

ارتباط میزان سیانور با ارتفاع، عمق و فاصله از مجتمع طلای موته در خاک و آب پناهگاه حیات وحش موته، اصفهان

جابر اعظمی^{۱*}

j.aazami@znu.ac.ir

نادر بهرامی فر^۲

تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: برای استحصال طلا، محلول سیانید سدیم به عنوان عامل آبشویی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ در نتیجه پساب حاصل از این فرآیند، حجم بسیار زیادی از سیانور ایجاد می‌کند. با توجه به سمیت بسیار زیاد سیانور، هدف از انجام این مطالعه تعیین سیانور در پساب مجتمع طلای موته و بررسی تاثیر ارتفاع، فاصله و عمق بر توزیع آلودگی سیانور در خاک و آب زیرزمینی پناهگاه حیات وحش موته در استان اصفهان است.

روش بررسی: با توجه به موقعیت چاه‌های آب موجود در منطقه مورد مطالعه، یازده ایستگاه در بهار ۱۳۹۰ انتخاب و نمونه‌های از خاک سطحی، زیرسطحی (۵/۰ متری) و آب زیرزمینی جهت اندازه‌گیری سیانور برداشته شد.

یافته‌ها: با افزایش ارتفاع از سطح دریا، فاصله از معدن و کاهش عمق خاک مقدار سیانور کاهش می‌یابد. در سطح ۹۵ درصد، اختلاف معنی داری بین سیانور خاک سطح و زیرسطح وجود نداشت. میزان سیانور در آب زیرزمینی با خاک سطحی اختلاف معنی داری با خاک زیرسطح تفاوت معنی داری نداشت. میانگین نتایج اندازه‌گیری شده سیانور پساب کارخانه ۲۸۷ میلی‌گرم در لیتر است، که بیش از ۵۰۰ برابر حد مجاز تخلیه سیانور در آب است.

نتیجه‌گیری: میزان سیانور در ایستگاه‌های مطالعاتی غیر از محل خروج پساب کارخانه و ایستگاه سوم با فاصله سه و نیم کیلومتری از خروجی که از آب آن برای وحوش و فعالیت معدن‌کاوی استفاده می‌شود؛ از براساس نظر سازمان بهداشت جهانی حد مجاز که ۰/۰۷ میلی‌گرم در لیتر است، تجاوز نکرده ولی گزارش چندین حادثه مرگ‌ومیر حیوانات وحشی منطقه پس از سرریز پساب کارخانه هشدار جدی برای محیط زیست آن منطقه است.

کلمات کلیدی: سیانور، استخراج طلا، پناهگاه، موته.

۱- استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان. زنجان، ایران * (مسئول مکاتبات).

۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور، ایران.

Relationship among Cyanide Level with Altitude, Depth and Distance of Mooteh Gold Mine in Soil and Groundwater of Mooteh Wildlife Refuge, Esfahan

Jaber Aazami^{1*}

j.aazami@znu.ac.ir

Nader Bahramifar²

Admission Date: March 18, 2015

Date Received: May 10, 2014

Abstract

Background and Objective: Sodium cyanide is used in the process of extracting gold from the ore. The waste water that is produced during this process contains high levels of cyanide. The purpose of this study was to determine the levels of cyanide in the waste water of Mooteh Gold mine. We also wanted to investigate effects of distance, depth, and altitude on cyanide dispersion in soil and groundwater of Mooteh Wildlife Refuge.

Method: In April 2012, samples of surface and under ground (0.5 m) soil and groundwater was collected from 11 locations from Mooteh Wildlife Refuge

Results: Total cyanide level was decreased with increasing of altitude, distance from mine and decreasing depth of soil. There is no significant difference between cyanide concentration of surface and ground soils; groundwater and ground soils, respectively. But, there is a significant difference between cyanide concentration of groundwater and surface soils.

Conclusion: Cyanide level is higher than acceptable level in existence wastewater and station number three. Also there are several papers about death wildlife especially Iranian Deer after wastewater overflow from Gold Mooteh Mine in this location. So, managers and officials should be taken more care.

Key words: Cyanide, Gold extraction, Refuge, Mooteh.

1- Assistant Professor, Department of Environment Sciences, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran*(Corresponding Authors).

2- Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

مقدمه

به طور کلی سیانور به دو طریق طبیعی و مصنوعی تولید می شود. تولید طبیعی به مقدار کمی توسط برخی از باکتری‌ها، جلبک‌ها، قارچ‌ها و گونه‌های گیاهی انجام می شود (۱). این در حالی است که سیانور در صنعت به مقدار بسیار زیاد، در ابتدا به صورت گاز سیانید هیدروژن تولید و سپس به دیگر ترکیبات مایع و جامد سیانور همچون سیانید سدیم تبدیل می شود. تولید سالانه این ماده در دنیا در حدود ۱/۴ میلیون تن تخمین زده می شود که در صنایع معدنی (به خصوص در استخراج طلا)، تولید مواد شیمیایی آلی همچون اکریلیک و نایلون، آبکاری، فرآوری فلزات، مواد آرایشی، عکاسی، پلاستیک سازی، دارو سازی و ... کاربرد دارد. همیشه بخشی از سیانور مصرف شده در صنعت به صورت مواد زائد وارد محیط زیست می شود (۲، ۳). از مهمترین منابع آلودگی محیط زیست به سیانور می توان از مکان‌های استحصال گاز از زغال سنگ، فاضلاب صنایع مصرف کننده سیانور و خصوصاً برکه‌های سد باطله در صنایع استخراج طلا نام برد. به طوری که Donato و همکاران در سال ۲۰۰۷ نسبت به مصرف سیانور در فرآیند استخراج طلا و به دنبال آن آلودگی‌های محیط زیست و اثرات بسیار مخرب آن روی نابودی حیات وحش به شدت هشدار دادند (۴). در استرالیا گزارش‌های زیادی مبنی بر نابودی تعداد زیادی از پرندگان خصوصاً پرندگان مهاجر ناشی از پساب کارخانه‌های استخراج طلا وجود دارد (۴). سیانور در غلظت‌های بالا سمی کشنده، قوی و فوری برای موجودات زنده محسوب می شود. در بدن انسان وقتی سیانور وارد خون می شود با آنزیم اکسید سیتوکروم موجود در میتوکندری تشکیل یک کمپلکس پایدار می دهد و باعث اختلال در عملکرد تنفسی این آنزیم می شود. در چنین شرایطی سلول‌ها قادر به مصرف اکسیژن خون نیستند و در نهایت منجر به مرگ می شود (۶). قابل ذکر است ماهیان و آبزیان نسبت به سیانور حساس تر از انسان و دیگر موجودات گیاهی و جانوری هستند (۷). سیانور در محیط زیست تحت تاثیر فرآیندهای طبیعی مختلف فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی قرار می گیرد. فرآیندهای تخریب و زوال طبیعی سیانور عبارتند از: کمپلکس و

تجزیه شدن، ترسیب و انحلال، جذب و واجذب، اکسیداسیون شیمیایی، تبدیل به تیوسیانات، هیدرولیز، تجزیه فتوشیمیایی، تبخیر و تجزیه بیولوژیکی.

سیانور با تعدادی از فلزات، تشکیل کمپلکس می دهد. به عنوان مثال در نتیجه مصرف ساده سیانور که در فرآیند سیانوراسیون استخراج طلا صورت می گیرد؛ کمپلکس‌های از سیانور فلزی تشکیل می شود که در پساب خروجی به وفور یافت می گردد. وقتی این ترکیبات در محیط رها می شوند، با سرعت‌های متفاوتی شروع به تجزیه شدن می کنند که در بین کمپلکس‌های موجود در باطله‌های استخراج طلا کمپلکس‌های سیانور آهن به دلیل پایداری بالا و فراوانی آهن در خاک بیشتر از سایر کمپلکس‌ها یافت می شوند. خوشبختانه مشاهده شده است که کمپلکس‌های سیانور آهن در مقابل اشعه ماورای بنفش خورشید تجزیه شده و سیانور آزاد تولید می شود (۸، ۹). همچنین بنابر تحقیقات انجام شده زوال سیانور ممکن است در اثر تجزیه بیولوژیکی در شرایط هوایی و به مقدار محدود تری در شرایط بی هوایی رخ دهد (۱۰، ۱۱). فعالیت مجتمع طلای موته که در نزدیکی منطقه امن موته قرار دارد، از سال ۱۳۷۲ شروع شده است. این کارخانه در نتیجه عملیات استخراج طلا که به روش سیانوراسیون، روزانه حدود هزار تن پساب به صورت دوغاب حاوی مقادیر بالای سیانور به برکه‌های باطله مجاور تخلیه می کند. در مجتمع طلای موته، دو برکه باطله را به صورت مربع و با طول ضلع ۱۷۰ متر احداث کردند که بستر آنها با لایه‌ی از غشای نفوذ ناپذیر پر شده بود. پس از پر شدن ظرفیت اولین برکه‌ها، با خاکریزی، عمق و ظرفیت برکه‌ها را بدون توجه به ملاحظات زیست محیطی افزایش دادند به طوری که در اواخر سال ۱۳۹۰ عمق رسوبات برکه‌ها بیش از ۲۰ متر برآورد شده است (حجم رسوبات تقریباً برابر است با $170 \times 170 \times 20$ یعنی ۱۱۵۶۰۰۰ مترمکعب).

به واسطه خاکریز اضافه شده در اطراف برکه‌های باطله که بدون تراکم و پوشش است، امکان نفوذ محلول سیانور به خارج از برکه‌ها وجود دارد. همچنین قابل ذکر است که تاکنون چندین

شورای عالی شکاربانی و نظارت بر صید رسید. تعارضات به وجود آمده در منطقه باعث گردید که در آخرین مصوبه شورای عالی حفاظت محیط زیست مساحت آن تا سطح ۲۲۰ هزار هکتار کاهش یابد و در سال ۱۳۶۹، با وسعت کنونی به پناهگاه حیات وحش ارتقای سطح یافت. لازم به ذکر است که ۱۶/۸ درصد (معادل ۳۷۰۰۰ هکتار) از مساحت این پناهگاه به مناطق امن در محل‌های معروف به شور رباط ترک، شور آب باریک و سی‌کلفتی اختصاص دارد که متأسفانه وجود خطوط انتقال لوله گاز و جاده‌های دسترسی محیط نامنی را برای وحش منطقه ایجاد کرده است. محدوده پناهگاه حیات وحش موته از دو بخش کوهستانی و دشتی تشکیل شده است. ارتفاعات موته شامل دو رشته کوه است که بلندترین ارتفاع آن حدود ۳۰۰۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۹۰۰ متر از سطح دریا فاصله دارد. این اختلاف ارتفاع باعث به وجود آمدن رویشگاه‌ها و تیپ‌های مختلف گیاهان مرتعی، درختان و درختچه‌های طبیعی گردیده و تنوع زیستی جالبی را پدیدار نموده است. براساس اطلاعات موجود در منطقه موته تاکنون بیش از ۳۰۰ گونه گیاهی مرتعی که ارزش علوفه‌ای، دارویی و صنعتی دارند شناسایی شده است. این منطقه از بهترین زیستگاه‌های آهو در ایران است، به طوری که در برخی منابع، زیستگاه بیش از نیمی از جمعیت آهوی ایرانی را منطقه موته می‌دانند (۱۲).

حادثه شکستگی دیواره‌های برکه‌های باطله و نشت محلول سیانور از این برکه‌ها گزارش شده است، که چندین مورد گزارش ناشی از مرگ حیوانات آن منطقه را در پی داشته است. از دیگر موارد انتقال محتوبات داخل برکه‌های باطله به خارج از آنها، پخش توسط جریان باد و نیز سرریز شدن در مواقع بارندگی‌های شدید است. هدف از مطالعه حاضر اندازه‌گیری غلظت سیانور در خروجی کارخانه، ارتباط غلظت سیانور با فاصله و ارتفاع از مجتمع طلای موته در آب زیر زمینی و خاک، ارتباط آن با عمق خاک و مقایسه مقدار سیانور موجود در آب زیرزمینی با استانداردهای موجود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پناهگاه حیات وحش موته، از دیرباز به دلیل دارا بودن منابع طبیعی فراوان و با ارزشی همچون معدن طلا، معادن سنگ مرمریت و تراورتن، معادن خاک‌نسوز، معادن سنگ چینی و ... همواره مورد توجه و تجاوز قرار گرفته است. این منطقه با وسعتی بالغ بر ۲۲۰ هزار هکتار در شمال اصفهان و در ۲۷۰ کیلومتری جنوب تهران قرار دارد. پس از تشکیل کانون شکار ایران در سال ۱۳۴۳، محدوده‌ای با وسعت ۳۴۳۹۴۰ هکتار واقع در حوزه استحفاظی استان‌های اصفهان و مرکزی به عنوان منطقه حفاظت شده موته انتخاب و در سال ۱۳۴۶ به تصویب



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

Figure 1. The map of case study.

آماده سازی نمونه

برای انجام این مطالعه، نمونه برداری و آنالیز نمونه‌ها با روش رنگ سنجی مطابق با روش شماره ۹۰۱۰ آژانس حفاظت محیط زیست امریکا^۱ EPA صورت گرفت (۱۳). مطابق روش مذکور pH نمونه آب در محل نمونه برداری باید با هیدروکسید سدیم یک نرمال به حدود ۱۲ رسانیده شود. سپس برای تست نهایی، دوباره باید pH نمونه را با اسید هیدروکلریک یک نرمال به حدود خنثی برگردد. در پایان برای اندازه گیری سیانور، از روش رنگ سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری Hach در طول موج ۶۱۲ نانومتر استفاده گردید. نمونه‌های آب زیرزمینی از چاه‌های اطراف مجتمع طلا که برای کاربری‌های مختلف کشاورزی، فرآیند استخراج طلا و یا تامین آب شرب و حوض منطقه است، برداشت گردید. همچنین از آب آشامیدنی موته نمونه برداری صورت گرفت. دسترسی آسان به آب زیرزمینی مهمترین معیار در تعیین ایستگاه‌های نمونه برداری بود. جهت اندازه گیری سیانید موجود در نمونه‌های خاک ابتدا نمونه‌ها مطابق روش استاندارد تقطیر شدند (۱۴). بر اساس این روش ابتدا ۵۰۰ میلی گرم خاک به همراه ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر در در داخل بالن تقطیر ریخته شد. سپس ۱۰ میلی لیتر هیدروکسید سدیم یک مولار به ظرف جذب کننده گاز اضافه شد. زمانی که عمق مناسب در ظرف جاذب بدست آمد با اضافه کردن آب مقطر رقیق می شود. در این قسمت باید دقت شود که حجم کل محلول جاذب بیشتر از ۲۲۵ میلی لیتر نشود. البته بستگی به میزان سیانور خاک دارد، در نمونه‌های برداشت شده به دلیل مقدار بسیار پایین سیانور رقیق سازی خیلی ناچیز انجام می شد. سپس با اضافه کردن ۵۰ میلی گرم کربنات سرب به محلول جاذب دستگاه را نصب کرده و هیتر را روشن نموده تا محلول نمونه شروع به جوشیدن نماید. پس از این که محلول شروع به جوشیدن نمود و بخارات محلول از مسیر لوله‌ها به طرف بالا حرکت کرد ۲ گرم سولفامیک اسید و سپس ۵۰ میلی لیتر اسید سولفوریک یک به یک به فلاسک جوش اضافه

نموده و در انتها ۲۰ میلی لیتر کلرید منیزیم به عنوان معرف به آنها اضافه می شود. حجم محلول حاصل از تقطیر را به ۲۵۰ میلی لیتر رسانده و نمونه را تا دمای ۲۵ درجه سانتی گراد خنک نموده تا بر روی آن آزمایش رنگ سنجی مشابه نمونه‌های آبی انجام شود. در نهایت داده‌ها در خاک براساس میلی گرم در کیلوگرم و در نمونه‌های آبی برحسب میلی گرم در لیتر گزارش داده شدند. جهت بررسی دقت و صحت روش اندازه گیری، ۳۰ میلی لیتر محلول ۵۰ میکروگرم بر لیتر سیانید پتانسیم به خاک بدون سیانید اضافه شد؛ سپس مطابق روش ذکر شده پنج بار مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که مقدار انحراف استاندارد نسبی و درصد بازیابی روش به ترتیب برابر است با ۰/۰۱ و ۹۲ درصد. همان گونه که مشاهده می شود روش بکار رفته در این تحقیق از صحت و دقت مناسبی برخوردار است.

آنالیز آماری

جهت انجام آنالیز آماری از نرم افزارهای SPSS, Curve Expert, Excel استفاده گردید. نرمال بودن یا نبودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف تست گردید. از آنجائیکه داده‌ها نرمال نبودند و تلاش برای نرمال سازی بی نتیجه بود؛ لذا جهت بررسی ارتباط پارامترها از آزمون غیر نرمال مانند ویلکاکسون استفاده گردید. همچنین مقایسه نتایج با درصد اطمینان ۹۵٪ انجام گرفت.

یافته‌ها

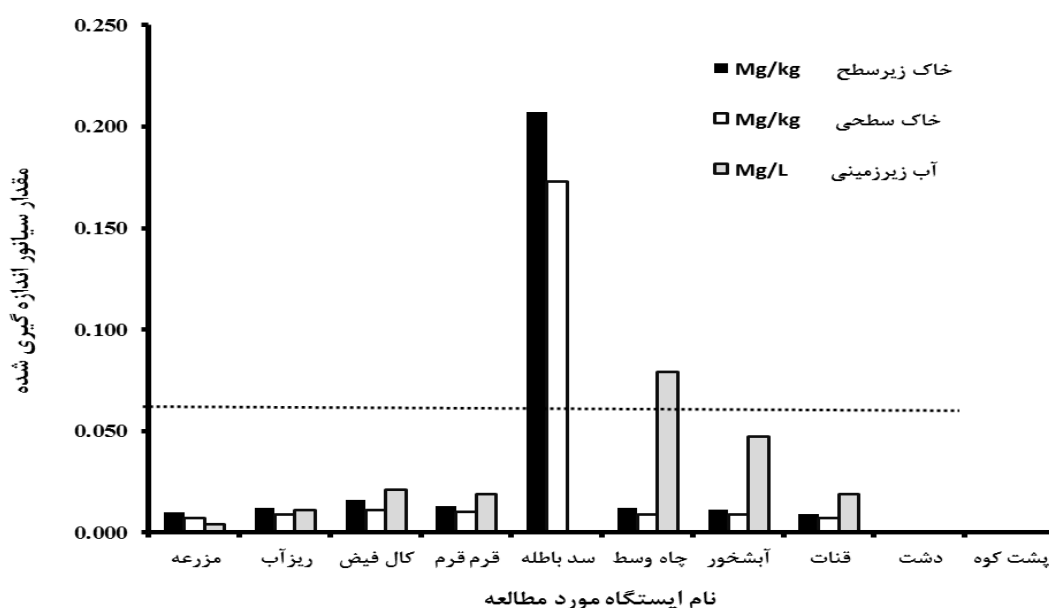
در کل، یازده ایستگاه نمونه برداری در منطقه با توجه به دسترسی به آب زیرزمینی، فاصله، ارتفاع و نقاط مهم تر از نظر محیط زیست در اطراف کارخانه طلای موته انتخاب گردید که مشخصات آن، در جدول یک آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات کلی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Table 1. General specifications of sampling sites

| شماره ایستگاه | نام ایستگاه | فاصله از معدن (کیلومتر) | ارتفاع از سطح دریا (متر) |
|---------------|-------------|-------------------------|--------------------------|
| ۱ | سد باطله | ۰/۰۱۰ | ۱۹۹۳ |
| ۲ | قرم قرم | ۰/۸۰۵ | ۲۰۱۶ |
| ۳ | چاه وسط | ۳/۵۶۸ | ۱۸۹۰ |
| ۴ | آبشخور | ۴/۹۸۶ | ۱۸۸۵ |
| ۵ | کال فیض | ۵/۸۷۰ | ۲۰۱۲ |
| ۶ | قنات | ۷/۱۵۶ | ۱۹۱۵ |
| ۷ | ریز آب | ۹/۸۰۷ | ۱۹۰۵ |
| ۸ | دشت | ۱۱/۴۹۰ | ۱۸۷۵ |
| ۹ | مزرعه | ۱۱/۸۶۲ | ۱۸۳۰ |
| ۱۰ | پشت کوه | ۱۳/۷۰۰ | ۱۹۲۹ |
| ۱۱ | دوراهی موته | ۱۵/۷۳۰ | ۱۹۵۱ |

میانگین میزان سیانور در آب زیرزمینی بر حسب میلی گرم در لیتر، خاک سطحی و زیر سطح (۰/۵ متری سطح خاک) بر حسب میلی گرم در کیلوگرم در شکل زیر گزارش شده است.



شکل ۲- میانگین سیانور اندازه گیری شده در آب زیر زمینی و خاک منطقه مورد مطالعه

Figure 2. The mean of measured Cyanide in groundwater and soil in Mooteh wildlife refuge

زیر فرمول ریاضی همراه با متغیرهای ضریب رگرسیونی (۲)، خطای استاندارد (SE) و ضریب تعیین (R^2)، توسط نرم افزار

از آنجای که آنالیزهای آماری ارتباط فاصله و ارتفاع را با هر سه جزء نمونه‌برداری شده (آب زیرزمینی، خاک سطحی و خاک با عمق ۰/۵ متری از سطح) معنی دار نشان دادند؛ لذا در جدول

آماری Curve Expert آورده شده است. تاثیر افزایش فاصله و ارتفاع در کاهش مقدار آلودگی امری ثابت شده است (۱۸).

جدول ۲- ارتباط فاصله و ارتفاع با سیانور اندازه گیری شده

Table 2. The relationship between distance and altitude with measured cyanide.

| R ² | SE | r | فرمول ریاضی | تابع مدل | نماد y | نماد x |
|----------------|------|------|--|-------------------------|-----------------------|------------|
| ۰/۹۰ | ۰/۰۱ | ۰/۹۵ | $Y = ۰/۰۱ \div (1 - ۰/۹۷ e^{-۰/۹۸x})$ | Logistic | سیانور آب | فاصله (km) |
| ۰/۸۱ | ۰/۰۱ | ۰/۹۰ | $Y = ۰/۰۷ \div (1 - ۰/۹۷ e^{-۰/۹۸x})$ | Logistic | سیانور آب | ارتفاع (m) |
| ۰/۷۹ | ۰/۰۱ | ۰/۸۹ | $Y = (۱/۱۳ \times ۱۰^۳ x - ۱/۱۱ \times ۱۰^۴)^{۳/۱}$ | Bleasdale | سیانور خاک سطحی | فاصله (km) |
| ۰/۹۷ | ۰/۰۱ | ۰/۹۸ | $Y = ۰/۲۱ e^{-۰/۴۸x}$ | Exponential | سیانور خاک سطحی | ارتفاع (m) |
| ۰/۷۷ | ۰/۰۱ | ۰/۸۸ | $Y = ۰/۰۲ - ۹/۸۳ \times ۱۰^{-y} \times (۱۸/۹۲) \div x^2$ | Heat Capacity | سیانور خاک زیر سطح | فاصله (km) |
| ۰/۸۳ | ۰/۰۱ | ۰/۹۱ | $Y = 1 \div (۷/۳۳ \times ۱۰^{-۵} - ۰/۰۲x + ۳/۵۶ x^2)$ | Reciprocal Quadratic | سیانور خاک زیر سطح | ارتفاع (m) |

بحث

سمت ایستگاه‌های پایین دست (ایستگاه‌های ۳، ۴، و ۶) است (۱۶)، می‌توان ارتباط مستقیم و معنی دار غلظت سیانور را با جهت جریان آب زیرزمینی نشان داد. روند انتقال سیانور از محل سد باطله به سمت پایین دامنه کوه (دشت موته) بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است. به نظر می‌رسد جهت جریان آب زیر زمینی نقش اساسی در انتقال آن دارد. هرچند عوامل دیگر مثل باد نیز می‌تواند نقش مهمی در فرسایش بادی ذرات سیانور خروجی در منطقه موته داشته باشند. افزایش ارتفاع از یک سو با افزایش دما و تابش نور خورشید همراه است و از سوی دیگر با عدم دسترسی با عوامل انتشار سیانور مانند جریان آب زیرزمینی، باد، باران و ... همراه است. لذا با افزایش ارتفاع، مقدار سیانور کاهش می‌یابد. قابل ذکر است که تابش خورشید به دلیل فرآیندهای حذف نوری توسط اشعه‌های فرابنفش و اکسیداسیون، از جمله عوامل اصلی زوال سیانور در خاک است (۱۷). البته زوال سیانور در خاک به پارامترهای مختلفی از

همان طوری که در شکل دو از نحوه توزیع سیانور منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود، با دور شدن از برکه‌های باطله (منبع آلودگی) از مقدار سیانور در آب زیرزمینی و خاک کاسته شده است. این کاهش غلظت سیانور خاک با فاصله آن از منبع آلودگی خود گویایی واقعیت انتشار سیانور از برکه‌های باطله به محیط است. این آلودگی، در مدت زمان طولانی بهره برداری کارخانه (از سال ۱۳۷۲)، با مکانیزم‌های طبیعی همچون باد، نش و نیز توسط چندین حادثه سرریز و شکاف دیواره، از سد باطله به دشت موته منتقل شده است. مطالعات قبلی نیز نشان دادند که از جمله عوامل اصلی در انتشار سیانور می‌توان به ترتیب به آب باران، جریان آب زیر زمینی که خود تابعی از شیب زمین است، باد و حتی موجودات زنده اشاره کرد (۳، ۱۵). از آنجایی که تعدادی از ایستگاه‌های این مطالعه (ایستگاه‌های ۲، ۵، ۷ و ۹)، در بالادست خروجی پساب کارخانه قرار دارد؛ و از طرفی جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه از دامنه به

آماري اختلاف معنی داری بین سیانور اندازه گیری شده در آب زیرزمینی و خاک سطحی نشان دادند ($P=0/04$). تائیبی و همکاران نیز در سال ۲۰۰۶ نتیجه‌گیری کردند که تاثیر نور خورشید و دمای بالا در خاک سطحی، باعث حذف مقادیر زیادی سیانور می‌شود (۱۶). به نظر می‌رسد دلیل اصلی وجود اختلاف مقادیر سیانور در آب زیرزمینی و خاک سطحی، نیز نور خورشید، وجود میکرو ارگانیزم‌های فعال و دمای بالای است که ترکیبات سیانور را به شکل گازی درآورده و حذف می‌کند. همچنین این اختلاف می‌تواند نقش مهم‌تر تجزیه نوری خاک را در مقابل تجزیه اندک بیولوژیکی و شیمیایی آب زیرزمینی نشان دهد. Liao در سال ۲۰۱۱ مهمترین عامل در رفع آلودگی سیانور را تجزیه نوری، افزایش دما و بالا بردن pH خاک گزارش داده است (۱۹). با توجه به نتایج آنالیز آماری، میانگین سیانور اندازه‌گیری شده بین آب با خاک زیر سطح اختلاف معنی داری نداشتند ($P=0/14$). تاثیر نور خورشید، فعالیت میکرو ارگانیزم‌ها به طور متوسط تا عمق ۱۰ سانتی متری خاک قابل ملاحظه و پس از آن کم می‌شود تا جای که در عمق حدود ۴۰ سانتی متر، تاثیر ناچیزی دارد (۲۰، ۲۱). نتایج این مطالعه نیز با این موضوع همخوانی دارد؛ ترکیبات سیانور به دلیل فراربت بیشتر در خاک سطحی کمتر از آب یافت می‌شود ولی در خاک‌های زیر سطح این اختلاف به دلیل عدم وجود عوامل زوال سیانور، کمتر است و در این مطالعه نیز، اختلاف معنی داری بین خاک زیر سطح با آب زیرزمینی وجود نداشت.

از آنجایی که از آب زیرزمینی این منطقه در روستای موته (قنات موته) برای آشامیدن استفاده می‌کنند و همین طور در سایر نقاط، وحوش منطقه از آن استفاده می‌کنند و از طرفی سازمان بهداشت جهانی حداکثر مقدار سیانور در آب آشامیدنی را ۰/۰۷ میلی گرم در لیتر تعیین کرده است (۲۲)؛ مقایسه نتایج این تحقیق با استاندارد مذکور نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های سد باطله در فاصله ۱۰۰ متر خروجی پساب کارخانه و ایستگاه شماره سه (سه کیلومتری کارخانه طلای موته به نام چاه وسط) که از آب آن هم برای استحصال طلا و هم برای حیات وحش منطقه (خصوصاً آهو) استفاده می‌شود،

جمله pH خاک، غلظت کاتیون‌های سایر فلزات، تغییرات دمای خاک، نوع میکروارگانیزم‌ها و ... بستگی دارد. به طوری که Meeussen و همکاران در سال ۱۹۹۵ آبشویی سیانور از خاک‌های قلیایی را بسیار بیشتر از سایر خاک‌ها به دلیل تسریع در فرآیندهای اکسیداسیون سیانور و یکی از راه‌های اصلی حذف آن از خاک را افزایش pH گزارش دادند (۹). همان طوری که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در همه موارد ارتباط قوی و منفی بین ارتفاع و غلظت سیانور وجود دارد و این خود می‌تواند نقش فرآیندهای فتوشیمیایی در تجزیه سیانور و عدم حضور عوامل انتشار آلودگی در ارتفاعات بالاتر را به خوبی نشان دهد. همچنین در ارتباط بین فاصله از معدن و میزان سیانور نیز مشاهده می‌شود با افزایش فاصله، میانگین سیانور به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. تائیبی و همکاران در سال ۱۳۸۴ نتیجه گیری کردند که با افزایش فاصله از معدن میانگین سیانور در خاک سطحی در فواصل کوتاه (تا ۱۰۰ متری) به صورت یک تابع نمایی کاهش می‌یابد (۱۶). نتایج این مطالعه نشان داد، در فاصله‌های طولانی تر بهترین تابع کاهش برای میانگین سیانور نمی‌تواند به صورت تابع نمایی باشد (جدول ۲).

نتایج آنالیز ویلکاکسون نشان دادند که مقدار سیانور اندازه گیری شده در خاک سطحی و زیر سطح منطقه مورد مطالعه، اختلاف معنی داری ندارند ($P=0/21$). هر چند نتایج مطالعات قبلی نشان دادند با افزایش عمق خاک فعالیت‌های میکروارگانیزم‌ها خصوصاً هوازی و همچنین تاثیرات تجزیه نوری کمتر می‌شود و در نتیجه آن مقدار سیانور به صورت محسوسی کاهش می‌یابد. همچنان که از جمله عوامل اصلی در زوال طبیعی سیانور در خاک‌های بسیار آلوده را زیر و رو کردن خاک (به واسطه تجزیه فتوشیمیایی) بیان کردند (۱۶). اما این موضوع فقط برای خاک‌هایی صدق می‌کند که مقدار آلودگی سیانور در آنها بالاست (بالاتر از ۰/۰۵ میلی گرم در کیلوگرم). به نظر می‌رسد در خاک‌های با میزان سیانور پایین، نقش فرآیندهای حذف سیانور مانند نور خورشید آنچنان نیست که موجب تفاوت معنی دار غلظت در خاک با افزایش عمق شود. در واقع خاک به اندازه ی آلوده نیست که نقش عوامل حذف سیانور روی خاک سطحی معنی دار شود. اما نتایج آنالیزهای

رها می کند که خود می تواند مشکلات بسیار زیادی برای انسان و سایر موجودات زنده در پی داشته باشد. در پایان به سایر محققان پیشنهاد می شود با توجه به اثرات بسیار سمی و کشنده سیانور در محیط زیست از یک سو و شرایط اقلیمی ایران از سوی دیگر، تصفیه به روش های روز مانند تصفیه بیولوژیکی این ماده خطرناک شامل کشت میکروبی یا تکنیک های گیاه پالایی را مورد مطالعه قرار دهند. همچنین اندازه گیری سیانور آزاد به جای سیانور کل به لحاظ سمیت بسیار بیشتر و قابلیت انتقال زیستی بیشتر با استفاده از تکنیک های جدید علمی توصیه می شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند؛ از همکاری صمیمانه اداره حفاظت محیط زیست گلپایگان خصوصاً جناب آقای مهندس قاسم حسومی که در جمع آوری نمونه ها تلاش زیادی نمودند؛ تشکر کنند. همچنین از آقای مهندس علیرضا زاده بافقی که در اندازه گیری سیانور راهنمایی بسیار نمودند، قدردانی می شود.

آلودگی آب بیش از حد استاندارد می باشد (۰/۰۷۹ میلی گرم در لیتر). لذا ضرورت دارد مسئولان پناهگاه اقدام سریع جهت جلوگیری از افزایش سیانور در این ایستگاه ها خصوصاً ایستگاه شماره سه داشته و تلاش جهت کاهش مقدار آن انجام دهند. از بهترین راهکارهای کنترل این آلودگی در سطح منطقه می توان به استفاده از روش های جدیدتر استحصال طلا بدون نیاز به مصرف سدیم سیانور مانند سولفات آهن یا آهنک، توسعه روش های بازیافت سیانور خروجی از کارخانه، ساخت و تجهیز سدهای باطله به روش های علمی جهت تصفیه مناسب این ماده سمی اشاره کرد؛ که باید مورد توجه مسئولان قرار بگیرد، هر چند صرفه اقتصادی کمتری داشته باشند. قابل ذکر است غلظت سیانور خروجی در پساب کارخانه ۲۷۸ میلی گرم در لیتر است و مطالعات قبلی نیز تقریباً همین مقدار سیانور از پساب اصلی کارخانه گزارش دادند (۱۶) و این مقدار بیش از ۵۵۰۰ برابر حد مجاز سیانور در آب آشامیدنی می باشد؛ لذا توجه جدی به مسئله کاهش آلودگی محیط زیست به سیانور در پناهگاه حیات وحش موته به لحاظ اهمیت بسیار در حفظ تنوع زیستی ضروری است.

نتیجه گیری

در اطراف مجتمع طلای موته، غلظت سیانور در خاک با افزایش فاصله آن، به صورت محسوسی کاهش می یابد که این کاهش در ابتدا به صورت نمایی است. افزایش ارتفاع به دلیل افزایش تاثیر فرآیندهای تخریب و حذف سیانور باعث کاهش قابل توجهی در آلودگی خاک به این ماده است. همچنین میزان سیانور خاک همراه با افزایش عمق، افزایش می یابد که عامل اصلی آن نیز کاهش تاثیرات فرآیندهای فتوشیمیایی و میکرو ارگانیسم های هوازی خاک است. مقدار سیانور در خاک به دلیل حضور عوامل زوال سیانور بسیار کمتر از آن در آب زیرزمینی است و صرفاً اندازه گیری سیانور در خاک نمی تواند گویای مقدار سیانور در آب باشد، چراکه فرآیندهای حذف سیانور در آب و خاک کاملاً با هم متفاوت است. استخراج طلا به روش سیانوراسیون (روش استخراج فعلی کارخانه طلای موته) به مقدار بسیار زیادی سیانور را در محیط زیست (هوا، آب و خاک)

Reference

1. Manning K, editor. Detoxification of cyanide by plants and hormone action 1988: Wiley Online Library.
2. Logsdon MJ, Hagelstein K, Mudder T, Metals ICo, Environment t. The management of cyanide in gold extraction: International Council on Metals and the Environment; 1999.
3. Műezzinog˘lu A. A review of environmental considerations on gold mining and production. 2003.
4. Donato D, Nichols O, Possingham H, Moore M, Ricci P, Noller B. A critical review of the effects of gold cyanide-bearing tailings solutions on wildlife. Environment international. 2007; 33 (7): 974-84.

- Habitat Corridor for Large Herbivores between Mooteh and Ghameshloo Wildlife Refuges, Esfahan Province, Iran. *Bulletin of the National Institute of Ecology*. 2005;16:137-9.
13. Carr SA, Baird RB, Lin BT. Wastewater derived interferences in cyanide analysis. *Water Research*. 1997;31(7):1543-8.
 14. Eaton AD, Franson MAH. Standard methods for the examination of water & wastewater: Amer Public Health Assn. ۲۰۰۵ ;
 15. Akcil A. Destruction of cyanide in gold mill effluents: biological versus chemical treatments. *Biotechnology Advances*. 2003;21(6):501-11.
 16. Taebi A, Bafqi ARZ, Sartaj M. Transport and Fate of Cyanide in Soil: Case Study of Mooteh Valley. *WATER AND WASTEWATER*. 2006.
 17. Wild SR, Rudd T, Neller A. Fate and effects of cyanide during wastewater treatment processes. *Science of the total environment*. 1994;156(2):93-107.
 18. Aragon F, Rud JP. Mining, Pollution and Agricultural Productivity: Evidence from Ghana 2012.
 19. Liao KF. Removal of cyanide using photocatalysis-membrane hybrid system: UTAR; 2011.
 20. Ghosh RS, Nakles DV, Murarka IP, Neuhauser EF. Cyanide speciation in soil and groundwater at manufactured gas plant (MGP) sites. *Environmental engineering science*. 2004;21(6):752-67.
 21. Kjeldsen P. Behaviour of cyanides in soil and groundwater: a review. *Water*. 5. Griffiths SR, Smith GB, Donato DB, Gillespie CG. Factors influencing the risk of wildlife cyanide poisoning on a tailings storage facility in the Eastern Goldfields of Western Australia. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2009;72(5):1579-86.
 6. Baskin Si, Kelly Jb, Maliner Bi, Rockwood Ga. Cyanide poisoning. Medical aspects of chemical warfare. 2009:371.
 7. Dube PN, Hosetti B. Modulation in the protein metabolism by subacute sodium cyanide intoxication in the freshwater fish, *Labeo rohita* (Hamilton). *Drug and Chemical Toxicology*. 2012(00):1-7.
 8. Malhotra S, Pandit M, Kapoor J, Tyagi D. Photo-oxidation of cyanide in aqueous solution by the UV/H₂O₂ process. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2005;80(1):13-9.
 9. Meeussen JCL, Keizer MG, Van Riemsdijk WH, De Haan FAM. Dissolution behavior of iron cyanide (Prussian blue) in contaminated soils. *Environmental science & technology*. 1992;26(9):1832-8.
 10. Fallon R, Cooper D, Speece R, Henson M. Anaerobic biodegradation of cyanide under methanogenic conditions. *Applied and environmental microbiology*. 1991;57(6):1656-62.
 11. Gijzen HJ, Bernal E, Ferrer H. Cyanide toxicity and cyanide degradation in anaerobic wastewater treatment. *Water Research*. 2000;34(9):2447-54.
 12. Esfahani SF, Karami M. A Study on the Feasibility of Establishing a

assessments: a guide to the use of biota, sediments, and water in environmental monitoring: E & Fn Spon; 1996.

Air, & Soil Pollution. 1999;115(1):279-308.
22. Chapman DV, Unesco, Organization WH, Programme UNE. Water quality