیانیداسیون نقره مشابه طلا و به صورت زیر می‌باشد [۱، ۲]:

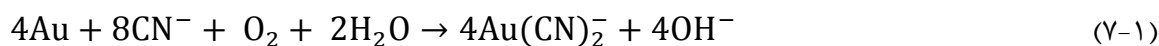
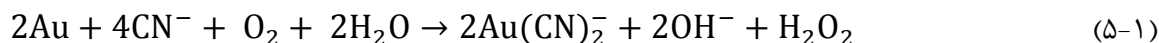


همان‌طور که مشاهده می‌شود در اثر سیانیداسیون طلا و نقره به کمپلکس سیانیدی محلول تبدیل می‌شود. در این فرایند اکسیژن نقش تعیین کننده‌ای در سیانیداسیون دارد [۳].

چهل سال پس از آن Janin بیان کرد که انحلال طلا و نقره توسط کاهش اکسیژن O<sub>2</sub> انجام نمی‌شود، بلکه طبق معادله زیر و توسط H<sub>2</sub> می‌باشد [۱].



واکنش سیانیداسیون در دو مرحله انجام می‌شود [۱ و ۲]:

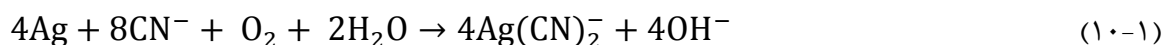
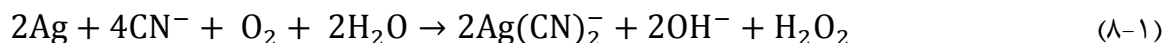


<sup>1</sup> Eluent





معادله‌های مشابهی را می‌توان برای نقره نیز نوشت:



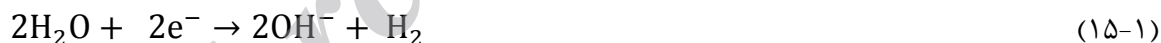
طبق معادله‌های زیر سیانید با پر اکسید هیدروژن واکنش داده و سیانات تولید می‌شود و سپس سیانات تولید شده در محلول هیدرولیز شده و به آمونیوم و کربنات تبدیل می‌شود. از این واکنش در خنثی سازی پساب‌های سیانیدی نیز استفاده می‌شود [۴و۲].



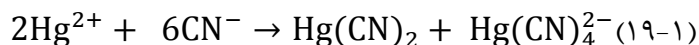
بعضی از محققین بر این باور بودند که واکنش‌گرهای واسطه مانند گاز سیانوژن ( $\text{CN}_2$ ) و سیانات پتاسیم ( $\text{KCNO}$ ) عامل انحلال طلا و نقره می‌باشند که نادرست بودن این فرضیات ثابت شده است. تمام این واکنش‌ها می‌توانند به صورت مرحله‌های اکسایش و کاهش باشند. مرحله اکسایش می‌تواند به صورت معادله زیر انجام گیرد [۱].



و مرحله کاهش نیز می‌تواند به صورت ذیل انجام گیرد [۱].



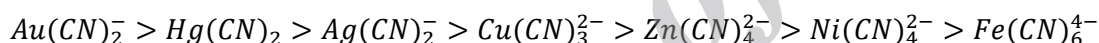
جیوه نیز دقیقاً از شیمی و مکانیزم سیانیدی شدن طلا پیروی می‌کند و طبق معادله زیر در حضور سیانید به کمپلکس دی یا تترا سیانید جیوه خیلی محلول در آب تبدیل می‌شود [۵].





کمپلکس سیانید جیوه نسبتاً ضعیف است و به راحتی بر روی کربن فعال شده نگه داشته می‌شود [۶]. کمپلکس‌های سیانید خنثی مانند  $Hg(CN)_2$  به شدت و مستقل از مقاومت یونی جذب می‌شود. محلول‌های لیچینگ معمولاً حاوی مقدار متغیری از یون‌های فلزی و نیز کمپلکس‌های فلزی شامل  $Ag, Cu, Ni, Zn, Fe$  و  $Hg$  می‌باشند که بر روی کربن فعال جذب می‌شوند. جذب نقره و در بعضی موارد جیوه ممکن است از لحاظ اقتصادی به صورت محصول جانبی طلا دارای اهمیت باشد. در مقابل، جذب فلزات غیر اقتصادی برای استخراج طلا نامطلوب است، زیرا این ترکیبات برای جذب روی کربن فعال با طلا وارد رقابت شده و در نتیجه باعث کاهش اکتیویته کربن می‌شود همچنین جذب فلزاتی مانند  $Hg$  و  $Cu$  ممکن است محصول نهایی را آلوده کرده و مراحل دیگری را (جهت خالص سازی) ضروری سازد.

خوشبختانه کربن فعال برای جذب طلا و نقره نسبت به سایر ترکیبات فلزی به مقدار زیادی انتخابی است ولی برای جیوه خیلی استثنا می‌باشد. ارجحیت معمول برای جذب چندین کمپلکس فلزی به صورت ذیل است.

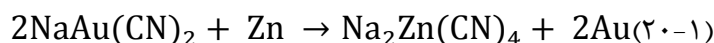


کمپلکس سیانیدی جیوه  $Hg(CN)_2$  به طور مستقیم با  $Au(CN)_2^-$  برای جذب بر روی کربن فعال وارد رقابت می‌شود و می‌تواند حتی جایگزین بعضی از یون‌های سیانید طلا بر روی کربن فعال شود، خوشبختانه جیوه معمولاً در محلول‌های لیچ در غلظت‌های نسبتاً پایینی وجود دارد و در بسیاری از کانسنگ‌های عیار پایین در اثر انحلال ضعیف طلا تشکیل می‌شود و به ندرت روی جذب طلا اثر نامطلوب می‌گذارد [۷].

### ۱-۳- باز یابی طلا از محلول

#### ۱-۳-۱- ته نشین سازی با پودر روی

طلا می‌تواند از محلول سیانیدی توسط ته‌نشین‌سازی (ترسیب) با پودر روی باز یابی شود که پودر روی به عنوان احیا کننده طبق واکنش زیر عمل می‌کند [۸].



این روش، فرایند “Merril-Crowe” نامیده می‌شود که از دهه ۱۸۹۰ به طور گسترده استفاده می‌شود. اگرچه نقره نیز مشابه همین روش ترسیب می‌یابد. محلول باردار شفاف خروجی از فیلتر قبل از افزودن پودر روی و نیترات سرب به آن در برج Crowe هواگیری می‌شود. سپس مخلوط مایع- جامد به واحد فیلتر Merril پمپ می‌شود که محلول باردار از بستر روی عبور داده می‌شود. این روش برای عمل آوری محلول‌های با عیار بالا اجرا می‌شود یا برای محلول‌هایی که حاوی مقادیر زیادی از نقره می‌باشند. حضور سولفیدها، سولفات‌ها، تیو سولفات‌ها و فری سیانیدها در محلول که سطح روی را غیر فعال می‌کنند باعث بازداشت فرایند ته‌نشین‌سازی می‌شوند. آرسنیک و آنتیموان حتی در غلظت‌های پایین (۱ ppm) بازدهی استخراج طلا را کاهش می‌دهند. یک حداقل غلظت از سیانید سدیم آزاد در محلول نیز در طول فرایند مورد نیاز است [۸].

### ۱-۳-۲- جذب سطحی بر روی کربن فعال

طلا از محلول‌های سیانیدی توسط جذب سطحی بر روی کربن فعال بازیابی می‌شود. به دلیل مزایای فنی و اقتصادی، فرایند کربن در پالپ<sup>۱</sup> (CIP) به عنوان روشی استاندارد برای بازیابی طلا از محلول‌های سیانیدی شناخته شده است. مخصوصاً هنگامی که کانسنگ تا ابعاد نرمه خرد می‌شود، جدا نمودن ذرات جامد ریز از مایع شاید مشکل باشد و هزینه زیادی برای روش ته‌نشین‌سازی پودر روی داشته باشد، فرایند CIP مطرح می‌شود. گذشته از این، استخراج طلا توسط CIP نسبت به سایر روش‌ها که در حال حاضر وجود دارد بیشتر انتخاب می‌شود [۸].

پس از لیچینگ، کربن فعال با پالپ مخلوط شده و در یک سری از تانک‌ها (معمولاً ۵ تا ۷ تانک) هم زده می‌شود. کربن باردار توسط سردند از پالپ جدا می‌شود. تماس در تانک‌ها به صورت جریان غیر هم جهت کربن فعال و پالپ انجام می‌گیرد. کربن فعال دانه‌ای به صورت صنعتی از پوست نارگیل ساخته می‌شود زیرا پوست نارگیل در برابر سایش مقاوم است و باعث از دست دادن طلا از طریق کوچک شدن ابعاد کربن و عبور آن از سردند نمی‌شود.

<sup>۱</sup>Carbon In Pulp



هنگامی که کانسنگ دارای مواد کربناته که طلا را از محلول لیچ جذب می‌کنند، جذب سطحی بر روی کربن فعال به طور کارآمدی در تانک‌های لیچ انجام می‌شود (کربن در لیچ<sup>۱</sup> [CIL]) [۸].

حذف نقره از محلول‌ها قبل از جذب سطحی طلا در مواقعی که کانسنگ با نسبت‌های بالای نقره به طلا فرآوری می‌شود ضروری می‌باشد. نقره می‌تواند با روش‌های ترسیب با استفاده از سولفید سدیم حذف گردد. الوشن سیانید طلای جذب شده با استفاده از عمل آوری کربن باردار با سیانید سدیم (۰/۲ تا ۰/۱ درصد) و محلول هیدروکسید سدیم (۱ درصد) در دمای بالا (۹۰ °C) انجام می‌گیرد. یک غلظت حداقلی از سیانید سدیم در محلول مورد نیاز است. حلال‌های آلی مختلفی (الکل) می‌توانند به محلول استریپ برای بالا بردن سرعت الوشن اضافه شوند. با این کار زمان استریپینگ از ۴۸ تا ۷۲ ساعت به حدود ۶ ساعت کاهش می‌یابد. الوشن در فشار بالا نیز مفید می‌باشد [۸].

کربن باردار در یک ستون ثابت که محلول الوشن به درون آن پمپ می‌شود قرار داده می‌شود. الونت به الترووینینگ فرستاده می‌شود. گاهی اوقات، طلا از الونت با استفاده از پودر روی بازیابی می‌شود. پس از الوشن، کربن اسیدشویی شده و توسط حرارت در یک کوره گردان در دمای °C ۹۰۰-۶۰۰ فعال‌سازی مجدد می‌شود و به فرایند برگشت داده می‌شود و از سوی دیگر الونت به سمت الکترووینینگ فرستاده می‌شود. سلول الکترولیز شامل آندهای ورقه‌ای آهن زنگ نزن و کاتدهای پشم فولادی در پتانسیل منفی حداکثر ۳ ولت است که طلا همراه بعضی از ناخالصی‌ها (مس، سرب، جیوه و ...) بر روی الکتروود رسوب می‌کند. معمولاً، بازدهی جریان ۳۰٪ می‌باشد. کاتدهای پشم فولادی یا پودر روی رسوب یافته توسط ذوب به صورت شمش تولید می‌شوند. به طور جایگزین، طلا می‌تواند از محلول با استفاده از جذب سطحی بر روی رزین تبادل یونی یا با استفاده از استخراج با حلال بازیابی شود [۸].

<sup>1</sup>Carbon In Leach



#### ۱-۴- تصفیه طلا

یکی از روش‌های مرسوم تصفیه مورد استفاده فرایند Miller است. این روش برای عمل آوری مقادیر زیاد طلا که حاوی مقدار ناچیزی از سایر فلزات گران‌بها هستند ترجیح داده می‌شود. طلا در سرباره برآکس-سیلیس ذوب می‌شود و با گاز کلر در دمای بالا ( $1150^{\circ}\text{C}$ ) عمل آوری می‌شود. گاز کلر به سرعت با ناخالصی‌ها واکنش می‌دهد. آهن، سرب و روی به صورت گاز کلریدی از آن حذف می‌شوند [۸].

مس و نقره به صورت کلریدی در سرباره حل می‌شوند و از طلا توسط خاصیت ثقلی جدا می‌شوند. سرباره غنی از نقره در مرحله بعد به منظور انحلال نقره با محلول  $\text{HCl}$  و  $\text{NaClO}_3$  عمل آوری می‌شود و سپس با افزودن پودر روی رسوب داده می‌شود. با این روش طلای تصفیه شده با عیار  $99/6\%$  می‌تواند به دست آید. در صورت لزوم، برای خلوص بالاتر در مراحل بعدی می‌تواند تصفیه الکتریکی به کار برده شود [۸].

تصفیه الکتریکی برای تولید طلایی با کیفیت بالا و جدا نمودن طلا از سایر فلزات گران‌بها ضروری است. طلای خام یا تصفیه شده به صورت آندهای طلا برای تصفیه الکتریکی در محلول  $\text{HCl}$  شکل‌دهی می‌شود. این محلول حاوی  $50-80 \text{ Aug/l}$  و  $5-7\%$  اسید هیدرولیک آزاد است. الکترولیز در شرایط  $600-700 \text{ A/m}^2$  و  $0/6 \text{ V}$  انجام می‌شود در صورتی که اسمیوم و ایریدیم از لجن آندی استخراج می‌شود. رودیوم و روتنیوم هم در محلول و هم در لجن آندی موجود می‌باشند [۸].

# فصل دوم

## روش‌های الوشن طلا از کربن فعال



## ۲-۱- مقدمه

بازیابی طلا از محلول با استفاده از جذب سطحی کمپلکس سیانید طلا بر روی کربن فعال شده انجام می‌شود. در مرحله بعد کربن فعال باردار از فرایند جدا شده و برای بازیابی طلا از آن پس از شستشو با آب و اسید، عملیات الوشن بر روی آن انجام می‌شود [۹].

در مرحله جذب سطحی، سیانید دارای طلای زیاد، در دمای پایین و آنیون‌های کوچک واکنش می‌دهند و به صورت کمپلکس سیانیدی بر روی کربن جذب می‌شوند. در یک فرایند الوشن بعضی از کاتیون‌ها مانند کلسیم و منیزیم و آنیون‌ها مانند سیانید و هیدروکسید در شرایط دمای بالا واکنش داده و تعادل را بر هم می‌زنند و سیانید طلا را از کربن جدا می‌کنند. در طول این فرایند، افزایش در سیانید و سود سرعت الوشن را افزایش می‌دهد. شاید، فاکتورهای خیلی مهم در فرایند الوشن دما باشد به خاطر اینکه بارگیری با افزایش دما کاهش می‌یابد. به بیانی دیگر، سرعت فرایند الوشن در دماهای بالا بیشتر می‌شود [۱۰].

الوشن با این هدف انجام می‌شود تا از آن محلول با غلظت بالای طلا به دست آید. اولین فرایند الوشن زادرا نام داشت و شاید با یا بدون افزودن الکل به الونت انجام شد. با گذشت زمان، این فرایند بهبود یافت و فرایند الوشن زادرا به سرعت در آمریکا و کانادا برای استریپ طلا و نقره از کربن باردار کاربرد عمومی یافت. در آفریقای جنوبی آزمایشگاه تحقیقاتی انگلوی آمریکا<sup>۱</sup> (AARL) فرایند الوشنی را معرفی نمود که شامل شناورسازی اولیه و سپس الوشن با آب تازه می‌باشد [۱۰].

<sup>1</sup>Anglo American Research Laboratories



امروزه روش‌های مختلفی برای بازیابی طلا و نقره از کربن فعال وجود دارد که هر دو روش دارای مزایا و معایب خود می‌باشد و باید در هنگام طراحی روش‌های مختلف مد نظر قرار گیرد.

مهم‌ترین روش‌های تجارتي موجود برای بازیابی طلا و نقره از کربن فعال باردار به صورت زیر خلاصه می‌گردند:

- روش الوشن زادرای اتمسفری (Atmospheric Zadra Stripping)

- روش الوشن زادرای تحت فشار (Pressurized Zadra Stripping)

- روش آزمایشگاه تحقیقاتی آنگلو آمریکا ((Anglo American Research Laboratory (AARL))

- الوشن الکلی (Alcohol Stripping)

- روش الوشن میکرون (Micron Elution)

هر یک از این روش‌ها به طور خلاصه شرح داده خواهد شد و نقاط مثبت و منفی آن روشن خواهد شد و در

انتها تغییرات انجام گرفته در هر روش مورد بحث قرار خواهد گرفت [۱۱].

## ۲-۲- فرایندهای متداول الوشن طلا

### ۲-۲-۱- روش‌های زادرا و آنگلو

مدت‌هاست که کربن فعال برای استحصال طلا از محلول سیانیدی نقش مهمی به عهده دارد [۱۱]. برای بازیابی طلا از کربن باردار می‌توان آن را سوزاند یا آن را با استفاده از سیستم الوشن جداسازی نمود که در آن از محلول سود سیانیدی در حدود دمای جوش به مدت ۳۶ تا ۷۲ ساعت استفاده می‌شود. این محلول حاوی ۱٪ سود سوزآور و ۰/۱ تا ۰/۲٪ سیانید سدیم است. سرعت الوشن می‌تواند با افزودن ۱۰٪ الکل در دمای حدود ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد و در مدت زمان ۵ تا ۸ ساعت افزایش یابد. اگر الکل استفاده شود، اقدامات پیشگیری باید صورت گیرد. الوشن کربن باردار با استفاده از اعمال فشار (۱۲۰ تا ۱۳۰ درجه سانتیگراد در ۶۵-۷۵ PSI) می‌تواند سریع‌تر انجام شود. طلای بارگیری شده در کربن در هنگام فرایند الوشن به درون محلول غلیظ وارد می‌شود و این





محلول به سلواهای الکترووینینگ که در آن طلا بر روی کاتدهای پشم فولادی می‌نشیند منتقل می‌شود. سپس طلا حرارت داده و ذوب می‌شود و به شمش طلا تبدیل می‌گردد [۱۰].

در حال حاضر دو فرایند اصلی به طور صنعتی برای جدا سازی سیانید طلا از کربن فعال، فرایندهای زادرا و آنگلو می‌باشند. در فرایند زادرا محلول داغ هیدروکسید سدیم ۱٪ NaOHw/v و سیانید سدیم ۰/۲٪ w/vNaCN از درون بستر کربن فعال به مدت ۷۲ ساعت و در دمای °C ۹۵-۱۰۰ چندین بار عبور داده می‌شود. فرایند اصلاح شده زادرا در سیستم تحت فشار و در دمای °C ۱۴۰ انجام می‌شود که زمان آن به ۱۰ تا ۱۲ ساعت کاهش می‌یابد [۹].

در فرایند الوشن Beisa، قبل از الوشن، مرحله اسیدشویی وجود دارد. اصولاً این فرایند ترتیب زیر انجام می‌شود [۱۰]:

- انتقال کربن با استفاده از آب به ستون

- اسیدشویی به صورت قرار گرفتن کربن در HCl ۵٪ و در دمای °C ۸۰

- شستشوی اسید با استفاده از شستشو با آب داغ

- انتقال به ستون الوشن

- آماده سازی با سیانید سدیم و سود سوزآور

- الوشن با آب در دمای °C ۱۲۰

- تخلیه کربن بی بار و استریپ شده

این مراحل ۱۶ تا ۱۹ ساعت طول می‌کشد و عملیات در معرض بعضی از اشتباهات می‌باشد. احتمال اینکه اسید

هیدرولیک و محلول سیانید سدیم به دلیل مشکلات عملیاتی در دماهای بالا با هم مخلوط شود، معمول است. با

استفاده از این روش، حذف کلسیم از سطح کربن به خوبی انجام می‌شود. به طور مثال، محلول HCl ۵٪ در دمای

محیط مقدار کلسیم را از ppm ۱۵۰۰۰ به ppm ۲۰۰۰ کاهش می‌دهد [۱۰].



در فرایند الوشن آنگلو کربن فعال در داخل محلول حاوی  $\text{NaCNw/v}$  ۵٪ - ۳ و  $\text{NaOHw/v}$  ۱٪ و به مدت ۸ تا ۱۲ ساعت و در دمای  $120 - 100^\circ\text{C}$  غوطه‌ور می‌شود. آب مورد استفاده در این فرایند دی‌یونیزه می‌باشد و محلول الونت به ابتدای الوشن بر گردانده نمی‌شود. بنابراین، با یک مرحله عبور الونت از بستر کربن فعال انجام می‌شود [۹].

فرایند الوشن AARL در بهره‌برداری از طلا در استرالیا با موفقیت استفاده شد. اولین سیستم الوشن در آمریکا، در بهره‌برداری طلای Zortman-Landusky در مونتانا نصب شد. مهم‌ترین فایده فرایند AARL مربوط به کم بودن هزینه‌های مواد آن، حجم نه چندان زیاد الونت آن و محتویات طلا و نقره بالای آن می‌باشد [۱۰]. در هر دو فرایند زادرا و آنگلو، الونت حاوی طلای کم به دست آمده در انتهای الوشن برای الوشن مرحله بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹].

در حالیکه فرایندهای زادرا و آنگلو دو فرایند موثر در جداسازی (الوشن) طلا از کربن فعال هستند اما این فرایندها انرژی مصرفی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالایی را برای فراهم نمودن فشار و دما برای مددت زمان طولانی فرایند تحمیل می‌نمایند. اگر چه در فشارهای بالا یا اصلاح الونت با افزودن ترکیبات آلی، سرعت الوشن بهبود یافته است اما این فرایندها در عمل بسیار پیچیده‌اند [۹].

در حال حاضر فرایند AARL اولین گزینه‌ای است که برای الوشن انتخاب می‌شود. یکی کردن الوشن و الکترووینینگ موضوع مهمی در طراحی می‌باشد. برای مثال، اگر الونت برای الکترووینینگ قبل از اینکه به عنوان الونت برگشت داده شود، تحت فشار باقی بماند عملیات فرایند و بازدهی آن بهبود می‌یابد. همچنین، سیانید سدیم نباید به الونت اضافه شود هنگامی که این سیستم طراحی می‌شود. عملیات بهره‌برداری طلا در آفریقا برای این گزینه انتخاب شده‌اند و نتایج به دست آمده از آن بسیار خوب بوده است [۱۰].

## ۲-۲-۲- الوشن کربن فعال با گلیکول و الکل

امروزه، در عملیات بهره‌برداری طلا روش‌های مختلفی را برای بازیابی طلا از کربن فعال به کار می‌برند. روش مرسوم و الوشن یا اسریپینگ عبارتند از فرایند الوشن زادرا در فشار اتمسفر، فرایند تحت فشار زادرا، فرایند الوشن میکرون، فرایند AARL و روش استریپینگ با الکل. گزینه دیگری وجود دارد که فرایند الوشن با گلیکول است که با موفقیت در چندین عملیات بهره‌برداری طلا به کار رفته است اما جزئیات آن ذکر نشده است. اساساً، الوشن با گلیکول روش اصلاح شده با الکل است که در آن اتانول یا متانول محلول استریپ زادرا افزوده می‌شود تا زمان ۴۸ تا ۷۲ ساعتی چرخه الوشن را کاهش دهد. احتمالاً اشکال اصلی فرایند الکی، پتانسیل آن برای آتش‌سوزی مخصوصاً در بخش الکترووینینگ است [۱۰].

از سوی دیگر اتیلن و پروپیلن گلیکول آتش نمی‌گیرد و چرخه استریپینگ ۲۴ ساعته معمول می‌باشد. قابل توجه است که افزودن گلیکول به محلول الوشن زادرا به طور معمول باعث کاهش ۵۵٪- ۴۵ کاهش در زمان الوشن می‌شود. نکته مهم اینکه گلیکول‌ها از زیر مجموعه‌های الکل هستند که دو گروه هیدروکسیل به زنجیره کربنی آن متصل می‌باشد. اتیلن گلیکول به طور گسترده‌ای در ضد یخ ماشین‌ها استفاده می‌شوند و به راحتی در دسترس می‌باشند. با این وجود، ضد یخ ماشین در الوشن کربن فعال استفاده نمی‌شود به خاطر اینکه حاوی نگهدارنده‌های خورنده‌ای مانند سیلیکات‌ها است که ممکن است به کربن فعال ضرر برسانند.

بیشتر اوقات پروپیلن گلیکول نسبت به اتیلن گلیکول به خاطر بخارات خیلی سمی آن بکار برده می‌شود. در این روش اتیلن گلیکول مقدار حد آستانه ۵۰ ppm در هوا است و هنگام استفاده از آن تهویه مناسب مورد نیاز است. استنشاق طولانی مدت بخارات اشباع پروپیلن گلیکول اثرات بیماری در حیوانات ایجاد نمی‌کند اما در بعضی از غلظت‌های آن ممکن است برای انسان ضرر داشته باشد. پروپیلن گلیکول افزودنی مجاز به غذا و داروها است در صورتی که اتیلن گلیکول برای استفاده در مواردی که امکان خوردن آن باشد، سمی است. زمان الوشن باید با اتیلن گلیکول کم‌تر شود. جدول ۲-۱ بعضی از مشخصات الکل‌ها را نشان می‌دهد [۱۰].

جدول ۲-۱: مشخصات فیزیکی الکل‌ها [۱۰]

پارامتر	اتیلن گلیکول	اتیل گلیکول	پروپیلن گلیکول
نقطه اشتعال، °C	۱۱۶	۱۳	۱۰۴
نقطه جوش، °C	۱۹۷	۷۸	۱۸۷
گرمای ویژه، <sup>۱</sup> BTU/lb/°F	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۶۰
وزن مخصوص	۱/۱۱	۰/۷۹	۱/۰۳
ویسکوزیته	۱۷/۸	۱/۵	۵۲

### ۲-۲-۳- فرایند الوشن گلیکول

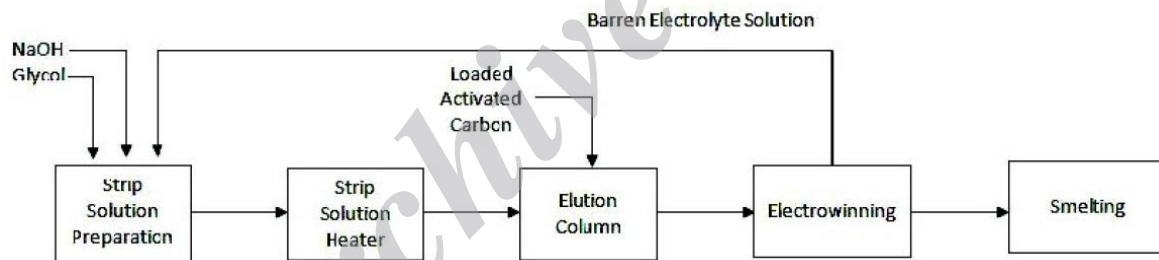
محلول متداول الوشن گلیکول حاوی ۲۰ تا ۲۵٪ اتیلن یا پروپیلن گلیکول و ۲ تا ۴٪ هیدروکسید سدیم (سود سوزآور) است. افزودن سیانید سدیم معمول نیست و توسط چندین متالورژیست نیز تاکید شده است که افزودن آن ضروری نمی‌باشد. محلول تا دمای °C ۸۸ گرم می‌شود و به درون تانک الوشن کربن فعال با دبی جریانی در حدود ۲ حجم بستر در ساعت پمپ می‌شود. فلزات گران‌بها از محلول باردار توسط الکترووینینگ بازیابی می‌شود و محلول الکتروولیت بی‌بار دوباره گرم می‌شود و به تانک الوشن برگشت داده می‌شود. به طور معمول الوشن به مدت ۲۴ ساعت انجام می‌شود و نتیجه آن کربنی تهی شده حاوی مقدار طلای کم‌تر از ۲/۵ oz/t در کربن فعال است [۱۰].

اساساً، مصرف گلیکول در حدود ۲۵ تا ۳۵ gal/t کربن فعال است و ممکن است با استفاده از سیستم بازیابی گلیکول کاهش یابد. نتایج بدست آمده از کارخانه نشان داده شده است که اکتیویته کربن با الوشن گلیکول کاهش نیافته است. اصولاً، ممکن است ظرفیت در مدارهای زادرای موجود با فشار اتمسفری که با تمام ظرفیت کار می‌کنند دو برابر شود. همچنین ممکن است زمان الوشن به خاطر کم‌تر گرم کردن محلول کاهش یابد. مدارهای موجود برای استریپ الکل می‌توانند روش گلیکول را جایگزین کنند و پتانسیل آتش‌سوزی خود را کاهش دهند [۱۰].

<sup>۱</sup>British Thermal Unit

معادل انرژی گرمایی مصرف شده جهت افزایش یا کاهش دمای ۱ درجه فارنهایت یک پوند از جرم آب در شرایط استاندارد است. این واحد معادل ۱۰۵۵ ژول انرژی گرمایی است.

قابل ذکر است که معمولا استریپینگ تحت فشار برای عملیات جدید بهره‌برداری از طلا به خاطر مشکلات و خطرات آتش‌سوزی الکل و زمان طولانی مورد نیاز در روش زادرای اتمسفری انتخاب می‌شود. با این وجود در الوشن گلیکول هزینه تجهیزات فشار اتمسفری پایین است و عملیات آن ایمن می‌باشد. در بعضی از مکان‌ها ضرورت برای اخذ اختیارات یا مجوزهای خاص می‌تواند با استفاده از سیستم کم فشار بر طرف شود. مهم‌ترین اشکال استفاده از گلیکول قیمت آن است که تقریبا دو برابر الکل است، استریپینگ گلیکول جایگزین مناسبی برای عملیات با بودجه سرمایه گذاری پایین است. در صورتی که سریع‌ترین روش الوشن نباشد و حداقل هزینه اولیه جنبه مهمی برای طراحی عملیات بهره‌برداری طلا به روش‌های کربن در پالپ، کربن در لیچ یا کربن در ستون باشد آنگاه استریپینگ گلیکول ممکن است مورد توجه قرار گیرد. همچنین الوشن گلیکول باید به عنوان محلول برای بر طرف نمودن گلوگاه‌های مدار الوشن زادرا بررسی شود. در شکل ۱-۲ مدار الوشن گلیکول آورده شده است [۱۰].



شکل ۱-۲: فلوشیت الوشن گلیکول [۱۰].

## ۲-۳- واحدهای الوشن در کارخانه‌های ایران

در حال حاضر چندین کارخانه فرآوری طلا در ایران وجود دارد که برای استحصال طلا از کانسنگ آن از روش سیانیداسیون استفاده می‌کند. در این کارخانه‌ها از روش جذب سطحی طلا بر روی کربن فعال استفاده می‌شود که برای بازیابی طلا از سطح کربن فعال استفاده می‌شود. در ادامه شرح فرایندهای این روش در کارخانه فرآوری طلای موته توضیح داده می‌شود.

## ۲-۳-۱- کارخانه فرآوری طلای موته

### ۲-۳-۱-۱- واحد سیانیداسیون

چنانچه کانسنگ استخراجی از معدن از نوع اکسیدی باشد، خوراک این واحد به طور مستقیم از سرریز هیدروسیکلون واحد آسیا و بدون استفاده از واحد فلوتاسیون تامین می‌شود. در صورت استفاده از کانسنگ سولفیدی، خوراک واحد سیانیداسیون را باطله کم اکسید و کنسانتره سولفیدی سلول‌های فلوتاسیون تشکیل خواهد داد که کنسانتره سولفیدی پس از خردایش مجدد تا زیر ۱۰ میکرون وارد واحد سیانیداسیون می‌شود. در این واحد ۶ عدد تانک لیچینگ به صورت سری قرار گرفته‌اند. همزمان با ورود پالپ دریافتی از واحد قبلی با ۵۰ درصد جامد به تانک اول، سیانید و آهک نیز اضافه می‌گردد. سیانید با غلظت حدود ۵۰۰ ppm جهت انحلال طلا و آهک برای تنظیم pH در بالای ۱۰/۵ مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از دمش هوا و به هم زدن پالپ، عمل انحلال طلا از کانسنگ و تشکیل کمپلکس سیانید طلا در تانک‌های اول و دوم انجام می‌گیرد. پس از تشکیل کمپلکس سیانیدی طلا، ذرات کربن فعال موجود در تانک‌ها از تانک آخر وارد سیستم می‌شود، کمپلکس مذکور را در خود جذب می‌نماید. ذرات کربن حامل طلا که به کربن باردار معروف هستند از تانک اول خارج شده و به واحد شستشو و الوشن طلا هدایت می‌شود. مدت زمان چرخه لیچینگ در حدود ۲۹ ساعت می‌باشد. با توجه به عیار خوراک ورودی، هر تن کربن در تانک‌های لیچینگ باید حداقل ۱۳-۱۲ کیلوگرم طلا جذب نماید تا بتوان طلای آن را به سهولت در بخش الوشن طلا، دوباره آزاد نمود. بدین منظور هر ۴۸ ساعت یک مرتبه از تانک اول لیچینگ یک تن کربن گرفته می‌شود. پالپ بدون طلا نیز از تانک آخر لیچینگ (تانک شماره ۶) خارج شده و به سد باطله ارسال می‌گردد. مشخصات فنی و عملیاتی تانک‌های لیچینگ در جدول ۲-۲ آورده شده است [۱۲].

### ۲-۳-۱-۲- سرندهای جدایش کربن باردار

سرندهای با ابعاد چشمه‌های ۰/۶۵ میلیمتر در ابتدای خط لیچینگ نصب گردیده که کربن باردار خروجی از تانک‌های اول و دوم لیچینگ وارد آن می‌شود. کربن باردار که بر روی سرنده باقی می‌ماند به واحد الوشن و

شستشوی طلا منتقل می‌گردد. پالپ عبور کرده از سرد، دوباره به داخل تانک‌های لیچینگ برگشت داده می‌شود [۱۲].

جدول ۲-۲: مشخصات فنی و عملیاتی تانک‌های لیچینگ [۱۲]

پالپ /محلول سیانید و آهک	خوراک ورودی		کف مسطح / روباز	نوع تانک ها	
فولادی	جنس		۶	تعداد تانکها	
۲۴۲ m <sup>۲</sup>	اسمی	حجم	۶/۶۱ m	قطر	ابعاد
۲۲۵m <sup>۲</sup>	عملیاتی		۷/۰۶ m	ارتفاع	
دمای محیط	دمای پالپ ورودی		۱/۴	وزن مخصوص پالپ ورودی	
۴/۸h	زمان ماند مواد		۴۵/۵ m <sup>۲</sup> /h	دبی حجمی پالپ	
۴۰ %	درصد جامد خوراک ورودی		۱۰/۵	pH لیچینگ	
۰/۱ %	تانک اول	غلظت سیانید	۰/۸۵Kg/t	مقدار مصرف سیانید	
۰/۰۵ %	تانک آخر				
۵ppm	غلظت اکسیژن		۱۵g/l	غلظت کربن در تانک ها	
۱/۱Kg/t	مقدار مصرف آهک (بر اساس طراحی)		۱۵-۲۰% (متوسط ۱۸%)	غلظت وزنی آهک	
۱t	مقدار کربن بار دار خروجی در هر ۴۸ ساعت		۸۰-۸۵ %	مقدار بازیابی طلا	
۲۸/۹rpm	سرعت همزن		۲۷۵۰mm	قطر همزن	
فولادی با پوشش پلاستیکی	جنس همزن		۱۵kw	توان مصرفی همزن	

### ۲-۳-۱-۳- واحد شستشوی کربن و جداسازی طلا

کربن باردار تانک اول لیچینگ پس از شسته شدن با اسید هیدرولیک و آب در تانک اسید شویی، وارد ستون الوشن می‌شود. در این ستون، طلا سطح کربن را رها کرده و به داخل محلول سیانید وارد می‌شود و این محلول که محلول باردار نامیده می‌شود به واحد الکترووینینگ انتقال می‌یابد. بنابراین تجهیزات عمده موجود در این واحد شامل تانک اسید شویی، ستون الوشن، تانک الوشن، سلول‌های الکترووینینگ و مبدل‌های حرارتی می‌باشد [۱۲].

### ۲-۳-۱-۴- تانک اسید شویی

کربن باردار تانک اول لیچینگ به منظور حذف ناخالصی (مواد رسی و کربناته) در یک تانک، توسط اسید هیدرولیک ۱۰ درصد شسته می‌شود. پس از آن از آب برای شستشوی اسید باقیمانده در سطح کربن استفاده می‌گردد. کربن شسته شده با استفاده از نیروی ثقلی به داخل ستون شستشو وارد می‌شود. مشخصات تانک اسیدشویی در جدول ۲-۳ نشان داده شده است [۱۲].

جدول ۲-۳: مشخصات تانک اسیدشویی [۱۲]

نوع تانک	کف مخروطی / در پوشش دار	جنس	فولادی با لاینر پلاستیکی
قطر	۱/۷m	ارتفاع	۲/۲m
حجم عملیاتی	۳m <sup>۳</sup>	حجم اسمی	۵m <sup>۳</sup>
دبی حجمی جریان	۵/۵۶ m <sup>۳</sup> /h	زمان ماند کربن باردار	۳۳min
غلظت اسید کلریدریک	۱۰٪	دمای محتویات تانک	دمای محیط

### ۲-۳-۱-۵- ستون الوشن

کربن باردار که ناخالصی‌های آن حذف گردیده از قسمت بالا به ستون الوشن وارد می‌شود. از قسمت پایین ستون، محلول حاوی آب، سیانید سدیم با غلظت ۰/۵ درصد و سود سوزآور با غلظت ۲ درصد وارد می‌گردد. به



منظور الوشن مطلوب، دمای محلول مذکور توسط مبدل‌های حرارتی تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد افزایش داده می‌شود. با عبور این محلول (الوئنت) از داخل کربن فعال، طلای جذب شده در کربن به داخل محلول سیانید منتقل می‌گردد. محلول حاوی طلا از قسمت بالای ستون خارج شده و به داخل سلول‌های الکترووینینگ ارسال می‌شود. کربن بی‌بار و عاری از طلا نیز از قسمت زیرین ستون خارج شده و جهت احیا و فعال‌سازی مجدد به داخل کوره فعال‌سازی کربن منتقل می‌گردد. مشخصات ستون الوشن در جدول ۲-۴ آورده شده است [۱۲].

جدول ۲-۴: مشخصات فنی و عملیاتی ستون الوشن [۱۲]

۵/۲۸ m	ارتفاع ستون		۰/۸۲۶ m	قطر ستون	
۶mm	ضخامت جداره ستون		۲/۷۲m <sup>۲</sup>	حجم ستون	
۳۰۰kpa	طراحی	فشار محلول شستشو	۱۲۰°C	طراحی	دمای محلول
۲۵۰kpa	عملیاتی		۱۱۰°C	عملیاتی	شستشو
۲٪	غلظت سود (NaOH)		۰/۵٪	غلظت سیانید سدیم (NaCN)	

### ۲-۳-۱-۶- سلول‌های الکترووینینگ

محلول باردار که از بالای ستون الوشن خارج شده، به سلول الکترووینینگ وارد می‌شود. در این سلول به دلیل وجود جریان الکتروسیسته مستقیم و قطب‌های مثبت و منفی، طلا در قطب منفی که جنس آن از پشم فولادی است جذب می‌شود. در قطب مثبت که از جنس صفحات مشبک فولاد ضد زنگ می‌باشد مقدار کمی گاز آمونیاک آزاد می‌گردد. پس از اینکه محلول در سلول الکترووینینگ طلای خود را از دست داد، محلول بی‌بار وارد تانک الوشن شده و با سیانید سدیم و هیدروکسید سدیم تازه مخلوط گردیده و دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولتاژ مورد نیاز در سلول الکترووینینگ ۳/۵ الی ۵ ولت و شدت جریان بین ۴۵۰ تا ۶۰۰ آمپر می‌باشد. در هر ۴۸ ساعت حدود ۲ تن کربن مورد الوشن قرار گرفته و طلای آن جذب قطب منفی می‌گردد. پس از مدت زمان مذکور قطب‌ها به داخل کوره کلسیناسیون انتقال می‌یابد. مشخصات فنی و عملیاتی سلول الکترووینینگ در جدول ۲-۵ آورده شده است [۱۲].

جدول ۲-۵: مشخصات فنی و عملیاتی سلول الکترووینینگ [۱۲]

محلول حاوی طلای خروجی از ستون شستشو	خوراک ورودی	AGA - D.۰۰۶	مدل سلول	
۸۶°C	دمای محلول ورودی	۵ m <sup>3</sup> /h	دبی محلول ورودی	
۲۱۶SS& Cu Bas Bars	جنس آند (قطب مثبت)	پشم فولادی	جنس کاتد (قطب منفی)	
۱۰	تعداد آند	۹	تعداد کاتد	
۰/۵-۰/۷۵ kg	مقدار پشم فولادی مصرفی در هر کاتد	۷۰٪	درصد بازیابی طلا در هر مرحله	
۴۵۰-۶۰۰ (A)	شدت جریان سلول	۳/۵-۵ (V)	ولتاژ مصرفی سلول	
۸۵۰ Kg	وزن کلی سلول	۱/۵m	طول	ابعاد کلی سلول
		۰/۶۴m	عرض	
		۰/۶m	ارتفاع	

### ۲-۳-۱-۷- تانک الوشن

محلول بی‌بار خروجی از سلول الکترووینینگ به همراه سیانید سدیم، سود سوز آور و آب وارد این تانک می‌شود. در این تانک سیانید سدیم، سود سوز آور و آب، به اندازه‌ای اضافه می‌شوند که محلول حاصل از اختلاط آنها با محلول برگشتی از الکترووینینگ حاوی ۰/۵ درصد NaCN و ۲ درصد NaOH باشد. محلول بدست آمده، به منظور تامین دمای الوشن از مبدل حرارتی عبور داده شده و دمای آن تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد افزایش داده می‌شود. محلول با دمای مذکور وارد ستون الوشن می‌گردد. در بین تانک الوشن و ستون الوشن مبدل حرارتی قرار گرفته و دمای محلول الوشن ورودی به آن از ۷۵ درجه سانتیگراد تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد [۱۲].

### ۲-۳-۱-۸- واحد فعال‌سازی کربن

دستگاه اصلی موجود در این واحد کوره فعال کننده کربن است. کربن بی‌بار یا عاری از طلای حاصل از ستون جدایش، جهت استفاده مجدد در تانک‌های لیچینگ وارد مخزن کوره فعال کننده کربن می‌شود. پس از روشن شدن کوره، کربن‌ها به صورت غیر مستقیم در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد و در مدت زمان ۲۰ ساعت فعال شده و دوباره وارد چرخه لیچینگ می‌گردد [۱۲].

### ۲-۳-۲- کارخانه فرآوری طلای پویازر کان آق‌دره

#### ۲-۳-۲-۱- واحد شستشوی کربن باردار

این واحد از دو بخش شامل بخش شستشو و بخش احیای کربن تشکیل شده است. بخش شستشو شامل تجهیزات عمده، نظیر سرندهای بازیابی کربن، ستون اسید شویی، ستون شستشو، مخازن اسید و سیانید سدیم و بخش دیگر این واحد شامل کوره احیای کربن<sup>۱</sup> و تجهیزات جانبی آن است که در این بخش کربن دوباره فعال شده و وارد مدار لیچ- جذب می‌شود [۱۳]. ابتدا پالپ حاوی کربن باردار به وسیله پمپ از تانک ۱ لیچ- جذب به سرندهای بازیابی کربن وارد می‌شود. طول سرندها ۳ متر و عرض آن ۱/۵ متر می‌باشد. سرندها از نوع ارتعاشی بوده و به صورت پیوسته کار می‌کند. مواد روی سرندها که حاوی کربن باردار است وارد ستون اسیدشویی شده و مواد زیر سرندها که شامل پالپ است، به تانک ۱ برگشت داده می‌شود. در جدول ۲-۶ مشخصات فنی و عملیاتی سرندهای بازیابی کربن فعال ارائه شده است.

جدول ۲-۶: مشخصات فنی و عملیاتی سرندهای بازیابی کربن فعال [۱۳]

طول سرندها	۳ متر	عرض سرندها	۱/۵ متر
جنس توری‌های سرندها	پلاستیکی	نوع سرندها	ارتعاشی
نوع سیستم	پیوسته	سیستم کنترلی	PLC

<sup>1</sup> Carbon Regeneration Klin

### ۲-۳-۲-۲- ستون اسید شویی<sup>۱</sup>

کربن‌های باردار باقیمانده بر روی سرنند بازیابی کربن جهت حذف ناخالصی‌ها، وارد ستون اسیدشویی می‌شود. حجم این ستون ۱۲ متر مکعب بوده، جنس آن از فولاد ضد زنگ می‌باشد که بخش داخلی آن توسط روکش‌های ضد اسید پوشیده شده است. در هر مرحله ۶ تن کربن را می‌توان به درون این ستون انتقال داد که این انتقال حدود ۲ ساعت به طول می‌انجامد. پس از پر شدن ستون ابتدا کربن‌ها توسط آب شسته می‌شوند تا ذرات جامد همراه آن کاملاً شسته شوند. سپس کربن‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تماس با اسید هیدرولیک رقیق (۳۰ درصد) قرار داده می‌شوند تا کربنات کلسیم، هیدروکسیدهای فلزی و نمک‌های بازی راسب شده در سطح کربن فعال، شسته شوند.

پس از اتمام مرحله فوق، کربن‌های عاری از رسوبات مختلف را به داخل ستون جدایش<sup>۲</sup> انتقال می‌دهند. در جدول ۷-۲ نیز مشخصات فنی و عملیاتی ستون اسیدشویی ارائه شده است [۱۴].

جدول ۷-۲: مشخصات فنی و عملیاتی ستون اسیدشویی واحد بازیابی کربن باردار [۱۴]

فولادی	جنس	استوانه‌ای	شکل	ستون اسید شویی
		PLC	سیستم کنترلی	
فولادی	جنس	استوانه‌ای	شکل	ستون شستشو
مبدل حرارتی	وسیله تامین حرارت	۱۳۰ °C	دمای شستشو	
روغن	ماده مورد استفاده در مبدل حرارتی			

### ۲-۳-۲-۳- ستون جدایش

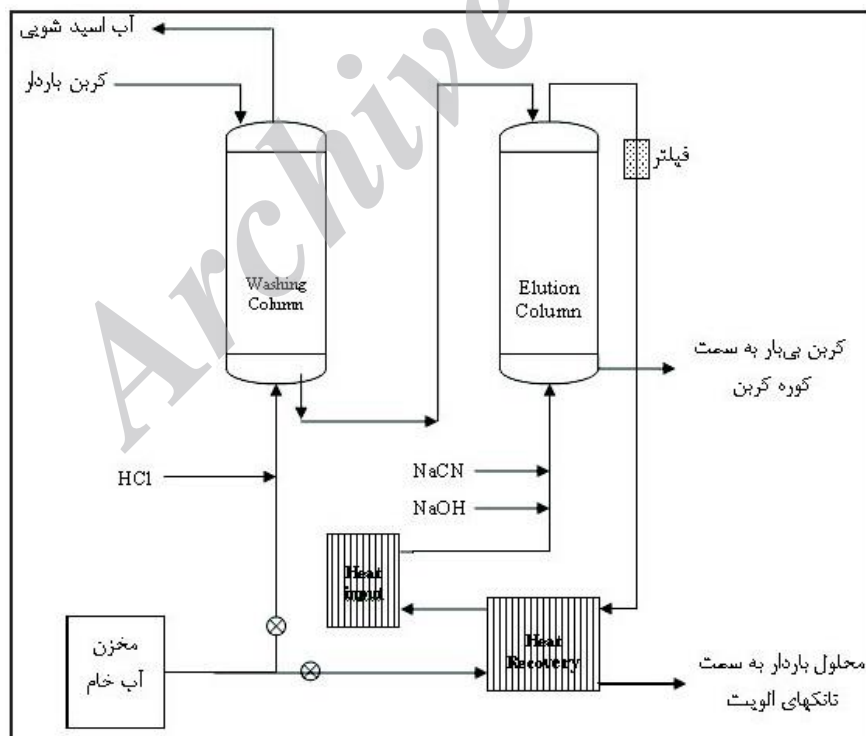
پس از انتقال کامل کربن به داخل ستون جدایش، محلولی با ۲ درصد سود سوز آور (NaOH) و ۲ درصد سیانید سدیم (NaCN) تهیه می‌شود. این محلول از پایین به داخل ستون جدایش تزریق می‌شود و پس از خروج از

<sup>1</sup> Acid Washing Column

<sup>2</sup> Elution Column

قسمت فوقانی به داخل مبدل‌های حرارتی (که توسط بویلر روغن کار می‌کند) هدایت شده و دوباره از زیر ستون به داخل نُن تزریق می‌شود. چرخه فوق تا زمانی ادامه می‌یابد که دمای محلول به ۱۲۰ تا ۱۳۰ درجه سانتیگراد برسد. زیرا ثابت دی الکتریک آب با افزایش دما کاهش می‌یابد و در نتیجه نیروهای الکتروستاتیکی بین کربن فعال و کمپلکس سیانید طلا، نقره و جیوه کاهش می‌یابد و در نتیجه کمپلکس‌های جذب شده، توسط کربن فعال به داخل محلول بر می‌گردد. اگرچه کمپلکس سیانیدی طلا، نقره و جیوه به شدت توسط کربن فعال جذب شده است اما هر واکنش جذب یک پدیده تعادلی است و می‌تواند به حالت اول بر گردد که در فرایند جدایش این فلزات از کربن، این عمل توسط افزایش درجه حرارت محلول انجام می‌گیرد [۱۵].

محلول بارار بدست آمده از ستون جدایش ابتدا از درون فیلترهایی عبور داده می‌شود تا آشغال‌های موجود در آن گرفته شوند و سپس به قسمت خنک کننده‌ای انتقال یافته و پس از خنک شدن تا دمای ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد به داخل دو مخزن با حجم ۱۰۰ متر مکعب انتقال داده می‌شود. در شکل ۲-۲ فلوشیت قسمت اسیدشویی و جدایش آورده شده است [۱۳].



شکل ۲-۲: شمای کلی مراحل اسیدشویی و بازیابی طلا از سطح کربن [۱۳].

## ۲-۳-۲-۴- کوره فعال‌سازی کربن

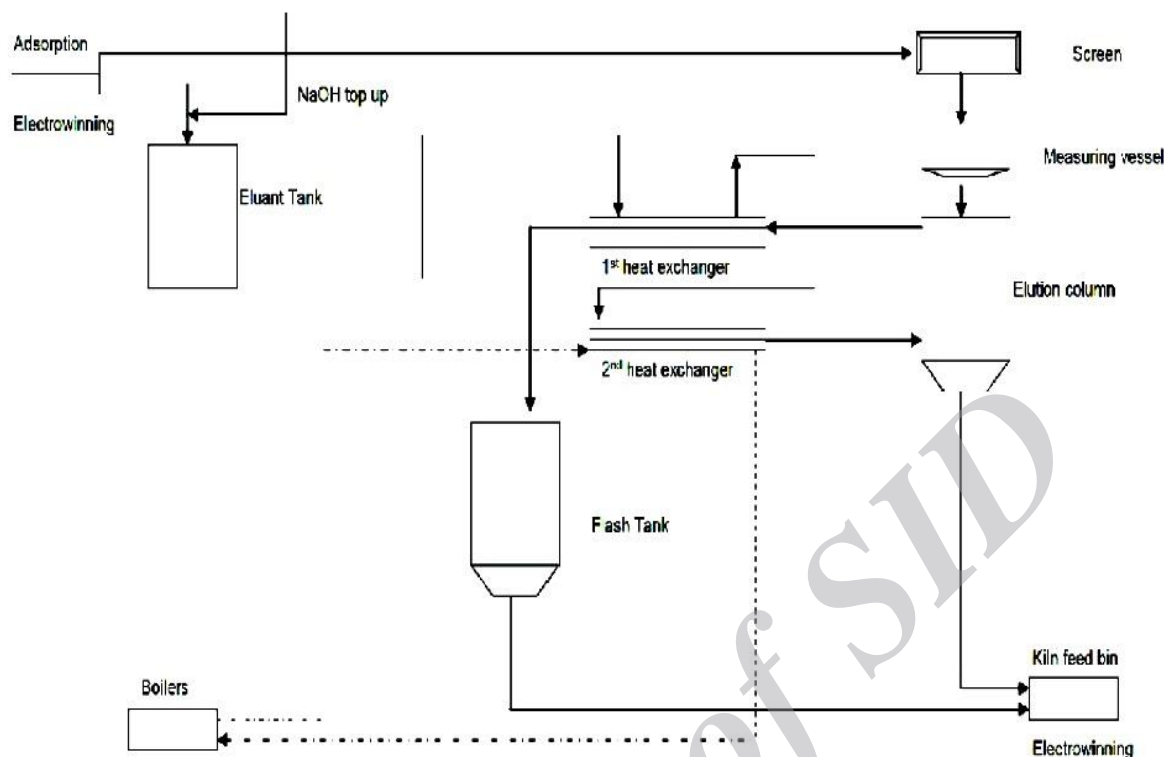
کربن بی‌بار که در مرحله سیستم جدایش تولید شده، برای فعال شدن و استفاده مجدد، ابتدا وارد مخزن اولیه کوره فعال‌سازی می‌شود و بر روی یک سرنده با هوای گرم تماس داده می‌شود، سپس از لوله‌ای که داخل پوسته کوره قرار دارد سرازیر می‌شود و به طور غیر مستقیم و در غیاب هوا حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد حرارت می‌بیند. برای جلوگیری از خاکستر شدن کربن در هنگام خروج از کوره، بر روی آن قطرات آب پاشیده می‌شود. سپس کربن‌ها سرنده می‌شوند تا ذرات خرد شده جدا شده و از چرخه خارج می‌شوند و کربن‌های فعال شده در یک تانک ذخیره می‌شوند تا به آخرین تانک لیچ- جذب اضافه شوند. وسیله تأمین دما در کوره احیای کربن، ۲ عدد مشعل با سوخت گازوییل است. در هر مرتبه عمل فعال‌سازی که ۱۲ ساعت طول می‌کشد حدود ۶ تن کربن فعال می‌شود. بنابراین نرخ احیای کربن ۵۰۰ کیلوگرم بر ساعت می‌باشد. اگر سطح یک قطعه زغال ۴-۲ متر مربع بر گرم باشد ممکن است در اثر فرایند فعال‌سازی حرارتی سطح آن به ۱۰۰۰ متر مربع بر گرم افزایش پیدا کند [۱۳].

## ۲-۳-۳- فرایند الوشن و الکترووینینگ در کارخانه Tau Lekoa

### ۲-۳-۳-۱- مدار الوشن

کارخانه Tau Lekoa در آفریقای جنوبی قرار دارد که در شکل ۲-۳ فلوشیت مدار الوشن این کارخانه نشان داده شده است. عملیات در ستون الوشن با محلول NaOH ۲/۵٪ و در دمای  $135^{\circ}\text{C}$  - ۱۲۰ انجام می‌شود. طلا از کربن به محلول استریپ می‌شود. یکک الوشن هنگامی که ۶ تن کربن در مخزن بارگیری شود، شروع می‌شود [۱۶].

محلول سود در درون ستون الوشن چرخانده می‌شود. الوئنت از ته ستون وارد می‌شود و از بالای آن خارج می‌شود. این محلول باردار به الکترووینینگ منتقل می‌شود و در آن از درون سلول‌ها عبور داده می‌شود. الوئنت به تانک‌های الوئنت پمپ می‌شود و از آنجا به ستون‌های الوشن بر گردانده می‌شود. این فرایند کند بوده و زمان ماند آن برای یک الوشن رضایت بخش ۱۷ تا ۲۰ ساعت است [۱۶].



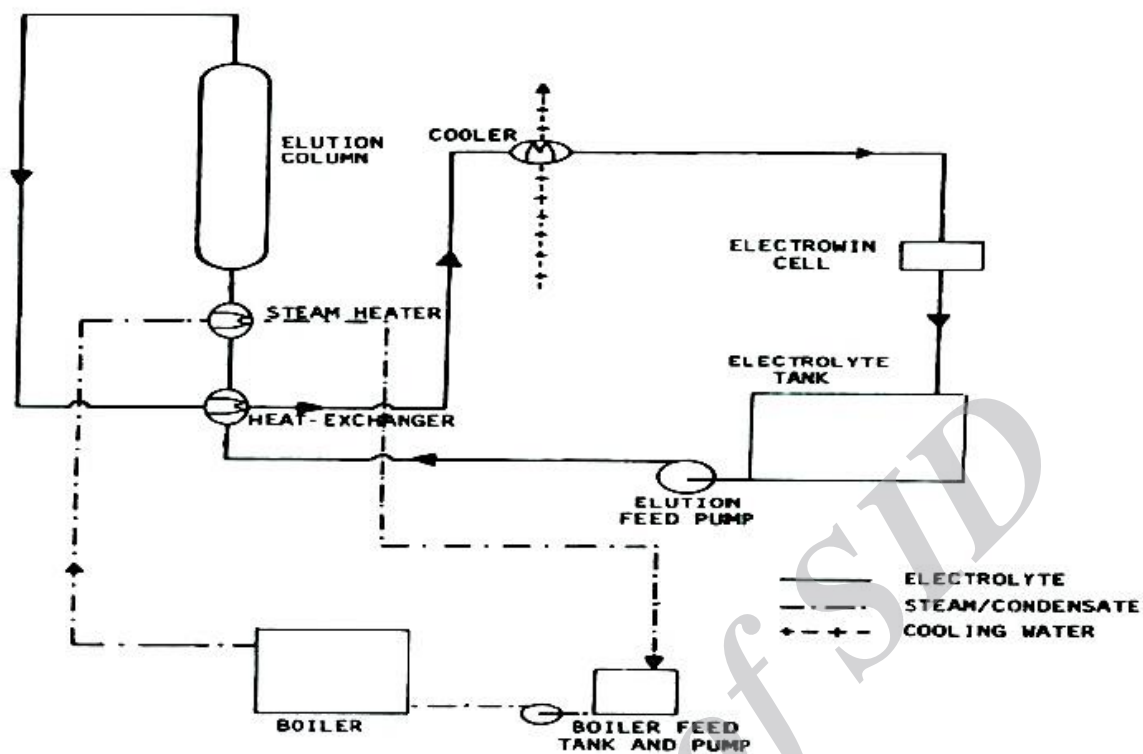
شکل ۲-۳: مدار الوشن کارخانه Tau Lekoa در آفریقای جنوبی [۱۶].

### ۲-۳-۳-۲- شرح فرایند زادرا

کارخانه Lau Lekoa از فرایند زادرا استفاده می‌کند. الوئنت به طور پیوسته به ترتیب از ستون و سلول الکترووینینگ عبور داده می‌شود. محلول سود- سیانید به طور معمولی  $0.5\% \text{ NaCN}$  و  $0.2\% \text{ NaOH}$  به ستون الوشن پمپ می‌شود و با محلول خروجی از ستون پیش گرم می‌شود. پس از استریپینگ طلا از کربن، محلول در مبدل حرارتی ورودی کمی خنک می‌شود و سپس در مبدل حرارتی خنک کننده تا زیر دمای جوش خنک می‌شود. سپس طلا توسط الکترووینینگ از محلول گرفته می‌شود و محلول به ستون الوشن بر گردانده می‌شود [۱۶].

پر کردن آلاینده‌ها ممکن است مانع از ترک کردن قسمتی یا همه الوئنت شود و به همین دلیل با محلول جدید

جایگزین می‌شود. فلوشیت ساده‌ای از فرایند در شکل ۲-۴ آورده شده است [۱۶].



شکل ۲-۴: فلوشیت الوشن زادرا در کارخانه Tau Lekoa در آفریقای جنوبی [۱۶].

Archive of SID



# فصل سوم

## تئوری الوشن طلا از کربن فعال

### ۳-۱-۱- فاکتورهای موثر در الوشن طلا

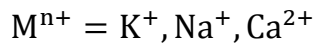
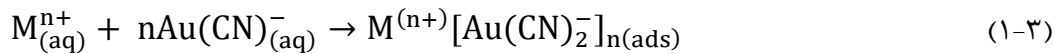
کربن فعال برای جذب سطحی طلائی که توسط محلول سیانیدی لیچ شده است، استفاده می‌شود. سپس طلا از این کربن باردار شده به وسیله الوشن برای تبدیل به الوئیت غلیظ جدا می‌شود که سپس برای بازیابی طلا توسط الکترووینینگ عمل‌آوری می‌شود. به طور کلی الوشن، معکوس فرایند جذب است. بعضی از فلزات پایه که در کانسنگ موجود می‌باشند نیز در فرایند CIP توسط سیانید لیچ می‌شوند و بر روی کربن جذب می‌شوند [۱۶].

بعضی از فاکتورهایی که در الوشن موثراند، دما، نرخ جریان، طلا در الوئنت، NaOH آزاد، شستشوی کربن باردار با اسید رقیق قبل از الوشن و تجزیه شیمیایی سیانید در طول الوشن برای تاثیر گذاری بر نرخ الوشن در شرایط معین شناخته شده است. الوشن یک فرایند کند است که برای انجام نیاز به زمانی از ۸ تا ۹۶ ساعت در دماهای بالا می‌باشد. سرعت پایین اصولاً به خاطر نفوذ کند یون سیانید طلا در داخل حفرات ریز ذرات نسبتاً بزرگ کربن فعال است [۱۶].

### ۳-۱-۱- تاثیر دما بر الوشن طلا

معادله جذب- واجذب سیانید طلا از کربن توسط ایزوترم‌های خطی بیان شده‌اند. کار مطالعاتی (Adams ۱۹۹۰) نشان داد که فرایند جداسازی از لحاظ ترمودینامیکی برگشت‌پذیر است. بنابراین جنبه فیزیکی و شیمیایی که الوشن را به جلو می‌برد از جذب و بالعکس جلوگیری می‌کند [۱۶].

برای درک مکانیزم الوشن شایسته است که شرایط مناسب برای جذب سطحی شناخته شود و سپس دلایل اینکه چرا این شرایط مورد هدف می‌باشند، شناخته شود. مکانیزم کامل (دقیق) جذب سطحی طلا یک موضوع قابل بحث است. اگر چه عمدتاً پذیرفته شده است که جذب سطحی (فلز) یونها از محلول لیچ به وسیله کربن شامل واکنش‌های کند نیست. فرضیه‌های آهسته مربوط به انتقال جرم در فازهای محلول و جامد است. قابل ذکر است نرخ الوشن از فرایندهای مشابه متاثر باشد. جذب سطحی طلا در نتیجه تشکیل آنیون سیانیدی فلزی می‌باشد [۱۶].



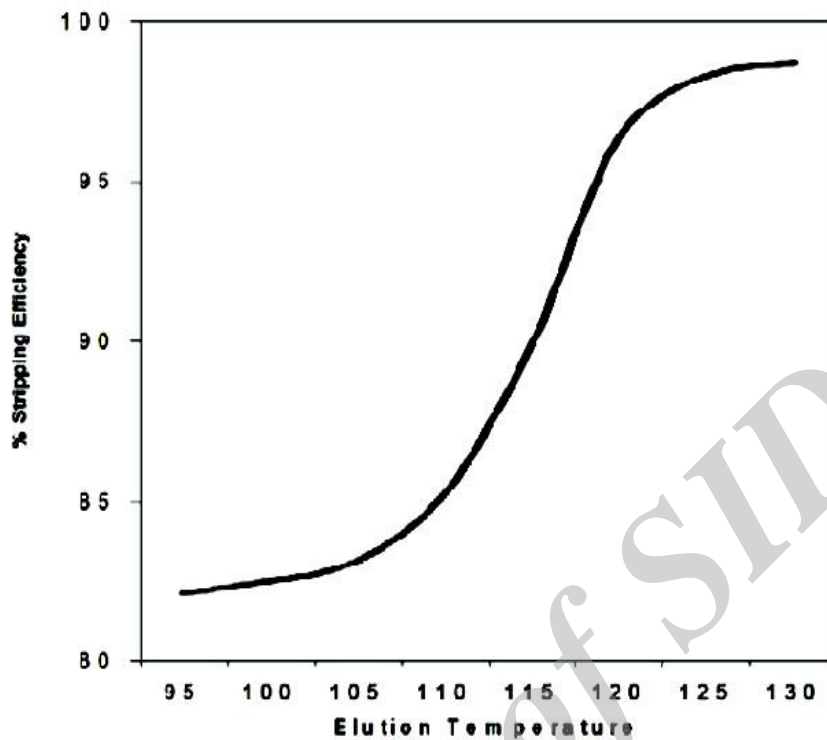
درجه جذب سطحی طلا بر روی کربن به شدت به طبیعت و غلظت کاتیون فلز آلكالی موجود در محیط جذب بستگی دارد. کمپلکس‌های فلز طلائی آلكالی تک ظرفیتی نسبت به کمپلکس‌های فلز طلائی دو ظرفیتی به شدت جذب می‌شوند. بنابراین اجزای برگزیده شده برای کمپلکس سیانیدی در الوشن به شکل‌های  $Na^+$  یا  $K^+$  می‌باشند [۱۶].

حضور کربنات کلسیم فقط تاثیر غیر فعال کنندگی بر روی جذب سطحی دارد و تاثیر بر ظرفیت تعادلی کربن برای جذب طلا ندارد. بنابراین اثر غیر فعال بودن کاملا فیزیکی است. جذب سطحی به شدت به مقدار pH محیط جذب بستگی دارد، مقدار طلائی جذب شده در محدوده ۴ تا ۷ تقریبا دو برابر مقداری است که در محدوده ۸ تا ۱۲ جذب شده است. باید توجه داشت که خاصیت انتخابی کربن برای طلا به نظر می‌رسد که با افزایش pH و غلظت سیانید آزاد افزایش می‌یابد. این شاید به خاطر این است که در  $pH > 10$  اکثر کاتیون‌های فلزات به صورت هیدروکسید فلزی رسوب می‌کنند [۱۶].

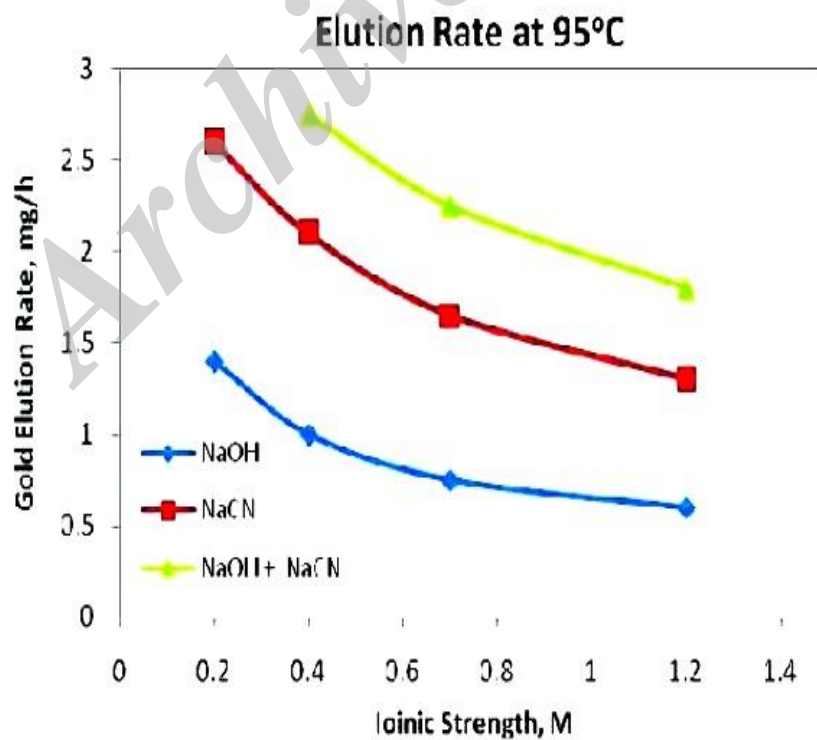
ایجاد شرایط بر عکس شرایط فیزیکی جذب سطحی، شرایط تقریبا ایده‌آلی برای جداسازی طلا از کربن است. Van Deventer و همکارانش (۱۹۹۳) به طور خلاصه پارامترهایی که بر روی نرخ الوشن تاثیر گذارند را بیان کردند که به ترتیب اهمیت عبارتند از دما، غلظت سیانید و سود و قدرت یونی الوئنیت یا محلول استریپ، کیفیت آب و اسید شویی. Steyn (۲۰۰۳) بیان کرد که رابطه مستقیمی بین دما و بازدهی الوشن وجود دارد و نمودار شکل ۳-۱ را ارائه کرد [۱۶]. همچنین در شکل ۳-۲ نمودار رابطه بین نرخ الوشن طلا و قدرت یونی محیط آورده شده است [۱۰].

در حالی که شاید دما بیشترین تاثیر را در الوشن داشته باشد، پارامترهای موثر بر آن تا حدی به هم وابسته‌اند. بنابراین ارزیابی و تعیین آن تا حدی مشکل است. جذب سطحی طلا بر روی کربن فعال یک واکنش گرماده<sup>۱</sup> است و افزایش در دما، معادله واکنش را به سمت واجذب منتقل می‌کند. دمای بالا نیز سیانید را برای ممانعت از تشکیل AuCN ناگزیر می‌سازد که به سختی جذب می‌شود [۱۶ و ۱۷]. در شکل ۳-۳، نمودار جذب کمپلکس‌های سیانیدی طلا را بر روی کربن فعال در دماهای ۲۲، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد نشان داده شده است [۱۷].

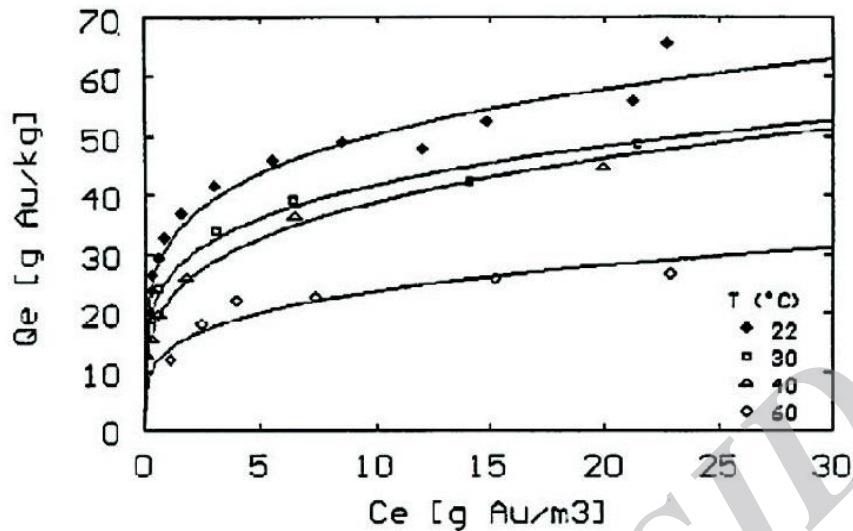
<sup>1</sup> Exothermic reaction



شکل ۳-۱: رابطه دما و بازدهی الوشن [۱۶]

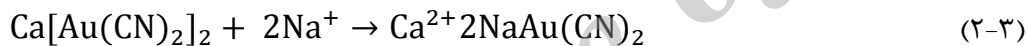


شکل ۳-۲: رابطه نرخ الوشن طلا و قدرت یونی محیطی [۱۰]



شکل ۳-۳: نمودار جذب سطحی سیانید طلا بر روی کربن فعال در دماهای مختلف [۱۷].

اگر دی سیانو آبیوریت کلسیم وجود داشته باشد به خاطر غلظت بالای سدیم در الونت به سیانو آبیوریت سدیم<sup>۲</sup> با قدرت یونی کمتر تبدیل می‌شود [۱۶].



در دماهای پایین‌تر و غلظت‌های پایین طلا (برای دستیابی به مقادیر پایین عیارهای کربن الوشن شده) و یون‌های کلسیم در محلول استریپ تازه، یون‌ها از هم جدا می‌شوند [۱۶].



در سال ۱۹۹۳، Banini تاکید کرد که طلا به صورت جفت یون  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  جذب می‌شود ولی ادامه داد که برای الوشن مناسب این مطلب نیاز است که محلول غلظت کمی از یون‌های تماشاگر<sup>۳</sup> مانند  $\text{K}^+$ ،  $\text{Na}^+$  و  $\text{Ca}^{2+}$  که قدرت یونی کمتر دارند داشته باشند [۱۶].

سیانید آزاد بر جذب سطحی کمپلکس سیانیدی طلا تاثیر زیان‌آوری دارد و در صورتی که دما نیز افزایش یابد این امر مشهودتر می‌شود، از این رو، اغلب برای انجام واکنش و جذب طلا از کربن فعال از غلظت بالای سیانید آزاد استفاده می‌شود. همچنین به نظر می‌رسد که سیانید برای سرعت‌های بالاتر الوشن ضروری است و الوشن طلا از کربن را تکمیل‌تر می‌نماید [۱۶].

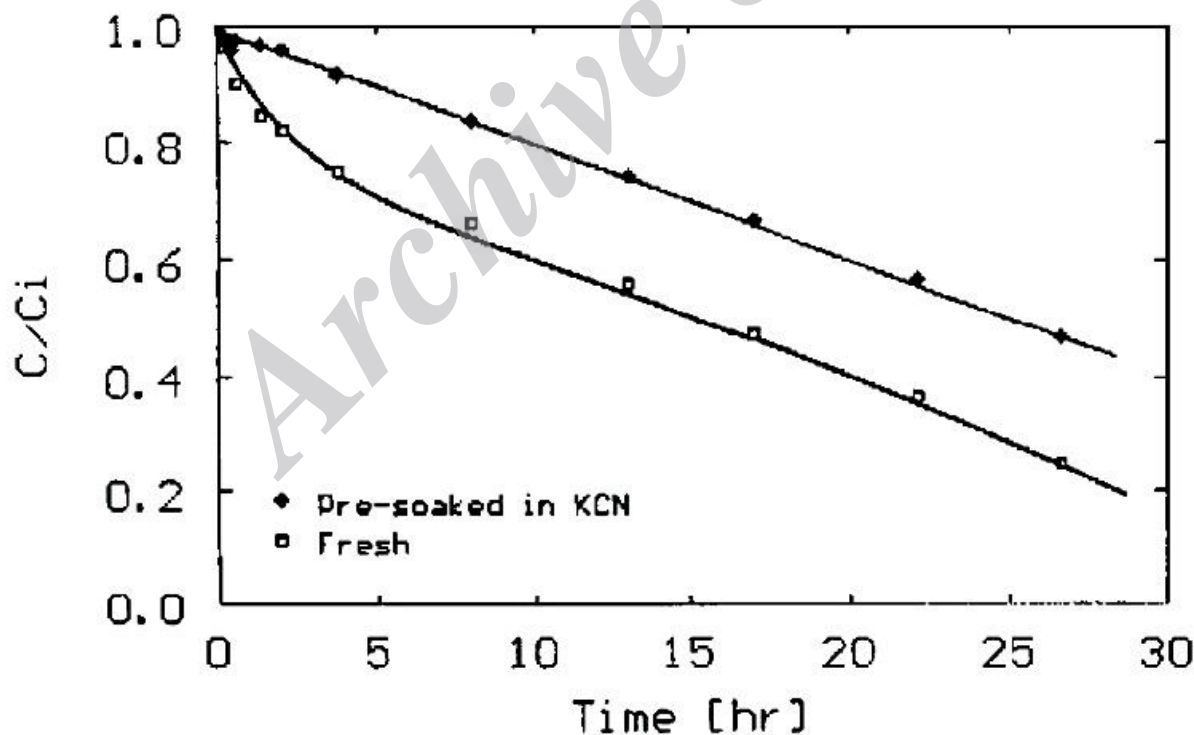
<sup>1</sup> Calcium dicyanoaurate

<sup>2</sup> Sodium aurocyanate

<sup>3</sup> Spectators ions

افزایش غلظت سیانید یا سود تا سطوح خیلی بالا اثرات منفی بر روی نرخ الوشن دارد. قدرت یونی بالای الونتن فواید مثبت این عوامل را خنثی می‌سازد و به همان صورت کاهش عوامل، عدم کارایی تولید را به دنبال خواهد داشت [۱۶].

در سال ۱۹۸۹ Adams گزارش کرد که اسیدشویی سرد باعث تشکیل جزئی از نوع  $AuCN$  می‌شود. واکنش هنگامی که شستشوی گرم انجام می‌شود به طور قابل توجهی مشهود می‌شود. از دیدگاه الوشن طلا،  $AuCN$  تشکیل شده برای جداسازی خیلی مشکل می‌باشد. در سال ۱۹۹۳ Van Deventer و همکارانش نشان دادند که پس از مرحله اسیدشویی فقط ۵۰٪ طلای بارگیری شده بر روی کربن می‌تواند توسط آب منطقه‌ای واجذب شود. برای تبدیل  $AuCN$  تشکیل شده به شکلی که قابل الوشن باشد خیساندن اولیه به کار برده می‌شود. خیساندن اولیه  $AuCN$  را به  $Au(CN)_2^-$  تبدیل می‌کند که توسط آب منطقه‌ای خوب جدا می‌شود [۱۶]. در شکل ۳-۴ تاثیر خیساندن اولیه کربن فعال در محلول KCN بر روی الوشن طلا نشان داده شده است [۱۷].



شکل ۳-۴: تاثیر خیساندن اولیه کربن فعال در محلول KCN بر روی الوشن طلا [۱۷].



صرف نظر از حذف کلسیم، روی و نیکل که بر الوشن طلا تاثیر گذارند، اسیدشویی نیز بر فرایند جذب سطحی تاثیر دارد. بدون اسیدشویی ممکن است با جذب ضعیفی رو به رو شد و این به خاطر غیر فعال شدن سطح کربن توسط کربنات کلسیم است. اسیدشویی کربنات کلسیم را تخریب می کند و کربن را برای جذب سطحی آزاد می کند. به خاطر مشکل بودن جداسازی AuCN تشکیل شده بعد از مرحله اسیدشویی بعضی از کارخانه های جدید ساخته شده، اسیدشویی را پس از الوشن به کار می برند [۱۶].

### ۳-۲- سینتیک الوشن طلا

تصور واضحی از سینتیک الوشن طلا وجود ندارد. این مطلب پذیرفته شده است که اگر نیروهای محرک ترمودینامیکی برای الوشن وجود داشت، الوشن سیانید طلا از کربن فعال در تعدادی از مراحل انتقال و واکنش های موازی و/ یا متوالی می تواند انجام شود. در سال ۱۹۹۲ Vegter و همکارانش این مراحل را به صورت زیر بیان کردند. انتقال جرم سیانید طلا و کاتیون ها از لایه محلول اطراف ذرات کربن.

انتقال اجزای حل شده در محلول - خلل و فرج پر شده توسط نفوذ در خلل و فرج.

واکنش های جذب/ واجذب و انتقال کاتیون جفت یون سیانید طلای جذب شده در امتداد دیواره های منافذ توسط نفوذ سطحی.

تا کنون مرحله (های) محدود کننده سرعت برای الوشن که Vegter بیان کرده بود مجزا نشده اند. تحقیقات آزمایشگاهی نشان داده است که سرعت الوشن نسبت به تغییرات دما و ترکیبات محلول حساس می باشد. در سال ۱۹۹۲ Vegter کارهای نویسندگان زیادی را که بر روی تاثیر ترکیبات محلول بر سرعت الوشن تحقیق نموده اند را جمع آوری نمود [۱۶].

Van Deventer در سال ۱۹۸۶ نشان داد که سرعت خیلی بالای الوشن سیانید طلا برای کربنی که به مدت ۱۵ ساعت بارگیری اولیه شده است و در آب مقطر و دمای محیط الوشن شده است به طور رضایت بخش با مدل جذب سطحی سرعت کنترل شده انتقال جرم توضیح داده می شود [۱۶].

در سال ۱۹۸۶ Adams و Nicol تاثیر مثبت افزایش غلظت سیانید و تاثیر منفی افزایش قدرت یونی بر روی سرعت الوشن را نشان دادند. آنها همچنین تاثیر نرخ جریان را بر روی الوشن و الکتروپینینگ بررسی نمودند.

اگرچه، Espiel و همکارانش نشان دادند که حذف سیانید از محلول آبی استون سوزش‌آور تاثیر کمی بر روی سرعت و مقدار الوشن دارد. سرعت الوشن وابستگی زیادی به نسبت استون به محلول آبی و دما دارد، ولی واقعا مستقل از غلظت سود سوزآور در محدوده ۱ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر NaOH می‌باشد [۱۶].

### ۳-۳- واکنش‌های الکتروشیمیایی الکترووینینگ طلا

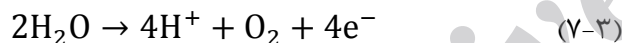
واکنش‌های الکتروشیمیایی که در حین فرایند الکترووینینگ طلا رخ می‌دهند توسط Barbosa و همکارانش (۲۰۰۱) به صورت ذیل توضیح داده شده است [۱۶].



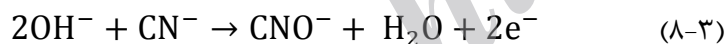
$$E = -0.6 + 0.059 \log[\text{Au}(\text{CN})_2^-] - 0.118 \log[\text{CN}^-]$$



$$E = -0.4 - 0.059 \log[\text{OH}^-]$$



$$E = -0.83 - 0.059 \log[\text{OH}^-]$$



$$E = -0.97 - 0.0295 \log[\text{CN}^-] + 0.0295 \log[\text{CNO}^-] - 0.059 \log[\text{OH}^-]$$

که در آن E، پتانسیل مورد نیاز الکتروود برای رخ دادن واکنش است مقادیر جزء صحیح، فعالیت ترکیبات در محلول است. طلا، که در محلول به شکل سیانید طلا  $[\text{Au}(\text{CN})_2^-]$  وجود دارد، طبق واکنش (۴-۳) به طلای فلزی احیا می‌شود. واکنش (۵-۳) کاهش اکسیژن را در محلول‌های قلیایی که یکی از واکنش‌های اصلی کاتدی رقابت کننده با ته‌نشینی طلا است را نشان می‌دهد، این واکنش بخش قابل توجهی از جریان عبوری موجود برای کاتد را مصرف می‌کند، به طوری که الکتروولیت احتمالا با اکسیژن به خاطر تغییر شکل افتاده در آند اشباع می‌شود.

واکنش (۶-۳) تغییر شکل هیدروژن که در پتانسیل  $V - 1/2$  شروع می‌شود را نشان می‌دهد. تشکیل هیدروژن در شرایط کنترل سینتیکی در تمامی پتانسیل‌های درون بستر است و نسبت بالایی از جریان کاتدی را مصرف می‌کند. واکنش آندی اصلی، اکسیداسیون آب به اکسیژن است که توسط واکنش (۷-۳) توضیح داده شده است. علاوه بر آن





اکسیداسیون آهسته سیانید به سیانیت است که در واکنش (۳-۸) نشان داده شده است. همچنین سیانید می تواند توسط اکسیژن محلول اکسید شود [۱۶].

### ۳-۴- الوشن کربن فعال با افزودن شکر به الونت

#### ۳-۴-۱- خلاصه

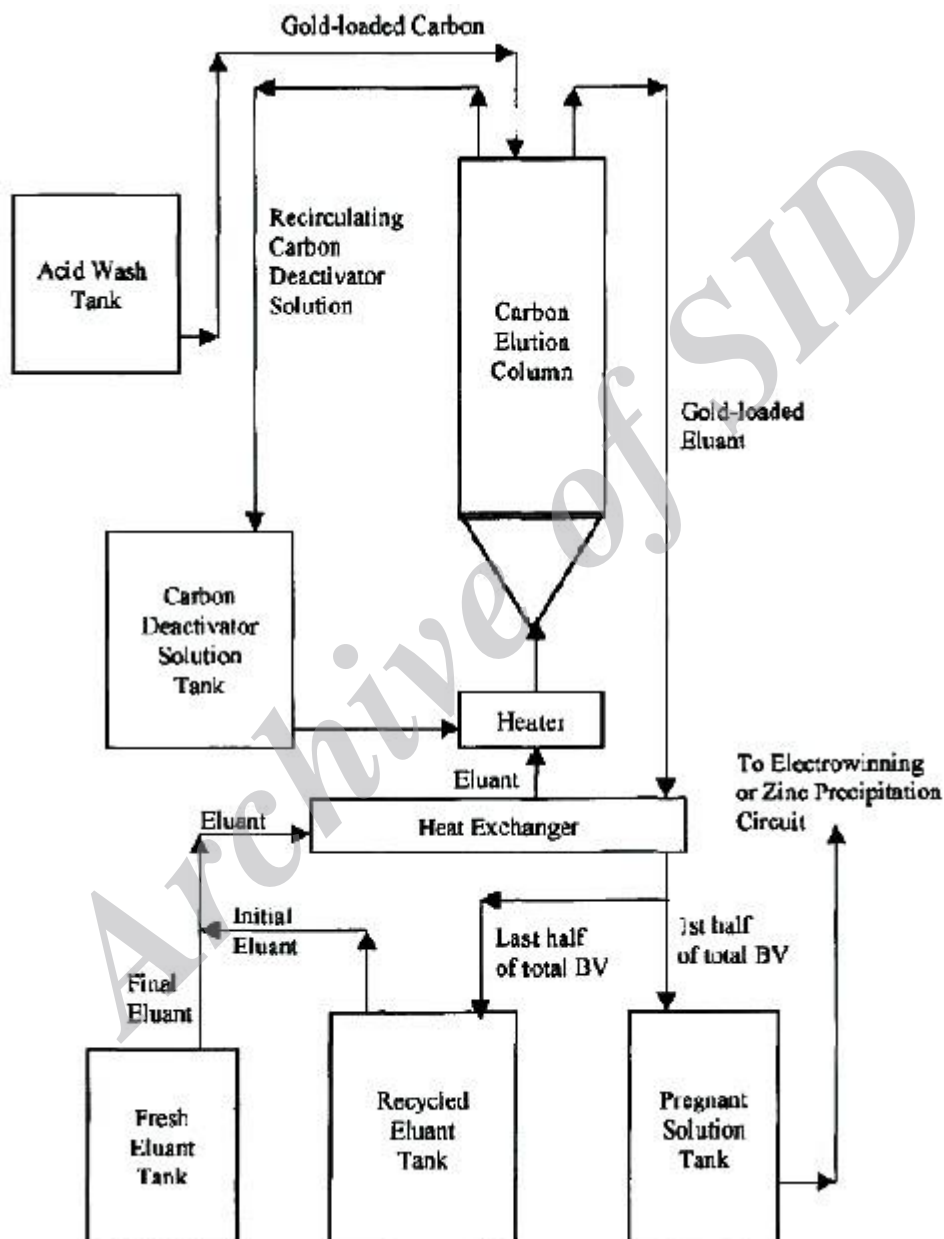
این فرایند در مورد بازیابی فلزات گران بها مانند طلا و نقره از کربن فعال می باشد. در این فرایند الونت حاوی کربوهیدرات، مانند شکر، به کار رفته است. به طور کلی، در این فرایند الونت دو بار از کربن فعال شده عبور داده می شود و در نتیجه حجم الونت کاهش می یابد و به علاوه، اندازه مدار الکترووینینگ یا ترسیب (ته نشین سازی) کاهش می یابد و هنگامی که محلول بی بار الکترووینینگ به فرایند الوشن بر گردانده می شود، بازدهی فرایند افزایش می یابد. به بیانی دیگر، این فرایند نشان می دهد که حضور شکر، الوشن سیانید طلا را از کربن فعال شده افزایش می دهد. با دو بار عبور دادن الونت از کربن تازه می توان بدون کاهش بازدهی الوشن، حجم الونت را تا ۵۰٪ کاهش داد. بازدهی الوشن توسط محلول الکترووینینگ برگشتی، می تواند با ابتدا شستشوی کربن با الونت تازه و سپس با محلول الکترووینینگ برگشتی، افزایش یابد [۹].

#### ۳-۴-۱-۱- اهداف و مزایا

- مواردی از اهداف و مزایای این فرایند در ذیل آورده شده است [۹]:
- فراهم نمودن فرایند الوشن با سرعت و موثر در دمای  $95-98^{\circ}\text{C}$
- فراهم نمودن فرایند الوشنی که راحت تر و ارزان تر از فرایندهای موجود باشد.
- فراهم نمودن فرایند الوشنی که به راحتی با فرایند موجود سازگار باشد.
- فراهم نمودن فرایند الوشنی به دور از خطرات آتش سوزی و استفاده از حلال های آلی
- فراهم نمودن فرایند الوشنی که بهره وری انرژی داشته باشد.
- فراهم نمودن فرایند الوشنی که از اب های معمولی موجود به جای استفاده از آب دی یونیزه استفاده نماید.
- کاهش حجم الونت طلا که در نتیجه آن اندازه مدار الکترووینینگ و ترسیب کاهش یابد.

### ۳-۴-۲- توضیح کلی فرایند

فرایند مورد نظر شامل عملیات فرایند اصلی می‌باشد که در شکل ۳-۵ آورده شده است.



شکل ۳-۵: اجزا و جریان‌های اصلی عملیات الوشن توسط الونت حاوی شکر [۹].



کربن باردار طلا در داخل تانک اسیدشویی ابتدا با اسید و سپس با آب شستشو می‌شود و در همان جا خنثی‌سازی می‌شود. کربن باردار طلا به ستون الوشن کربن منتقل می‌شود و توسط گردش محلول گرم (بی‌تاثیر بر کربن) که از قسمت پایین به ستون وارد می‌شود تا دمای  $95-98^{\circ}\text{C}$  حرارت داده می‌شود. پس از یک ساعت در دمای  $98^{\circ}\text{C}$ ، محلول به تانک محلول بی‌تاثیر بر کربن باز گردانده می‌شود و می‌توان از آن دوباره برای دفعات بعدی استفاده نمود. الونت برگشتی یا تازه قبل از ورود به ستون الوشن کربن در مبدل حرارتی تا دمای  $98^{\circ}\text{C}$  گرم می‌شود. جریان الونت باردار طلا از قسمت بالای تانک خارج شده و قبل از ورود آن به تانک محلول باردار یا تانک الونت برگشتی توسط مبدل حرارتی سرد می‌شود. الونت باردار طلا از تانک محلول باردار به سلول‌های الکترووینینگ یا قسمت ترسیب منتقل می‌شود [۹].

### ۳-۴-۳- عملیات فرایند الوشن

در این قسمت، عملیات مربوط به این فرایند (شکل ۳-۵) توضیح داده می‌شود. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که کربن باردار طلا توسط اسیدشویی در تانک اسیدشویی تا  $\text{pH} = 1$  توسط اسید معدنی  $\text{V/V}$  ۵-۳، مانند اسید نیتریک یا اسید هیدرولیک آماده‌سازی می‌شود. این آماده‌سازی به دلایل ذیل است [۹]:

- حل نمودن رسوبات کربناته و کاهش میزان سیلیس، منیزیم، آلومینیوم و سایر فلزات
  - کاهش میزان مواد زاید رسوب کرده در خلل و فرج کربن
  - حذف موادی مانند ماسه، چوب، پلاستیک و ذرات باقیمانده در کربن باردار طلا
- کربن اسیدشویی توسط آب به بالا برده می‌شود و  $\text{pH}$  آن توسط مقداری هیدروکسید سدیم به ۱۰ رسانده می‌شود و از تانک اسید شویی به ستون الوشن کربن منتقل می‌شود. دمای کربن توسط عبور محلول بی‌تاثیر داغ ( $\text{NaCNw/v}$  ۵-۳) از داخل ستون کربن به  $95-98^{\circ}\text{C}$  رسانده می‌شود. عبور مجدد محلول بی‌تاثیر داغ از داخل کربن باعث موارد ذیل می‌گردد [۹]:

- رسیدن دمای کربن به دمای مورد نظر برای الوشن می‌شود.
- تبدیل طلای جذب شده بر روی کربن به طلای قبال حل می‌شود.
- مینیمم کردن جذب طلا توسط کربن می‌شود.



این مرحله پس از اینکه دمای کربن به دمای  $95-98^{\circ}\text{C}$  برسد به مدت حدود یک ساعت طول می‌کشد و محلول به تانک محلول بی‌تاثیر بر روی کربن منتقل می‌شود. در این حالت اگر سیانید هیدروژن در این محلول وجود داشته باشد، به آن مقداری هیدروکسید سدیم افزوده می‌شود [۹].

الوئنت داغ ( $95-98^{\circ}\text{C}$ ) از تانک الوئنت برگشتی یا تانک الوئنت تازه به مقدار  $1/5$  تا  $2$  برابر حجم بستر در  $1$  ساعت از درون ستون کربن به منظور جداسازی طلا از کربن گذرانده می‌شود. الوئنت تازه با افزودن مقدار  $1 \text{ W/W}$  ساکروز به آب معمولی، به طور مثال آب فرایند یا آب سرریز تیکر آماده‌سازی می‌شود. الوئنت تازه باید حاوی  $1\%$  شکر باشد و مقدار شکر در الوئنت برگشتی ممکن است با افزودن شکر به آن به  $2\%$  برسد [۹].

با فرض اینکه حجم کلی الوئنت استفاده شده در فرایند الوشن  $10$  حجم بستر که  $5$  حجم بستر آن از تانک الوئنت برگشتی و  $5$  تای دیگر از تانک الوئنت تازه باشد. الوئنت باردار طلای اول  $5$  حجم بستر از ستون الوشن طلا خارج شده و به تانک محلول باردار منتقل می‌شود و بقیه  $5$  حجم بستر الوئنت باردار طلا به تانک الوئنت برگشتی وارد می‌شود. این چرخش برای هر عملیات کربن تکرار می‌شود [۹].

در اینجا، طلا می‌تواند از الوئنت باردار طلای درون تانک محلول باردار با استفاده از روش‌های ترسیب روی یا الکتروپینینگ بازیابی شود.

در روش جدید ارائه شده، معمولاً الوئنت برگشتی، در مقابل محلول زادرا، حاوی  $200-100 \text{ ppm}$  طلا می‌باشد. در فرایند زادرا، محلول برگشتی از سلول الکتروپینینگ به طور معمول کمتر از  $200 \text{ ppm}$  طلا دارد. در فرایند زادرا، الوئنت حاوی غلظت بالایی از طلاست که سرعت فرایند الوشن را کاهش می‌دهد به خاطر اینکه شرایط تعادل از بازیابی طلا از کربن ممانعت می‌کند [۹].

شرایط استاندارد به کار رفته در نمونه‌های زیر به عنوان نمونه آورده شده است [۹]:

- نمونه‌های کربن از کربن در لیج تهیه شده‌اند.
- کربن‌ها توسط محلول اسید نیتریک در  $\text{pH} = 1$  شسته شدند و تا  $\text{pH} = 10$  خنثی‌سازی شد.
- دمای الوشن:  $95-98^{\circ}\text{C}$
- کربن به مدت یک ساعت با چرخش محلول  $5\% \text{ NaCN}$  برای کاهش فعالیت آن آماده‌سازی شد.
- جریان الوئنت  $1/5$  حجم بستر در ساعت (در مثال  $1$ ،  $2 \text{ BV/h}$  استفاده شده است).

- مدت زمان الوشن: ۵ ساعت

الوئنت شکر/ کلسیم در این مثال‌ها حاوی آب مقطر یا آب معمولی با آهک می‌باشد. توضیح بیشتر این فرایند در مثال‌های زیر آورده شده است.

### ۳-۴-۱-۳-۱: مثال ۱: تاثیر یون‌های کلسیم

شکل ۳-۶ و جدول ۳-۱ نحوه تاثیر یون‌های کلسیم بر روی منحنی بازیابی الوشن را در حضور و غیاب شکر و با استفاده از آب دی‌یونیزه نشان می‌دهد [۹].

جدول ۳-۱: تاثیر کلسیم بر روی بازدهی الوشن در حضور و غیاب شکر [۹]

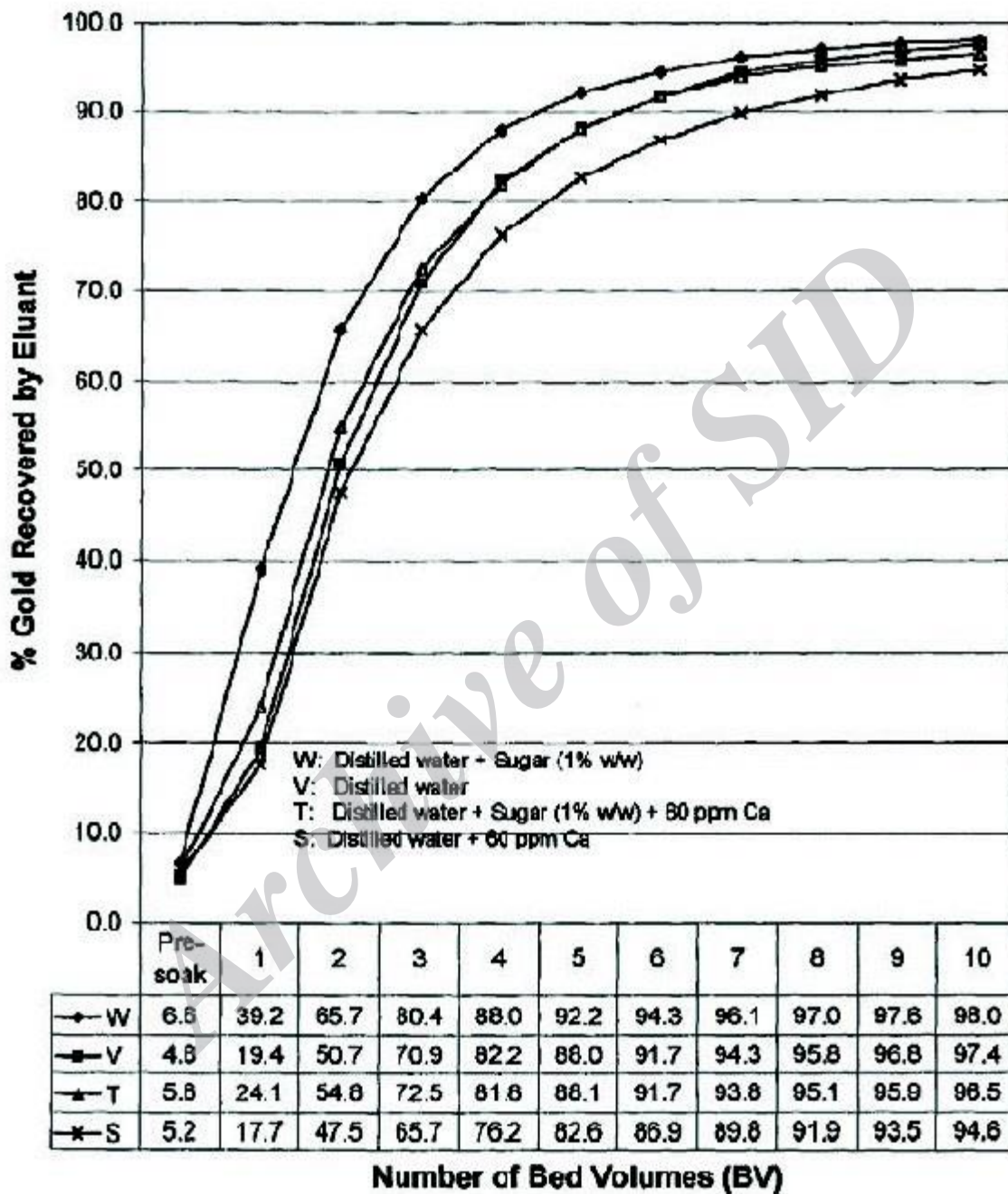
Eluant	Carbon Assay (ppm)		% Gold Recovered AFTER (HOURS)				
	Head	Tail	1	2	3	4	5
W D.W. +1% Sugar	5773	118	65.7	88.0	94.3	97.0	98.0
V D.W. +1% Sugar + 60 ppm Ca	6850	175	50.7	82.2	91.7	95.8	97.4
T Distilled Water (D.W.)	6444	228	54.8	81.8	91.7	95.1	96.5
S Distilled Water + 60 ppm Ca	6863	370	47.5	78.2	86.9	91.9	94.6

### ۳-۴-۲-۳-۲: مثال ۲: تاثیر استفاده از آب معمولی

شکل ۳-۷ و جدول ۳-۲ روش ارائه شده در این اختراع را که شبیه حالت مثال ۱ است در  $BV \frac{1}{5}$  در هر ساعت و با استفاده از آب معمولی نشان می‌دهد [۹].

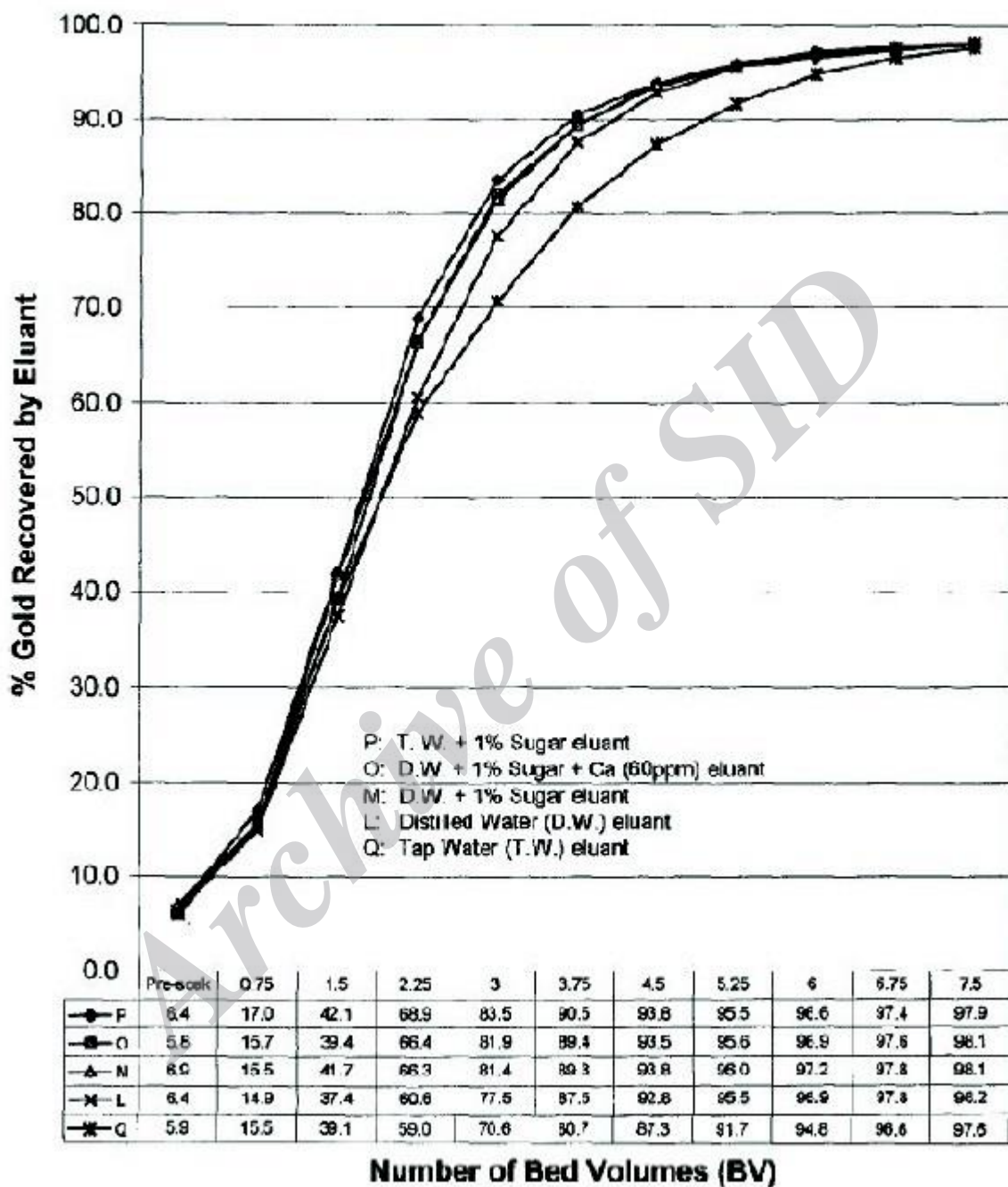
جدول ۳-۲: استفاده از آب معمولی در الوشن [۹]

Eluant	Carbon Assay (ppm)		% Gold Recovered AFTER (HOURS)				
	Head	Tail	1	2	3	4	5
P Tapwater (10 ppm Ca) + 1% Sugar	6525	135	42.1	83.5	93.8	96.6	97.9
O Distilled Water + 1% Sugar + Ca (50 ppm)	6109	117	39.4	81.9	93.5	96.9	98.1
M Distilled water + 1% Sugar	6054	112	41.7	81.4	93.8	97.2	98.1
L Distilled Water	6361	117	37.4	77.5	92.8	96.9	98.2
Q Tap Water (10 ppm Ca)	6259	149	39.1	70.6	87.3	94.8	97.6



شکل ۳-۶: تاثیر کلسیم بر روی بازدهی الوشن در حضور و غیاب شکر [۹]





شکل ۳-۷: منحنی بازیابی الوشن برای شکر، شکر / کلسیم و درغیاب شکر با آب مقطر و آب معمولی (شهری) [۹].

### ۳-۴-۳-۳-۳: مقایسه فرایند جدید با فرایندهای قبلی

در شکل ۳-۸ و جدول ۳-۳، منحنی فرایند الوشن را در این فرایند نسبت به فرایندهای زادرا و آنگلو ارائه شده است. در این فرایند نرخ بالاتر الوشن نسبت به فرایندهای زادرا و آنگلو، به خصوص در مراحل اولیه سیکل الوشن، وجود دارد [۹].

جدول ۳-۳: مقایسه فرایند جدید با فرایندهای قبلی [۹]

Eluant	Carbon Assay (ppm)		% Gold Recovered AFTER (HOURS)				
	Head	Tail	1	2	3	4	5
F 1% Sugar + 70 ppm Ca	6692	165	43.6	82.3	93.4	96.3	97.5
G Anglo - Distilled water	6937	143	30.4	76.1	91.3	95.9	97.9
I Zadra - Recycled Barren Solution, 1% NaOH + 0.1% NaCN, 16 ppm Au	6540	2540	20.5	35.9	46.8	54.7	61.2

### ۳-۴-۳-۴-۳: افزودن مواد به فرایند زادرا

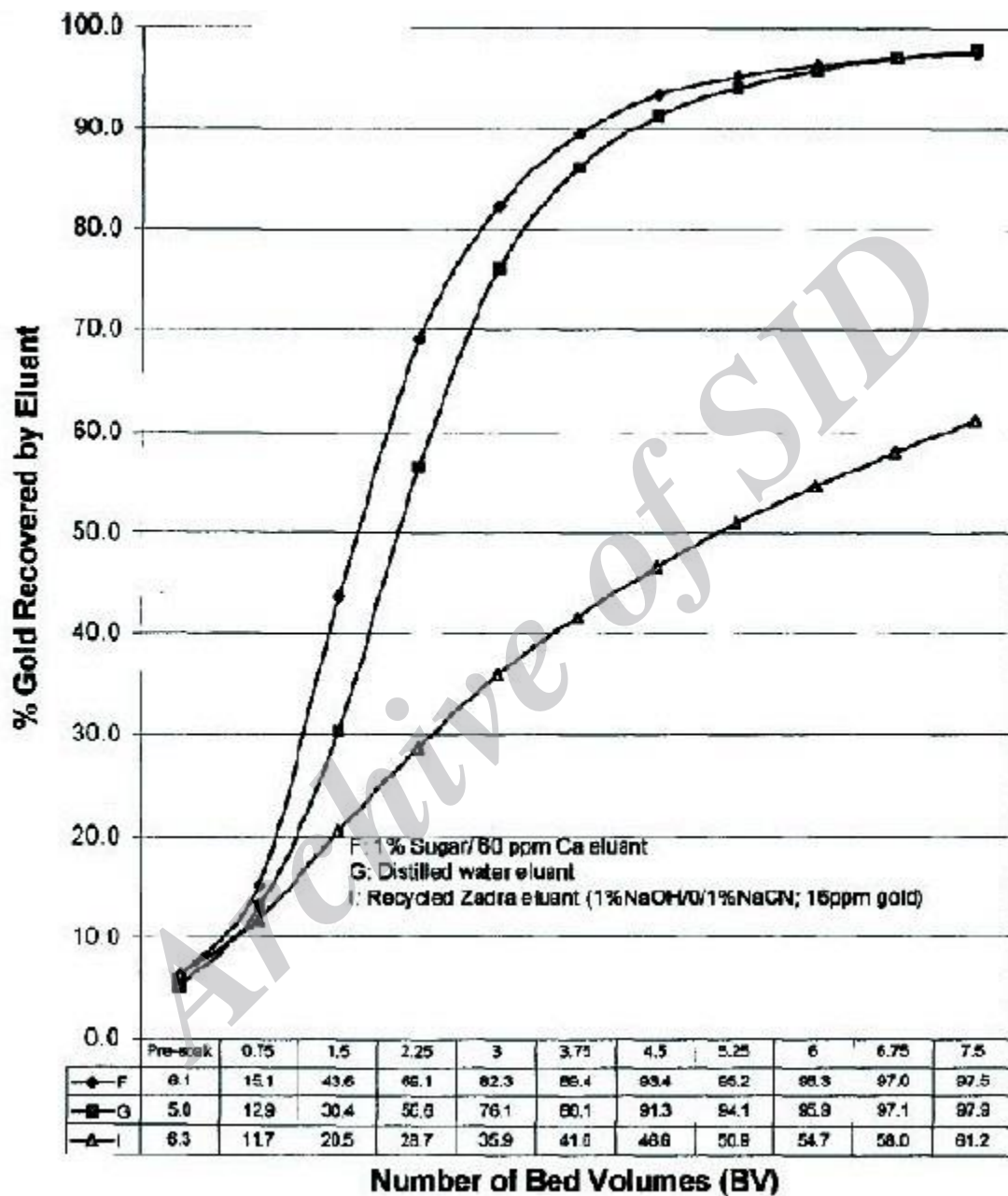
در شکل ۳-۹ و جدول ۳-۴ روشی برای بهتر نمودن انجام فرایند زادرا آورده شده است. در فرایند زادرا، الونت چرخانده می‌شود که دور ریزی<sup>۱</sup> دارد تا غلظت نمک‌های مزاحم را در الونت کاهش دهد. به طور معمول، حجم این دور ریز ۱۰ تا ۳۰٪ حجم کل الونت می‌باشد. محلول تازه برای دوباره به چرخش در آوردن الونت جایگزین محلول کنار گذاشته شده، می‌شود. به جای اضافه نمودن الونت تازه به الونت در حال چرخش، الونت تازه شکر/کلسیم به عنوان محلول الونت اولیه استفاده می‌شود. در درصدهای بالاتر الونت تازه بازیابی الوشن نیز بالاتر می‌رود [۹].

جدول ۳-۴: افزودن مواد به فرایند زادرا [۹]

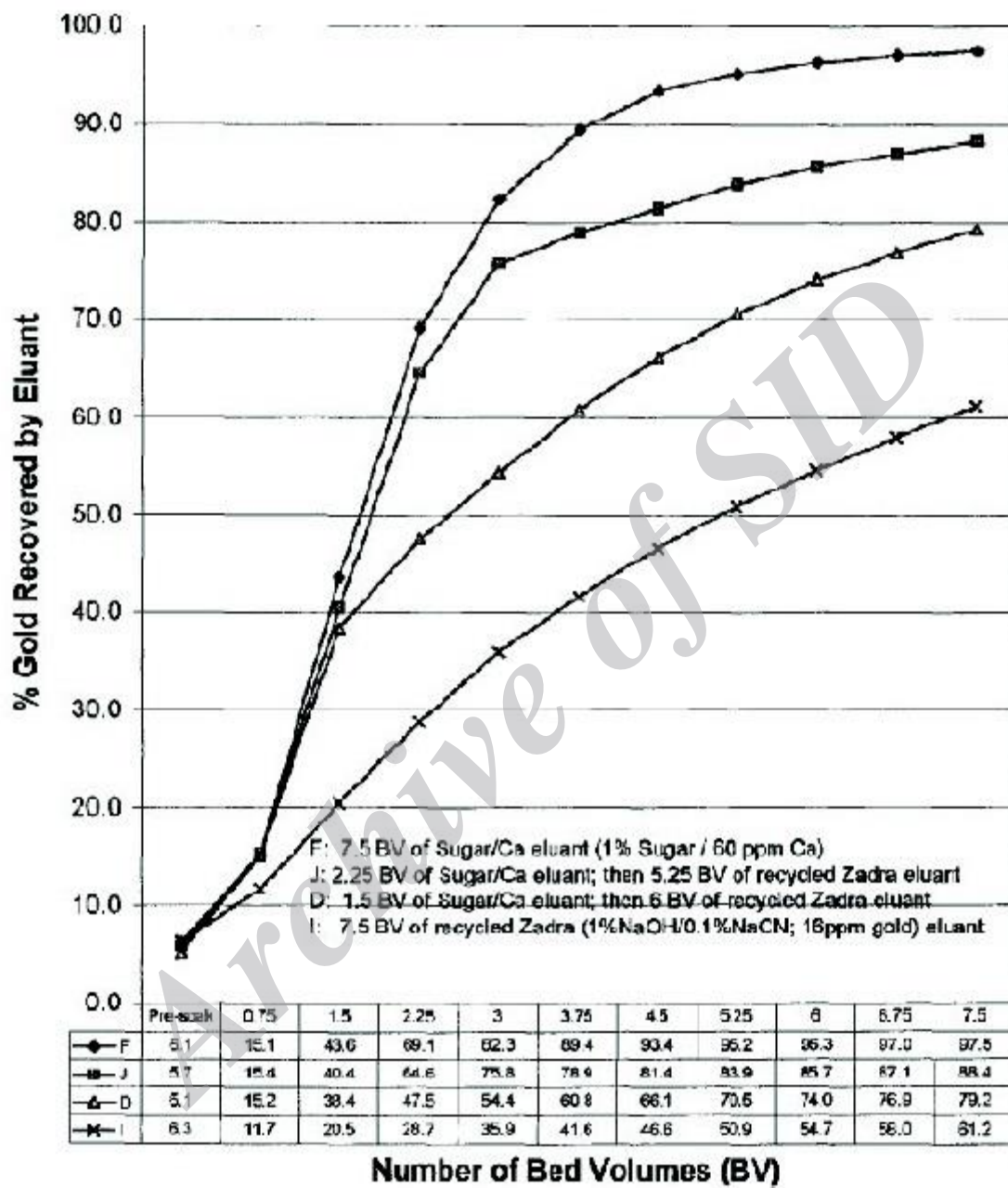
Eluant	Carbon Assay (ppm)		% Gold Recovered AFTER (HOURS)				
	Head	Tail	1	2	3	4	5
F 7.5 BV Sugar/calcium solution	6692	165	43.6	82.3	93.4	96.3	97.5
J 2.25 BV Sugar/Ca, then 5.25 BV Zadra (5% sugar)	6736	779	40.4	75.8	81.4	85.7	88.4
D 1.5 BV Sugar/Ca, then 6 BV Zadra (5% sugar)	6741	1400	38.4	54.4	66.1	74.0	79.2
I 7.5 BV Recycled Zadra solution	6560	2540	20.5	36.1	46.7	54.8	61.3

<sup>1</sup> Bleed





شکل ۳-۸: منحنی بازیابی الوشن در فرایند جدید نسبت به فرایندهای زادرا و آنگلو [۹].



شکل ۳-۹- افزایش در فرایند زادرا با استفاده از الوئنت شکر / کلسیم.

### ۳-۴-۳-۵- مثال ۵: تاثیر چرخش مجدد الونت

شکل ۳-۱۰ و جدول ۳-۵ بازیابی الوشن الونت شکر/ کلسیم را در ۳ چرخش متوالی نشان می‌دهند. نمودار الوشن نشان می‌دهد که الونت می‌تواند بدون تاثیر منفی دوباره به چرخش در آورده شود [۹].

جدول ۳-۵: تاثیر چرخش مجدد الونت [۹]

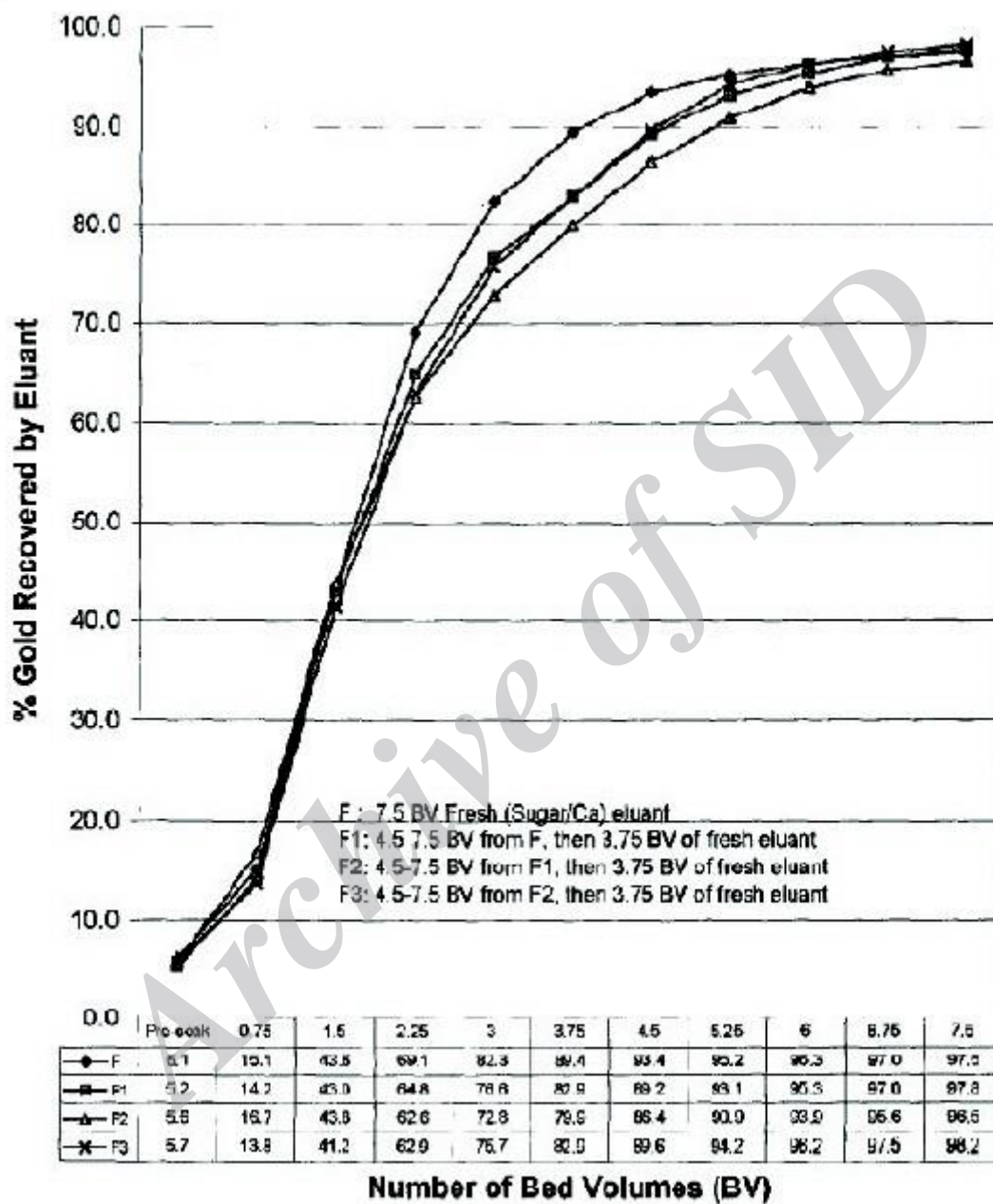
Cycle	No.	Eluant (Recycled Eluant - last half BV of the elution cycle)	Carbon Assay (ppm)		% Gold Recovered AFTER (HOURS)				
			Head	Tail	1	2	3	4	5
F	0	7.5 BV - 1% Sugar + 60 ppm Ca in Tap Water	6692	165	43.6	82.3	93.4	96.3	97.5
F1	1	3.75 BV - Recycled Eluant from Cycle 0, then 3.75 BV - Fresh Eluant	6644	149	43.0	76.6	89.2	95.3	97.8
F2	2	3.75 BV - Recycled Eluant from Cycle 1, then 3.75 BV - Fresh Eluant	6840	236	43.8	72.8	86.4	93.9	96.5
F3	3	3.75 BV - Recycled Eluant from Cycle 2, then 3.75 BV - Fresh Eluant	6783	122	41.2	75.7	89.6	96.2	98.2

### ۳-۴-۳-۶- مثال ۶: تاثیر اسیدشویی در الوشن

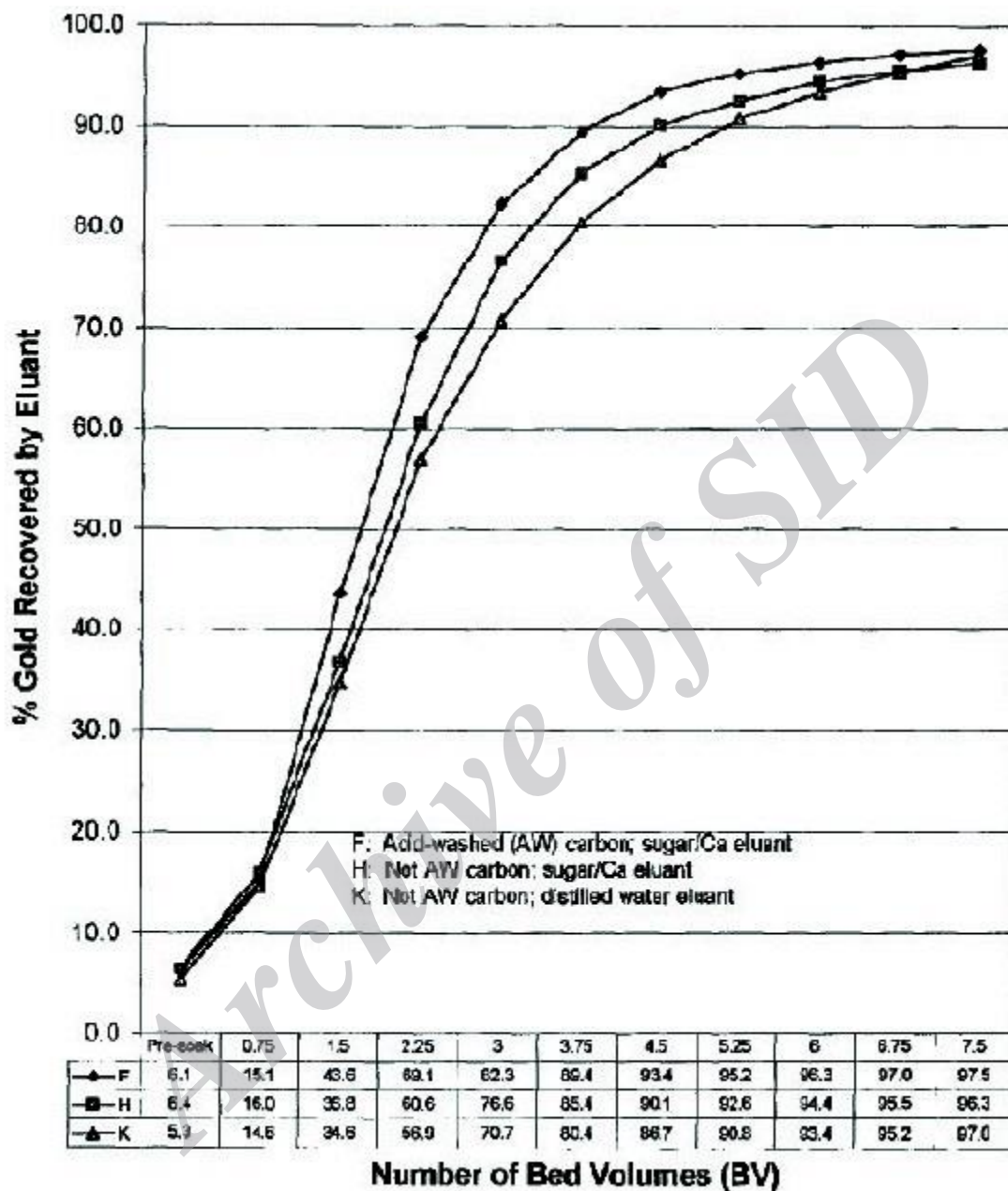
شکل ۳-۱۱ و جدول ۳-۶ مقایسه کارایی الوشن کربن اسیدشویی شده و کربن اسیدشویی نشده را با هم نشان می‌دهند.

جدول ۳-۶: تاثیر اسیدشویی در الوشن [۹]

Treatment	Eluant	Carbon Assay (ppm)		% Gold Recovered AFTER (HOURS)				
		Head	Tail	1	2	3	4	5
F Acid-Washed	Sugar/Ca	6692	165	43.6	82.3	93.4	96.3	97.5
H Not-Acid Washed	Sugar/Ca	6616	246	36.8	76.6	90.1	94.4	96.3
K Not Acid-Washed	Distilled Water	6748	204	34.6	70.7	86.7	93.4	97.0



شکل ۳-۱۰: بازیابی الوشن فرایند جدید، مزیت دو بار عبور الونت از کربن تازه [۹].

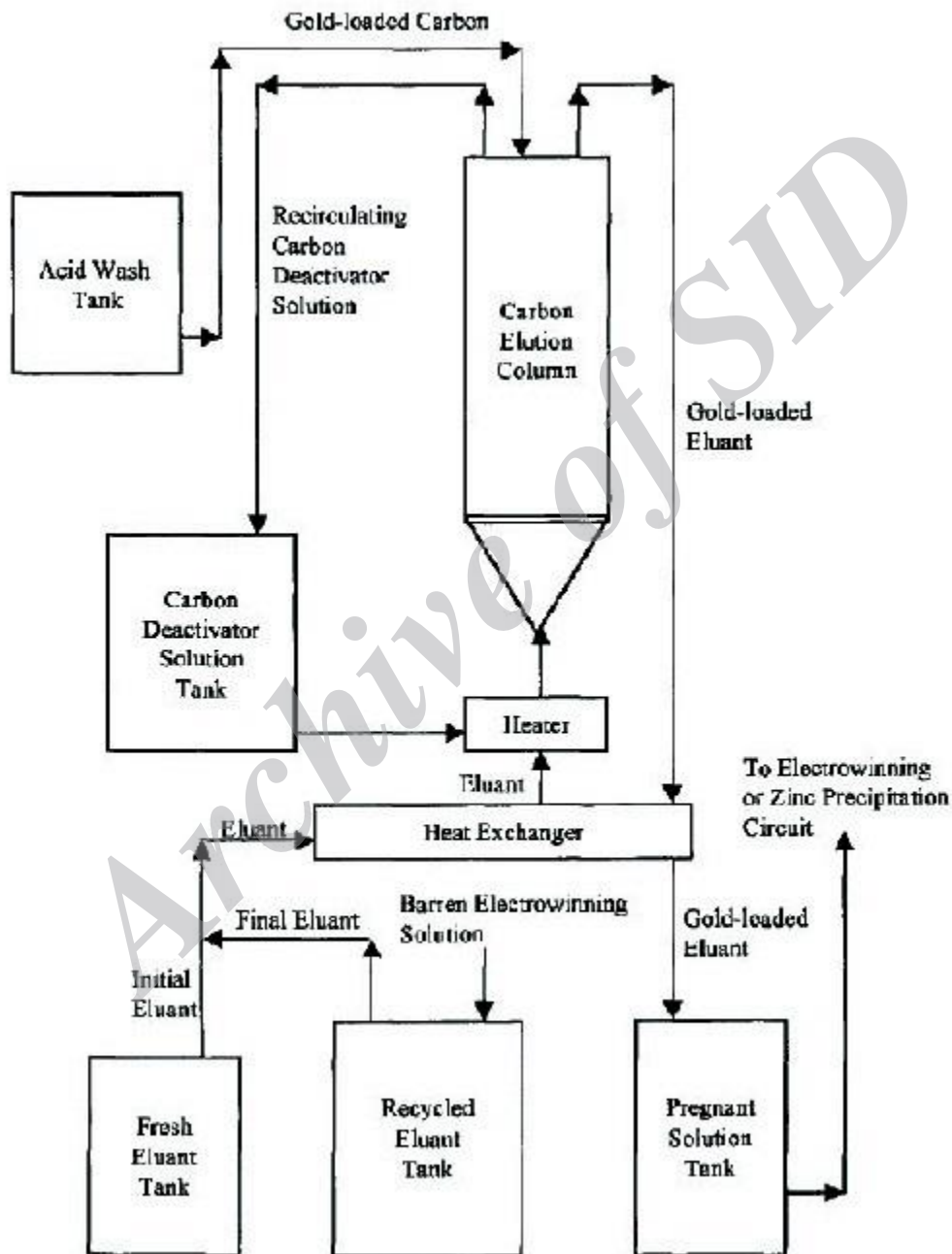


شکل ۳-۱۱: بازیابی الوشن برای شستشوی کربن با اسید نسبت به بدون شستشو توسط اسید [۹].



۳-۴-۴- توضیحات تکمیلی

در شکل ۳-۱۲، عملیات اصلی این فرایند نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۲: اجزا و جریان‌های اصلی در فرایند جدید [۹].



این موضوع روشن است که شکر (قند)، الوشن کمپلکس‌های سیانیدی طلا را از کربن فعال شده آسان می‌سازد. در

این روش دانش شیمی الوشن طلا توسعه یافته است. علاوه بر این مزایایی دارد که عبارتند از:

- امکان استفاده از آب و مواد شیمیایی معمولی در دسترس.

- امکان دوباره چرخاندن الونت بردار طلا با غلظت بالا.

- الوشن با سرعت بالا در دمای  $98^{\circ}\text{C}$  و سریع‌تر در دمای بالاتر.

- حجم الونت بردار طلا نصف روش‌های قبلی است.

- الونت بردار طلا از لحاظ شیمیایی برای ترسیب یا الکترووینینگ مناسب می‌باشد.

- امکان الوشن با یک بار یا چندین بار چرخش.

- روشی آسان، اقتصادی و موثر برای الوشن طلا از کربن فعال شده.

Archive of SID

# فصل چهارم

## فعالیت‌های آزمایشگاهی

Archives of SID





#### ۴-۱- تهیه کربن فعال باردار حاوی طلا از کارخانه فراوری طلا

برای انجام آزمایش‌های جداسازی کمپلکس‌های سیانیدی طلا از کربن فعال باردار با استفاده از الونت متداول حاوی شکر نیاز است تا از کربن باردار از یکی از کارخانه‌های فراوری طلا در ایران تهیه شود. به همین منظور با تعدادی از کارخانه‌های موجود در زمینه فراوری و استحصال طلا در ایران مکاتبات لازم انجام شد، از جمله کارخانه فراوری طلا زرشوران واقع در شهرستان تکاب، آذربایجان غربی و دیگری کارخانه فراوری طلای زرمهر واقع در شهر تربت حیدریه، استان خراسان رضوی.

طبق مذاکرات و مکاتبات انجام شده با کارخانه زرشوران، مقدار حدود ۵ کیلوگرم کربن باردار حاوی طلا به جهاد دانشگاهی ارسال شد که پس از بررسی آن مشاهده شد که کربن باردار ارسالی از این کارخانه دارای کیفیت مناسب جهت انجام آزمایشات و تحقیقات در مقیاس آزمایشگاهی نمی‌باشد. این نمونه حاوی مقدار زیادی سنگ‌ریزه و کربن دانه‌ریز و نرمه بود که جداسازی آن مشکل بود. بنابراین از کربن ارسالی از این کارخانه جهت انجام آزمایش‌های مورد نظر در این طرح تحقیقاتی استفاده نشد.

در ادامه، برای تهیه نمونه مورد نیاز با کارخانه فراوری طلای زرمهر مذاکرات و مکاتباتی انجام شد که در نهایت از این کارخانه حدود ۳/۵ کیلوگرم کربن باردار حاوی طلا به جهاد دانشگاهی تربیت مدرس ارسال گردید. در این کارخانه پس از رسیدن عیار طلا در کربن باردار موجود در تانک اول لیچ- جذب فرایند سیانیداسیون، کربن باردار از تانک توسط سرند گرفته شده و به قسمت اسیدشویی منتقل می‌شود. بنابراین، نمونه کربن ارسال شده از کربن باردار که به قسمت اسیدشویی در حال انتقال است تهیه و ارسال شده است. به همین دلیل این نمونه حاوی مواد جامد



پالپ بود که چندین بار توسط آب شسته شد و در نهایت توسط خشک کن در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت خشک شد.

#### ۴-۲- مشخصه‌یابی کربن فعال باردار

##### ۴-۲-۱- تعیین وزن مخصوص کربن باردار

برای اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری کربن باردار مقدار ۵۰ گرم از نمونه کربن باردار خشک شده برداشته شد و درون استوانه مدرجی ریخته شد و فضای اشغال شده توسط کربن تعیین شد که برابر  $82 \text{ cm}^3$  بود. پس وزن مخصوص ظاهری کربن باردار برابر است با:

$$\text{وزن مخصوص ظاهری کربن باردار} = \frac{50}{82} = 0.61 \frac{g}{\text{cm}^3} \quad (1-4)$$

##### ۴-۲-۲- تعیین حجم بستر

برای تعیین حجم بستر کربن فعال مقدار ۵۰ گرم از نمونه کربن باردار اسیدشویی شده، درون استوانه‌ای ریخته شد و بر روی آن اب مقطر تا حد سطح کربن ریخته شد. در این هنگام حباب‌های هوا از درون آب به سمت بالا خارج می‌شود که نشان دهنده پر شدن منافذ کربن فعال باردار توسط آب است. برای خارج شدن تمامی حباب‌های هوا از درون آب، کربن به آرامی توسط هم‌زن دستی هم زده شد تا هنگامی که تمامی حباب‌ها از آن خارج شدند. سپس سطح آب پایین رفته مجدداً توسط آب جبران شد و تا سطح کربن رسانده شد طوری که سطح کربن و آب یکسان شد. وزن مجموعه کربن و آب توسط ترازو اندازه‌گیری شد و از این طریق با انجام محاسبات، حجم بستر نمونه کربن مورد نظر تعیین شد. با اندازه‌گیری انجام شده مشخص شد که وزن آب درون بستر کربن به وزن ۵۰ گرم برابر ۵۰ میلی‌لیتر (گرم) است که به این معنی است که هر یک گرم کربن حجم بستری برای یک میلی‌لیتر دارد.

$$\text{حجم بستر کربن باردار} = \frac{50 \text{ میلی لیتر آب}}{50 \text{ گرم کربن باردار}} = 1 \frac{\text{ml آب}}{g \text{ کربن باردار}} \quad (2-4)$$



#### ۴-۲-۳- اسیدشویی کربن فعال باردار

برای حذف مواد ناخالصی همراه کربن فعال باردار که توسط آب در مرحله قبلی حذف نشده‌اند، از اسید استفاده می‌شود. در این مرحله مواد ناخالصی رسوب کرده بر روی سطح کربن فعال باردار توسط اسید شسته شده و سطح کربن کاملاً شسته می‌شود. برای اسیدشویی کربن فعال باردار از اسید هیدروکلریک رقیق استفاده شد و کربن به مدت یک روز درون اسید هیدروکلریک گذاشته شد و سپس از سرند عبور داده شد و چندین بار توسط آب مقطر شسته شد تا pH آب به حالت خنثی رسید.

#### ۴-۲-۴- تعیین عیار طلا در کربن فعال باردار

برای اندازه‌گیری عیار طلای موجود در کربن باردار اسیدشویی شده، تعداد ۲ نمونه به وزن ۱۰ گرم از نمونه کلی تهیه شد و درون بوتله چینی ریخته شد و بوتله‌ها به مدت ۱۲ ساعت درون کوره با دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد گذاشته شد.

پس از سوختن کربن به طور کامل، خاکستر باقیمانده برای انحلال و عیارسنجی طلا از کوره برداشته شد. برای این کار از تیزاب سلطانی استفاده شد و پس از انحلال خاکستر، پالپ بدست آمده توسط فیلتر صاف شد و محلول صاف حاصل از فیلتراسیون پس از به حجم رساندن به آزمایشگاه ICP برای عیارسنجی طلای محتوی در محلول ارسال شد.

میانگین عیار طلا در کربن باردار بدست آمده از اندازه‌گیری محلول‌های ارسالی برابر  $1702 \text{ ppm}$  می‌باشد.

#### ۴-۳- بررسی فاکتورهای موثر در الوشن طلا

همان طور که گفته شد بعضی از فاکتورهایی که در الوشن موثرند، دما، نرخ جریان، طلا در الوئنت، NaOH آزاد، شستشوی کربن باردار با اسید رقیق قبل از الوشن و تجزیه شیمیایی سیانید در طول الوشن برای تاثیرگذاری بر نرخ الوشن در شرایط معین شناخته شده است. الوشن یک فرایند کند است که برای انجام نیاز به زمانی از ۸ تا ۹۶ ساعت

در دماهای بالا می‌باشد. سرعت پایین اصولاً به خاطر نفوذ کند یون سیانید طلا در داخل حفرات ریز ذرات نسبتاً بزرگ کربن فعال است. در این فصل از گزارش تاثیر پارامترهای موثر بر فرایند الوشن طلا از کربن باردار بررسی می‌شود و نتایج آن ارائه می‌گردد.

### ۴-۳-۱- مواد و روش‌ها

همان طور که قبلاً گفته شد کربن فعال باردار حاوی طلا (شکل ۴-۱) از کارخانه فراوری طلای زرمهر تهیه شد که مشخصات فیزیکی آن قبلاً توضیح داده شد. عیار طلا در این نمونه برابر ۱۷۰۲ گرم بر تن کربن فعال است.



شکل ۴-۱: کربن فعال باردار کارخانه فراوری طلای زرمهر.

برای انجام آزمایش‌های الوشن در آزمایشگاه از حمام آب گرم استفاده شد. آزمایش‌ها درون ارلن با حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر انجام شد. در ابتدا چند آزمایش اولیه به منظور تنظیم و کنترل دمای آب در ارلن توسط آب در حمام انجام شد که مشاهده شد میزان تبخیر آب زیاد بوده و تنظیم دما درون ارلن نیز کمی مشکل است. بنابراین بدین منظور از روغن به جای آب در حمام استفاده شد و تمامی آزمایش‌ها در حمام روغن (شکل ۴-۲) انجام شد. از سیانید سدیم، هیدروکسید سدیم و شکر ساخت شرکت MERCK استفاده شد. در آزمایش‌های اولیه، اختلاف ناچیزی در مقادیر بازیابی طلای در ازای به کارگیری آب معمولی به جای آب دی‌یونیزه به علت تاثیر قابل توجه شکر مشاهده شد. لذا در این تحقیق، آب دی‌یونیزه به علت مقادیر اندکی بالاتر بازیابی‌های حاصله انتخاب شد.



شکل ۴-۲: الف) نمایی از حمام روغن ب) چگونگی تنظیم دما.

نحوه انجام آزمایش‌ها بدین صورت است که پس از اینکه مقدار مشخص شده از آب مقطر درون ارلن ریخته شد، مقدار مورد نیاز از هیدروکسید سدیم، سیانید سدیم و شکر توزین شده و به آب اضافه شد، سپس ارلن درون حمام روغن قرار گرفته و پس از رسیدن به دمای مورد نظر کربن فعال به آن افزوده می‌شود. پس از گذشت مدت زمان مورد نظر برای هر آزمایش، ارلن برداشته شده و توسط کاغذ صافی محلول آن صاف شد (شکل ۴-۳) و برای تعیین مقدار طلای محلول در آن آماده‌سازی شد و به آزمایشگاه آنالیز شیمی ارسال شد.



شکل ۴-۳: محلول الوئیت حاوی طلا.

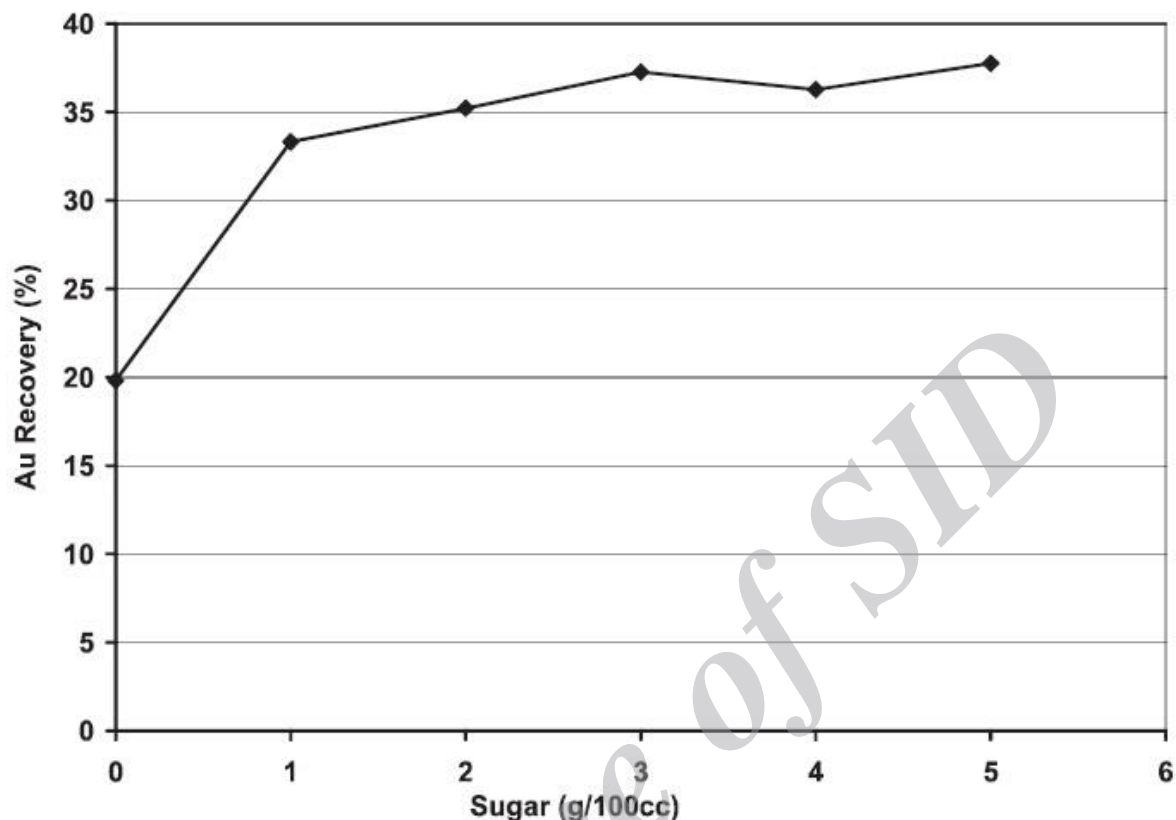
#### ۴-۳-۲- تاثیر شکر بر الوشن طلا

به منظور بررسی تاثیر غلظت شکر بر روی الوشن طلا از کربن باردار، حدود شرایط عملیاتی الوشن در کارخانه فراوری طلای زرمهر (غلظت سود سوزآور ۲ درصد، غلظت سیانید سدیم ۲ درصد و غلظت کربن فعال ۱۰ درصد) انتخاب شد و آزمایش‌های الوشن در این شرایط در حضور و غیاب شکر و در غلظت‌های مختلف شکر انجام شد. این آزمایش‌ها در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد انجام شد تا تاثیر افزودن شکر به محلول الونت در دمای پایین‌تر از دمای جوش نیز بررسی شود. در تمامی آزمایش‌ها پس از اتمام آزمایش، کربن فعال باقیمانده فیلتر شده و پس از صاف کردن محلول، محلول الونت جهت آنالیز طلای محتوی در آن به آزمایشگاه آنالیز شیمی ارسال شد. در جدول ۴-۱ شرایط آزمایش‌های انجام شده جهت بررسی افزودن شکر و تاثیر آن در غلظت‌های مختلف طلا از کربن باردار آورده شده است. همچنین در شکل ۴-۴ نتیجه بدست آمده از این آزمایش‌ها به صورت نمودار بازیابی بر حسب غلظت شکر آورده شده است.

با توجه به نمودار شکل ۴-۴ مشاهده می‌شود که با افزودن شکر به محلول الونت بازیابی طلا از کربن باردار افزایش یافته است و پس از مقدار ۳٪ شکر در محلول الونت، روند افزایش بازیابی تقریباً ثابت شده است. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از این آزمایش‌ها شرایط آزمایشی که در آن میزان شکر برابر ۳٪ می‌باشد به عنوان سطح بهینه انتخاب شد تا در مراحل بعدی تاثیر سایر عوامل بر بازیابی الوشن طلا از کربن فعال نیز بررسی شود. همچنین برای کاهش میزان مصرف شکر، تاثیر سایر عوامل در شرایطی که غلظت شکر برابر ۱٪ می‌باشد، نیز بررسی شد که نتایج بدست آمده از آن در ادامه آورده شده است.

جدول ۴-۱: شرایط آزمایش‌های بررسی افزودن شکر و تاثیر آن در غلظت‌های مختلف طلا از کربن باردار

Carbon (%)	NaCN (%)	NaOH (%)	Sugar (%)	Temp. (°C)	Time (h)	Au Recovery (%)
10	2	2	0	95	8	19.82
10	2	2	1	95	8	33.31
10	2	2	2	95	8	35.22
10	2	2	3	95	8	37.26
10	2	2	4	95	8	36.26
10	2	2	5	95	8	37.76



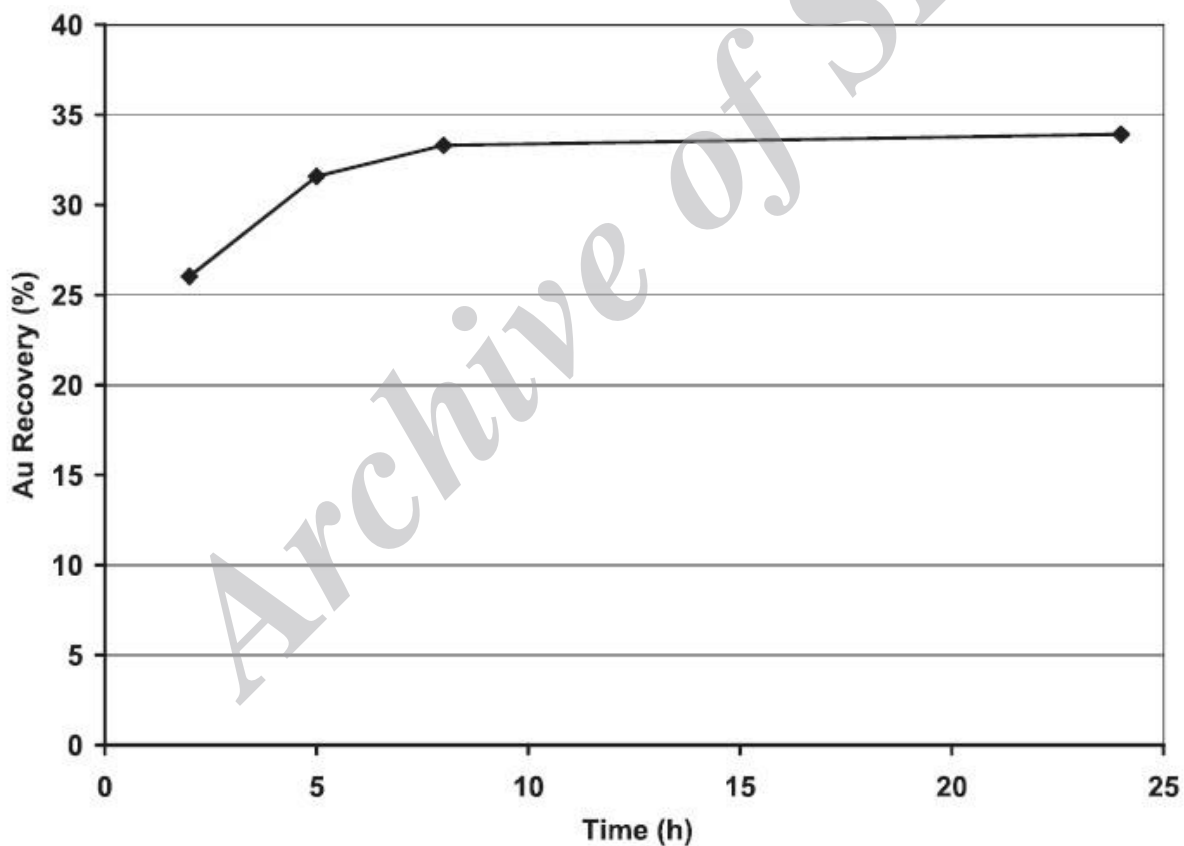
شکل ۴-۴: تاثیر شکر بر الوشن طلا از کربن فعال باردار  
 کربن فعال: ۱۰٪، سود سوزآور: ۲٪، سیانید سدیم: ۲٪، دما: ۹۵ °C، زمان: ۸ ساعت.

#### ۴-۳-۳- تاثیر زمان بر الوشن طلا

در آزمایش‌های قبلی مدت زمان آزمایش‌ها برابر ۸ ساعت انتخاب شد و در آن تاثیر غلظت شکر در غلظت‌های مختلف بررسی شد و میزان ۱ و ۳٪ شکر جهت بررسی تاثیر مدت زمان واکنش الوشن طلا از کربن باردار انتخاب شد. بنابراین، آزمایش‌هایی طبق شرایط آزمایش‌های قبلی و غلظت شکر ۱٪ و در مدت زمان‌های مختلف جهت بررسی تاثیر زمان بر روی الوشن طلا از کربن باردار انجام شد. در جدول ۴-۲ شرایط آزمایش‌های انجام شده در غلظت ۱٪ شکر در زمان‌های مختلف الوشن آورده شده است. همچنین در شکل ۴-۵ نمودار تاثیر زمان واکنش بر روی بازیابی طلا از کربن باردار، در غلظت ۱٪ شکر، آورده شده است.

جدول ۴-۲: شرایط آزمایش‌های بررسی تاثیر زمان بر الوشن طلا از کربن باردار در غلظت ۱٪ شکر

Carbon (%)	NaCN (%)	NaOH (%)	Sugar (%)	Temp. (°C)	Time (h)	Au Recovery (%)
10	2	2	1	95	2	26.03
10	2	2	1	95	5	31.59
10	2	2	1	95	8	33.31
10	2	2	1	95	24	33.91



شکل ۴-۵: تاثیر زمان بر الوشن طلا از کربن فعال باردار

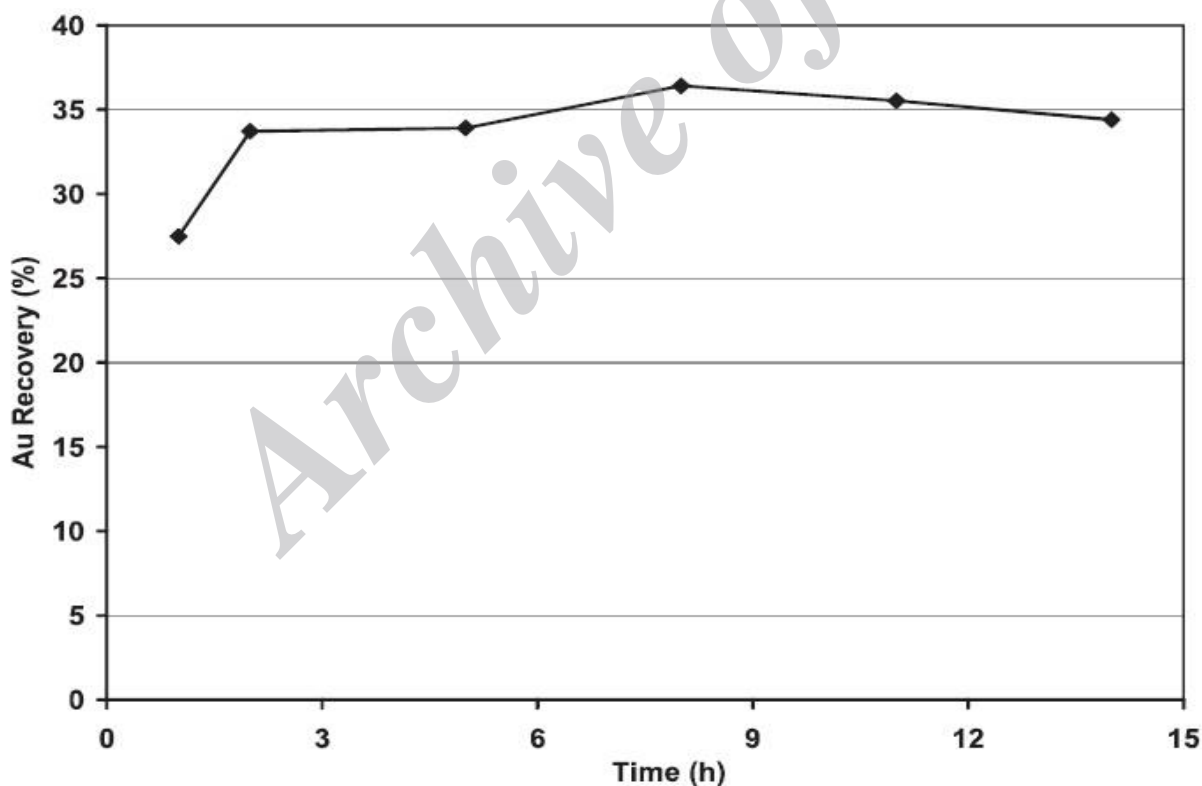
کربن فعال: ۱۰٪، سود سوزآور: ۲٪، سیانید سدیم: ۲٪، شکر: ۱٪، دما: ۹۵ °C.



همان طور که گفته شد آزمایش‌های بررسی تاثیر زمان بر الوشن طلا از کربن باردار در غلظت ۳٪ شکر نیز انجام شد که در جدول ۳-۴ شرایط آزمایش انجام شده آورده شده است، همچنین در شکل ۴-۶ نمودار تاثیر زمان واکنش بر روی بازیابی طلا از کربن باردار آورده شده است.

جدول ۳-۴: شرایط آزمایش‌های بررسی تاثیر زمان بر الوشن طلا از کربن باردار در غلظت ۳٪ شکر

Carbon (%)	NaCN (%)	NaOH (%)	Sugar (%)	Temp. (°C)	Time (h)	Au Recovery (%)
10	2	2	3	95	1	27.48
10	2	2	3	95	2	33.72
10	2	2	3	95	5	33.91
10	2	2	3	95	8	36.41
10	2	2	3	95	11	35.53
10	2	2	3	95	14	34.40



شکل ۴-۶: تاثیر زمان بر الوشن طلا از کربن فعال باردار  
 کربن فعال: ۱۰٪، سود سوزآور: ۲٪، سیانید سدیم: ۲٪، شکر: ۳٪، دما: ۹۵ °C.

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های الوشن انجام شده به منظور بررسی تاثیر زمان واکنش در غلظت‌های ۱ و ۳٪ شکر مشاهده می‌شود که در شرایطی که غلظت شکر برابر ۱٪ است (جدول ۲-۴ و شکل ۲-۴) بازیابی طلا تا مدت زمان ۸ ساعت افزایش داشته است و از آن مدت زمان به بعد، این مقدار افزایش ناچیزی داشته است. همچنین با توجه به جدول ۳-۴ و شکل ۶-۴ مشاهده می‌شود که در شرایطی که غلظت شکر برابر ۳٪ است بازیابی طلا تا مدت زمان ۲ ساعت افزایش داشته است و از آن مدت زمان به بعد، این مقدار افزایش ناچیزی داشته است. مقدار بازیابی طلا در این شرایط با شرایطی که غلظت شکر برابر ۱٪ و زمان ۸ ساعت است تفاوت چندانی ندارد. بنابراین، با توجه به این نتایج، شرایط بهینه طبق شرایط آزمایشی که در آن مدت زمان آزمایش ۲ ساعت و غلظت شکر ۳٪ است انتخاب می‌شود زیرا مقدار کاهش مدت زمان آزمایش به ازای افزودن غلظت شکر به مقدار ۳٪ ارزش بیشتری دارد. در واقع، از آنجائیکه کاهش زمان ماند در کارخانه منجر به انتخاب تجهیزات کوچکتر (هزینه‌های سرمایه گذاری) و عملیات بهره-برداری آسان‌تر با مصرف کمتر انرژی (هزینه‌های عملیاتی) خواهد شد، لذا، با کاهش ۴ برابری حجم تجهیزات، ناشی از کاهش زمان ماند از ۸ به ۲ ساعت و با در نظر گرفتن هزینه افزایش ۲ درصدی افزایش شکر، می‌توان با یک محاسبه مقدماتی و اولیه به مزیت کاهش زمان ماند در مقابل افزایش مقدار شکر در الوئن پی‌برد.

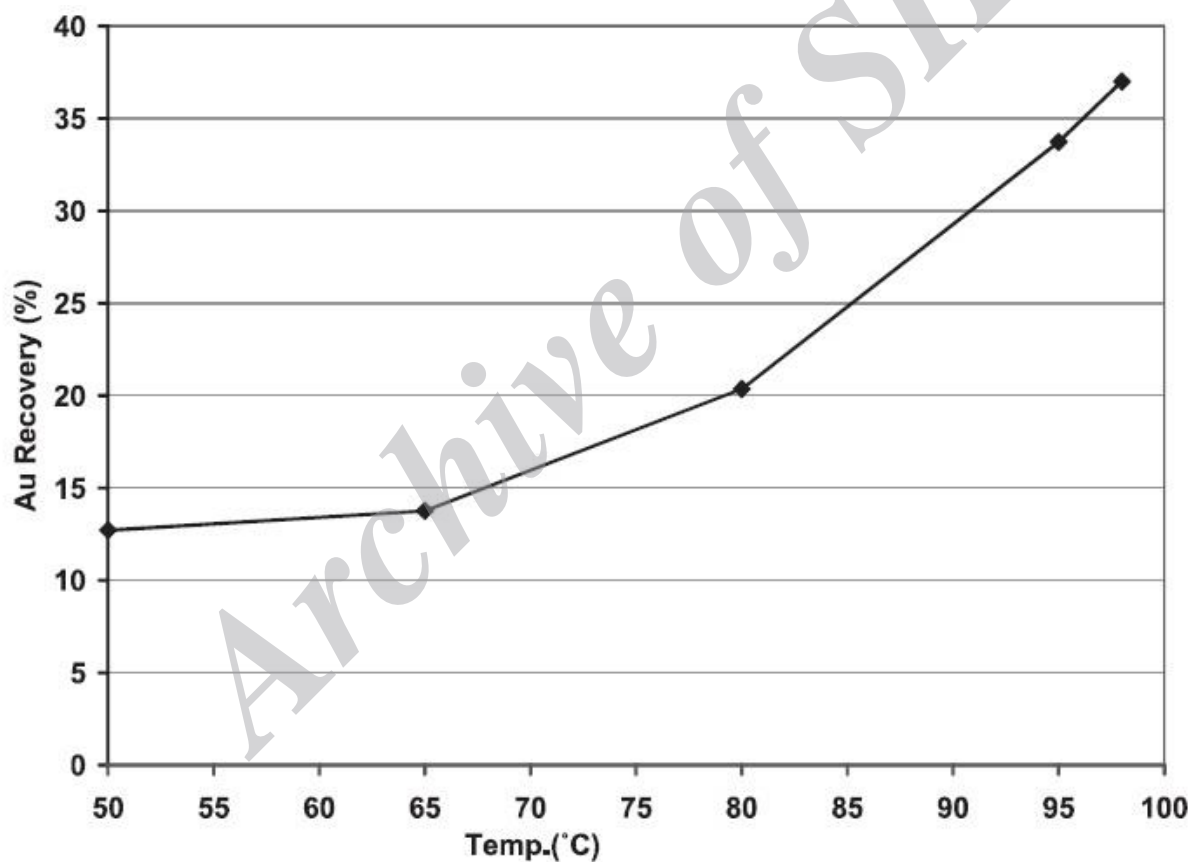
#### ۴-۳-۴- تاثیر دما بر الوشن طلا

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های قبلی سطوح بهینه عوامل مقدار غلظت شکر و زمان واکنش تعیین شد بنابراین این سطوح این عوامل و سایر عوامل به جز دمای واکنش، ثابت در نظر گرفته شد و آزمایش‌هایی جهت بررسی تاثیر دما بر الوشن طلا از کربن فعال باردار در این شرایط انجام شد. در جدول ۴-۴ شرایط و مقادیر عوامل جهت انجام آزمایش‌های فوق آورده شده است.

با توجه به نمودار شکل ۷-۴ مشاهده می‌شود که با افزایش دما تا دمای ۹۸ درجه سانتیگراد، بازیابی طلا از کربن فعال افزایش دارد که این افزایش در مقادیر دمای پایین‌تر کم‌تر از مقادیر بالاتر دمای واکنش می‌باشد.

جدول ۴-۴: شرایط آزمایشهای بررسی تاثیر دما بر الوشن طلا از کربن باردار در غلظت ۳٪ شکر و زمان ۲ ساعت

Carbon (%)	NaCN (%)	NaOH (%)	Sugar (%)	Temp. (°C)	Time (h)	Au Recovery (%)
10	2	2	3	50	2	12.71
10	2	2	3	65	2	13.76
10	2	2	3	80	2	20.36
10	2	2	3	95	2	33.72
10	2	2	3	98	2	37.00



شکل ۴-۷: تاثیر دما بر الوشن طلا از کربن فعال باردار

کربن فعال: ۱۰٪، سود سوزآور: ۲٪، سیانید سدیم: ۲٪، شکر: ۳٪، زمان: ۲ ساعت.

# فصل پنجم

## آزمایش‌های بهینه‌سازی، بررسی فنی و اقتصادی



## ۵-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا از بین آزمایش‌های انجام شده، آزمایشی با شرایط بهینه انتخاب می‌شود. با در دست داشتن شرایط این آزمایش می‌توان به مقایسه فنی اقتصادی روش جداسازی کمپلکس‌های سیانیدی طلا از کربن فعال با استفاده از الوئنت‌های حاوی شکر و روش‌های معمول که در کارخانه‌های فرآوری و استحصال طلا استفاده می‌شود، پرداخت. همان گونه که پیشتر نیز اشاره شد، با توجه به مطالعات انجام شده استفاده از الوئنت‌های حاوی شکر دارای مزایایی نسبت به روش‌های معمول است که در زیر برخی از آنها اشاره می‌شود [۳-۵].

- فراهم نمودن فرایند جداسازی سریع و موثر در دمای  $95-98^{\circ}\text{C}$
- فراهم نمودن فرایند جداسازی به دور از خطرات آتش‌سوزی و استفاده از حلال‌های آلی
- فراهم نمودن فرایند جداسازی که بهره‌وری انرژی داشته باشد.
- فراهم نمودن فرایند جداسازی که از آب‌های معمولی موجود به جای استفاده از آب دی‌یونیزه استفاده نماید.
- کاهش حجم الوئنت طلا که در نتیجه آن اندازه مدار الکترووینینگ و ترسیب کاهش یابد.
- امکان استفاده مواد شیمیایی معمولی در دسترس.
- الوئنت باردار طلا از لحاظ شیمیایی برای ترسیب یا الکترووینینگ مناسب می‌باشد.
- امکان جداسازی با یک بار یا چندین بار چرخش

علاوه بر مزایای فرایندی استفاده از شکر در الوئنت‌ها دارای مزایای اقتصادی نیز خواهد بود. به عنوان مثال کاهش دمای عملیاتی سبب صرفه‌جویی بسیار گسترده‌ای در مصرف انرژی در این گونه کارخانه‌ها می‌شود. علاوه بر این کاهش درجه حرارت محلول الوئنت به بهبود شرایط زیست محیطی فرایند نیز کمک خواهد کرد. استفاده



از آب‌های معمولی به جای استفاده از آب‌های دی‌یونیزه باعث می‌شود که هزینه‌های عملیاتی کارخانه‌های فرآوری طلا کاهش یابد. کاهش یافتن حجم الوئنت تولیدی که منجر به کاهش حجم محلول راه یافته به الکترووینینگ می‌شود علاوه بر کاهش حجم سرمایه‌گذاری ثابت برای واحدهای استحصال طلا، هزینه‌های عملیاتی نیز به شدت کاهش یابد.

### ۵-۲- بهینه‌سازی آزمایش‌ها

همان‌گونه که اشاره شد بر روی بازیابی طلا از روی کربن فعال با استفاده از الوئنت‌های حاوی شکر پارامترهایی نظیر غلظت شکر، زمان عملیات، دمای پالپ واکنش، موثر هستند که در آزمایش‌های انجام شده در فصل ۴ این پارامترها استحصال و نتایج آنها با هم مقایسه شد. معمول‌ترین راه بهینه‌سازی آزمایش‌ها، استفاده از روش‌های تک متغیره در بهینه‌سازی پارامترها است. در این روش بعد از تعیین پارامترهای مورد مطالعه، پارامترها برای تعیین سطح بهینه تغییر داده می‌شوند به گونه‌ای سطوح سایر پارامترها ثابت هستند. بنابراین در پایان هر مرحله سطح بهینه یک پارامتر بعد از آزمایش‌های انجام شده تعیین می‌شود و در طول تغییر پارامترها، سطح پارامتر مورد مطالعه در سطح تعیین شده ثابت نگاه داشته می‌شود. در این روش بایستی در تفسیر تداخل بین پارامترها دقت لازم را به کار برد.

### ۵-۲-۱- تعیین سطح بهینه شکر

شش سطح مختلف برای استفاده از شکر در محلول‌های الوئنت استفاده شد. شرایط آزمایش‌ها به گونه‌ای انجام شد که بیشترین همخوانی و مطابقت بین شرایط آزمایش‌ها و شرایط کاربردی در صنعت بدست آید. سطوح مورد استفاده از شکر در محلول الوئنت در آزمایش‌های انجام شده عبارتند از: ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از الوئنت حاوی ۳٪ شکر موثرترین مقدار برای اضافه کردن شکر به الوئنت می‌باشد. در جدول ۵-۱ شرایط بهینه بدست آمده برای مقدار درصد شکر در محلول آورده شده است.

جدول ۵-۱: بهینه‌سازی سطح شکر مورد استفاده در الونت‌های حاوی کربن فعال

Carbon (%)	NaCN (%)	NaOH (%)	Sugar (%)	Time (hrs)	Temp. (%)
10	2	2	3	8	95
Based on plant operational factors			Fixed by Testworks		

### ۵-۲-۲- تاثیر زمان عملیات

زمان به عنوان یکی از پارامترهای موثر در بازیابی طلا از کربن فعال توسط الونت‌های حاوی شکر مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفت. با توجه به آزمایش‌های قبل سطح شکر در آزمایش‌ها در سطح ۳٪ در محلول الونت تعیین و آزمایش‌ها در سطوح زمانی ۲، ۵، ۸ و ۲۴ ساعت انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که بعد از گذشت ۲ ساعت از تماس الونت با کربن فعال باردار انتقال طلا از کربن به محلول افزایش قابل ملاحظه‌ای نخواهد داشت و بنابراین زمان ۲ ساعت برای بازیابی طلا از کربن فعال توسط الونت‌های حاوی شکر مناسب و بهینه خواهد بود. در جدول ۵-۲ شرایط بهینه با توجه به آزمایش‌های انجام شده آورده شده است.

جدول ۵-۲: بهینه‌سازی زمان آزمایش (بازیابی طلا از کربن فعال) مورد استفاده

Carbon (%)	NaCN (%)	NaOH (%)	Sugar (%)	Time (hrs)	Temp. (%)
10	2	2	3	2	95
Based on plant operational factors			Fixed by Testworks		

### ۵-۲-۳- تاثیر دما بر الوشن طلا

با توجه به سطوح بدست آمده از آزمایش‌های قبلی، سطح دمای بهینه نیز با استفاده از روش بهینه‌سازی تک



متغیره بررسی و تعیین شد. تعداد ۵ آزمایش در سطوح دمایی ۵۰، ۶۵، ۸۰، ۹۵ و ۹۸ درجه سانتیگراد انجام شد که نتایج این آزمایش‌ها نشان دهنده این نکته است که با افزایش دمای الوئنت سرعت و مقدار بازیابی طلا از کربن فعال افزایش خواهد داشت. بنابراین برای داشتن بازیابی مناسب در این روش دمای ۹۸ درجه سانتیگراد مناسب است. در جدول ۳-۵، مقادیر بهینه‌سازی شده پارامترهای موثر در بازیابی طلا از کربن فعال توسط الوئنت‌های حاوی شکر آورده شده است.

جدول ۳-۵: بهینه‌سازی دمای آزمایش (بازیابی طلا از کربن فعال)

Carbon (%)	NaCN (%)	NaOH (%)	Sugar (%)	Time (hrs)	Temp. (%)
10	2	2	3	2	98
Based on plant operational factors			Fixed by Testworks		

همان گونه که از نتایج جدول ۳-۵ مشخص می‌شود، سطوح بهینه پارامترهای تاثیرگذار بر روی میزان بازیابی طلا از کربن فعال توسط الوئنت‌های حاوی شکر تعیین شده است که از آزمایش‌های انجام شده مقایسه با نتایج سایر آزمایش‌ها بدست آمده است.

با در دست داشتن سطوح بهینه، امکان قیاس روش استحصال طلا از کربن با استفاده از الوئنت‌های حاوی شکر در مقایسه با سایر روش‌های کاربردی در صنعت نظیر روش آنگلو و یا زادرای تحت فشار را فراهم می‌کند.

با استفاده از روش‌های فنی اقتصادی امکان اینکه استفاده از یک روش که قابلیت استفاده از آن در آزمایشگاه تایید شده است بررسی و نتایج به صورت برآورد مالی بیان می‌شود. به عبارت دیگر مزایا و معایب و برتری یک روش نسبت به روش‌های دیگر به صورتی بیان می‌شود تا تصمیم‌گیری برای اینکه از کدام روش استفاده شود مهیا باشد زیرا خروجی هر عملیات صنعتی بایستی محصولاتی قابل فروش با داشتن بیشترین جاذبه‌های اقتصادی باشد.



### ۵-۳- معرفی کاربردهای اقتصاد مهندسی

مهندسی حرفه‌ای است که در آن یک دانش برگرفته از علوم ریاضی و طبیعی که با مطالعه، تجربه و عمل کسب شده است، به همراه یک قضاوت، برای توسعه روش‌هایی جهت بهره‌برداری اقتصادی از مواد و نیروهای طبیعی در راستای منافع بشریت مورد استفاده قرار می‌گیرد. اقتصاد مهندسی رشته‌ای است که با جنبه‌های اقتصادی مهندسی سر و کار دارد. این رشته با ارزیابی سیستماتیک هزینه‌ها و فواید پروژه‌های فنی پیشنهادی درگیر است. هدف از اقتصاد مهندسی توسعه اصول و روش‌شناسی مورد نیاز برای پاسخ به این پرسش اقتصادی کلیدی درباره هر طراحی مهندسی است که: آیا منافع طرح بر هزینه‌های آن غلبه دارد یا خیر؟ از کاربردهای اقتصاد مهندسی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بررسی توجیه‌پذیری اقتصادی سرمایه‌گذاری بر روی یک پروژه.
  - مقایسه فرصت‌های موجود برای سرمایه‌گذاری به منظور رتبه‌بندی آنها و انتخاب فرصت‌های برتر.
  - بررسی انتخاب بین خرید یا اجاره ماشین آلات برای انجام یک پروژه.
  - بررسی موضوع تعویض و جایگزینی ماشین آلات.
  - بررسی انتخاب عیارهای حد در عملیات معدن‌کاری.
  - بررسی ظرفیت‌های اقتصادی پروژه‌ها.
- غالباً علاوه بر جنبه‌های اقتصادی تصمیم‌گیری، عوامل غیر مالی نیز نقش چشم‌گیری در پیشنهاد‌های نهایی ایفا می‌کنند. از جمله این اهداف می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- تأمین انتظارات مشتریان یا فراتر از آن.
  - ایمنی
  - بهبود رضایت کارکنان.
  - حفظ انعطاف‌پذیری تولید برای پاسخ به تقاضاهای در حال تغییر.
  - تأمین نیازمندی‌های زیست‌محیطی یا فراتر از آن.

- تعهد نسبت به ایفای نقش موثر اجتماعی.

- یکنواخت‌سازی نوسانات دوره‌ای تولید.

تصمیم‌گیرنده معمولاً گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که منافع بلند مدت مالکین سازمان را بهتر تأمین کند، بنابراین ملاک تصمیم نیز باید معطوف به همین هدف باشد.

تحلیل جنبه‌های اقتصادی یک موقعیت تصمیم‌مهندسی تا حد زیادی بر جریان نقدینگی‌ها توسعه داده شده برای گزینه‌های موجه مبتنی است. در نظر گرفتن عدم قطعیت در تخمین‌ها نیز ممکن است مورد نیاز باشد. همچنین تمرکز بر تفاوت جریان وجوه نقد بین دو به دو گزینه‌ها می‌تواند اهمیت داشته باشد.

گزینه برتر صرفاً نتیجه کل تلاش صورت گرفته در مراحل پیشین است. بنابراین، در صورت انجام درست مراحل پیشین، گزینه برتر نیز محصول تصمیم‌گیری درست خواهد بود.

در سازمان‌های بخش خصوصی و عمومی، طراحی برای پاسخ به نیازهای اقتصادی و نیل به عملیات‌های رقابتی به ایجاد تعادل دقیق بین آنچه به لحاظ فنی ممکن است، و آنچه به لحاظ اقتصادی توجیه دارد، وابسته است. متأسفانه هیچ روش میان‌بری برای رسیدن به این تعادل بین امکان‌پذیری فنی و اقتصادی وجود ندارد. بنابراین، برای فراهم کردن نتایجی جهت کمک به دستیابی به یک تعادل قابل قبول، استفاده از روش‌های تحلیل اقتصاد مهندسی ضروری است. برای بررسی و تحلیل مهندسی لازم است پارمترهای مورد مقایسه شناسایی شوند.

هزینه‌های ثابت هزینه‌هایی هستند که در طول دامنه معینی از یک عملیات موجه با ظرفیت یا قابلیت در دسترس تحت تاثیر تغییرات سطح فعالیت قرار ندارند. از جمله هزینه‌های ثابت نمونه‌وار می‌توان به بیمه و مالیات تسهیلات، دستمزد مدیریت و افراد اداره مرکزی، هزینه‌های لیسانس و هزینه‌های بهره‌برداری سرمایه قرضی اشاره نمود. اگرچه همه هزینه‌ها در معرض تغییر واقع هستند، ولی هزینه‌های ثابت در دامنه معینی از شرایط عملیاتی تمایل به ثبات دارند. در صورت وقوع تغییرات بزرگ در کاربرد منابع یا ایجاد توسعه در کارخانه یا توقف آن، هزینه‌های ثابت نیز تحت تاثیر قرار خواهند گرفت.

هزینه‌های متغیر هزینه‌هایی هستند که با یک عملیات مرتبط بوده و کل این هزینه با مقدار تولید یا سایر سنج-



های سطح فعالیت تغییر می‌کند. در تحلیل اقتصاد مهندسی از یک تغییر پیشنهادی در یک عملیات، مادامی که دامنه فعالیت‌ها تغییر چشم‌گیری نکرده باشد، هزینه‌های متغیر اولین بخش از تفاوت پیش‌بینی شده بین عملیات-های فعلی و تغییر یافته خواهد بود.

برای مثال، هزینه مواد و نیروی کار مورد استفاده در یک محصول یا خدمت، هزینه‌های متغیر هستند، چرا که علی‌رغم ثابت باقی ماندن هزینه واحد محصول، جمع این هزینه‌ها با تعداد محصولات تغییر می‌کند.

هزینه یا درآمد (صرفه‌جویی) توسعه‌ای (افزایشی) هزینه یا درآمد اضافی است که از افزایش محصول یک سیستم به اندازه یک (یا چند) واحد نتیجه می‌گردد. هزینه افزایشی غالباً با تصمیمات "اجرا یا عدم اجرا" که با تغییر محدود در محصول یا سطح فعالیت سر و کار دارد، مرتبط می‌باشد. تعابیری مانند "هزینه افزایشی تولید یک تن کنسانتره اضافی" و "هزینه افزایشی آموزش یک دانشجو برای دولت" اشاره به این نوع هزینه دارد. همان طوری که این مثال‌ها نشان می‌دهد، معمولاً تعیین هزینه (یا درآمد) افزایشی در عمل بسیار مشکل است.

یکی دیگر از هزینه‌هایی که در طول یک پروژه وارد محاسبات می‌شود هزینه‌های مستقیم، غیر مستقیم و یا بالاسری است. هزینه‌های مستقیم هزینه‌هایی هستند که می‌توان آنها را با دقت منطقی اندازه‌گیری کرده و به خروجی یا فعالیت کاری خاص تخصیص داد. هزینه‌های نیروی کار و مواد که مستقیماً با یک محصول، خدمت یا فعالیت ساختمانی ارتباط دارند، هزینه‌های مستقیم هستند. برای مثال، مواد لازم برای ساخت یک قطعه مکانیکی هزینه مستقیم خواهد بود.

هزینه‌های غیر مستقیم هزینه‌هایی هستند که نسبت یا تخصیص دادن آنها به یک محصول یا فعالیت کاری خاص و مشکل است. این اصطلاح معمولاً اشاره به انواعی از هزینه‌ها دارد که تخصیص مستقیم آنها به یک محصول معین نیاز به تلاش بسیار زیادی دارد. در این کاربرد، تخصیص این هزینه‌ها به محصولات یا فعالیت‌های کاری از طریق یک رابطه منتخب مثلاً متناسب با ساعات نیروی کار مستقیم، پول نیروی کار مستقیم یا پول مواد مستقیم صورت می‌گیرد. برای مثال در یک کارخانه، با هزینه‌های ابزار مشترک، مواد مصرفی مشترک و تعمیر و نگهداری تجهیزات به عنوان هزینه‌های غیر مستقیم رفتار می‌شود.



هزینه‌های بالاسری بخشی از هزینه‌های عملیاتی کارخانه هستند که هزینه نیروی کار یا مواد مستقیم نمی‌باشند. در اینجا واژه‌های هزینه‌های غیر مستقیم، بالاسری و سربار به یک معنی به کار می‌روند. هزینه‌های برق مصرفی، تعمیرات عمومی، مالیات بر دارایی و نظارت و بازرسی نمونه‌هایی از هزینه‌های بالاسری هستند. معمولاً برای رسیدن به قیمت فروش واحد یک محصول یا خدمت، مخارج اداری و فروش به هزینه‌های مستقیم و هزینه‌های بالاسری اضافه می‌گردد.

هزینه‌های استاندارد هزینه‌های نمایانگر واحد محصول خروجی هستند که پیش از تولید یا تحویل خدمت واقعی تعیین شده‌اند. این هزینه‌ها از روی ساعات کار مستقیم نیروی کار، مواد و وظایف پشتیبانی برنامه‌ریزی شده برای فرایند تولید یا تحویل که به ازای واحد محاسبه شده است، بدست می‌آید.

هزینه‌های استاندارد در کنترل هزینه و سایر وظایف مدیریت نقش مهمی ایفا می‌کنند و عبارتند از:

- تخمین هزینه‌های آینده ساخت و تحویل خدمات.

- سنجش عملکرد از طریق مقایسه هزینه واقعی با هزینه استاندارد.

- آماده‌سازی پیشنهاد قیمت برای محصولات یا خدمات مورد تقاضا.

- تعیین ارزش موجودی کار در جریان و محصولات نهایی.

هزینه از دست رفته هزینه‌ای است که در گذشته اتفاق افتاده و هیچ ربطی به تخمین هزینه‌ها و درآمدهای آینده مرتبط با یک گزینه از کار ندارد. بنابراین، هزینه از دست رفته بخشی از گردش‌های نقدینگی پیش‌بینی شده برای آینده نبوده و در یک مطالعه اقتصاد مهندسی باید نادیده گرفته شود، اگرچه این کار گاهی به لحاظ احساسی مشکل است.

تشخیص هزینه‌های از دست رفته و رفتار مناسب با آنها در تحلیل اهمیت زیادی دارد. به طور خلاصه، هزینه‌-

های از دست رفته نتیجه تصمیمات گذشته بوده و بنابراین در تحلیل و مقایسه گزینه‌هایی که بر آینده تاثیر می‌-

گذارند، نامربوط محسوب می‌شود. وجود هزینه‌های از دست رفته از این منظر سودمند است که می‌تواند به

تجربیات درباره نحوه پیش‌بینی بهتر در آینده بیفزاید.



از مفهوم هزینه از دست رفته در تحلیل جایگزینی تجهیزات استفاده می‌شود.

هزینه فرصت در استفاده از منابع محدود تحمیل می‌شود، به این ترتیب که فرصت استفاده از آن منابع در یک گزینه به منظور بهره‌گیری از مزیت درآمذزایی آنها از دست می‌رود. هزینه فرصت، هزینه بهترین فرصت رد شده (از دست رفته) بوده و غالباً پنهان یا ضمنی است. به عنوان مثال، فرض کنید که یک پروژه از یک فضای انبار خالی که در حال حاضر در مالکیت یک شرکت قرار دارد، استفاده می‌کند. هزینه آن فضا برای پروژه می‌تواند به عنوان درآمد یا صرفه‌جویی در نظر گرفته شود که در صورت استفاده یک گزینه محتمل از آن فضا می‌توانست عاید شرکت شود. به بیان دیگر، هزینه فرصت فضای انبار، درآمدی است که در صورت بهترین استفاده از آن فضا عاید شرکت می‌شد. مفهوم هزینه فرصت غالباً در تحلیل جایگزینی بخشی از تجهیزات یا سایر دارایی‌های سرمایه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

هزینه چرخه عمر به مجموع همه هزینه‌ها، اعم از تکرار شونده و تکرار ناشونده، که با یک محصول، ساختار، سیستم یا خدمات در طول دوره عمر آن مرتبط است، اطلاق می‌گردد. این چرخه با شناسایی نیاز یا میل اقتصادی (نیازمندی) آغاز شده و با از کار افتادگی و کنار گذاشته شدن خاتمه می‌یابد. پایان چرخه عمر ممکن است بر اساس وظیفه یا اقتصاد پیش‌بینی شود. یکی از اهداف مفهوم چرخه عمر روشن کردن تاثیرات متقابل هزینه‌ها در طول کل دوره عمر یک محصول است. یکی از اهداف فرایند طراحی، کمینه کردن هزینه چرخه عمر، ضمن تأمین سایر نیازمندی‌های عملکردی می‌باشد. چرخه عمر از دو مرحله اصلی اکتساب و عملیات تشکیل می‌شود که هر کدام از این دو مرحله به زیر مراحل قابل تقسیم است.

هزینه سرمایه‌گذاری عبارت از سرمایه مورد نیاز برای بسیاری از فعالیت‌ها در مرحله اکتساب است. در موارد ساده، از قبیل تملک تجهیزات خاص، هزینه سرمایه‌ای ممکن است به عنوان یک خرج منفرد تحمیل شود. هرچند، در یک پروژه ساختمانی پیچیده ممکن است مجموعه‌ای از مخارج در دوره زمانی گسترده‌تری مورد نیاز باشد. از این هزینه با عنوان سرمایه‌گذاری شده نیز نام برده می‌شود.

سرمایه در گردش یا سرمایه کاری عبارت از سرمایه جاری لازم برای راه‌اندازی و پشتیبانی بعدی فعالیت‌ها می‌-



باشد. تهیه مواد لازم برای موجودی انبار، خرید لوازم یدکی و ابزار و استخدام افراد آموزش دیده برای تعمیر و نگهداری، پرداخت حقوق کارکنان و سایر مخارج عملیاتی در زمان راه‌اندازی از موارد نیازمند سرمایه در گردش است. میزان سرمایه در گردش به پروژه بستگی دارد و معمولاً بخشی از سرمایه در گردش یا همه این سرمایه در پایان عمر پروژه بازیابی می‌گردد.

هزینه عملیات و نگهداری بسیاری از مخارج تکرار شونده سالانه مرتبط با مرحله عملیات چرخه عمر هستند. هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم عملیاتی مرتبط با پنج حوزه منابع اولیه، یعنی افراد، ماشین آلات، مواد، انرژی و اطلاعات بخش اصلی هزینه‌های این دسته می‌باشند. هزینه‌های توقف و کنار گذاشتن عبارت از هزینه‌های تکرار ناشونده مربوط به توقف عملیات و از کار افتادگی و کنار گذاشتن دارایی‌ها در پایان چرخه عمر می‌باشد. معمولاً برای بستن پروژه هزینه‌های مرتبط با افراد، مواد، حمل و نقل و فعالیت‌های خاص تکرار ناشونده را می‌توان انتظار داشت. این هزینه‌ها در برخی موارد با درآمدهای ناشی از فروش دارایی‌ها در بازار جبران می‌شوند. نمونه کلاسیک هزینه کنار گذاشتن، هزینه‌های مربوط به پاکسازی محوطه‌ای است که یک کارخانه فرآوری مواد معدنی در آنجا قرار داشته است.

مهندسی باید در موقع طراحی کالاها، فرایندها و خدمات زاویه نگاه چرخه عمر خود را از ابتدا تا انتها حفظ کرده و هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، مخارج عملیاتی و نگهداری و سایر مخارج سالیانه در سال‌های بعد و همچنین پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی در طول عمر را در نظر بگیرند. هزینه چرخه عمر کمینه یکی از آرمان‌هایی است که تا حد زیادی در اولین مراحل طراحی بدست می‌آید. این نوع نگاه که مهندس می‌تواند ابتدا چیزی را که کار خواهد کرد، توسعه داده و بعداً درباره کنترل هزینه آن اندیشه کند، نگاه نادرستی است، چرا که در این نگاه بسیاری از ملزومات وظیفه‌ای در طراحی قطعی شده و بسیاری از فرصت‌ها برای کاهش هزینه‌ها مورد غفلت قرار گرفته‌اند. صرف در نظر داشتن اهمیت کاهش هزینه، می‌تواند تا حد زیادی به آرمان کمینه‌سازی هزینه‌های چرخه عمر حرکت کنند.

کالاها و خدمات به این دلیل تولید می‌شوند که مستقیماً یا به طور غیر مستقیم دارای مطلوبیت بوده و توان



پاسخ‌گویی به خواسته‌ها و نیازهای انسان را دارند. مطلوبیت معمولاً با ارزش که بر حسب واسطه‌ای مانند قیمت بیان می‌گردد، سنجیده می‌شود. بسیاری از فعالی‌های کسب و کار از جمله مهندسی بر افزایش مطلوبیت (ارزش) مواد و محصولات به کمک تغییر در شکل یا محل آنها متمرکز است.

### ۵-۴- مقایسه‌های پروژه‌های مختلف از دیدگاه اقتصاد مهندسی

بسیاری از پروژه‌های مهندسی را می‌توان با بیش از یک گزینه طراحی موجه انجام داد. وقتی که گزینش یکی از این گزینه‌ها مانع انتخاب هر کدام از گزینه‌های دیگر شود، گزینه‌ها را کاملاً متمایز گویند. معمولاً گزینه‌های مورد نظر نیازمند سرمایه‌گذاری با مقادیر مختلف بوده و عواید و هزینه‌های سالانه آنها نیز ممکن است متفاوت باشد.

گاهی ممکن است عمر مفید گزینه‌ها نیز یکسان نباشد. با توجه به اینکه سطوح مختلف سرمایه‌گذاری معمولاً به پیامدهای اقتصادی متفاوتی منجر می‌شوند، لازم است برای تعیین اینکه کدام یک از گزینه‌های متمایز ترجیح داشته و در نتیجه مقدار سرمایه‌گذاری چقدر باید باشد، یک مطالعه اقتصاد مهندسی انجام پذیرد.

گزینه‌ها را می‌توان به دو گروه گزینه‌های سرمایه‌گذاری و گزینه‌های هزینه تقسیم کرد:

گزینه‌های سرمایه‌گذاری گزینه‌هایی هستند که در ابتدای دوره نیازمند هزینه سرمایه‌گذاری بوده و در طول دوره از محل افزایش درآمد یا صرفه‌جویی از طریق کاهش هزینه‌ها یا هر دو، گردش‌های نقدینگی مثبت تولید می‌کنند.

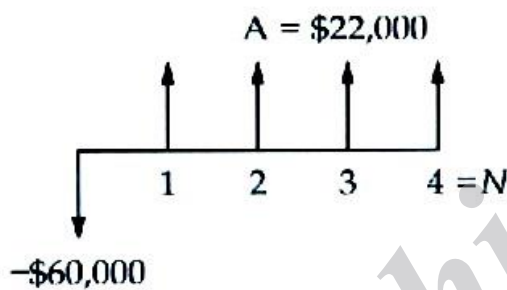
گزینه‌های هزینه گزینه‌هایی هستند که همه گردش‌های نقدینگی آنها به جز مولفه مثبت احتمالی مربوط به واگذاری دارایی‌ها در پایان عمر مفید پروژه، منفی می‌باشد. این وضعیت وقتی پیش می‌آید که سازمان باید در رابطه با اقتصادی‌ترین راه انجام کار (مانند افزایش قابلیت کنترل زیست‌محیطی برای تأمین الزامات قانونی جدید) فعالیت‌هایی را انجام داده و تصمیماتی را اتخاذ کند.

انتخاب (تصمیم) در بین گزینه‌ها قرار دارد. در انتخاب باید هدف بنیادی از سرمایه‌گذاری، یعنی بدست آوردن حداقل MARR برای هر یک واحد سرمایه‌گذاری مورد توجه قرار گیرد. در عمل، معمولاً تعداد معدودی گزینه

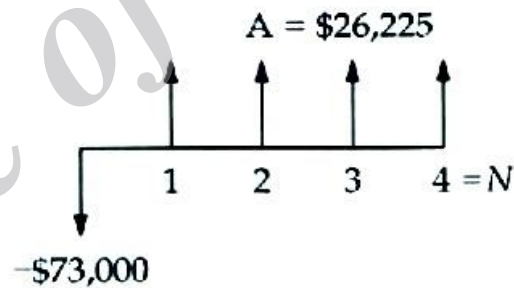
موجه برای بررسی وجود دارد. قاعده بنیادی در انتخاب گزینه برتر این است که:

گزینه‌ای که ضمن تولید نتایج وظیفه‌ای رضایت‌بخش، نیازمند کم‌ترین هزینه سرمایه‌گذاری است، به عنوان گزینه پایه در نظر گرفته می‌شود. سرمایه‌گذاری اضافی بالاتر از سرمایه مورد نیاز برای گزینه پایه، معمولاً به افزایش ظرفیت، افزایش کیفیت، افزایش عواید، کاهش مخارج عملیاتی یا افزایش عمر منجر می‌گردد. بنابراین، پیش از سرمایه‌گذاری پول بیشتر، باید نشان داده شود که هر افزایش اختیاری قابل اجتناب در سرمایه می‌تواند نسبت به سایر فرصت‌های سرمایه‌گذاری موجود، توجیه داشته باشد. در شکل ۵-۱ مقایسه‌ای بین دو گزینه A و B برای بیان اختلاف آنها به صورت پارامترهای اقتصادی بیان شده است.

### 1. Alternative A

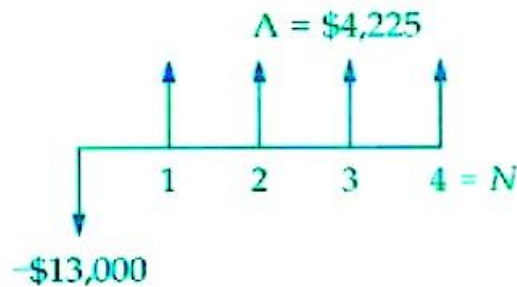


### 2. Alternative B



Difference

### 3. Alt. B minus Alt. A (year-by-year)



شکل ۵-۱: بیان اختلاف دو پروژه A و B به صورت پارامترهای اقتصادی برای سهولت در تصمیم‌گیری.





دوره مطالعه (تحلیل) که به افق برنامه‌ریزی نیز مرسوم است، دوره زمانی انتخاب شده‌ای است که گزینه‌های متمایز طی آن دوره با هم مقایسه می‌شوند. تعیین دوره مطالعه برای یک موقعیت تصمیم‌گیری ممکن است تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند دوره خدمت مورد نیاز، عمر مفید گزینه دارای کم‌ترین عمر، عمر مفید گزینه دارای طولانی‌ترین عمر، سیاست شرکت و غیره قرار داشته باشد. نکته کلیدی این است که دوره مطالعه انتخابی باید برای تصمیم‌گیری تحت بررسی مناسب باشد.

عمرهای مفید گزینه‌هایی که با هم مقایسه می‌شوند، نسبت به دوره مطالعه انتخابی ممکن است دو حالت داشته باشد:

عمرهای مفید برای همه گزینه‌ها یکسان بوده و برابر طول دوره مطالعه است.

عمرهای مفید بین گزینه‌ها متفاوت بوده و حداقل یکی از این عمرها با دوره مطالعه ناسازگار است.

عمرهای نامساوی دو نوع فرضی هستند که در این نوع مقایسه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در فرض هم‌پایانی برای همه گزینه‌ها از یک دوره زمانی معین و یکسان استفاده می‌شود. این افق برنامه‌ریزی با تعدیلات مناسب در جریانهای نقدینگی برآورد شده، گزینه‌ها را در پایه مشترک و قابل مقایسه قرار می‌دهد. برای مثال، در مقایسه گزینه‌های مرتبط با ارائه یک خدمت، برای همه گزینه‌ها از دوره زمانی یکسان استفاده می‌شود. اگر عمر گزینه‌ای کوتاه‌تر از دوره مطالعه باشد، برای فعالیت‌های درگیر در سال‌های باقی‌مانده می‌توان از هزینه سالانه تخمینی قراردادی استفاده نمود. به همین ترتیب، اگر عمر مفید یک گزینه بلندتر از طول دوره مطالعه باشد، معمولاً از برآورد مجدد ارزش بازار به عنوان گردش نقدینگی پایانی در پایان عمر پایان‌پذیری پروژه استفاده می‌شود.

ساده‌ترین روش در مقایسه گزینه‌های کاملاً متمایز، وقتی که عمر مفید گزینه‌ها یکسان و برابر دوره مطالعه باشد، استفاده از روش‌های ارزش هم‌ارز گزینه‌ها بر اساس کل سرمایه‌گذاری و با نرخ MARR می‌باشد. پس از محاسبه ارزش هم‌ارز گزینه‌ها، در مورد گزینه‌های سرمایه‌گذاری، گزینه‌ای انتخاب می‌شود که دارای بالاترین ارزش هم‌ارزی مثبت باشد و در مورد گزینه‌های هزینه، گزینه منتخب گزینه‌ای است که ارزش هم‌ارزی منفی آن



حداقل باشد. در موقع استفاده از روش‌های ارزش هم‌ارزی هر سه روش PW، FW و AW به نتیجه یکسان منجر می‌شوند. برای مقایسه گزینه‌های کاملاً متمایز روش‌های ارزش هم‌ارزی ساده‌ترین و با ثبات‌ترین روش‌ها هستند. برای ارزیابی گزینه‌های کاملاً متمایز از روش‌های نرخ بازگشت نیز می‌توان استفاده نمود. توجه به سه قاعده زیر در موقع استفاده از این روش‌ها ضروری است:

- هر افزایش سرمایه‌ای باید با تولید یک نرخ بازگشت کافی بر روی آن افزایش، خود را توجیه کند.  
- گزینه نیازمند سرمایه‌گذاری بالاتر در مقابل گزینه با سرمایه‌گذاری پایین‌تر فقط وقتی مقایسه می‌شود که گزینه دوم قابل قبول باشد.  
- مادامی که سرمایه‌گذاری افزایشی با تولید منفی که حداقل MARR را تأمین می‌کند، توجیه‌پذیر باشد. گزینه‌ای انتخاب می‌شود که نیازمند سرمایه‌گذاری بالاتر است. گزینه‌ای که به این روش انتخاب می‌شود، ارزش هم‌ارز کل سرمایه‌گذاری را با نرخ MARR بیشینه می‌کند.  
برای جلوگیری از بروز مشکل رتبه‌بندی نادرست گزینه‌های متمایز در موقع استفاده از روش‌های نرخ بازگشت، از روش موسوم به روش تحلیل سرمایه‌گذاری افزایشی استفاده می‌شود. سه مرحله اصلی این روش به شرح زیر است:

- گزینه‌های موجه بر اساس هزینه سرمایه‌گذاری به صورت صعودی مرتب می‌شوند.  
- یک گزینه پایه تعیین می‌شود.  
الف- گزینه‌های هزینه: اولین گزینه در زنجیره، گزینه پایه است.  
ب) گزینه‌های سرمایه‌گذاری: اولین گزینه قابل قبول (با ارزش هم‌ارز نامنفی یا نرخ بازگشت بزرگ‌تر از MARR)، گزینه پایه است.  
- ارزیابی تفاوت بین گزینه‌ها. آخرین گزینه قابل قبول در زنجیره، گزینه برتر است.  
خلاصه اینکه در رابطه با مقایسه گزینه‌های متمایز با عمر مشابه و برابر دوره مطالعه، سه ملاحظه کلیدی زیر قابل توجه است:



- کاربرد روش‌های ارزش هم‌ارز به لحاظ محاسباتی در دسر کم‌تری دارد.
- هم روش‌های هم‌ارز و هم روش‌های نرخ بازگشت، اگر به درستی مورد استفاده قرار گیرند، به طور باثبات بهترین گزینه را پیشنهاد خواهند نمود.
- در روش‌های نرخ بازگشت، اگر تحلیل‌گر یا مدیر بر بهینه‌سازی نرخ بازگشت کل گردش نقدینگی اصرار داشته باشد، ممکن است گزینه درست انتخاب نشود. در این حالت، برای اطمینان از انتخاب گزینه برتر باید از رویه تحلیل افزایشی استفاده شود.
- همان طوری که قبلاً گفته شد، مراحل تحلیل پروژه‌های مهندسی عبارتند از:
  - شناسایی و صورت‌بندی مسئله.
  - توسعه گزینه‌های موجه.
  - توسعه گردش نقدینگی خالص و سایر پیامدهای مورد انتظار برای همه گزینه‌ها.
  - انتخاب یک یا چند معیار برای تعیین گزینه برتر.
  - تحلیل و مقایسه گزینه‌ها.
  - انتخاب گزینه برتر.
  - پایش عملکرد و پسا‌رزیابی نتایج.
- همان طوری که دیده می‌شود، توسعه جریان‌های نقدینگی برای پروژه‌های موجه یکی از مراحل اصلی تحلیل اقتصادی می‌باشد. از آنجایی که مطالعات اقتصادی پروژه‌های مهندسی با یامدهایی که تا آینده گسترش می‌یابد، سر و کار دارد بنابراین، تخمین جریان‌های نقدینگی آینده برای گزینه‌های موجه پروژه‌ها در انجام تحلیل اهمیت حیاتی دارد. تصمیم مبتنی بر تحلیل فقط وقتی به لحاظ اقتصادی معتبر است که بتوان برآوردهای انجام شده از هزینه‌ها و درآمدها را بازنمایی کننده آنچه بعداً پیش خواهد آمد، دانست.



## ۵-۵- مقایسه اقتصادی روش استفاده از شکر در الوئنت‌های استحصال طلا با سایر روش‌ها

نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که با استفاده از شکر افزوده شده در الوئنت‌های استحصال طلا از کربن فعال می‌توان با بازیابی قابل قبولی طلا را از کربن فعال بازیابی نمود. برای بررسی اینکه شرایط سرمایه‌گذاری و عملیاتی این روش نسبت به روش‌های رایج و متداول چگونه بر روی عملیات فرآوری طلا تاثیر می‌گذارد، این روش را می‌توان با روش‌های مورد استفاده در دو کارخانه فرآوری طلای ایران شامل کارخانه فرآوری طلای موته و کارخانه فرآوری طلای پویا زرکان آق دره مقایسه نمود. به این منظور می‌توان هزینه‌های روش‌های مختلف را نسبت به محلول مورد استفاده برای بازیابی طلا از کربن فعال توسط یک تن محلول الوئنت تهیه شده بدست آورد. در این روش پارامترهایی که در هر دو روش یکسان هستند کنار گذاشته می‌شود و مقادیر مالی پارامترهایی که در دو روش با یکدیگر اختلاف دارند مقایسه می‌شوند.

## ۵-۵-۱- مقایسه واحد الوشن واحد طلای موته با روش پیشنهادی

واحد فرآوری طلای موته عبارتند از: واحد خردایش، سیانیداسیون، سرد کردن، واحد شستشوی کربن فعال، تانک اسید شویی، ستون الوشن، الکترووینینگ، تانک الوشن و واحد فعال‌سازی کربن. در ستون الوشن، کربن فعال از قسمت بالا وارد ستون می‌شود و محلول حاوی آب، سیانید سدیم با غلظت ۰/۵ درصد و سود سوزآور با غلظت ۲ درصد در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد و فشار ۲۵۰ kPa وارد ستون می‌شود. بعد از اتمام بازیابی طلا از کربن فعال کربن بی‌بار از انتهای ستون خارج و به واحد فعال‌سازی منتقل می‌شود و محلول باردار طلا واحد مرحله الکترووینینگ می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده با استفاده از الوئنت‌های حاوی شکر می‌توان هزینه‌های این دو روش را با یکدیگر مقایسه نمود.



### ۵-۱-۱-۵-۵-۱ دمای فرایند

برای رسیدن به بازیابی قابل قبول در واحد الوشن طلای موته لازم است الونت تا دمای  $110^{\circ}\text{C}$  در فشار kPa برای رسیدن به بازیابی قابل قبول در واحد الوشن طلای موته لازم است الونت تا دمای  $110^{\circ}\text{C}$  در فشار kPa ۲۵۰ گرم شود. دمای مورد استفاده مورد نیاز در الونتی که حاوی شکر است برای دست یافتن به بازیابی مشابه  $95-98^{\circ}\text{C}$  خواهد بود. معمولاً برای افزایش ۱۰ درجه‌ای یک متر مکعب آب معادل ۶-۷ دلار انرژی مصرف خواهد شد. بنابراین در قیاس دو روش می‌توان بیان نمود که در صورت استفاده از الونت‌های حاوی شکر به ازای هر تن محلول الونت ۷ دلار صرفه‌جویی در مصرف انرژی رخ خواهد داد.

### ۵-۱-۲-۵-۵-۱ فشار فرایند

فرایند استحصال طلا از کربن فعال توسط الونت‌های حاوی شکر در فشار اتمسفری قابل انجام است در حالی که فرایند ستون الوشن مورد استفاده در مارخانه فرآوری طلای موته در فشار عملیاتی ۲۵۰ kPa انجام می‌شود. برای تأمین چنین فشاری در دمای مورد نیاز تقریباً به ازای هر تن محلول الونت موجود در ستون الوشن ۲۵ دلار صرف هزینه‌تاسیسات مورد نیاز خواهد شد که در فرایند الوشن با طلا به عنوان صرفه‌جویی فرایند به شمار می‌رود.

### ۵-۱-۳-۵-۵-۱ هزینه اضافه کردن شکر

مطابق نتایج آزمایش‌های انجام شده، برای تهیه الونت حاوی شکر لازم است محلول حاوی ۳٪ شکر باشد. بنابراین برای تهیه محلول به ازای هر تن به ۳۰ کیلوگرم شکر صنعتی نیاز است. با در نظر گرفتن اینکه هر تن شکر صنعتی معادل ۷۵۰ دلار هزینه دارد بنابراین برای هر تن محلول الونت ۲۲/۵ دلار هزینه به فرایند تحمیل می‌شود.

### ۵-۱-۴-۵-۵-۱ هزینه‌های عملیاتی



کاهش حجم الوئنت به کمتر از ۵۰ درصد در روش الوئنت‌های حاوی شکر نسبت به روش‌های رایج سبب خواهد شد که هزینه‌های عملیاتی شامل هزینه‌های تجهیزات، هزینه‌های پرسنلی، هزینه‌های مربوط به انرژی در بخش الوشن نظیر پمپاژ و الکترووینینگ کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. اگر به ازای هر تن محلول الوئنت هزینه‌ای معادل ۱۹ دلار در روش‌های معمول برای هزینه‌های عملیاتی در نظر گرفته شود، بنابراین با یک تناسب می‌توان دست یافت که احتمالاً حدود ۹/۵ دلار در روش الوشن با شکر در هزینه‌های عملیاتی صرفه‌جویی خواهد شد (بایستی توجه نمود که با توجه به عدم وجود واحدهای الوشن با شکر محاسبه هزینه عملیاتی برای این واحد به طور مستقیم دشوار خواهد بود گرچه تناسب دقت قابل قبولی را در سطح مطالعه موردنظر ایجاد می‌کند).

#### ۵-۱-۵-۵- هزینه تولید آب دی‌یونیزه

از آنجائیکه در روش‌های معمولاً استحصال طلا از کربن فعال لازم است که آب دی‌یونیزه برای تهیه محلول الوشن مورد استفاده قرار گیرد، در نتیجه هزینه‌ای معمولاً برای تبدیل آب‌های صنعتی به آب دی‌یونیزه مصرف می‌شود که این هزینه در روش الوشن با شکر وجود ندارد زیرا با استفاده از آب‌های معمول صنعتی محلول قابل تهیه است. برای تهیه هر تن آب دی‌یونیزه به طور رایج ۶ دلار هزینه بایستی پرداخت نمود.

در جدول ۴-۵ هزینه‌های عملیاتی روش مورد استفاده در واحد الوشن طلای موته و هزینه‌ها در روش الوئنت با شکر با یکدیگر مقایسه شده است. به منظور اینکه اختلاف هزینه‌های مرتبط با استفاده از شکر در الوشن طلا برای استفاده از واحدهای صنعتی جنبه اقتصادی بیشتری داشته باشد، اگر روزانه واحد طلای موته به طور متوسط ۱۰۰ تن الوئنت برای بازیابی طلا از کربن فعال استفاده کند و به جای استفاده از روش معمول خود روش الوشن مورد استفاده را به روش استفاده از الوئنت‌های حاوی شکر تغییر دهد، بنابراین روزانه ۲۵۸۰ دلار صرفه‌جویی برای این کارخانه فرآوری طلا در واحد الوشن خود خواهد داشت. این صرفه‌جویی معادل ۹۸۰۴۰ دلار در ماه و ۸۵۱۴۰۰ دلار در سال (معادل ۷۹۲۰ ساعت عملیاتی کارخانه) می‌باشد که صرفه‌جویی قابل توجهی خواهد بود.

جدول ۴-۵: مقایسه هزینه‌های عملیاتی واحد الوشن طلای موته و واحد الوشن با شکر

ردیف	واحد هزینه	NaOH 2% (\$)	NaCN 2% (\$)	Temp °C (\$)	Pressure kPa (\$)	Sugar 3% (\$)	De-ionize Water (\$)	Operational Cost (\$)
۱	واحد الوشن طلای موته	-50	-35	-71.5	-25	0	-6	-19
۲	واحد الوشن با شکر	-50	-35	-63.7	0	-22.5	0	-9.5
۳	اختلاف هزینه ها (۲)-(۱)	0	0	-7.8	-25	22.5	-6	-9.5
۴	مجموع اختلاف هزینه ها							-25.8 \$

### ۵-۵-۲- مقایسه واحد الوشن واحد طلای پویا زرکان آق دره با روش پیشنهادی

در کارخانه فرآوری طلای آق دره واحد بازیابی طلا از پالپ لیچ شده شامل شستشوی کربن فعال، واحد اسیدشویی کربن فعال، ستون جدایش و کوره فعال‌سازی کربن فعال می‌باشد. کربن فعال بعد از اسیدشویی به داخل ستون الوشن منتقل می‌شود. در ستون الوشن با محلول سود سوزآور ۲٪ و سیانید سدیم ۲٪ تماس داده می‌شود که این محلول از پایین وارد و سپس از قسمت‌های بالای ستون به مبدل‌های حرارتی منتقل می‌شود. دمای محلول مورد استفاده در ستون الوشن ۱۳۰-۱۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.

برای مقایسه اختلاف هزینه‌های روش مورد استفاده در واحد الوشن کارخانه آق دره نسبت به زمانی که روش را برای استفاده از الوئنت‌های حاوی شکر تغییر دهند با استفاده از داده‌های اشاره شده در مقایسه کارخانه طلای موته، می‌توان از جدول ۵-۵ استفاده نمود.

با توجه به جدول ۵-۵، در صورتی که روش الوشن کارخانه طلای آق دره به روش استفاده از شکر به عنوان مکملی در الوئنت این کارخانه تبدیل شود برای هر ۱۰۰ تن از الوئنت، ۲۳۶۵ دلار صرفه‌جویی خواهد شد. این صرفه‌جویی معادل ۸۹۸۷۰ دلار در ماه و ۷۸۰۴۵۰ دلار در سال (معادل ۷۹۲۰ ساعت) خواهد بود.

جدول ۵-۵: اختلاف هزینه‌های روش الوشن مورد استفاده در واحد الوشن طلای آق دره

نسبت به روش مورد استفاده با الوئنت طلا

ردیف	واحد هزینه	NaOH 2% (\$)	NaCN 2% (\$)	Temp °C (\$)	Pressure kPa (\$)	Sugar 3% (\$)	De-ionize Water (\$)	Operational Cost (\$)	
۱	واحد الوشن طلای موته	-50	-35	-78	-17	0	-6	-17.7	
۲	واحد الوشن با شکر	-50	-35	-63.7	0	-22.5	0	-8.85	
۳	اختلاف هزینه‌ها (۱)-(۲)	0	0	-7.8	-25	22.5	-6	-8.85	
۴	مجموع اختلاف هزینه‌ها								-23.65\$

### ۵-۳- هزینه‌های سرمایه‌گذاری

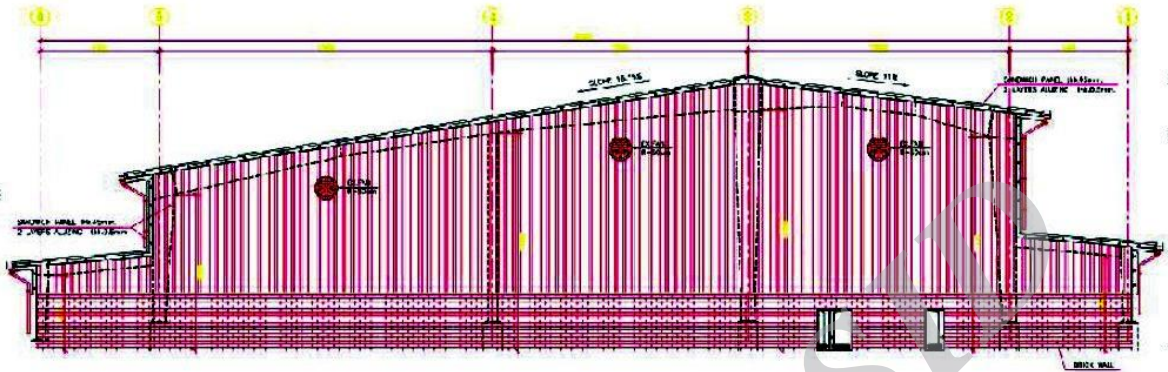
اگر یک واحد فرآوری طلا برای بازیابی طلا در مرحله تصمیم‌گیری برای جایگزینی الوئنت‌های مورد استفاده در روش‌های معمول با الوئنت‌های حاوی شکر باشد باید عنوان نمود که استفاده از این روش در موارد زیر سبب صرفه‌جویی خواهد شد:

صرفه‌جویی در زیرساخت‌ها: کاهش ۵۰٪ حجم الوئنت تولیدی سبب می‌شود که به سطح کمتری در سوله واحد الکترووینینگ نیاز باشد. در شکل ۵-۲ و ۵-۳ نمایی از سوله مورد استفاده در واحدهای الکترووینینگ و جانمایی تجهیزات آن آورده شده است. اگر ابعاد سوله مورد استفاده در روش‌های معمول بازیابی طلا معادل  $6000 \text{ m}^2$  باشد، با در نظر گرفتن هزینه ساخت سوله که برای هر متر مربع برابر با ۷۰۰۰۰۰۰ ریال است میتوان بیان نمود که با کاهش ۵۰ درصدی تجهیزات مورد استفاده در واحد الکترووینینگ حدود ۴۰ درصد در سطح مورد نیاز صرفه‌جویی خواهد شد. این مقدار صرفه‌جویی در هزینه ساخت سوله معادل  $16/8$  میلیارد ریال می‌شود. علاوه بر این در مقدار تجهیزات نصب شده نیز صرفه‌جویی قابل توجهی با توجه به کاهش در مقدار دبی محلول باردار ورودی به سلول‌های الکترووینینگ رخ خواهد داد.

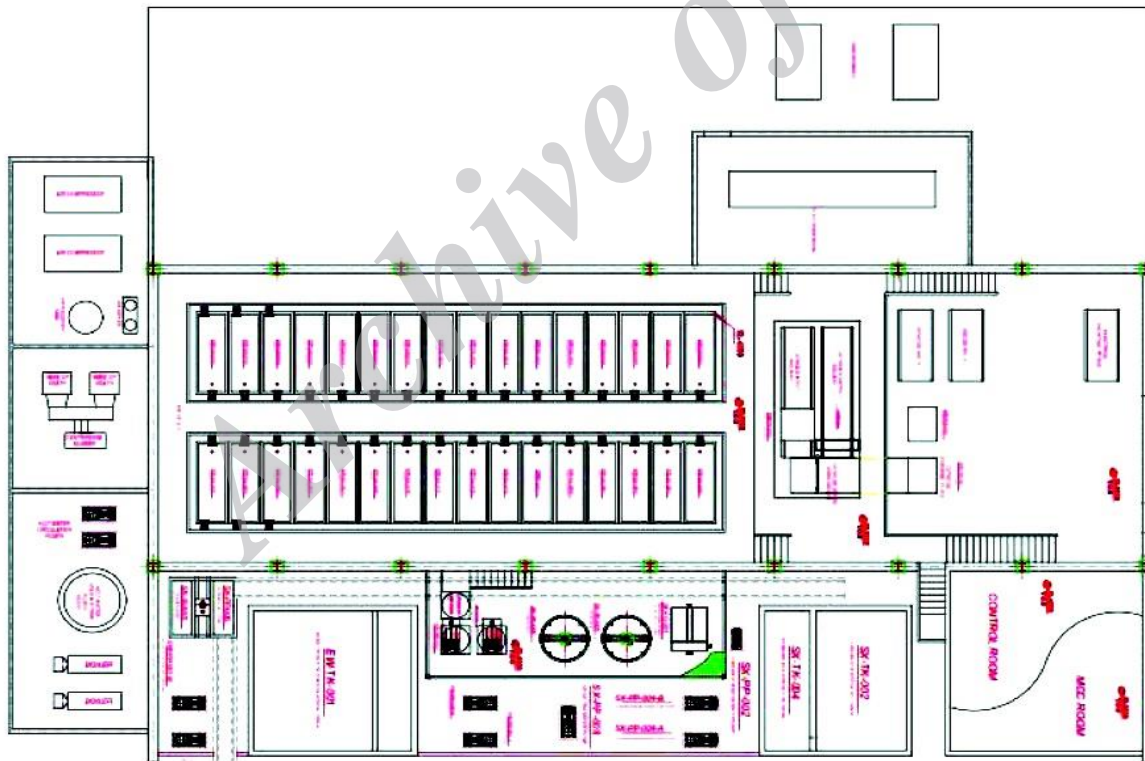
کاهش در هزینه‌های سرمایه‌گذاری جانبی: در واحدهایی که از روش‌های آنگلو یا زادرا استفاده می‌کنند، لازم



است که یک واحد برای تولید آب دی‌یونیزه مورد نیاز واحدهای روشن در کنار کارخانه‌های فرآوری تاسیس شود که مستلزم هزینه‌های سرمایه‌گذاری است.



شکل ۵-۲: نمایی از سوله مورد نیاز برای واحد الکترووینینگ در کارخانه‌های فرآوری طلا (سطح زیرینا معادل ۴۴\*۱۳۵ متر مربع)



شکل ۵-۳: جانمایی تجهیزات مدار الکترووینینگ در سوله.

نتیجه گیری

فصل هشتم

Archive of SID



## ۶-۱- نتیجه گیری

پارامترهایی که بر روی نرخ الوشن تاثیر گذارند به ترتیب اهمیت عبارتند از: دما، غلظت سیانید و سود، قدرت یونی الونت یا محلول استریپ، کیفیت آب و اسیدشویی. از آنجا که سیانید آزاد بر جذب سطحی کمپلکس‌های سیانیدی طلا تاثیر زیان‌آوری دارد و در صورتی که دما نیز افزایش یابد این امر مشهودتر می‌شود، از این رو، اغلب برای واکنش و جذب طلا از کربن فعال از غلظت‌های بالای سیانید آزاد استفاده می‌شود. همچنین به نظر می‌رسد که سیانید برای سرعت‌های بالاتر الوشن ضروری است و الوشن طلا از کربن را تکمیل‌تر می‌نماید.

افزایش غلظت سیانید یا سود تا سطوح خیلی بالا اثرات منفی روی نرخ الوشن دارد. قدرت یونی بالای الونت فوائد مثبت این عوامل را خنثی می‌سازد و به همان صورت کاهش عوامل، عدم کارایی تولید را به دنبال خواهد داشت.

با توجه به آزمایش‌های انجام شده برای الوشن طلا از کربن باردار حاوی طلا نتایج ذیل بدست می‌آید.

با افزودن شکر به محلول الونت، بازیابی طلا از کربن فعال افزایش یافته است و پس از مقدار ۳٪ شکر در محلول الونت، روند افزایش بازیابی تقریباً ثابت شده است (حدوداً ۱۷/۵٪). بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از این آزمایش‌ها شرایط آزمایشی که در آن میزان شکر برابر ۳٪ می‌باشد به عنوان سطح بهینه انتخاب شد.

در شرایطی که غلظت شکر برابر ۳٪ است بازیابی طلا تا مدت زمان ۲ ساعت افزایش داشته است و از آن مدت به بعد، این مقدار افزایش ناچیزی داشته است. مقدار بازیابی طلا در این شرایط (۳۳/۷۲٪) با شرایطی که غلظت



شکر برابر ۱٪ و زمان ۸ ساعت است (۳۳/۳۱٪) تفاوت چندانی ندارد، بنابراین با توجه به این نتایج، شرایط بهینه طبق شرایط آزمایشی که در آن مدت زمان آزمایش ۲ ساعت و غلظت شکر ۳٪ است انتخاب شد.

با افزایش دما از ۵۰ تا ۹۸ درجه سانتیگراد، بازیابی طلا از کربن فعال افزایش یافت (حدوداً ۲۵٪) که این افزایش در مقادیر دمای پایین تر کم تر از مقادیر بالاتر دمای واکنش می باشد.

بررسی های اقتصادی نشان می دهد که اگر کارخانه طلای موته به عنوان روش جایگزین الوشن موجود خود، از الوئنت های حاوی شکر استفاده کند به طور متوسط ماهانه ۹۸۰۴۰ دلار و سالانه ۸۵۱۴۰۰ دلار صرفه جویی در هزینه های عملیاتی خود خواهد داشت.

در کارخانه طلای آق دره مقدار صرفه جویی در هزینه های عملیاتی واحد الوشن در ماه معادل ۸۹۸۷۰ دلار و در سال ۷۸۰۴۵۰ دلار پیش بینی می شود در صورتی که از روش الوشن با الوئنت های حاوی شکر استفاده کند.

علاوه بر هزینه های عملیاتی که متوجه واحدهای الوشن کارخانه های کانه آرایشی طلا است، در بخش سرمایه گذاری اولیه کارخانه های جدیدالتاسیس که از الوئنت های حاوی شکر استفاده کنند نیز نسبت به روش های رایج صرفه جویی رخ خواهد داد. این صرفه جویی در بخش زیرساخت نظیر ساخت سوله مورد نیاز واحد الکترووینینگ و واحد تولید آب دی یونیزه خواهد بود.

Archive of SID



[1] Gupta, C. K., Mukherjee, T. K., "Hydrometallurgy in Extraction Processes", Vol. 2, CRC Press, 2000, chap 1, pp: 1-47.

[2] Gamini Senanayake, "The cyanidation of silver metal: Review of kinetics and reaction mechanism", Hydrometallurgy, 2006, Vol. 81, pp: 75-85.

[۳] اولیا زاده، منوچهر، بررسی روش‌های فرآوری کانسنگ‌های مقاوم طلا، معادن و فلزات، فصلنامه علمی - خبری، بهار ۱۳۷۸، ص: ۶۸-۷۵

[4] www.p2pays.org, Draft: "Cyanide heap leach and tailings impoundments closure", 1993, U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste.

[5] Greg Jones, Glenn Miller, "Mercury and Modern Gold Mining in Nevada", Final Report to U.S. Environmental Protection Agency Region IX, 2005

[6] www.epa.gov, Dirk J.A., van Zyl, Glenn M. Eurick, "The management of mercury in the modern gold mining industry

[7] J. Marsden, I. Hous, Ellis Horwood, "The chemistry of gold extraction", 1992, pp: 260-295

[8] K. Kongolo, M. D. Mwema, "The extractive metallurgy of gold", 1998, Hyperfine Interactions 111, pp: 281-289

[9] Antonio T. Robles, Kirkland Lake, "Process for eluting precious metals from activated carbon", 2001, US Patent

[10] www.goldmetallurgy.com (2010)

[11] John Fas, "precious metal stripping methods", 1989, International gold conference, Reno, Canada

[۱۲] غلامحسین قربان کریمی، سید عباس طباطبایی، امیر آرش رفیعی مهر آبادی، وحید سهرابی، " بررسی عملکرد کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی فلزی استان اصفهان"، ۱۳۸۲، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور

[۱۳] عباس‌زاده، محمود، "افزایش راندمان فرایند سمناسیون با نگرشی ویژه بر کارخانه طلای آق دره تکاب"، ۱۳۸۴، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

[۱۴] کارخانه فرآوری پویا زرکان آق دره، Rawas project design criteria. 1995.

[۱۵] عبدالهی، محمود؛ شفایی، سید ضیاء‌الدین، هیدرومتالورژی، جلد دوم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شاهرود،



[16] Alfred Lodi Lunga, "Optimizing the operating conditions of gold elution and electrowinning for tau lekoa stream at kopanang gold plant" 2006, Thesis of Master of Science in Engineering, University of the Witwatersrand, Johannesburg.

[17] J. S. J. van Deventer, P.F. van der Merwe, "Factors affecting the elution of gold cyanide from activated carbon", 1994, Minerals Engineering, Vol. 7, No. I, pp: 71-86

Archive of SID

## Abstract

According to laboratory tests that were conducted to elute of gold from gold-bearing carbon particles, results show that: Gold recovery from pregnant carbon particles increased by addition of sugar to elute solution until %3 of sugar in elution, more addition of sugar doesn't make any more increases of recovery. Thus %3 of sugar in elution was chosen as an optimum level.

At the optimum level of sugar addition equal to %3, recovery of gold until 2 hours increases and after that it reminds constant. Gold recovery under those conditions is %33.72 and under %1 sugar and 8 hours is %33.31 that shows both recoveries approximately are equal. According to these results, optimum condition with 2 hours and %3 of sugar addition was achieved. An increasing of gold recovery about 25% from activated carbon in 50 to 98 °C was accrued but in lower temperatures it was slight. According to economic studies, in Muteh and Agh Dareh gold plants if the new eluent be used instead of their present elution, annual operating cost of \$ 851,400 and \$780,450 will be saved, respectively. In addition, compared to conventional methods the initial investment costs in new process will be saved.

**Keywords:** elute, elution, gold, sugar, activated carbon



**ACECR**

**Research and Technology  
Deputy**



**Islamic Republic of Iran**

**Separation of gold cyanide complexes from  
activated carbon by conventional eluents contain sugar**

**Project's code  
(1899-55)**

**Tarbiat modares University Branch**

**Ali Ghafari – Mohsen Ayoubzadeh  
Mineral processing group**

July 2015