

## بررسی میزان و نحوه انتقال سیانور به شاخه راست رودخانه ساروق تکاب و پهنه بندی نتایج حاصله توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

دکتر علیرضا رحمانی<sup>۱</sup>، ناصر رحیمی<sup>۲\*</sup>، ادريس حسين زاده<sup>۳</sup>، دکتر محمدتقی صمدی<sup>۴</sup>، دکتر قربان عسگری<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: 1391/08/01 تاریخ پذیرش: 1391/09/24

### چکیده

**پیش زمینه و هدف:** شاخه راست ساروق مهم‌ترین رودخانه شهرستان تکاب می‌باشد که در پایین دست کارخانه‌های استحصال طلاي موجود واقع شده است. سیانور نشتی از سدهای باطله این کارخانه‌ها می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامت رودخانه باشد. این مطالعه با هدف بررسی میزان و نحوه انتقال سیانور به رودخانه انجام شده است.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه توصیفی - مقطعی، سیانید کل به همراه پارامترهایی چون اکسیژن محلول آب، pH، کدورت، دما، کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی آب، نیترات، آمونیاک و سدیم در ۵ ایستگاه مستقر در طول رودخانه به طور ماهیانه طی فصول بهار و تابستان ۱۳۹۰ اندازه‌گیری شدند. غلظت سیانید در ایستگاه‌ها مشخص و مقادیر آن با استانداردها ( $0.07 \text{ mg l}^{-1}$ ) مقایسه گردید. محل نشتی سیانور به رودخانه شناسایی و تغییرات غلظت سیانید در طول رودخانه بررسی شد. پهنه بندی غلظت سیانید موجود در رودخانه در ایستگاه‌های مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 انجام شد.

**یافته‌ها:** مقدار سیانور در ایستگاه‌های بالا دست کارخانه‌ها پایین‌تر از حد تشخیص ( $0.02 \text{ mg l}^{-1}$ ) بود درحالی‌که بیشترین غلظت سیانید ( $0.28 \text{ mg l}^{-1}$ ) و سدیم ( $74/93 \text{ mg l}^{-1}$ ) در ایستگاه C (پایین‌تر از کارخانه پارس کانی) مشاهده گردید. غلظت سیانور در ایستگاه D (پایین‌تر از کارخانه پویا زرکان) افت ناگهانی داشت. میانگین غلظت سیانور رودخانه در فصل پرآبی نسبت به فصل کم آبی بالاتر بود.

**بحث و نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج بدست آمده ریزش‌های جوی می‌تواند باعث سرریز شدن محتویات سد باطله پارس کانی به رودخانه شود. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان سیانور آب رودخانه در نزدیکی کارخانه‌های استحصال طلا بالاتر از حد استاندارد بوده و کنترل نشتی آن ضروری است.

**کلمات کلیدی:** سیانور، رودخانه ساروق، تکاب، کارخانه‌های استحصال طلا

مجله پزشکی ارومیه، دوره بیست و سوم، شماره ششم، ص ۶۴۵-۶۳۶، بهمن و اسفند ۱۳۹۱

آدرس مکاتبه: تکاب، مرکز بهداشت شهرستان تکاب، تلفن:

Email: naser. rahimy6@yahoo.com

### مقدمه

رودخانه‌ها به منظور ارزیابی اثر پروژه‌های انسان‌ساز بر کیفیت آب و ارائه راهکارهای مناسب جهت کنترل آن‌ها امری لازم و ضروری است (۳). سیانور به ترکیبات آلی و معدنی دارای گروه CN- گفته می‌شود که در ترکیبات آلی نیتروژن‌دار، این گروه را عامل نیتریل‌ها نیز می‌نامند و در نام‌گذاری ترکیبات شیمیایی

رودخانه یکی از شریان‌های حیاتی برای زندگی انسان‌هاست که همواره در پیدایش و توسعه جامعه بشری نقش قابل توجهی داشته است (۱، ۲). منابع آلاینده متعددی سلامت رودخانه‌ها را تهدید می‌کنند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به باطله‌ها و فرآوری صنعت معدن اشاره نمود. شناسایی منابع آلوده کننده

<sup>۱</sup> دکترای بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز بهداشت شهرستان تکاب، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد

<sup>۴</sup> دکترای بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان

<sup>۵</sup> دکترای بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان

Obiri و همکارانش (۹) در مطالعه‌ای میزان سیانید آزاد و کل در آب رودخانه Bogoso در کشور غنا را بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که غلظت سیانید آزاد و کل در نمونه‌های برداشتی از آب رودخانه بالاتر از حد مجاز تخلیه شونده از پساب معادن طلا به آب‌های جاری است. مقایسه مقادیر بدست آمده سیانید در نمونه‌های آب رودخانه با مقادیر استاندارد ملی غنا، بیانگر آلودگی رودخانه با مقادیر بالای سیانید بوده و برای استفاده ساکنان نامناسب می‌باشد و در نتیجه ساکنان منطقه در معرض خطر مسمومیت جدی با سیانید قرار دارند. در مطالعه‌ای Bakatula و همکاران (۵) غلظت سیانید و کمپلکس‌های آن را در اطراف سد باطله کارخانه استخراج و فرآوری طلا در افریقای جنوبی را بررسی کرده‌اند. محققین مذکور گزارش کردند در هنگام ریزش‌های جوی به دلیل تجمع آب باران با میزان بالای اکسیژن در لایه‌های سطحی سدهای باطله، احتمال نشت و در نتیجه جریان پساب حاوی سیانید و کمپلکس‌های آن به درون آب‌های سطحی یا آب‌های زیرزمینی اطراف وجود دارد.

مطالعه حاضر بر روی آب شاخه راست رودخانه ساروق شهرستان تکاب با هدف تعیین غلظت سیانید در بالا و پایین دست کارخانه‌های فرآوری طلا، مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با استانداردهای جهانی و شناسایی محل انتشار آن با نگاهی به تجزیه سیانید در رودخانه صورت گرفته است. همچنین در این مطالعه جهت ایجاد ارتباط یکپارچه بین داده‌ها و اطلاعات مکانی، مقادیر سیانید اندازه‌گیری شده در طول رودخانه با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)<sup>۴</sup> پهنه‌بندی گردیده است که می‌تواند نقطه قوت مطالعه حاضر نسبت به سایر مطالعات مشابه انجام شده باشد. همچنین بر اساس منابع در دسترس و جستجوهای انجام شده تا به حال مطالعه‌ای به منظور بررسی غلظت سیانید بر روی رودخانه ساروق تکاب انجام نشده است و نتایج این مطالعه تا حدودی می‌تواند به تبیین اهمیت این موضوع کمک نماید.

رودخانه ساروق تنها رودخانه اصلی و دائمی شهرستان تکاب واقع در استان آذربایجان غربی می‌باشد که در طول مسیر ۶۰ کیلومتری خود تا سد زرینه رود (شهید کاظمی) آبراهه‌های متعددی را دریافت می‌کند. شاخه راست این رودخانه، یکی از شاخه‌های مهم رودخانه ساروق و جزء رودخانه‌های دائمی می‌باشد که حوضه آبریز آن دارای حدود جغرافیایی با طول ۲۰°-۴۷° و عرض ۲۸°-۳۶° می‌باشد که پساب معادن و کارخانه‌های استحصال طلای منطقه را دریافت می‌کند.

توسط آیوپاک<sup>۱</sup> در گروه مواد معدنی قرار گرفته است (۴). سیانور در محیط زیست به وسیله انواع مختلفی از باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و گونه‌های متعددی از گیاهان تولید می‌شود. در گونه‌های از گیاهان سیانوزئیک<sup>۲</sup> مانند سورگوم<sup>۳</sup> تولید سیانور در بهار و زمان شکوفه دهی آن‌ها زیاد است. با وجود این، ترکیبات سیانور به ندرت در مقادیر مضر برای محیط زیست، در طبیعت یافت می‌شوند (۵). تولید سالیانه سیانور در حدود ۱/۴ میلیون تن تخمین زده می‌شود که در صنایعی مانند تولید مواد شیمیایی آلی، آبکاری و داروسازی استفاده می‌شود. یکی از بیشترین و مهم‌ترین موارد استفاده آن به شکل سیانید سدیم در معدن کاری، به منظور استحصال فلزات گران‌بهایی چون طلا و نقره می‌باشد (۵).

تجزیه طبیعی سیانید در محیط زیست توسط فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی صورت می‌گیرد. فرایندهای مهم کاهش و تخریب سیانید عبارتند از رقیق‌سازی، تجزیه فتوشیمیایی، هیدرولیز، تبخیر، رسوب، کمپلکس، جذب، تبدیل به تیوسیانات و تجزیه بیولوژیکی (۵، ۶).

علیرغم تجزیه پذیری و واکنش سیانور با بسیاری از مواد در محیط، غلظت‌های بسیار پایین آن می‌تواند برای انسان و بسیاری از موجودات زنده خطرناک باشد. گاز یا مایع و نمک‌های قلیایی هیدروژن سیانور ممکن است از طریق استنشاق و گوارش وارد بدن شوند و از طریق پوست و چشم‌ها نیز جذب بدن می‌گردند. LD<sub>50</sub> گوارشی برای انسان ۱-۳، برای مرغ خانگی ۱۱/۱ و برای موش آزمایشگاهی ۱۰-۶ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن آن‌ها گزارش شده است. ماهی‌ها و بی‌مهرگان آبی بیشترین حساسیت را در مواجهه با سیانید از خود نشان می‌دهند به طوری که غلظت ۷۶-۲۰ میکروگرم در لیتر سیانید آزاد باعث مرگ بسیاری از گونه‌ها می‌شود (۴، ۵).

سولدان و همکاران، در بررسی خطرات زیست محیطی آلاینده‌هایی که در اثر آسیب‌دیدگی سد باطله کارخانه استحصال طلا در رومانی به رودخانه دانوب راه یافته بود، مشخص نمودند که سیانید باعث مرگ سریع موجودات آبی شده است (۷).

در پژوهشی که توسط عثمان و همکاران در خصوص بررسی سیانید ناشی از معادن طلا و تأثیر آن بر آب‌های زیر زمینی در عمان در سال ۲۰۰۸ انجام گرفت، مشخص گردید که با وجود عملیات چندین ساله کارخانه‌ها، ساختار مناسب سد باطله از ورود آلودگی به آب‌های زیرزمینی جلوگیری نموده و تهدید جدی هوا و خاک در آن مناطق وجود ندارد (۸).

<sup>1</sup> International Union of Pure and Applied Chemistry

<sup>2</sup> Cyanogenic Plants

<sup>3</sup> Sorghum

<sup>4</sup> Geographic Information System

اولین کارخانه استحصال طلا، متعلق به شرکت پویازرکان (پویازرکان آغ‌دره) که کانسنگ معدن آغ‌دره را با ظرفیت ۲۰۰۰ تن در روز استفاده می‌کند که عیار طلای آن ۳-۵ گرم در هر تن کانسنگ است و سالانه ۲۱۹۰ کیلوگرم شمس طلا را می‌توان از آن استخراج نمود (۱۰). این کارخانه دارای سد باطله بزرگ و مجهز به دستگاه Paste Production and Storage Mechanism (PP&SM) می‌باشد که پساب و باطله‌های تولیدی کارخانه را که حاوی آب و مواد جامد هست و باعث کاهش حجم سد باطله می‌گردد به باطله خمیری شکل (paste) تبدیل می‌کند و این مواد جامد در شیب‌های منتهی به سد باطله جهت از دست دادن آب باقی مانده دفع می‌گردند و در نهایت آب بازیافت شده توسط دستگاه، جهت استفاده مجدد به کارخانه برگردانده می‌شود. این سیستم ضمن جلوگیری از پرشدن زود هنگام سد باطله، موجب کاهش مصرف آب و سیانید سدیم کارخانه می‌گردد (۱۱).

دومین کارخانه استحصال طلا، متعلق به شرکت پارس کانی (پارس کانی زره‌شوران) که از کانسنگ معدن زره‌شوران استفاده می‌کند؛ عیار میانگین طلای آن ۷-۱۰ گرم در تن کانسنگ است و سالانه ۳۶۰۰ کیلوگرم شمس طلا و بیش از ۱۲۰۰ کیلوگرم نقره را می‌توان از آن استخراج نمود. سد باطله این کارخانه کوچک و فاقد سیستم PP&SM است (۱۰).

حوضه آبریز این شاخه در مجموع کوهستانی و پرشیب با آب و هوای سرد که مساحت آن ۶۴۳ کیلومترمربع با بارندگی ۳۱۴/۴۵ میلی‌متر در سال است و طول بزرگ‌ترین آبراهه آن حدود ۴۰ کیلومتر می‌باشد. میانگین آمار ۲۰ سال آبی ایستگاه هیدرومتری این شاخه، بیشترین آب‌دهی آن را در اردیبهشت ماه و کمترین آب‌دهی را در طول شهریور ماه نشان می‌دهد که دبی متوسط آن ۳/۳۱ مترمکعب در ثانیه و حجم جریان ۱۰۴/۸۵۴ میلیون مترمکعب در سال را دارد. تعداد ۲۳ روستا با جمعیت ۱۳۷۰۳ نفر در این حوضه واقع گردیده که در آمد اصلی اهالی آن‌ها از دام‌پروری و کشاورزی می‌باشد که آب مورد استفاده در این فعالیت‌ها از این شاخه تأمین می‌شود.

### مواد و روش کار

این مطالعه به صورت مقطعی میدانی طی فصول بهار و تابستان ۱۳۹۰ انجام شد.

در حوضه مورد مطالعه ۲ کارخانه استحصال طلا وجود دارد (شکل ۱) که در این کارخانه‌ها فرایند استخراج طلا از کانسنگ بعد از مرحله خردایش، توسط عملیات لیچینگ و با استفاده از محلول سیانید سدیم انجام می‌گیرد که پساب‌های حاصله وارد سدهای باطله می‌گردد و در نتیجه همیشه برکه‌های باطله این صنایع محتوی مقادیری از ترکیبات سیانور هستند.

۱-۲- مشخصات کارخانه‌های استحصال طلا



شکل شماره (۱): نقشه ماهواره‌ای موقعیت قرارگیری کارخانه‌های فرآوری طلا با رودخانه‌ی مورد مطالعه

بعد از بازدیدهای میدانی انجام گرفته از حوضه و بررسی نقشه رودخانه، با در نظر گرفتن موقعیت کارخانه‌ها با

تعیین ایستگاه‌های مورد مطالعه

مطالعه) انتخاب و مختصات آن‌ها با گیرنده GPS تنظیم شده بر روی سیستم Universal Transverse Mercator (UTM) یادداشت گردید که در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه گردیده است.

شاخه‌های فرعی رودخانه و نیز توجه به عرض و عمق رودخانه جهت یکسان بودن شرایط جریان در محدوده بالا و پایین دست آن، ۵ ایستگاه نمونه‌برداری (۲ ایستگاه بالادست کارخانه‌ها، ۲ ایستگاه بعد از کارخانه‌ها و ۱ ایستگاه در انتهای آبراهه‌ی مورد

جدول شماره (۱): مشخصات عمومی ایستگاه‌های نمونه‌برداری و مورد مطالعه

فاصله از اول آبراهه km	ارتفاع m	مختصات جغرافیایی		دبی متوسط ایستگاه $m^3 s^{-1}$	علامت	نام ایستگاه
		UTM-Y	UTM-X			
۱۰/۹	۲۱۴۳	۴۰۵۴۱۱۷	۶۹۸۱۸۱	۰/۳۸	A	سرشاخه بلقیس (بالتر از روستای نصرت آباد)
۱۹	۱۹۰۱	۴۰۵۴۲۷۲	۶۹۱۱۹۱	۰/۷۵	B	بعد از تلاقی سرشاخه قینرجه
۲۵/۶۵	۱۸۶۴	۴۰۵۳۵۷۰	۶۸۸۷۵۸	۰/۹۹	C	بعد از تلاقی سرشاخه زره‌شوران (پایین‌تر از کارخانه پارس‌کانی)
۲۷/۸۵	۱۸۳۸	۴۰۵۲۳۶۴	۶۸۷۱۶۲	۳/۱۹	D	بعد از تلاقی سرشاخه آغ‌دره (پایین‌تر از کارخانه پویازرکان)
۴۰/۹۵	۱۷۱۳	۴۰۴۱۳۳۹	۶۸۳۲۴۰	۳/۳۱	E	انتهای آبراهه (زیر پل تلفریک آلاسقل)

استاندارد اندازه‌گیری شد بدین صورت که بعد از تقطیر نمونه‌ها، غلظت سیانور با روش پیریدین پیرازولن (روش ۸۰۲۷ ارائه شده توسط شرکت HACH) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر DR-5000 (HACH®, DR 5000™ UV-Vis Spectrophotometer) تعیین مقدار شد. نیترات به روش احیاء کادمیوم، آمونیاک به روش نسلر، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR-5000 و سدیم با دستگاه فلیم فتومتر در طول موج ۵۸۹ نانومتر اندازه‌گیری شدند (۶).

در این مطالعه پهنه‌بندی تغییرات غلظت سیانید در طول رودخانه به صورت نقطه‌ای و با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS 9.3 انجام گرفته است. کلاس بندی آن بر اساس استانداردهای آب آشامیدنی ایران و سازمان بهداشت جهانی انجام گرفته و چون بر اساس این استانداردها حداکثر مجاز سیانور در آب ۰/۰۷ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد بنابراین در کلاس بندی، مقادیر بیشتر از این استانداردها با رنگ قرمز مشخص شده است.

#### یافته‌ها

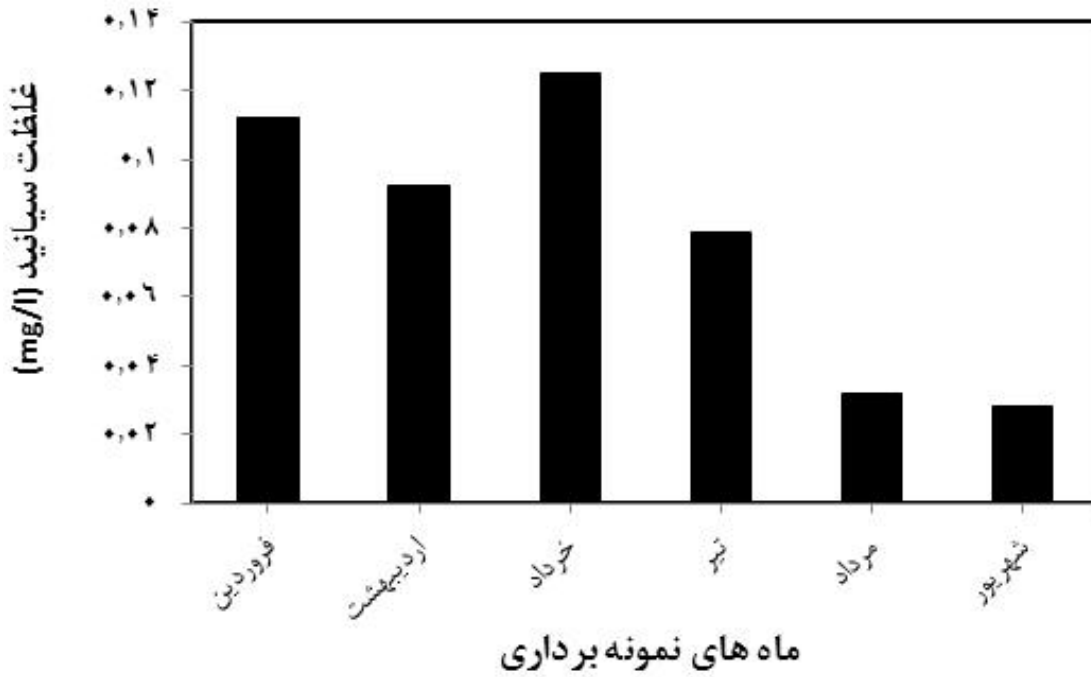
بررسی میانگین غلظت سیانور در ماه‌های مورد مطالعه نشان داده است که بیشترین غلظت سیانور در خرداد ماه و کمترین مقدار آن در شهریور ماه وجود داشته است (نمودار الف ۱).

#### نمونه‌برداری و آزمایش نمونه‌ها

با توجه به اینکه غلظت سیانید در اثر واکنش‌هایی که در محیط بر روی کمپلکس‌های فلزی سیانید اتفاق می‌افتد به شدت کاهش می‌یابد و تحت تأثیر فرایندهای طبیعی به محصولاتی مانند آمونیاک و نیترات تبدیل می‌شود (۱۲، ۱۳)، لذا به همراه سیانید کل، پارامترهای چون pH، اکسیژن محلول آب، کدورت، دما، کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی، نیترات، آمونیاک و سدیم، جهت بررسی تأثیر آن‌ها در تغییرات غلظت سیانید کل آب رودخانه با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (۶).

روش نمونه‌برداری مورد استفاده، نظامند (Systematic) بود و در نمونه‌برداری و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت همدان به عوامل تأثیر گذار بر کیفیت نمونه‌ها شامل صحت نمونه‌برداری، آلودگی نمونه‌ها، آلودگی تجهیزات، اندازه نمونه‌ها، رعایت فاصله زمانی بین جمع‌آوری، انتقال به آزمایشگاه و شرایط حمل و نقل توجه شد. در حین نمونه‌برداری عوامل مداخله کننده در میزان سیانید کل و سایر پارامترهای موثر شناسایی شده و نسبت به محافظت نمونه‌ها با روش‌های استاندارد اقدام گردید.

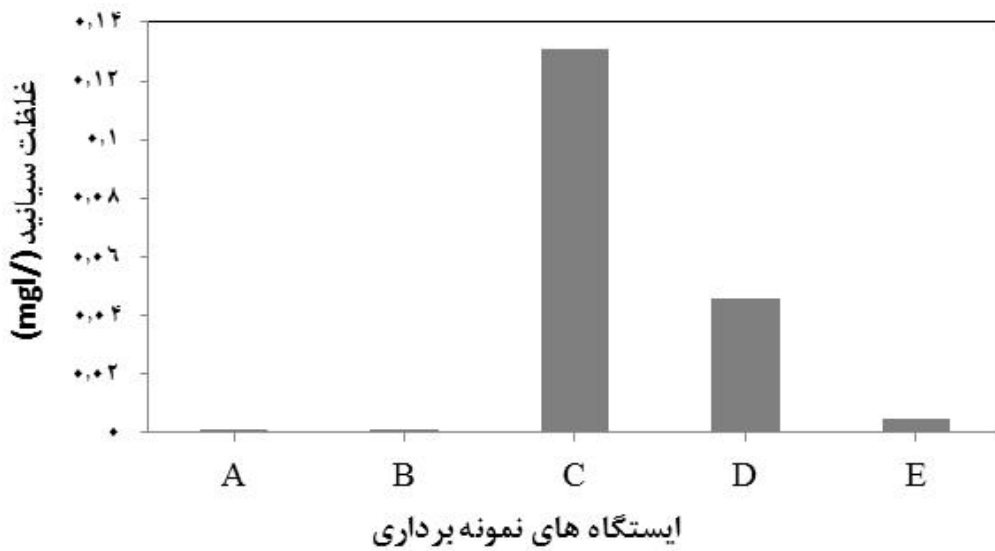
پارامترهایی چون pH، اکسیژن محلول، دما، کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی آب با دستگاه پرتابل ساخت شرکت HACH در محل اندازه‌گیری شدند. سیانید کل نمونه‌ها با روش



نمودار (الف): میانگین غلظت سیانید در ماه‌های مورد مطالعه بدون در نظر گرفتن ایستگاه نمونه برداری

کل نشان داد که غلظت آن در ایستگاه‌های A و B که در بالادست کارخانه‌های فراوری طلا قرار گرفته‌اند زیر حد تشخیص روش اندازه‌گیری بوده است ( $0.02 \text{ mg l}^{-1}$ ).

بر اساس نتایج ارائه شده در نمودار ۱، حداکثر غلظت مطلق سیانور برابر با غلظت  $0.28$  میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه C و حداقل مطلق آن در ایستگاه E مشاهده شد. اندازه‌گیری سیانید



نمودار (ب): میانگین غلظت سیانید در ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول زمان اجرای این مطالعه

مقادیر میانگین شش ماهه سیانید کل به همراه سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری مستقر در طول شاخه راست رودخانه ساروق در جدول ۲ ارائه شده است.

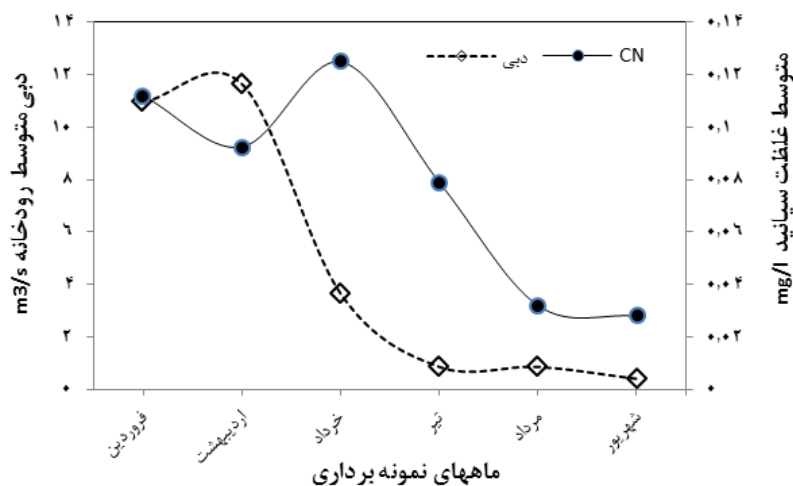
جدول شماره (۲): میانگین پارامترها اندازه‌گیری شده در طول شش ماه پایش شاخه راست رودخانه ساروق، در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

E	D	C	B	A	ایستگاه‌های نمونه‌برداری
۰/۰۰۵±۰/۰۰	۰/۰۴۵±۰/۰۳	۰/۱۳±۰/۰۸	ND	ND	Total Cyanide(mg/l)
۷/۵۶±۰/۵۸	۷/۳۶±۰/۹۲	۷/۵۴±۰/۸۲	۷/۶۲±۰/۸۱	۷/۸۱±۱/۲۴	DO (mg/l)
۸/۲۲±۰/۲۵	۸/۲۵±۰/۲۲	۸/۰۷±۰/۲۵	۸/۱۲±۰/۲۲	۸/۲۲±۰/۱۶	pH
۳۵/۵۶±۳/۹۴	۴۱/۰۲±۵/۱۴	۲۲/۴۲±۸/۵	۳۸/۴۷±۳/۸۴	۶/۰۹±۵/۷۳	Turbi (N. T. U)
۲۰/۳۱±۶/۲۹	۲۰/۱۵±۶/۰۲	۱۹/۶۷±۶/۰۴	۱۸/۰۶±۴/۱۸	۱۶/۸±۵/۹۳	Tempe (°C)
۴۱۸/۰۰±۱۶۲/۶	۴۰۱/۰۰±۱۵۰/۱۷	۴۶۳/۰۰±۲۰۶/۰۹	۴۸۱/۰۰±۱۹۴/۲۰	۱۷۳/۰۰±۸۳/۷۵	TDS (mg/l)
۸۵۰/۰۰±۳۱۳/۴۴	۸۳۰/۰۰±۳۰۸/۳	۹۴۵/۰۰±۴۰۷/۲۴	۹۷۹/۰۰±۳۸۰/۸۳	۳۵۸/۰۰±۱۶۶/۱۶	EC (µs/cm)
۱/۳۱±۰/۶۵	۰/۸۱۶±۰/۴	۰/۸۱۶±۰/۳۲	۰/۸۸±۰/۵۶	۰/۵۸±۰/۳۵	NO3 (mg/l)
۰/۸۶±۰/۰۲۶	۰/۲۳۶±۰/۰۳۷	۰/۰۹±۰/۰۳۳	۰/۱۳۵±۰/۰۹۴	۰/۰۵±۰/۰۱۷	NH3-N (mg/l)
۳۵/۱±۱۵/۷۱	۳۲/۶±۱۳/۷۱	۳۹/۰۶±۲۰/۴۸	۳۰/۸۵±۱۳/۸۴	۱۰/۷۲±۰/۸۴	Na (mg/l)

\*انحراف معیار ± میانگین

۰/۱ تا ۱/۹ میلی‌گرم در لیتر و آمونیاک دارای محدوده غلظت ۰/۲ تا ۰/۳۲ میلی‌گرم در لیتر بوده‌اند. مقایسه سیانور در ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان داده که غلظت سیانور در ایستگاه D افت ناگهانی را داشته و ایستگاه‌های پایین دست منابع آلاینده در ۳ ماهه اول پایش (فصل پر آبی) نسبت به ۳ ماهه دوم (فصل کم آبی) مقدار سیانور بیشتری را داشته‌اند و غلظت آن در ۳ ماهه اول با دبی رودخانه نسبت معکوسی را نشان داده است (نمودار ۲).

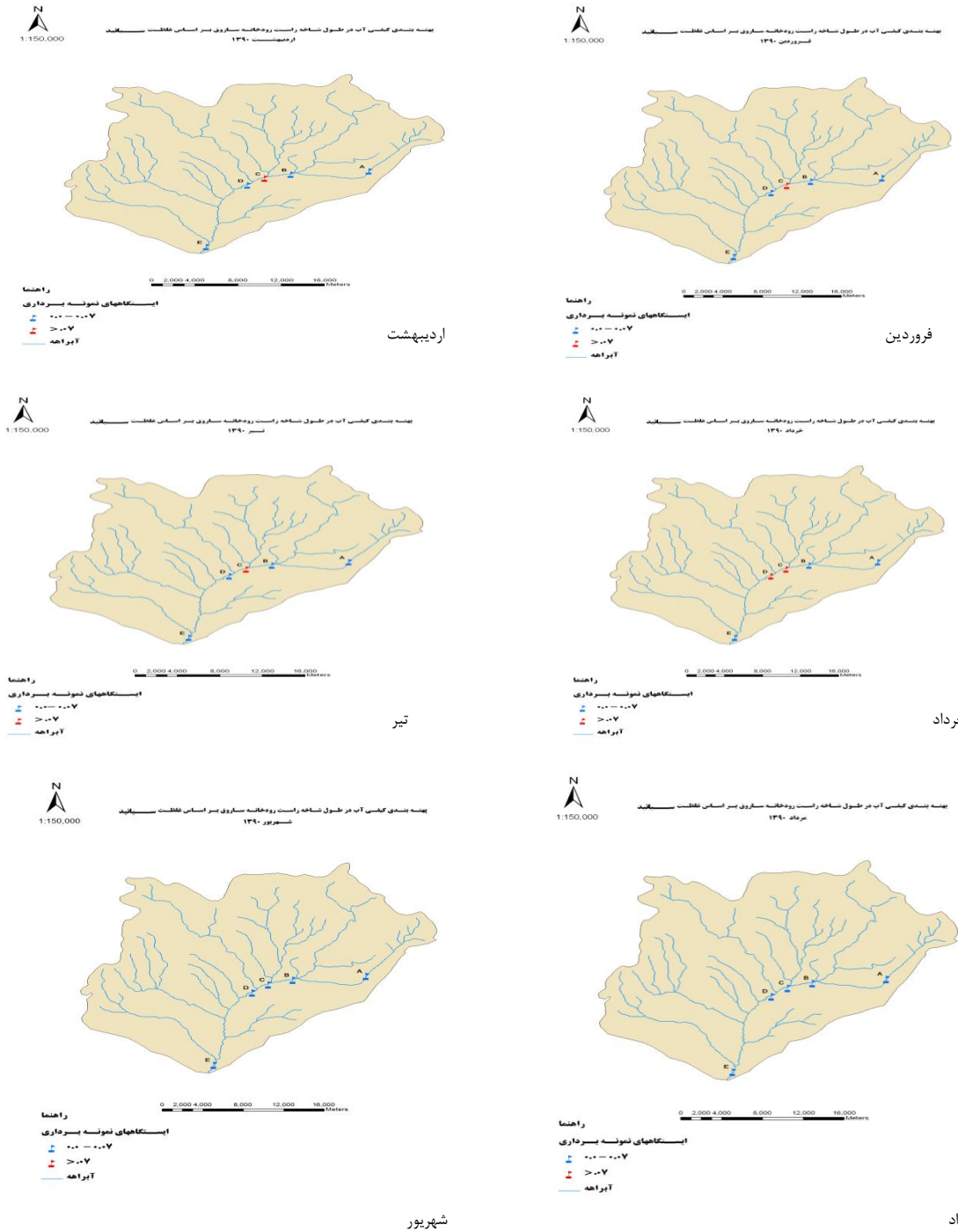
متوسط حداکثر سدیم در ایستگاه C وجود داشته است که افزایش آن متناسب با افزایش سیانید در این ایستگاه است. بیشترین شوری آب (مشخص شده با EC و TDS) در ایستگاه B بوده و در ایستگاه‌های نمونه‌برداری مقادیر pH، کدورت، دما و اکسیژن محلول به ترتیب در محدوده‌های (۷/۸۹ تا ۸/۵۴)، (N. T. U تا ۱۵۱)، (۱۰/۶ تا ۲۷/۶ °C) و (۹/۴۴ تا ۶/۲۱)  $\text{mg l}^{-1}$  بدست آمدند. نیترات نمونه‌های مورد بررسی دارای محدوده غلظت



نمودار شماره (۲): تغییرات دبی رودخانه و غلظت سیانید در ماه‌های مورد مطالعه

غلظت سیانید در طول ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانه را نشان می‌دهد. در این نمودار مقادیر بیش از  $0.07 \text{ mg l}^{-1}$  با رنگ قرمز نشان داده شده است.

در جریان ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر در ایستگاه C و در طول خرداد ماه در ایستگاه D مقدار سیانور آب بیشتر از حداکثر مجاز استاندارد آب شرب ایران و سازمان بهداشت جهانی ( $0.07 \text{ mg l}^{-1}$ ) بوده است در نمودار ۳ پهنه‌بندی تغییرات



شکل شماره (۳): پهنه‌بندی غلظت سیانید در طول شاخه راست رودخانه ساروق برای ماه‌های نمونه برداری

**بحث**

بر اساس نتایج مطالعه حاضر بیشترین غلظت بدست آمده برای سیانید کل  $0.13 \pm 0.08$  میلی‌گرم در لیتر بوده است که از مقدار گزارش شده در مطالعه Obiri و همکاران (۱۷/۵ میلی‌گرم در لیتر) کمتر بوده است. (۹) اگرچه مقدار گزارش شده در هر دو مطالعه بالاتر از محدوده استاندارد است ولی مقدار بدست آمده در مطالعه حاضر بسیار پایین‌تر می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد

غلظت سیانید در ایستگاه‌های A و B که در بالادست کارخانه‌های فراوری طلا قرار گرفته‌اند زیر حد تشخیص روش اندازه‌گیری می‌باشد. افت ناگهانی سیانور در ایستگاه D می‌تواند ناشی از رقیق سازی باشد زیرا بین ایستگاه C و D، سرشاخه آغدره قرار گرفته و دبی بالای آن ( $2/2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) که بیشترین دبی را در بین سرشاخه‌ها به خود اختصاص داده و باعث شده که غلظت سیانید به شدت کاهش یابد. در تحقیقی که Li Shehong و همکاران (۱۴) در

رابطه با ارزیابی تجزیه طبیعی سیانید در رودخانه‌ای واقع در شمال غربی چین انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که در شرایط آزمایشگاهی سرعت تجزیه سیانید در محیط‌های روباز در حالت استاتیکی بیشتر از حالت دینامیکی در محیط‌های بسته است و دریافتند که در روند تجزیه طبیعی سیانید، اشعه ماوراء بنفش خورشید نقش مهم‌تری را نسبت به اکسیژن محلول دارد و در جریان رودخانه، میزان تجزیه سیانید سریع‌تر از شرایط آزمایشگاهی است زیرا عواملی چون تبخیر، جذب، اکسیژن محلول، اشعه ماوراء بنفش خورشید و فعالیت میکروب‌ها و باکتری‌ها در تجزیه طبیعی سیانید نقش دارند. این محققین همچنین گزارش کرده‌اند در فواصل نزدیک رودخانه، رقیق سازی مهم‌ترین عامل کاهش غلظت سیانید است و تجزیه طبیعی فقط در فواصل طولانی رودخانه اتفاق می‌افتد که نتایج این بخش از مطالعه آن‌ها با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد.

بر اساس جدول ۲ بیشترین میانگین کدورت در ایستگاه D وجود داشته است و میانگین دمای آب در این نقطه افزایش یافته است. همانند مطالعه Yazici و همکاران (۱۵)، در این تحقیق نیز جذب سیانید بر روی مواد آلی و معدنی (که عامل ایجاد کدورت آب می‌باشند)، تبخیر سیانید و اثر اشعه ماوراء بنفش خورشید در مراحل بعدی می‌توانند در افت سیانید در ایستگاه D نقش داشته باشند. با توجه به اینکه سیانید و تیوسیانات در اثر تجزیه بیولوژیکی هوازی به آمونیاک تبدیل می‌شوند و سپس در حضور باکتری‌های شوره‌ساز (نیتروفایر) به نیتريت و نیترات تبدیل می‌گردند؛ همچنین سیانید هیدروژن در اثر هیدرولیز به اسید فرمیک و آمونیاک تبدیل می‌شود (۱۶، ۱۷)، می‌توان گفت که بالاتر بودن میانگین آمونیاک در ایستگاه D نسبت به دیگر ایستگاه‌ها و نیز افزایش میانگین نیترات در ایستگاه E به دلیل تجزیه بیولوژیکی سیانور باشد زیرا که در فاصله نزدیک تخلیه سیانور به رودخانه (ایستگاه D) میانگین آمونیاک افزایش یافته و در فاصله دورتر (ایستگاه E) میانگین نیترات افزایش داشته است.

در بین ترکیبات سیانور، سیانید سدیم بیشترین مصرف را در فرآوری محصول طلا در کارخانه‌های استخراج و فرآوری طلا از کانسنگ آن دارد و حدود ۹۰ درصد آن در صنعت فرآوری به مصرف می‌رسد. از آنجائی‌که در کارخانه‌های استحصال طلا موجود در منطقه مورد مطالعه از سیانید سدیم استفاده می‌شود لذا افزایش میانگین سدیم در ایستگاه C نشان می‌دهد که سدیم به همراه سیانور از طریق کارخانه استحصال طلا پارس‌کانی به این ایستگاه راه یافته است و چون ترکیبات فلزات قلیایی با سیانید از جمله سیانید سدیم و پتاسیم در آب‌های سطحی از طریق تبخیر شدن ممکن است از بین بروند (۲۰)، رقیق سازی و تبخیر می‌تواند مهم‌ترین دلیل کاهش میانگین سدیم در ایستگاه D نسبت به ایستگاه قبلی بوده است.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که افزایش شوری آب رودخانه که حداکثر میانگین آن در ایستگاه B می‌باشد با تخلیه سیانید و نمک‌های قلیایی آن به نقطه C هیچ تناسبی ندارد. از آنجائی‌که قسمت اعظم منطقه واقع شده در محدوده ایستگاه B را سنگ‌های تراورتن تشکیل می‌دهند (جزء سنگ‌های کربناته می‌باشند و از سنگ‌های آهکی و دولومیتی دوره کرتاسه تشکیل شده‌اند) و چشمه‌های موجود در منطقه از انحلال این سنگ‌ها به وجود آمده‌اند که آب چشمه‌ها حاوی عناصر بالایی هستند که به این ایستگاه وارد می‌شوند و باعث افزایش شوری آب در این ایستگاه گردیده‌اند (۱۸). تخلیه سیانور از طریق کارخانه استحصال طلا

در مطالعه حاضر مقدار pH آب رودخانه به طور کلی در محدوده قلیایی (بیشتر از ۷) وجود داشته است لذا سیانید به شکل سیانید آزاد قابل اندازه‌گیری بوده است در حالی که در مطالعه Obiri بدلیل اسیدی بودن pH آب رودخانه (pH = ۵/۸۱) تقریباً همه سیانید موجود در نمونه آب به شکل سیانید هیدروژن وجود داشته است که به صورت گازی بوده و به اتمسفر وارد شده است؛ بنابراین pH آب رودخانه به تنهایی می‌تواند تأثیر بسیار قابل توجهی بر میزان سیانید موجود در نمونه و همچنین شکل موجود و در نتیجه سمیت آن داشته باشد (۹).

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، میانگین غلظت سیانور در ایستگاه C نسبت به سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیشتر بوده است. بازدیدهای میدانی و بررسی نقشه رودخانه نشان داد که ایستگاه C در پایین دست کارخانه استحصال طلا پارس‌کانی زره‌شوران قرار گرفته و نزدیک‌ترین ایستگاه به آن کارخانه می‌باشد لذا در صورت وجود نشستی یا سرریز شدن محتویات سد باطله این کارخانه، احتمال ورود مستقیم سیانور به ایستگاه C وجود خواهد داشت به عبارت دیگر بالا بودن میانگین غلظت سیانور در ایستگاه C می‌تواند ناشی از سرریز شدن محتویات سد باطله کارخانه استحصال طلا پارس‌کانی زره‌شوران باشد. همچنین بالا بودن



منابع آلاینده نقطه‌ای از لحاظ انتشار سیانور به رودخانه هستند به طوری که مقدار سیانور در نزدیکی آن‌ها بالاتر از حد استاندارد بوده و سیانور فقط در ایستگاه‌های پایین دست کارخانه‌ها مشاهده گردید. بنابراین فعالیت این کارخانه‌ها باید در راستای حذف نشتی سیانید به رودخانه و مدیریت اصولی سدهای باطله و بکارگیری سیستم‌های تصفیه مناسب باشد.

### تشکر و قدردانی

این تحقیق بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد می‌باشد و نویسندگان لازم می‌دانند تشکر خود را از حمایت مالی معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی همدان ابراز دارند.

پارس‌کانی به رودخانه می‌تواند به دلیل کوچک بودن حجم سد باطله و نداشتن سیستم PP&SM باشد. از آنجائی که حجم فعالیت و وسعت کارخانه فراوری طلای پویا زرکان آغدره چندین برابر کارخانه پارس‌کانی زره‌شوران می‌باشد ولی مقادیر سیانور اندازه‌گیری شده در طول پایش شاخه راست رودخانه ساروق، نشتی سیانید از کارخانه پویا زرکان را نشان نداد و این امر می‌تواند به علت بزرگ بودن حجم سد باطله و وجود سیستم PP&SM آن باشد که باطله‌های تولیدی کارخانه را به مواد خمیری شکل با ۶۰ تا ۷۰ درصد مواد جامد بنام Paste تبدیل می‌کند.

### نتیجه‌گیری

کارخانه‌های استحصال طلای موجود در منطقه مهم‌ترین

### References:

- Shokuhi R, Hosinzadeh E, Roshanaei G, Alipour M, Hoseinzadeh S. Evaluation of Aydughmush Dam Reservoir Water Quality by National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) and Water Quality Parameter Changes. *J Health Environ* 2011; 4(4): 439-50.
- Shokoohi R, Hoseinzadeh E, Alipour M, Hoseinzadeh S. Evaluation Aydughmush River Quality Parameters Changes and Wilcox index calculation. *RASAYAN J Chem*. 2011; 4(3): 673-80.
- Donato DB, Nichols O, Possingham H, Moore M, Ricci PF, Noller BN. A critical review of the effects of gold cyanide-bearing tailings solutions on wildlife. *Environ Int* 2007; 33(7): 974-84.
- Kjeldsen P. Behaviour of Cyanides in Soil and Groundwater: a review. *Water Air Soil Pollut* 1999; 15(1): 279-308.
- Nsimba EB. Cyanide and cyanide complexes in the goldmine polluted land in the east and central rand goldfields, South Africa. Johannesburg: University of the Witwatersrand; 2009.
- Eaton A, Clesceri L, Rice W. Standard methods for the examination of water and waste water. 21<sup>st</sup> Ed. Washington Dc: American Public Health Association; 2005.
- Soldán P, Pavonic M, Boucek J, Kokes J. Baia Mare accident-brief ecotoxicological report of Czech experts. *Ecotoxicol Environ Saf* 2001; 49(3): 255-61.
- Abdalla O, Suliman F, Al-Ajmi H, Al-Hosni T, Rollinson H. Cyanide from gold mining and its effect on groundwater in arid areas, Yanqul mine of Oman. *Environ Earth Sci* 2010; 60(4): 885-92.
- Obiri S, Dodoo DK, Okai-Sam F, Essumang DK. Determination of free cyanide and total cyanide concentrations in surface and underground waters in Bogoso and its surrounding areas in Ghana. *Bull Chem Soc Ethiopia* 2007; 21(2): 213-20.
- ngdir [Internet]. [cited 2012 Mar 3]. Available from: <http://www.ngdir.ir/>
- Shafaei SZ, Karim AR, Ardejani FD, Zadeh MA, Kor M. Environmental protection by paste production and storage mechanism for cyanide disposal in gold processing- a case study, Aq Dareh, Takab, Iran. Prague: 10<sup>th</sup> International Mine Water Association Congress on Mine Water and the Environment; 2008..
- Gurbuz F, Ciftci H, Akcil A. Biodegradation of cyanide containing effluents by *Scenedesmus obliquus*. *J Hazardous Material* 2009; 162(1): 74-90.

13. Gurbuz F, Ciftci H, Akcil A, Karahan AG. Microbial detoxification of cyanide solutions. a new biotechnological approach using algae. *J Hydrometallurgy* 2004; 72: 167-75.
14. Shehong L, Baoshan Z, Jianming Z, Xiaoying Y, Binbin W. Natural cyanide degradation and impact on Ili River drainage areas from a Goldmine in Xinjiang autonomous region, China *Environ Geochemistry Health*. 2005; 27(1): 11-8.
15. Yazici E, Deveci H, Alp I. Treatment of cyanide effluents by oxidation and adsorption in batch and column studies. *J Hazard Mater* 2009; 166(2-3): 316-62.
16. Dash R, Gaur A, Balomajumder C. Cyanide in industrial wastewaters and its removal: a review on biotreatment. *J Hazard Mater* 2009; 163(1): 1-11.
17. Blasco R, Castillo F, Moreno-Vivián C, García-García I. Alkaline cyanide degradation by *Pseudomonas pseudoalcaligenes* CECT5344 in a batch reactor. Influence of pH. *J Hazard Mater* 2010; 179(13): 72-8.
18. Rezaei Moghaddam M, Ghadri M. Creation of self built limestone channels and their role on limestone. *Geography Environ Plan J* 2010; 21(2): 1-16.