



## حذف سیانید از آب باطله طلای موته به وسیله محلول آب کسیژنه

\*پژمان تیموری<sup>۱</sup> \*\*احمد خدادادی<sup>۲</sup> \*\*\* محمود عبدالله‌ی<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی معدن - فرآوری - مواد معدنی از دانشگاه تربیت مدرس
- ۲- استاد یار بخش مهندسی معدن دانشگاه تربیت مدرس، تهران، بزرگراه جلال آل احمد، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- دانشیار بخش مهندسی معدن دانشگاه تربیت مدرس، تهران، بزرگراه جلال آل احمد، دانشگاه تربیت مدرس.

<sup>۱</sup>[pejman7281@yahoo.co.uk](mailto:pejman7281@yahoo.co.uk)

<sup>۲</sup>[akdarban@modares.ac.ir](mailto:akdarban@modares.ac.ir)

<sup>۳</sup>[minmabd@modares.ac.ir](mailto:minmabd@modares.ac.ir)

### چکیده

سیانور در استخراج طلا و فرآوری مواد بالاخص سرب و روی ایران به مصرف می‌رسد و با توجه امکان آلودگی مناطق اطراف لازمست به طریق مناسب خنثی سازی ویا از انتقال آن به منابع آبی و محیط جلوگیری نمود. فاضلاب خروجی از فرآوری معدن طلای موته که وارد سد باطله میباشد حداقل دارای ۲۷۰ میلیگرم بر لیتر سیانید است. بدلیل خطرات زیست محیطی سیانید، لازمست آن را حتی المقدور از آبهای باطله سیانیدی، با استفاده از شرایط مناسب حذف نمود در این مقاله، فرآیند حذف سیانید با آب اکسیژنه در شرایط بهینه آزمایشگاهی بررسی می‌شود. حذف سیانید از آب باطله موته، توسط محلول آب اکسیژنه و کاتالیست سولفات مس انجام شده است. سیانید از آبهای باطله سیانیدی، با استفاده از شرایط بهینه آب اکسیژنه حذف گردیده است. در این واکنش، سیانید اکسید شده و تبدیل به سیانات می‌شود که خطرات زیست محیطی آن هزار برابر کمتر از سیانید است. یون سیانات می‌تواند در حضور آب براحتی تبدیل به آمونیاک و گاز دی‌اکسیدکربن شود. نتایج آزمایشات نشان میدهد که غلظت بهینه آب اکسیژنه جهت حذف سیانید باحضور ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات مس، ۹/۹۸ گرم بر لیتر می‌باشد در حالیکه pH بهینه جهت حذف کامل سیانید، ۹/۷ بدست آمد. در دماهای بالاتر در همین pH، سیانید به طور کامل حذف می‌شود که این حذف عمدتاً بدلیل تبخیر سیانید به صورت اسید سیانیدریک می‌باشد. در تحقیق به منظور تعیین غلظت سیانور در فاز آبی از روش تیتراسیون سیانید توسط محلول معرف ردانین (محلول پارا دی متیل آمینو بنزیلیدین ردانین در استن خالص) استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: سیانور زدائی، آب باطله، غلظت سیانید باقیمانده، pH بهینه، معرف ردانین، اسید سیانیدریک.

\*تهران، خیابان ستارخان، خیابان خسر و جنوبی، کوچه شهید ناصر قدیانی، پلاک ۲۹، طبقه اول ..



## مقدمه

صرف سیانور در صنایع فرآوری مواد بالاخص طلا رو به افزایش است. بدلیل نیاز صنایع فرآوری طلا و سرب و روی به سیانید، حجم بسیار زیادی از آبهای باطله سیانیدی وارد سدهای باطله می‌شوند که حذف سیانید از آنها فوق العاده حائز اهمیت است تاکنون در ایران آزمایشات کمتری جهت بررسی حذف سیانید انجام شده است. به طور کلی حذف سیانید از آب باطله میتواند بطرق مختلف شیمیایی بیولوژیکی و یا حذف با کربن فعال و یا سایر مواد جذب کننده صورت گیرد [۱۵ و ۱۶ و ۱۷]. حذف به طریق اکسیداسیون عبارتست از اکسیداسیون یون سیانید ( $CN^-$ ) و تبدیل آن به یون سیانات ( $CNO^-$ ). هدف از این اکسیداسیون و تبدیل یون سیانید به سیانات، کاهش خطرات زیست محیطی ناشی از تخلیه سیانید به درون آبهای سطحی و زیزمنی است [۱۳، ۱۲، ۱۱، ۹ و ۸].

مطالعات مختلفی در مراکز تحقیقاتی انجام شده است که عمدۀ مطالعات بر اثرات سمیت ترکیبات سیانور و مدیریت حذف آن مرکز بوده است [۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱]. مطالعاتی که در مورد سیانور در ایران و عمدهاً موتّه انجام شده است، برروی رفتار سیانور در محیط آب و تأثیرپذیری آن از آب با مطالعه فاکتورهای سرعت شعاعی آب، انتشار ملکولی، ضریب تفرق هیدرودینامیک و فاکتور تعویق حرکت سیانور در آب صورت گرفته است، در صورتیکه به عوامل دیگری که سیانید از آنها تأثیرپذیر است نظری غلظت سیانور مصرفی در صنعت،  $pH$  محیط، اثر درجه حرارت و اکسیژن اشاره‌ای نشده است (ایماندل و همکاران، ۱۳۷۹) است (ایماندل و همکاران، ۱۳۷۹). ایشان در مطالعاتشان بیشتر بر روی نوع رسوبات آلوویوم و ساختارهای زمین‌شناسی، هدایت هیدرولیکی و خصوصیات هیدرولوژی تأکید نموده‌اند و به مطالعه رفتار سیانید و خصوصیات شیمیائی نپرداخته‌اند. در یکی از مطالعات، آنها میانگین غلظت سیانید در آب باطله کارخانه و جامدات سد باطله را به ترتیب ۲۷۰ میلی‌گرم در لیتر و  $6/4$  میلی‌گرم در هر کیلوگرم گزارش نموده‌اند. بعلاوه از رفتار سیانور در محیط خاک و هوا در این مطالعات چشم‌پوشی شده است و حتی وجود سیانور در آبهای هم‌جوار با کارخانه موتّه براساس یک سری آزمایشات منفی اعلام شده است. از آنجائیکه بطور کلی در جهان هنوز هیچ روش قابل اعتماد و استانداردی جهت تعیین میزان سیانور آزاد و کمپلکس‌های آن نظری تیوسیانات وجود ندارد، هرگونه مطالعه‌ای جهت تعیین مقدار واقعی سیانور دور از واقعیت است. تجزیه و تخریب سیانید سرعت ثابتی ندارد و میزان تحرک و جابجایی آن در فصول مختلف، متفاوت است. اصولاً کمپلکس‌های سیانیدی پایداری زیادی ندارند لیکن در هر شرایطی از نظر  $pH$  و درجه حرارت نیز تجزیه نمی‌شوند. اما در صورت تجزیه روند آن سریع است. در این مقاله، فرآیند حذف سیانید با آب اکسیژنه در شرایط آزمایشگاهی بررسی می‌شود. حذف سیانید از آب باطله موتّه، توسط محلول آب اکسیژنه و کاتالیست سولفات مس در شرایط مختلف از قبیل غلظت آب اکسیژنه،  $pH$  و درجه حرارت انجام شده است.



## ۱- روش‌ها و مواد

نمونه‌گیری جهت انجام آزمایشات حذف سیانید در آذرماه سال ۱۳۸۲ از محل تیکنرپساب خروجی کارخانه طلای موته صورت گرفت. اصولاً پساب سیانیدی حاوی دو بخش است: (۱) بخش مایع پالپ یا پساب که کاملاً شفاف بوده و لیکن حاوی ۲۷۰ میلی گرم در لیتر سیانید و انواع فلزات سنگین است. (۲) بخش فاضلاب پالپ (لجن) که عمدتاً حاوی ذرات سیاه کربن فعال می‌باشد. از حدود ۲۰ لیتر پالپ، عملأً (۱۲-۱۵) لیتر آن مربوط به پساب تهنشین شده می‌باشد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه فرآوری مواد معدنی دانشگاه تربیت مدرس، با تهنشین شدن کامل لجن، آب باطله جدا گردید و آزمایشات حذف سیانید بر روی آن انجام شد. مقدار سیانید در آب باطله با استفاده از آزمایش استاندارد [۲۲ و ۲۳] با بکاربردن محلول معرف ردانین (محلول پارادی متیل آمینو بنزیلیدین ردانین در استن)، ۲۷۰ میلی گرم در لیتر اندازه‌گیری شد.

### ۱-۲- آزمایشات حذف سیانید با استفاده از محلول آب اکسیژنه ( $H_2O_2$ )

#### ۱-۲-۱- محاسبات و معادلات

محلول آب اکسیژنه مصرفی (شرکت مرک) که توانایی اکسیداسیون سیانید را دارد دارای درصد خلوص ۳۰ و دانسیته ۱/۱۱ کیلوگرم بر لیتر می‌باشد. اصولاً حذف سیانید با آب اکسیژنه، نیازمند حضور یک کاتالیست نظیر سولفات مس است که در محدوده مصرفی (۵۰-۱۰) میلی گرم در لیتر، می‌تواند جهت حذف سیانید استفاده شود. معادله اکسیداسیون و احیاء که سبب اکسیداسیون سیانید و تبدیل آن به سیانات می‌شود چنین است:



همانطوریکه ملاحظه می‌شود، تعداد الکترون‌های مبادله شده، ۲ الکترون است و طبق موازنۀ استوکیومتری، یک مول  $H_2O_2$  جهت خنثی نمودن یک مول  $CN^-$  نیاز است. لذا می‌بایست مقدار محلولهای مصرفی آب اکسیژنه و سیانید، برابر باشند. اما حداقل حجم محلول آب اکسیژنه لازم جهت اکسیداسیون سیانید باید از رابطه حجم - نرمالیته محاسبه گردد: نرمالیته محلول مصرفی چنین است:

$$N = \frac{10 \times a \times d}{E}$$

در رابطه بالا،  $a$  درصد خلوص آب اکسیژنه (معادل ۳۰)،  $d$  دانسیته محلول آب اکسیژنه بر حسب کیلوگرم بر لیتر (معادل ۱/۱۱) و  $E$  اکی والان محلول آب اکسیژنه مصرفی می‌باشد. لذا می‌توان به ازای حجم‌های مشخص، غلظت‌های مختلفی بدست آورد.



جدول [۱] : حجم‌های استفاده شده آب اکسیژنه و غلظت‌های متناظر با آنها

ردیف	حجم آب اکسیژن استفاده شده ml جهت خنثی‌سازی ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول سیانیدی	غلظت (گرم در لیتر)
۱	۵	۱۶/۶۴
۲	۴	۱۳/۳۱
۳	۳	۹/۹۸
۴	۲	۶/۶۵
۵	۱	۲/۳۲
۶	۰/۹	۲/۹۹
۷	۰/۸	۲/۶۶
۸	۰/۷	۲/۳۳
۹	۰/۶	۱/۹۹
۱۰	۰/۵	۱/۶۶
۱۱	۰/۴	۱/۳۳
۱۲	۰/۳	۰/۹۹۸
۱۳	۰/۲	۰/۶۶۵
۱۴	۰/۱	۰/۳۳۲

از آنجا که به طور طبیعی، حذف سیانید توسط آب اکسیژنه در  $pH=9-10$  توسط کاتالیست (سولفات مس) صورت می‌گیرد، لذا در ابتدای کار،  $pH=9/5$  و دمای ۱۲ درجه سانتیگراد (دمای محیط) انتخاب گردید و حذف سیانید با غلظت‌های مختلف بررسی شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده است:

جدول [۲] : نتایج حذف سیانید با غلظت‌های مختلف محلول آب اکسیژنه در  $pH=9/5$  و دمای ۱۲ درجه سانتیگراد

ردیف	غلظت محلول آب اکسیژنه مصرفی (گرم در لیتر)	غلظت سیانید باقیمانده (میلی گرم در لیتر)
۱	۱۶/۶۴	.
۲	۱۳/۳۱	.
۳	۹/۹۸	.
۴	۶/۶۵	۴/۲۷
۵	۳/۳۲	۶/۶۵
۶	۲/۹۹	۱۰/۴۳

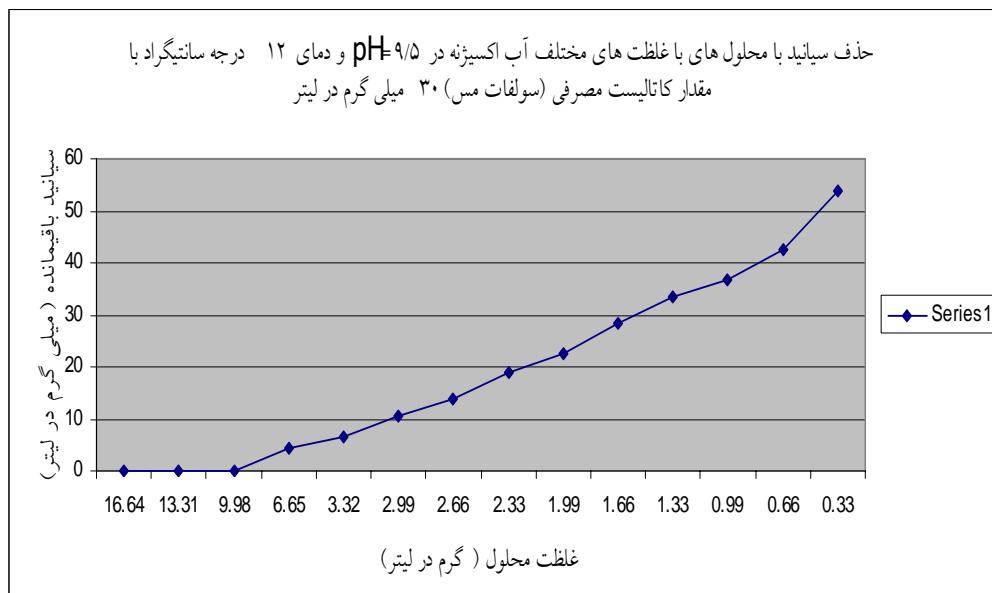


۱۳/۷۱	۲/۶۶	۷
۱۸/۸۹	۲/۳۳	۸
۲۲/۴۵	۱/۹۹	۹
۲۸/۳۹	۱/۶۶	۱۰
۳۳/۳۲	۱/۳۳	۱۱
۳۶/۹	۰/۹۹	۱۲
۴۲/۵۳	۰/۶۶	۱۳
۵۳/۸۱	۰/۳۳	۱۴

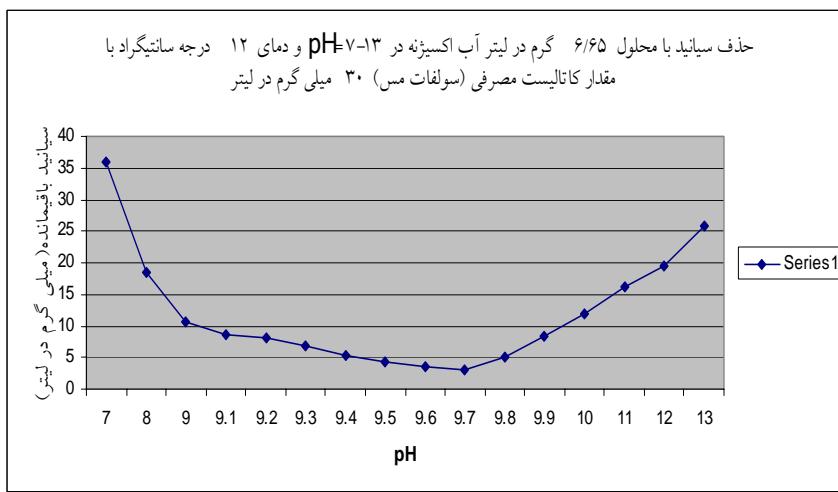
با تیتراسیون محلول در زمانهای مختلف و تعیین غلظت سیانید، زمان ۶۰ دقیقه جهت انجام واکنش انتخاب شد.

نمودار مقدار سیانید باقیمانده بر حسب غلظت‌های مختلف محلول آب اکسیژنه در  $pH = 9/5$  و دمای ۱۲ درجه سانتیگراد در زیر دیده می‌شود.

با توجه به نتایج مرحله اول، سه غلظت  $2/۹۹$ ،  $۳/۳۲$ ،  $6/۶۵$  گرم در لیتر از محلول آب اکسیژنه انتخاب گردید و در  $pH$  های مختلف بازی آزمایش شد. نتایج حذف سیانید با محلول  $6/۶۵$  گرم در لیتر آب اکسیژنه در  $pH=7-13$  و دمای ۱۲ درجه سانتیگراد در جدول ۳ و شکل ۲ بیان شده است.



شکل [۱] : حذف سیانید با استفاده از غلظت‌های مختلف آب اکسیژنه در  $pH=9/5$  و دمای ۱۲ درجه سانتیگراد.



شکل [۲] : حذف سیانید با استفاده از محلول ۶/۶۵ گرم در لیتر آب اکسیژنه در (۷-۱۳) pH و دمای ۱۲ درجه سانتیگراد با مقدار کاتالیست مصرفی (سولفات مس) ۳۰ میلی گرم در لیتر.

جدول (۳) نتایج حذف سیانید با محلول ۶/۶۵ گرم در لیتر آب اکسیژنه در pH=۷-۱۳ و دمای ۱۲ درجه سانتیگراد با تعداد کاتالیست مصرفی (سولفات مس) ۳۰ میلی گرم در لیتر (۳ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر محلول سیانیدی)

pH	مقدار سیانید باقیمانده (میلی گرم در لیتر)	ردیف
۷	۳۵/۹	۱
۸	۱۸/۳۷	۲
۹	۱۰/۶۷	۳
۹/۱	۸/۶۴	۴
۹/۲	۸/۲	۵
۹/۳	۶/۹	۶
۹/۴	۵/۳۱	۷
۹/۵	۴/۲۷	۸
۹/۶	۳/۶۴	۹
۹/۷	۲/۱	۱۰
۹/۸	۴/۹۹	۱۱
۹/۹	۸/۴۲	۱۲
۱۰	۱۱/۷۸	۱۳
۱۱	۱۶/۱۳	۱۴
۱۲	۱۹/۶	۱۵
۱۳	۲۵/۸۵	۱۶



همانطوریکه ملاحظه می‌شود، در  $pH=7$  ، مقدار سیانید باقیمانده به حداقل مقدار یعنی به  $\frac{3}{1}$  میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. در مرحله بعدی سیانید در  $pH=7-13$  و دمای ۱۲ درجه سانتیگراد توسط محلول  $\frac{3}{32}$  گرم در لیتر آب اکسیژنه حذف گردید که نتایج آن مطابق جدول ۴ خلاصه شده است.

جدول [۴] : نتایج حذف سیانید با محلول  $\frac{3}{32}$  گرم در لیتر آب اکسیژنه در  $pH=7-13$  و دمای ۱۲ درجه سانتیگراد با مقدار کاتالیست مصرفی (سولفات مس)  $30$  میلی‌گرم در لیتر ( $3$  میلی‌گرم در  $100$  میلی‌لیتر محلول سیانیدی)

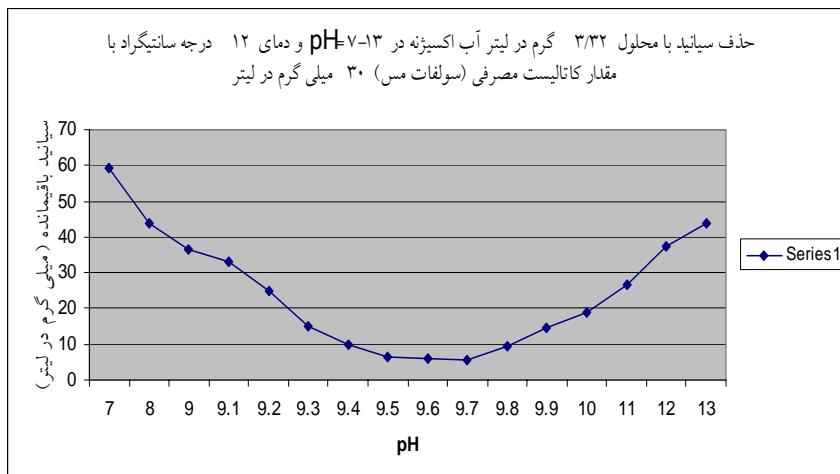
مقدار سیانید باقیمانده (میلی‌گرم در لیتر)	pH	ردیف
۵۹/۳۵	۷	۱
۴۳/۷۲	۸	۲
۳۶/۴۴	۹	۳
۳۲/۹۷	۹/۱	۴
۲۴/۸	۹/۲	۵
۱۵/۲۳	۹/۳	۶
۹/۸۴	۹/۴	۷
۶/۵۱	۹/۵	۸
۶/۱۱	۹/۶	۹
۵/۷۳	۹/۷	۱۰
۹/۵۶	۹/۸	۱۱
۱۴/۴۱	۹/۹	۱۲
۱۸/۹۳	۱۰	۱۳
۲۶/۶	۱۱	۱۴
۳۷/۲	۱۲	۱۵
۴۳/۸۴	۱۳	۱۶

نمودار حذف سیانید با محلول  $\frac{3}{32}$  گرم در لیتر آب اکسیژنه، در دمای ثابت ۱۲ درجه سانتیگراد و  $pH=7-13$  در شکل ۳ دیده می‌شود.

همانطوریکه ملاحظه می‌شود، بازهم در  $pH=9/7$  ، مقدار سیانید باقیمانده به حداقل مقدار، یعنی  $5/73$  میلی‌گرم در لیتر می‌رسد و در سایر pH ها، مقدار سیانید باقیمانده افزایش می‌یابد.

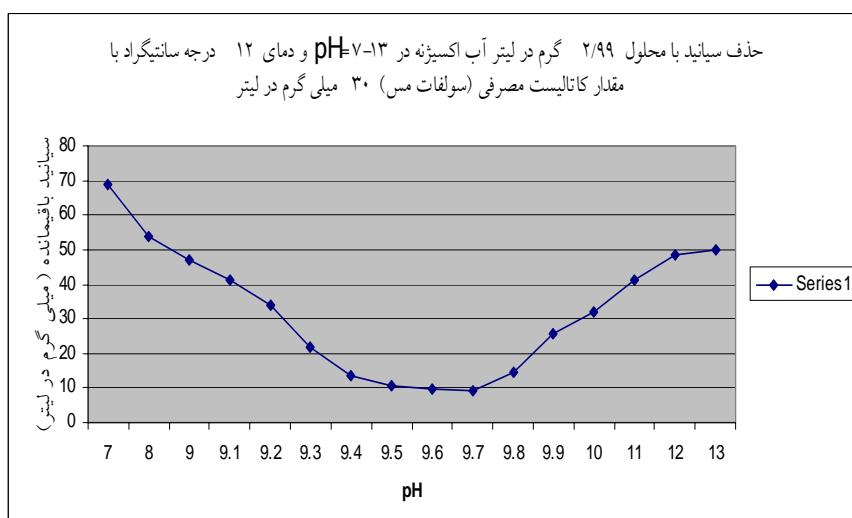


در مرحله بعد، حذف سیانید با محلول ۲/۹۹ گرم در لیتر آب اکسیژنه بررسی شد. نتایج حذف سیانید با محلول ۲/۹۹ گرم در لیتر آب اکسیژنه در دمای ۱۲ درجه سانتیگراد و  $pH=7-13$  مطابق جدول زیر است:



شکل [۳] : حذف سیانید با محلول ۳/۲۲ گرم در لیتر آب اکسیژنه در دمای ثابت ۱۲ درجه سانتیگراد و  $pH=7-13$  با مقدار کاتالیست مصرفی (سولفات مس) ۳۰ میلی گرم در لیتر.

نمودار مقدار سیانید باقیمانده بر حسب pH، برای محلول ۲/۹۹ گرم در لیتر آب اکسیژنه در دمای ۱۲ درجه سانتیگراد و  $pH=7-13$  در شکل ۴ می‌شود.



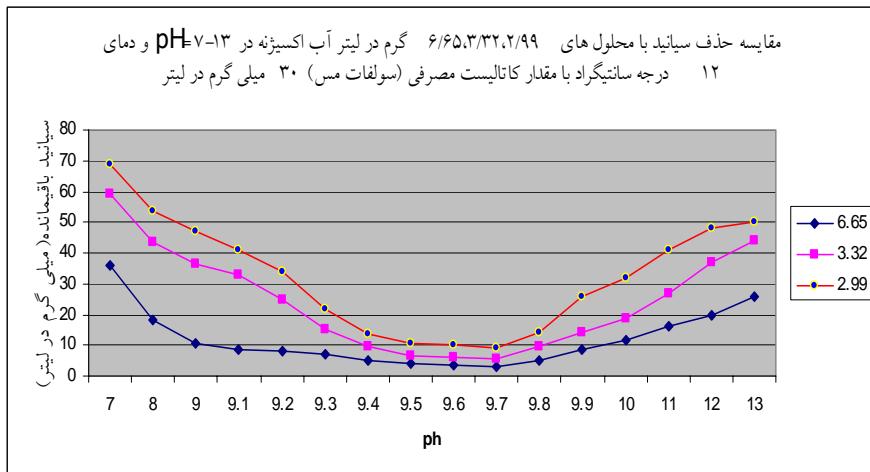
شکل ۴ : حذف سیانید با محلول ۲/۹۹ گرم در لیتر آب اکسیژنه در دمای ۱۲ درجه سانتیگراد و  $pH=7-13$ .



جدول (۵) : نتایج حذف سیانید با محلول ۲/۹۹ گرم در لیتر آب اکسیژنه در (۷-۱۳) pH و دمای ۱۲ درجه سانتیگراد با مقدار کاتالیست مصرفی (سولفات مس) ۳۰ میلی گرم در لیتر (۳ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر محلول سیانیدی)

ردیف	pH	مقدار سیانید باقیمانده (میلی گرم در لیتر)
۱	۷	۶۸/۷۱
۲	۸	۵۳/۵۹
۳	۹	۴۷/۲۵
۴	۹/۱	۴۱/۱۲
۵	۹/۲	۳۳/۹
۶	۹/۳	۲۱/۶۳
۷	۹/۴	۱۳/۷۴
۸	۹/۵	۱۰/۶۳
۹	۹/۶	۹/۸۹
۱۰	۹/۷	۹/۱۱
۱۱	۹/۸	۱۴/۳۸
۱۲	۹/۹	۲۵/۸۷
۱۳	۱۰	۳۲/۱۵
۱۴	۱۱	۴۱/۱۹
۱۵	۱۲	۴۸/۳
۱۶	۱۳	۵۰/۰۸

همانطوریکه ملاحظه می شود در pH=۹/۷ مقدار سیانید باقیمانده به حداقل مقدار یعنی به ۹/۱۱ میلی گرم در لیتر رسیده است. نمودار ۵ حذف سیانید توسط محلول های ۶۵/۶۵ و ۳۲/۳۲ و ۲/۹۹ و ۳/۳۲ و ۶/۶ عو ۹/۱۱ میلی گرم در لیتر آب اکسیژنه را با هم مقایسه می کند.



شکل ۵ مقایسه حذف سیانید توسط محلول های  $6/65$  و  $3/32$  و  $2/99$  گرم در لیتر آب اکسیژنه در  $\text{pH}=7-13$  و دمای  $12$  درجه سانتیگراد

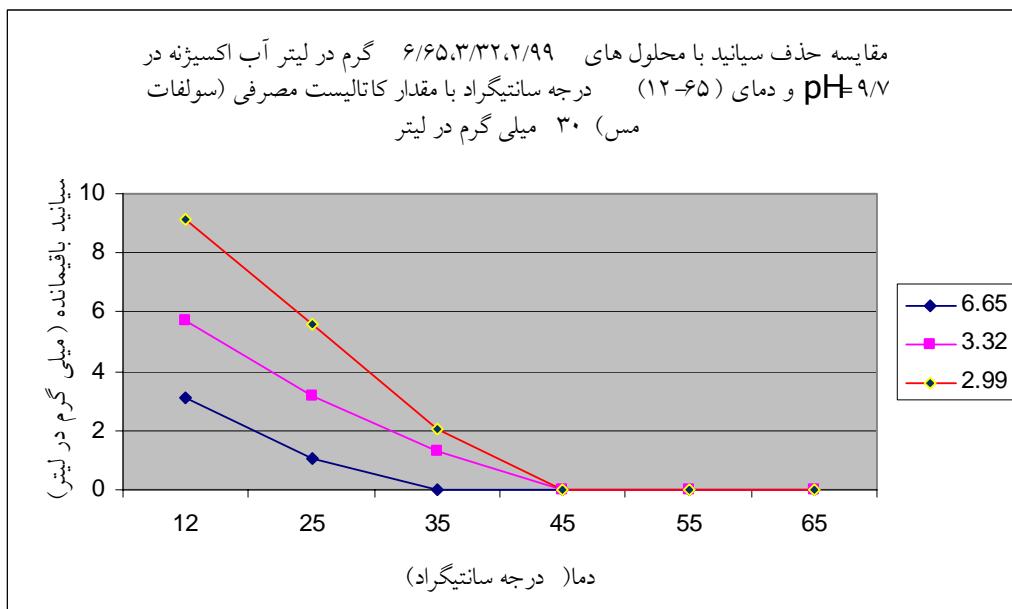
لذا کلیه آزمایشات نشان میدهند که  $\text{pH}$  بهینه محلول،  $9/7$  است. در مراحل بعدی، حذف سیانید در دماهای مختلف در  $\text{pH}=9/7$  بررسی شد که نتایج جدول ۶ آمده است.

جدول [۶] نتایج حذف سیانید با محلول های با غلظت های مختلف آب اکسیژنه در  $\text{pH}=9/7$  و دمای  $(12-65)$  درجه سانتیگراد با مقدار کاتالیست مصرفی (سولفات مس)  $30$  میلی گرم در لیتر ( $100$  میلی لیتر محلول سیانیدی)

غلظت محلول (گرم در لیتر)			دما درجه سانتیگراد	ردیف
$2/99$	$3/32$	$6/65$		
غلظت سیانید باقیمانده (میلی گرم در لیتر)	غلظت سیانید باقیمانده (میلی گرم در لیتر)	غلظت سیانید باقیمانده (میلی گرم در لیتر)		
$9/11$	$5/73$	$3/1$	$12$	۱
$5/62$	$3/15$	$1/05$	$25$	۲
$2/03$	$1/29$	-	$35$	۳
-	-	-	$45$	۴
-	-	-	$55$	۵
-	-	-	$65$	۶



نمودار ۶ مقدار سیانید باقیمانده برحسب دما، برای محلول های با غلظت های مختلف آب اکسیژنه در pH=۹/۷ و دمای (۱۲-۶۵) درجه سانتیگراد را نشان میدهد.



شکل [۶] : حذف سیانید با محلولهای با غلظت های مختلف آب اکسیژنه در pH=۹/۷ و دمای (۱۲-۶۵) درجه سانتیگراد.

## ۲- نتایج

در این بررسی جهت حذف سیانید از آب باطله طلای موته به وسیله محلول آب اکسیژنه نتایج زیر بدست آمد:

۱-۱- حذف سیانید با استفاده از دما، به دلیل مشکلات زیست محیطی ناشی از آن صحیح نیست چرا که سیانید به صورت HCN تبخیر می شود و اصولاً در دماهای بالاتر از ۴۰ درجه سانتیگراد، سیانید تبخیر می شود. نسبت غلظت های محلول آب اکسیژنه به غلظت سیانید در محلول سیانیدی، جهت حذف کامل

$$\text{سیانید معادل} = \frac{۹.۹۸}{۰.۲۷} \text{ می باشد.}$$



۲-۲- برای یک لیتر مول سیانیدی در حدود  $30 \text{ میلی لیتر} = \frac{3}{0.1}$  = نسبت حجم محلول سیانیدی

به حجم آب اکسیژنه) آب اکسیژنه لازم است که هزینه خرید یک لیتر آن معادل  $330 \text{ یورو}$  می باشد. لذا هزینه خنثی نمودن یک لیتر محلول سیانیدی با آب اکسیژنه چنین است:

$$\text{ریال به ازای یک لیتر محلول سیانیدی} = 118800 = \text{یورو} \times \frac{330 \times 30}{1}$$

آب اکسیژنه

با توجه به اینکه کاتالیست مصرفی سولفات مس است که در رنج  $30 \text{ میلی گرم}$  در لیتر مصرف می شود و هزینه خرید یک گرم سولفات مس،  $0.21 \text{ یورو}$  است. لذا هزینه خرید سولفات مس جهت خنثی نمودن یک لیتر محلول سیانیدی چنین است:

$$\text{یورو به ازای یک لیتر محلول سیانیدی} = 6.3 \times 10 = \text{یورو} \times \frac{0.21 \times 30}{\text{گرم}} = \text{یورو} \times 0.21 \times 30 = 6.3 \times 10 \text{ یورو}$$

هزینه کلی خنثی نمودن یک لیتر محلول سیانیدی بوسیله آب اکسیژنه چنین است:

$$\text{ریال} 3 \times 10 = 118875.606 \text{ یورو} = 9.9063$$

### ۳- بحث و نتیجه گیری

۳-۱- به طور کلی حذف سیانید با استفاده از آب اکسیژنه، از نظر اقتصادی مقرن به صرفه نمی باشد. به دلیل اینکه محلول آب اکسیژنه به مرور زمان و در تماس با اتمسفر، به آب و اکسیژن تبدیل می شود، شرایط نگهداری بسیار سختی دارد. به همین دلیل، در حین آزمایش نیز، سریعا قدرت اکسید کنندگی محلول آب اکسیژنه افت نموده و شدت اکسیداسیون یون سیانید به شدت کاهش می یابد. با افزایش دما و افزایش جنبش ملکولی در داخل محلول، تاثیر منفی اکسیژن زدایی محلول آب اکسیژنه مضاعف می شود و بدین ترتیب در دماهای بالا (بالاتر از  $25^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد) حذف سیانید توسط محلول آب اکسیژنه ناچیز بوده و عموما ناشی از اکسیداسیون سیانید به صورت اسید سیانیدریک می باشد.

۳-۲- اسید سیانیدریک همواره در تمام دماها به صورت محلول وجود دارد. اما با افزایش دما از دماهای پائین به دمای  $25^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد، شدت انحلال آن افزایش می یابد. بدین معنی که با افزایش دما، بخشی از کمپلکس های سیانیدی داخل محلول شکسته می شوند و با افزایش غلظت یون سیانید محلول و شروع تبخیر اسید سیانیدریک، غلظت اسید سیانیدریک در داخل محلول افزایش می یابد.

۳-۳- یون سیانید در دماها و  $\text{pH}$  های مختلف رفتارهای بسیار پیچیده ای دارد. اصولا غلظت اشباع یون سیانید در هوا، بر روی نرخ تشکیل اسید سیانیدریک تاثیر زیادی دارد [۲۵]. چنانچه غلظت اشباع اسید سیانیدریک در هوا از غلظت اسید سیانیدریک در محلول بیشتر باشد، در این صورت نرخ تشکیل  $\text{HCN}$



کاهش یافته و سیانید محلول می تواند به طور کامل توسط آب اکسیژنه حذف شود. اما بالا بودن غلظت اشبع اسید سیانیدریک در هوا، تنها در دماهای بالا می تواند اتفاق بیفت و در واقع تنها در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتیگراد، بیشترین مقدار غلظت سیانید در محلول جهت اکسیداسیون توسط آب اکسیژنه وجود دارد که متاسفانه همانطور که گفته شد، در این دماها، غلظت و در نتیجه اکتیویته محلول آب اکسیژنه کاهش یافته و قادر به حذف و اکسیداسیون سیانید نخواهد بود.

۴-۳- حذف سیانید با استفاده از آب اکسیژنه، به دلیل لزوم استفاده از یک کاتالیزور، پرهزینه است و به دلیل اکسیژن زدائی محلول آب اکسیژنه، نیازمند فضای بسته و تانک های اختلاط سر پوشیده می باشد که در عمل بسیار مشکل است، چرا که در صنایع مختلف فرآوری مواد معدنی، کنترل سیستم ها و تعمیر و نگهداری تجهیزات و تانک های سرپوشیده مشکل خواهد شد. لذا استفاده از آب اکسیژنه، از جنبه اقتصادی و جنبه فنی - اجرائی به هیچ وجه پاسخگوی حذف سیانید از پساب ها نمی باشد.

۴-۴- در برخی صنایع و بسته به ماهیت رفتار یک آلاینده در آب که ممکن است سبب تغییر خواص فیزیکی آب منجمله رنگ و بوی آب شود، خواص فیزیکی پساب های آلوده همانند رنگ، بو و کدورت، قبل و بعد از عملیات تصفیه، اهمیت فراوانی در تشخیص حذف یا عدم حذف یک آلاینده از پساب دارد. به عنوان مثال، چنانچه در حذف سیانید از پساب آلوده، از محلول های هیپوکلریت کلسیم و یا هیپوکلریت سدیم استفاده شود، در محلول هائی که حذف سیانید تقریبا کامل است، رنگ محلول تقریبا سبز متمایل به زرد خواهد بود که البته بسیار روش خواهد بود. از این امر می توان به موثر بودن حذف سیانید در یک محلول و یا عدم حذف آن پی بردا، در صورتیکه حذف سیانید از پساب توسط محلول آب اکسیژنه، به لحاظ رنگ، قابل تشخیص نخواهد بود.

## فهرست منابع

- [۱] Patil Y.B., Paknikar K.M., ۲۰۰۰, Development of a process for biodegradation of metal cyanides from waste waters, Process Biochemistry ۳۵ (۲۰۰۰) pp ۱۱۳۹-۱۱۵۱.
- [۲] Nafaa Adhoum, Lotfi Monser, ۲۰۰۰, Removal of cyanide from aqueous solution using impregnated activated carbon, Chemical Engineering and Processing ۴۱ (۲۰۰۲) ۱۷-۲۱
- [۳] Haldun Kurama\*, Tuba Catalsarik, ۲۰۰۰, Removal of zinc cyanide from a leach solution by an anionic ion-exchange resin, Desalination ۱۲۹ (۲۰۰۰) ۱-۵
- [۴] Samiotakis M., Ebbs S.D., ۲۰۰۴, Possible evidence for transport of an iron cyanide complex by plants, Environmental Pollution ۱۲۷ (۲۰۰۴) ۱۶۹-۱۷۳
- [۵] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (۱۹۸۸). Toxicological Profile for Cyanide. Published for the Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Public Health Service, by Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- [۶] Devuyst ۱۹۹۲. Recent Applications of the INCO SO /Air Cyanide Removal Process, E A Devuyst, R D, Vergunst, P F Iamarino, R J Agius, INCO Exploration and Technical Services, paper presented at the ۹۴th Annual General Meeting of the CIM, Montreal, April ۲۷-۲۹, ۱۹۹۲.



- [۷] Ahsan ۱۹۸۹. "Detoxification of Cyanide in Heap Leach Piles Using Hydrogen Peroxide", In World Gold, proceedings of the First Joint SME/Australian Institute of Mining and Metallurgy eeting, R. Bhappu and R. Ibardin (editors), ۱۹۸۹.
- [۸] Damon, Smith and Mudder ۱۹۹۲. Geochemical Study of Leach Pad Cyanide Neutralization, Brohm Mining Corporation, South Dakota, presented at the SME Annual Meeting, Phoenix, Arizona, February ۲۴-۲۷, ۱۹۹۲. SMME Preprint No ۹۲-۱۷۳.
- [۹] Degussa ۱۹۸۸. Advances in the Treatment of Gold Mill Effluents with Hydrogen Peroxide, by Andrew, Griffiths, Degussa Corporation, paper presented at the ۱۹۸۸ Annual Meeting of the Society of Mining, Engineers, Phoenix, Arizona, ۱۹۸۸.
- [۱۰] Rouse, Jim V, ۱۹۹۰, "Cyanide and the Environment", Mining Journal, page ۱۸, August ۲۴, ۱۹۹۰.
- [۱۱] Doudoroff, P., ۱۹۷۶, Toxicity to fish of Cyanides and Related Compounds: a review. U.S. EPA, Office of research and Development, Duluth, Minn., ۱۰۰p.
- [۱۲] Eisler, R., ۱۹۹۱, Cyanide Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review: Contaminant Hazard Review report ۲۳, U. S. Dept. Interior, Fish and Wildlife Service, ۵۵pg.
- [۱۳] Environment Australia, ۱۹۹۸, Cyanide Management, a booklet in a series on Best Practices in Environmental Management in Mining, Commonwealth of Australia, ۹۷ pg.
- [۱۴] Flynn, C. M. and S. M. Haslem, ۱۹۹۰, Cyanide Chemistry—Precious Metals Processing and Waste Treatment: U. S. Bur. Of Mines Information Circular ۹۴۲۹, ۲۸۲ pg.
- [۱۵] Ingles, J. and J. S. Scott, ۱۹۸۷, State-of—the-Art Processes for the Treatment of Gold Mill effluents:  
Industrial Programs Branch, Environment Canada, Ottawa, Canada.
- [۱۶] Logsdon, M.J., K. Hagelstein, T.I. Mudder, ۱۹۹۱, The Management of Cyanide in Gold Extraction: International Council on Metals and the Environment, Ottawa, Canada, ۴۰ pg.
- [۱۷] Plumlee, G. S., K. Smith, E. Mosier, W. Ficklin, M. Montour, P. Briggs, and A. Meier, ۱۹۹۰, Geochemical Processes Controlling Acid-Drainage Generation and Cyanide Degradation at Summitville: in Proc., Summitville Forum, Colo. Geological Survey Special Publication ۳۸, p. ۲۳-۳۴.
- [۱۸] Scott, J. S. and J. Ingles, ۱۹۸۱, Removal of Cyanide From Gold Mill Effluents: Proc., Canadian Mineral Processors Thirteenth Ann. Mtg., Jan. ۱۹۸۱, Ottawa,ON.
- [۱۹] Stanton M. D.; T. A. Colbert; and R. B. Trenholme, ۱۹۸۶, Environmental Handbook for Cyanide Leaching Projects: U.S. National Park Service, ۵۷ pg.
- [۲۰] Wilmont, J.C.; Solujic, L.; Milosavljevic, E. B.; Hendrix, J.L.; Reader, . Formation of Thiocyanate During Removal of Sulfide as Lead Sulfide Prior to Cyanide Determination W.S. Analyst, June ۱۹۹۶, Vol. ۱۲۱, pp ۷۹۹-۸۰۱.
- [۲۱] Ingersol, D.; Harris, W.R.; Bomberger, D.C.; Coulson, D.M. Development and EvaluationProcedures for the Analysis of Simple Cyanides, Total Cyanides, and Thiocyanate in Waterand Waste Water (EPA-۶۰۰/۴-۸۳-۰۰۴), ۱۹۸۴.
- [۲۲] American Public Health Association, American Waterworks Association, Water Pollution Control Board. Methods Section ۴۰۰-CN in Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, ۱۹th Edition.