فصلنامه علوم‌محیطی، دوره یازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲

۷۹-۸۸

ارزیابی زیست‌محیطی چشمه‌های آب‌گرم منطقه مرکزی مازندران

سید جواد مقدسی[۱*]، پدرام ناوی[۲] و مرضیه رضایی عبدلی[۳]

[۱] استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران

[۲] کارشناس مدیریت تضمین کیفیت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

[۳] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه پیام نور، تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۵

چکیده

در این مقاله چشمه‌های آب‌گرم منطقه مرکزی مازندران، شامل چشمه‌های آب‌گرم آب اسک، لاریجان، استراباکو و لاویج (موسوی‌لاویج و فیل‌لاویج) از نظر زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. اگرچه از آب این چشمه‌ها به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم برای هدف‌های درمانی استفاده می‌شود، ولی استفاده نابه‌جا از آن‌ها با توجه به غلظت بالای برخی عناصر کمیاب می‌تواند برای انسان و محیط‌زیست خطرات زیادی ایجاد کند. در این مطالعه ضمن بررسی خصوصیات عمومی آب چشمه‌ها، غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، کروم، سرب، نیکل، مس، منیزیم، روی، مولیبدن، وانادیم و کبالت در آب چشمه‌ها، خاک یا سنگ‌های پیرامون چشمه‌ها اندازه‌گیری و از نظر زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین‌ترتیب مشخص شد که مقدار آرسنیک در آب و خاک چشمه های منطقهٔ مورد مطالعه بیشتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی است. مقدار سرب در همه نمونه های آب، به‌جز چشمه لاریجان، بیشتر از حد مجاز است. مقدار سایر فلزات سنگین در آب چشمه‌ها کم‌تر از حد مجاز است و درنتیجه از نظر زیست‌محیطی آثار زیان‌باری نخواهند داشت. مقدار آرسنیک در نمونه‌های خاک پیرامون چشمه‌های آب اسک، استراباکو و لاریجان کم‌تر از حد مجاز است، ولی در تراورتن آب اسک بیشتر از حد مجاز است. مقدار سایر فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک چشمه‌های مورد مطالعه کم‌تر از حد مجاز است و درنتیجه از نظر زیست‌محیطی آثار زیان‌باری بر جای نخواهند گذاشت.

کلمات کلیدی: چشمه آب‌گرم، ارزیابی زیست‌محیطی، فلزات سنگین، استان مازندران.

Environmental Evaluation of Thermal Springs from Central Region of Mazandaran Province

Seyed Javad Moghaddasi,[1*] Pedram Navi[2] and Marzyeh Rezaei Abdoli[3]

[1] *Assistant Professor Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran.*

[2] *Quality Assurances Management, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran*

[3] *M.Sc. in Economic Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran.*

Abstract

In this study, thermal springs from central region of Mazandaran province including Ab-e Ask, Larijan, Astarabaku and Lavij (Moosavi-e Lavij and Fil-e Lavij) were evaluated environmentally. Although the studied thermal waters are used directly or indirectly for treatment purposes, the high concentration of some trace elements can be harmful to human health and environment. In this study, general characteristics of thermal waters as well as As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu, Mg, Zn, Mo, V and Co concentrations in thermal waters and surrounding soils and rocks were measured and their environmental significances were evaluated. As a result, it was revealed that As concentration in water and soil of the studied region was more than the upper limits recommended by the World Health Organization (WHO). In all water samples except for Larijan spring, Pb content was more than allowed levels recommended by WHO. Concentration of other trace elements in thermal springs was less than the upper limits recommended by WHO, consequently they had not harmful environmental impact. As content of soil samples around the Ab-e Ask, Astarabaku and Larijan springs were less than the allowed levels, but was higher than allowed limits in Ab-e Ask travertine. Concentration of other trace elements in studied soil samples was lower than allowed levels recommended by WHO.

Keywords: Thermal springs, environmental evaluation, trace elements, Mazandaran province.

* Corresponding author. *E-mail Address:* Sjmoghad@pnu.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه بسیاری از کشورهای جهان به‌طور علمی و عملی از چشمه‌های آب‌گرم برای درمان، بهداشت و ارتقای وضعیت اقتصادی جامعه استفاده می‌کنند. از این نظر چشمه‌های آب‌گرم در زندگی انسان‌ها بسیار تأثیرگذارند. آب‌های گرم حاوی مقدار زیادی جامدات حل شده (TDS) هستند و ممکن است حاوی عناصر سمی مانند آرسنیک و آنتیموان نیز باشند [۱-۳]. ورود این آب‌ها به محیط پیرامون آن‌ها نه‌تنها موجب افزایش نگرانی‌ها نسبت به اکولوژی آبی می‌شود [۴] بلکه می‌تواند مخاطراتی برای سلامتی ساکنان محلی فراهم آورد [۵]. موجودات زنده، از جمله انسان، برای رشد و ادامه بقاء به مقدار بسیار کمی از فلزات سنگین نیاز دارند. این فلزات که «عناصر کمیاب» نیز نامیده می‌شوند شامل آرسنیک، کبالت، مس، کادمیوم، مولیبدن، وانادیم و سرب هستند که اگر از مقدار مورد نیاز و ضروری براساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی [۶]، آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (EPA)، و سازمان خواروبار جهانی (FAO) بیشتر باشند، باعث اختلال در رشد می‌شوند. تأثیر فلزات سنگین بر انسان متفاوت است و عمدتاً موجب بروز اختلالات عصبی می‌شود. از طرف دیگر ماهیت سمی و قابلیت تجمع زیستی فلزات سنگین در گیاهان و جانوران، و نیز ورودشان به زنجیره غذایی خطرات ناشی از حضورشان را دوچندان می‌سازد و مخاطرات اکولوژیکی زیادی به‌همراه دارد [۷-۱۰].

در ایران پتانسیل‌های زمین‌گرمایی زیادی شناخته شده است [۱۱ و ۱۲]. یکی از این پتانسیل‌ها مناطق مرکزی و غربی استان مازندران است که در آن چندین چشمه آب‌گرم وجود دارد. در این پژوهش میزان عناصر سنگین موجود در آب چشمه‌های آب‌گرم منطقه مرکزی مازندران ــ شامل چشمه‌های آب‌گرم آب اسک، لاریجان، استراباکو و لاویج (موسوی‌لاویج و فیل‌لاویج) ــ اندازه‌گیری شده، و از نظر زیست‌محیطی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

برای انجام این مطالعه از چشمه‌های آب‌گرم منطقه مرکزی مازندران شامل آب اسک، لاریجان، استراباکو و لاویج (موسوی‌لاویج و فیل‌لاویج) در خرداد سال ۱۳۸۹ نمونه‌برداری شد. درجه حرارت (T)، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) و کل جامدات محلول (TDS) آب‌های گرم منطقهٔ مورد مطالعه به‌طور مستقیم در منطقه اندازه‌گیری شد (جدول ۱). قبل از نمونه‌برداری، ظرف نمونه‌برداری که از جنس پلی‌اتیلن انتخاب شد، به‌همراه درب و قیف سه مرتبه با آب چشمه شسته شد. سپس با استفاده از یک فیلتر کاغذی و قیف، ظرف از آب پر و شماره‌گذاری شد.

میزان فلزات سنگین موجود در نمونه‌های آب برداشت شده، توسط دستگاه ICP-OES سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور اندازه‌گیری شد (جدول ۲). برای تعیین غلظت عناصر با غلظت بسیار پایین، مانند جیوه و آرسنیک، نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی تجزیه شدند.

برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی احتمالی چشمه‌های مورد مطالعه، از خاک یا سنگ‌های اطراف چشمه‌ها نمونه‌برداری شد. بدین‌منظور، مقدار ۵۰۰ گرم از خاک بالا دست و پایین دست هرچشمه و به تعداد دو نمونه از عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری سطح زمین به‌عنوان «نمونه» برداشت شد. نمونه‌ها پس از خشک‌شدن و آماده‌سازی برای تعیین میزان فلزات سنگین تجزیه شدند (جدول ۳). روش تجزیه شیمیایی خاک و سنگ‌های منطقه همان است که برای نمونه‌های آب بیان شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی چشمه‌های آب‌گرم منطقه مرکزی مازندران

نام چشمه آب‌گرم	T (°C)	EC (µs/cm)	pH	TDS (mg/lit)	دبی (لیتر در ثانیه)
آب اسک (۱)	۲۷ – ۲۸/۲	۶۰۵۸	۷/۲	۳۵۹۰	۴-۵
آب اسک (۲)	۲۶/۲ – ۲۷/۲	۴۵۹۸	۸/۳	۲۶۶۰	۵-۱۰
آب اسک (۳)	۲۷	۴۲۳۵	۸/۶	۲۴۴۰	۴-۶
استراباکو	۳۲/۴ – ۳۲/۷	۴۹۹۸	۷/۵	۲۹۲۰	۱۰
لاریجان	۶۳/۱ – ۶۳/۲	۱۲۴۶	۸/۴	۶۷۳	>۱۰
موسوی‌لاویج	۴۸ – ۴۹/۲	۵۵۴۰	۸/۱	۳۲۵۰	۵
فیل‌لاویج	۳۷/۳ – ۳۷/۵	۴۲۹۰	۶/۷	۲۴۶۰	۳-۴

جدول ۲- غلظت عناصر سنگین در آب چشمه‌های آب‌گرم منطقه مرکزی مازندران

عناصر سنگین*	چشمه لاریجان	چشمه‌های آب اسک	چشمه استراباکو	چشمه موسوی‌لاویج	چشمه فیل‌لاویج
آرسنیک	۲۴۶	۱۴۷	۲۵	۲۷	n.d.
کادمیوم	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱
کروم	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱
سرب	< ۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۲۱
نیکل	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۳
مس	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	۰/۰۱	< ۰/۰۱
منیزیم	۱۷	۵۲	۵۵	۹۵	۷۴
روی	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱
مولیبدن	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱
وانادیم	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۲۰	۱۷
کبالت	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	< ۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱

* همه عناصر برحسب گرم بر تن (ppm)، آرسنیک برحسب میلی‌گرم بر تن (ppb).

جدول ۳- غلظت عناصر سنگین در خاک و سنگ اطراف چشمه‌های آب‌گرم منطقه مرکزی مازندران

عناصر سنگین*	چشمه لاریجان (خاک)	چشمه آب اسک (خاک)	چشمه آب اسک (تراورتن)	چشمه استراباکو (خاک)	چشمه استراباکو (سنگ)
آرسنیک	۹/۰	۲۶/۳	۸۲/۱	۱۹/۰	۶/۷
کادمیوم	< ۰/۱	< ۰/۱	۱/۳	< ۰/۱	۰/۹
کروم	۸۳/۵	۱۰۱/۲	۱/۰	۳۴/۸	۵/۴
سرب	۳۶/۳	۲۶/۷	۳۰/۷	۲۷/۳	۳۶/۶
جیوه	۰/۱۴	< ۰/۰۵	۰/۱۸	۱/۵	۰/۱۷
نیکل	۵۳/۳	۴۹/۵	۴/۳	۱۴/۲	۱/۶
کبالت	۲۲/۶	۱۴/۲	< ۰/۲	۴/۴	۱/۳
مس	۲۶/۶	۲۸/۵	۱/۰	۱۲/۴	۲/۶
منیزیم	۲/۸	۰/۵	۰/۵	۸/۵	۱۸/۸
روی	۱۲۳/۳	۲۶۲/۸	۳/۰	۱۴۱/۹	۸/۰
مولیبدن	۲/۰	۲/۳	۰/۸	۲/۰	۱/۶
وانادیم	۱۰۴/۴	۱۱۵/۱	۳/۸	۵۷/۷	۱۹/۱

* برحسب گرم بر تن (ppm)

۳- نتایج و بحث

چشمه‌های آب‌گرم مورد بررسی در این مطالعه شامل چشمه‌های آب‌گرم آب اسک، لاریجان، استراباکو و لاویج است که در منطقه مرکزی مازندران و در مسیر جاده تهران ــ آمل واقع شده‌اند. جدول ۴ مختصات جغرافیایی چشمه‌های آب‌گرم منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین موقعیت جغرافیایی چشمه‌های مطالعه شده روی نقشه‌های زمین‌شناسی رقومی شده دماوند و لاویج در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

چشمه‌های معدنی آب اسک در فاصله ۹۶ کیلومتری شرق تهران در دامنه جنوبی کوه دماوند، و در کف دره هراز واقع شده‌اند. چشمه آب‌گرم لاریجان در روستایی به‌نام آب‌گرم از بخش لاریجان قرار دارد که در حدود ۴کیلومتری بعد از اسک در مسیر جاده آمل واقع شده است. چشمه آب‌گرم استراباکو نزدیک روستای بایجان در محلی بنام قلابن قرار دارد. این چشمه پس از چند متر طی مسیر به رودخانه هراز می‌ریزد. چشمه‌های آب‌گرم لاویج نیز در جنوب لاویج ــ یکی از دهستان‌های شهرستان نور در استان مازندران که در پای سلسله‌کوه‌های البرز قرار دارد و دارای موقعیت پای کوهی است ــ واقع شده است [۱۳ و ۱۴].

چشمه آب‌گرم آب آسک از درون سنگ‌های آتشفشان دماوند که شامل توف و آگلومراست، در کنار جاده هراز خارج می‌شود. سازندهای رخنمون شده در این منطقه شامل درود، الیکا و شمشک است. سازند شمشک گستره وسیعی در جنوب شرقی اسک دارد. روراندگی بزرگی در جهت شرقی ـ غربی وجود دارد که به محل این چشمه ختم می‌شود. با توجه به وجود گسل‌های فراوان در این ناحیه، چشمه‌های منطقه از نوع گسلی‌اند.

جدول ۴- مختصات جغرافیایی چشمه‌های آب‌گرم منطقه مرکزی مازندران

ردیف	نام چشمه آب‌گرم	کد محل نمونه‌برداری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	لاریجان	۹۴۸	۶۰۷۶۶۳	۹۷۴۳۰۵
۲	آب اسک ۲	۹۶۰	۶۰۴۶۹۰	۳۹۶۹۹۶۹
۳	استراباکو	۹۶۳	۶۱۵۲۶۱	۳۹۸۲۲۷۲
۴	موسوی اویج	۹۵۵	۵۹۳۱۹۳	۴۰۲۶۵۳۸
۵	فیل‌اویج	۹۵۶	۵۹۳۰۱۱	۴۰۲۶۴۲۸

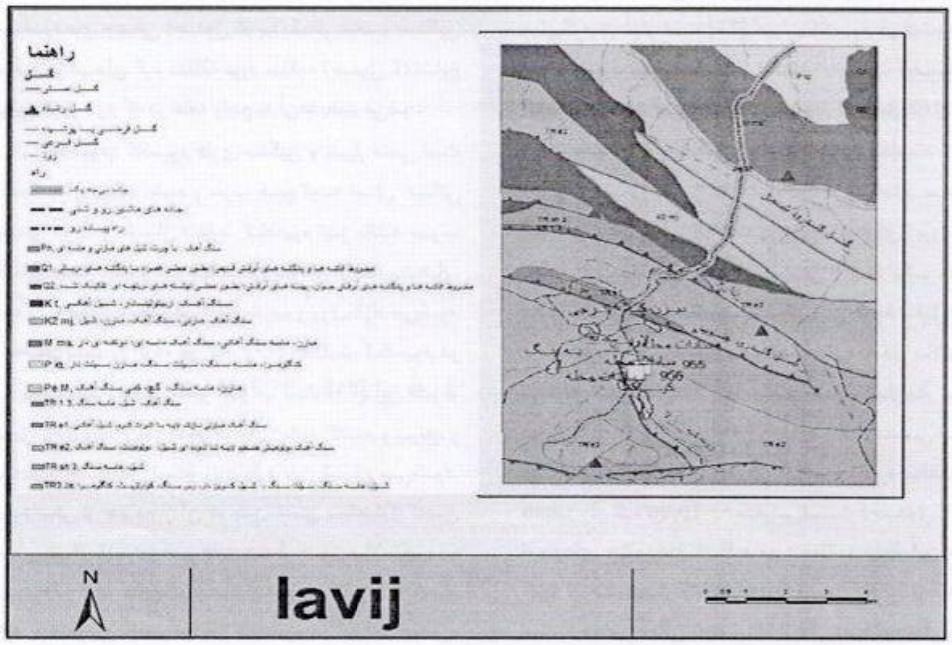
مظهر چشمه لاریجان در سازندهای آهکی دوران دوم قرار دارد. اطراف چشمه را رسوبات تخریبی و آبرفتی دوران چهارم فرا گرفته است. به‌طور کلی در اطراف چشمه با توجه به وجود کوه آتشفشان دماوند، سنگ‌های خروجی از نوع تراکیت و بمب‌های آتشفشان فراوان یافت می‌شوند. علت گرم بودن آب این چشمه را فعالیت آتشفشانی کوه دماوند می‌دانند. چشمه از نوع گسلی است و وجود یک یا چند گسل در ناحیه موجب خروج آب به سطح زمین شده است.

چشمه‌های آب‌گرم لاویج از شکاف سنگ‌های دولومیتی ضخیم لایه سازند الیکا و سازند زغال‌دار شمشک از زمین خارج می‌شوند. عامل تشکیل این چشمه‌ها نیز گسل است. چشمه آب‌گرم استراباکو از شکاف سنگ‌های آهکی و مارنی متعلق به سازند دلیچای (تریاس) از زمین خارج می‌شود. عامل تشکیل چشمه استراباکو را نیز گسل فعال بایجان می‌دانند [۱۵].

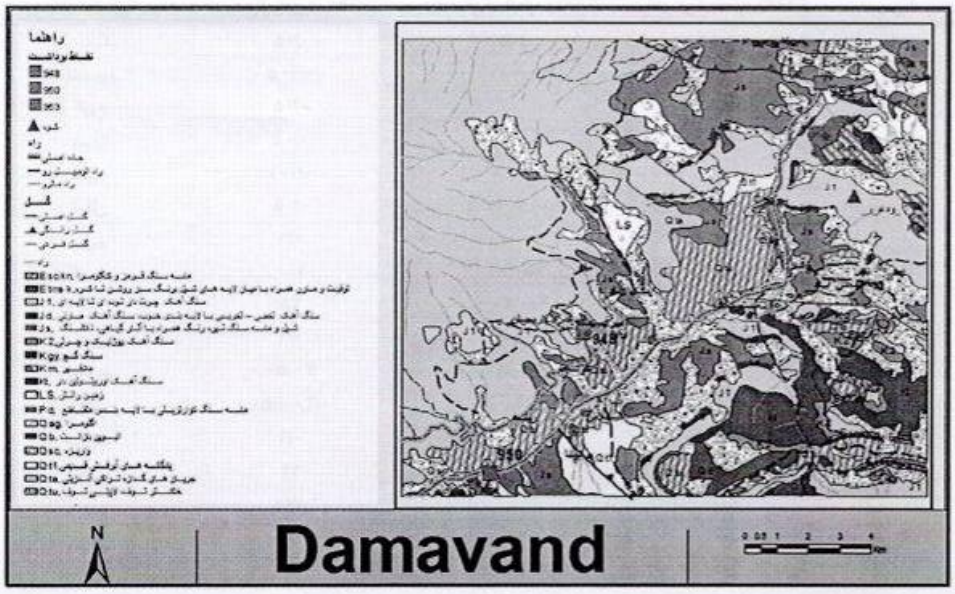
در مبحث «حفاظت محیط‌زیست، بهداشت و سلامت انسان‌ها»، عناصری مانند سرب، جیوه، مس، کادمیوم، نیکل، کروم، کبالت، مولیبدن، وانادیوم، آرسنیک و سلنیم در رده فلزات سنگین طبقه‌بندی می‌شوند، اگرچه غالباً آرسنیک را یک شبه‌فلز و سلنیوم را یک غیر فلز می‌شناسند [۱۶]. این عناصر و بسیاری از ترکیبات آن‌ها به‌لحاظ اثرات سوء و زیان‌بارشان بر سلامت انسان و محیط‌زیست، از سموم پرخطر پیرامون ما نیز محسوب می‌شوند [۵، ۸، ۱۷ و ۱۸]. این سموم در هوای تنفسی، آب آشامیدنی و مواد غذایی نیز وجود دارند. منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین عبارت‌اند از: منابع انسان‌ساز یا آنتروپوژنیک (مانند فعالیت‌های صنعتی و معدنی) و منابع طبیعی (مانند دگرسانی و کانی‌سازی) [۱۷].

موجودات زنده برای رشد و ادامه حیات به مقدار بسیار کمی از فلزات سنگین نیاز دارند و اگر میزان این عناصر بیشتر از حد مورد نیاز باشد باعث اختلال در رشد آن‌ها می‌شود. عناصری مانند جیوه، آرسنیک، سرب و کادمیم عناصر حیاتی نیستند و اثرات سودمندی بر حیات موجودات زنده ندارند. تجمع این عناصر در خاک‌ها، به‌خصوص در خاک‌های کشاورزی تدریجی است و غلظت بالای آن‌ها امنیت غذایی انسان را تهدید می‌کند [۵]. وجود عناصر سنگین بر کیفیت منابع آب زیرزمینی نیز تأثیر می‌گذارد [۴]. غلظت این عناصر در آب به‌شدت تحت تأثیر شرایط محیط ـــ مانند دما، pH و Eh ـــ است و افزایش غلظت آن‌ها در آب غالباً بدون تغییر خصوصیات فیزیکی ـ مانند رنگ، طعم و بو ـــ صورت می‌گیرد. افزایش غلظت این عناصر در آب باعث کاهش کیفیت آب و سمی شدن آن می‌شود [۱۷ و ۱۹].

درجه حرارت آب‌های معدنی و گرم از دماهای کم تا دمای نزدیک به جوشان متغیر است. درجه حرارت آب‌های گرم منطقه مورد مطالعه از ۲۶/۲ تا ۶۳/۲ درجه سانتی‌گراد متغیر است (جدول ۱). دمای چشمه آب‌گرم لاریجان در پای دماوند بیش از ۶۳ درجه سانتی‌گراد است. چشمه آب معدنی آب اسک حدود ۲۷ درجه سانتی‌گراد حرارت دارد. هدایت الکتریکی که تابعی از میزان املاح موجود در آب است، در آب‌های سنگین خیلی زیاد و در آب‌های سبک نسبتاً پایین است. بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به چشمه آب معدنی آب‌اسک و کم‌ترین آن مربوط به چشمه لاریجان است. pH چشمه‌های آب‌گرم مورد مطالعه بین ۶/۷ تا ۸/۶ متغیر است. دبی چشمه‌ها نیز از حدود ۳ تا بیش از ۱۰ لیتر بر ثانیه متغیر است که از این میان، چشمه لاریجان با بیش از ۱۰ لیتر بر ثانیه بیشترین آب‌دهی را دارد.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه لاویج و محل چشمه‌های آب‌گرم موسوی‌لاویج (کد ۹۵۵) و فیل‌لاویج (کد ۹۵۶)



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه دماوند و محل چشمه‌های آب‌گرم آب اسک (کد ۹۶۰)، لاریجان (کد ۹۴۸) و استراباکو (کد ۹۶۳)

مقایسه حد مجاز عناصر موجود در آب شرب براساس استانداردهای جهانی (جدول ۵) با مقدار عناصر سنگین موجود در آب‌های گرم منطقه مورد مطالعه (جدول ۲) نتایج مهمی در بر دارد که در ادامه راجع به آن‌ها بحث می‌شود.

کادمیوم: کادمیوم فلزی سنگین و بسیار سمی است و همانند آرسنیک، جیوه و سرب هیچ‌گونه نقش حیاتی مفیدی در بدن انسان ندارد. کادمیوم نیز مانند سرب ماده‌ای معدنی است که به‌دنبال پاره‌ای از فعالیت‌های صنعتی و معدنی، نظیر استخراج سرب و روی، آزاد می‌شود و محیط‌زیست را آلوده می‌کند [۲۰]. حلالیت کادمیوم در آب تحت تأثیر عواملی نظیر pH آب است [۲۱]. این فلز از طریق ذخیره‌سازی در اندام گیاهانی مانند گندم و برنج، و همچنین جایگزینی توسط روی وارد بدن انسان می‌شود. وجود بیش از حد مجاز آن در بدن، ضمن ممانعت از تنفس سلولی در انسان، عوارضی چون فشار خون بالا، تخریب گلبول‌های قرمز خون، برونشیت و تخریب کلیه را به همراه دارد. بیشترین مقدار مجاز کادمیوم در آب آشامیدنی، برمبنای متوسط مصرف روزانه آب آشامیدنی معادل ۲/۵ لیتر، برای انسانی به وزن ۷۰ کیلوگرم معادل ۰/۰۰۳ میلی‌گرم در لیتر است [۲۲]. میزان کادمیوم در چشمه‌های آب‌گرم مورد مطالعه کم‌تر از ۰/۰۱ppm است (جدول ۲) که با توجه به استانداردهای جهانی (جدول ۵) از نظر زیست‌محیطی آثار نامطلوبی برجای نخواهد گذاشت.

نیکل: نیکل یکی از فلزات موجود در آب‌های سطحی است. ورود منابع آب آلوده شهری به آب‌های زیرزمینی ممکن است مقدار این فلز را به بیش از پنج برابر مقدار عادی افزایش دهد. مقادیر کم نیکل برای تولید سلول‌های قرمز خون در بدن انسان مفید است، ولی مقدار بالای آن می‌تواند سمی باشد. ازجمله آثار بسیار زیان‌بار نیکل سرطان‌زا بودن آن، به‌ویژه در ناحیه دستگاه تنفسی است. مقدار نیکل در چشمه‌های آب‌گرم مورد مطالعه از ۰/۰۱ppm تا ۰/۰۴ppm متغیر است (جدول ۲). در نمونه‌های چشمه‌های آب‌گرم مورد مطالعه مقدار این عنصر کم‌تر از حد مجاز (۰/۰۵mg/lit) است که با توجه به استانداردهای جهانی (جدول ۵) از نظر زیست‌محیطی آثار نامطلوبی نخواهد داشت.

جدول ۵- غلظت مجاز عناصر موجود در آب شرب براساس استانداردهای جهانی

عناصر موثر در سلامت انسان*	دستورالعمل‌های مجمع اروپایی (۱۹۸۰)	سازمان بهداشت جهانی راهنمای استاندارد (۱۹۷۱)	سازمان بهداشت جهانی راهنمای استاندارد (۱۹۸۴)	سازمان خدمات بهداشت عمومی آمریکا
آرسنیک	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
کادمیوم	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱
کروم	۰/۰۵	-	۰/۰۵	۰/۰۵
سرب	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵
جیوه	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-
نیکل	۰/۰۵	-	-	-
باریم	۰/۱	-	-	۱
کلسیم	۱۰۰	۷۵-۲۰۰	—	-
کلر	۲۵	۲۰۰-۶۰۰	۲۵۰	۲۵۰
مس	۰/۱	۰/۰۵	۱	۱
منیزیم	۳۰-۵۰	۱۵۰-۳۰	—	-
منگنز	۰/۵۰-۰/۲۰	۰/۵-۰/۰۵	۰/۳	۰/۰۵
نیتریت	۰/۱	-	-	-
پتاسیم	۱۲	-	-	-
سدیم	۱۷۵	-	۲۰۰	-
روی	۰/۱	۱۵	-	۵
سولفات	۲۵۰	۴۰۰-۲۰۰	۴۰۰	۲۵۰
کل جامد حل شده	۱۵۰۰	۱۵۰۰-۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰
هدایت الکتریکی	۴۰۰	-	-	-

* غلظت برحسب mg/lit، هدایت الکتریکی برحسب µS/Cm

سرب: غلظت سرب در چشمه‌های آب‌گرم مورد مطالعه حداقل ۰/۰۱ppm، حداکثر ۰/۳۳ppm و به‌طور متوسط ۰/۱۷ppm است (جدول ۲). در مقایسه با حد مجاز سرب در آب شرب براساس استانداردهای جهانی (جدول ۵)، این میزان برای چشمه‌های آب‌گرم آب اسک (۰/۳۱ppm)، استراباکو (۰/۳۳ppm)، موسوی‌لاویج (۰/۱۷ppm) و فیل‌لاویج (۰/۲۱ppm) بیشتر از حد مجاز است، ولی برای چشمه آب‌گرم لاریجان (۰/۰۱ppm) در محدوده مجاز است. بنابر استاندارد سازمان جهانی بهداشت [۶] و استاندارد آب آشامیدنی ایران [۲۲] غلظت مجاز سرب در آب آشامیدنی حداکثر ۰/۰۱ppm تعیین شده است. سرب تأثیرات ناگواری بر سیستم عصبی و مغز پستانداران می‌گذارد. تأثیر این فلز در کودکان بسیار شدیدتر است و موجب آسیب جدی به قسمت‌هایی از مغز و ناحیه مرتبط با فعالیت‌های ذهنی و یادگیری می‌شود. سرب از عوامل مهم سرطان‌زاست.

آرسنیک: با توجه به نقش مهم عنصر آرسنیک در سلامتی انسان، این عنصر اهمیت فزاینده‌ای در مطالعات زیست‌محیطی، به‌ویژه زمین‌شیمی محیطی، یافته است [۱۶]. این عنصر به‌شدت سمی است و می‌تواند مشکلات زیادی برای سلامت انسان ایجاد کند. آرسنیک طبیعی معمولاً در ترکیبات سولفیدی همراه با فلزاتی مانند مس، کبالت، سرب و روی یافت می‌شود [۸]. زمانی که سنگ‌ها به‌صورت شیمیایی تجزیه می‌شوند، آرسنیک به‌صورت نمک‌های اسیدی حل شده و وارد محیط‌زیست می‌شود. آرسنیک به‌صورت آلی توسط میکروارگانیسم‌ها نیز آزاد می‌شود ولی شکل معدنی آن خطرناک‌تر از نوع آلی است. آرسنیک ۳ ظرفیتی نیز خطرناک‌تر و سمی‌تر از آرسنیک ۵ ظرفیتی است [۳، ۸ و ۲۳]. بسیاری از ترکیبات آرسنیک در آب محلول‌اند، بنابراین آلودگی آب با این ترکیبات به سادگی صورت می‌گیرد. آرسنیک در اکوسیستم‌های آبی از منابع کشاورزی (علف‌کش‌های آلی) یا از سوخت‌های فسیلی و صنعتی ناشی می‌شود [۲۴]. به‌طور کلی آرسنیک در خاک بیشتر از سنگ، و در سنگ‌ها بیشتر از آب‌هاست. آرسنیکی که محلول در آب است به‌دلیل این که به‌راحتی می‌تواند وارد بدن موجود زنده شود، مهم‌تر و خطرناک‌تر است. حد مجاز این عنصر در آب آشامیدنی براساس استاندارد سازمان جهانی بهداشت [۶] و استاندارد آب آشامیدنی اروپا [۱۸] معادل ۱۰ppb است [۲۵ و ۲۶]. در حال حاضر میزان آرسنیک در آب‌های زیرزمینی ۱۲ کشور بیش از حد استاندارد است که از آن میان بنگلادش بیشترین میزان را دارد و به‌همین دلیل نمونه‌های زیادی از بیماری‌های پوستی در آن کشور دیده شده است [۲۷].

غلظت آرسنیک در چشمه آب‌گرم لاریجان ۲۴۶ppb، آب اسک ۱۴۷ppb، استراباکو ۲۵ppb و لاویج ۲۷ppb اندازه‌گیری شد. در آب‌های گرم مورد مطالعه غلظت آرسنیک بیشتر از استانداردهای جهانی است (جدول ۵) و به‌لحاظ زیست‌محیطی می‌تواند اثرات نامطلوبی در منطقه برجای گذارد. از جمله آثار زیان‌بار زیست‌محیطی می‌توان به انحلال بالای آرسنیک در چشمه‌های آب‌گرم، زخم‌های باز پوستی، قانقاریا و سرطان‌های بدخیم پوستی اشاره کرد.

جیوه: جیوه عنصری، جیوه معدنی و متیل جیوه معمول‌ترین شکل‌های جیوه در طبیعت‌اند و مقدار نسبتاً بالای هرکدام از آن‌ها می‌تواند آثار زیان‌باری بر سلامت انسان داشته باشد. متیل جیوه در آب محلول است و به‌راحتی توسط بافت‌های زنده جذب می‌شود. جیوه روی سیستم عصبی (مغز، نخاع و به‌ویژه مخچه) آثار زیان‌باری برجای می‌گذارد و بر سیستم عصبی در حال تکامل جنین و کودکان خردسال نیز اثرات تخریب‌کننده دارد. شواهدی مبنی بر سرطان‌زایی ترکیبات معدنی جیوه وجود ندارد [۲۸]. تأثیر جیوه در انسان کم و بیش شبیه سرب است و عوارض بارز آن تأثیر بر سیستم مرکزی و محیطی، آسیب‌های مغزی، شنوایی و بویایی است. سردرد، سرگیجه، عصبانیت، کاهش قوه ادراک، لرزش، بیقراری افسردگی، نارسایی قلبی، کاهش دفع ادرار، التهاب لثه، جاری شدن بزاق، لق شدن دندان‌ها، مدفوع خونی، نارسایی کبدی، و در موارد حاد هذیان‌گویی، اختلالات بینایی، بروز زخم‌های باز و شدید عفونی، سوزش در دستگاه تنفسی از جمله عوارض ناشی از وجود مقادیر غیرمجاز جیوه در چشمه‌های آب‌گرم است. سازمان بهداشت جهانی [۶] حد مجاز قرار گرفتن در معرض جیوه را ۱-۱/۵ppm تعیین کرده است. غلظت جیوه در همه چشمه‌های آب‌گرم مورد مطالعه کم‌تر از حد تشخیص دستگاه و کم‌تر از حد مجاز است.

وانادیوم: وانادیوم معمولاً از طریق منابع طبیعی و همچنین سوخت‌های فسیلی وارد محیط می‌شود و برای

مدت طولانی در آب، خاک و هوا باقی می‌ماند. وانادیوم در محیط‌های آبی پایدار است و در طولانی‌مدت اثرات زیان‌آوری بر ارگانیسم‌های آبی بر جای می‌گذارد. از ویژگی‌های دیگر این عنصر آن است که در آب با عناصر و مواد دیگر ترکیب می‌شود، به ترکیبات نفتی می‌چسبد و به مقدار بسیار کم در گیاهان یافت می‌شود [۲۱]. حد مجاز وانادیوم در آب آشامیدنی ۰/۱ppm است [۲۲]. مقدار وانادیوم در چشمه‌های آب‌گرم مورد مطالعه ۰/۰۵ تا ۱۷ppm و به‌طور متوسط ۰/۲ppm است. مقدار وانادیوم در چشمه فیل‌لاویج ۱۷ppm و بیشتر از سایر چشمه‌هاست. غلظت وانادیوم در تمامی چشمه‌های آب‌گرم مطالعه شده نزدیک یا بیش از حد مجاز تشخیص داده شد.

بررسی میزان تمرکز عناصر سنگین در خاک و سنگ: جیوه، سرب، کادمیوم، کروم، نیکل، روی و سلنیوم ازجمله عناصری هستند که در خاک بسیار ساکن‌اند، تحرک ناچیزی دارند و ممکن است سال‌ها در خاک باقی بمانند. عناصر سنگین از عمده‌ترین آلاینده‌های آب هستند و توسط خاک جذب می‌شوند [۲۹]. بافت خاک نقش موثری در میزان غلظت این عناصر، به‌ویژه آرسنیک، دارد به‌طوری که خاک‌های رسی نسبت به خاک‌های سیلتی و ماسه‌ای پتانسیل بیشتری برای جذب و نگه‌داری آرسنیک دارند [۸].

از مقایسه جدول‌های ۲ و ۳ چنین برمی‌آید که عموماً مقدار عناصر سنگین در نمونه‌های خاک و سنگ منطقه، بیشتر از مقدار عناصر سنگین موجود در نمونه‌های آب است. مقدار مجاز آرسنیک در خاک ۳۰ppb است (جدول ۶) در حالی که در نمونه خاک تجزیه شده مجاور چشمه لاریجان ۹ppb و در دو نمونه خاک مجاور چشمه استراباکو به‌ترتیب ۶/۷ppb و ۱۹ است. مقدار آرسنیک در تراورتن آب اسک ۸۲/۱ppb است. مقایسه میزان آرسنیک موجود در خاک نمونه‌های مورد مطالعه با حد مجاز تعیین شده نشان می‌دهد که در نمونه‌های استراباکو و لاریجان میزان آرسنیک کم‌تر از حد مجاز، ولی در تراورتن آب اسک بیش از حد مجاز است. میزان آرسنیک خاک در آب اسک ۲۶/۳ppb است که بسیار کم‌تر از میزان آرسنیک در تراورتن حاصل از همان چشمه است. مقدار آرسنیک در تراورتن چشمه آب اسک ۸۲/۱ppb است که ممکن است ناشی از انحلال تشکیلات واقع در مسیر عبور آب باشد.

مقدار کادمیوم در خاک پیرامون چشمه‌های لاریجان، آب اسک و استراباکو کم‌تر از ۰/۱ppm اندازه‌گیری شد. مقدار کادمیوم در تراورتن آب اسک ۱/۳ppm است که این مقدار از سایر نمونه‌ها بیشتر است. حد مجاز کادمیوم در خاک ۵ppm است (جدول ۶).

مقدار نیکل در خاک چشمه لاریجان ۵۳/۳ppm و بسیار کم‌تر از حد مجاز آن یعنی ۱۰۰ppm است. به‌عنوان شاهدی از اثرات زیست‌محیطی نامطلوب نیکل می‌توان به کانسار سولفید نیکل سادبوری (انتاریو، کانادا) اشاره کرد که درنتیجه یک قرن فرآوری بدون رعایت ضوابط زیست‌محیطی، بالغ بر ۱۰ کیلومتر مربع زمین لم‌یزرع به وجود آمد، پوشش گیاهی منطقه از بین رفت و بیشتر خاک آن شسته شد و فرسایش یافت. این ناحیه به‌وسیله درختان غان ــ که اکنون از رشد بازمانده‌اند ــ و جنگل درختان افرا احاطه شده بود، ولی اکنون فلزات سنگین مانند آرسنیک، کادمیوم و جیوه در خاک منطقه گسترده شده است [۲۰].

غلظت جیوه در اغلب خاک‌ها بین ۱۰ppb تا ۶۰ است و در بعضی خاک‌های آلی به ۴۰۰ppb می‌رسد. میزان جذب جیوه در محیط به شکل شیمیایی آن، pH و Eh خاک و دیگر کاتیون‌های خاک بستگی دارد. بیشترین میزان جذب زمانی صورت می‌گیرد که خاک حاوی مقدار زیادی رس و مواد آلی باشد. در میان رس‌ها، ایلیت بیشتر از کائولینیت قادر به جذب جیوه است [۲۹]. حد مجاز جیوه در خاک ۲ppm است (جدول ۶). با توجه به داده‌های ارائه شده در جدول ۳، مقدار جیوه در خاک‌ها و سنگ‌های تجزیه شدهٔ منطقهٔ مورد مطالعه کم‌تر از حد مجاز است.

غلظت مجاز مس در خاک ۱۰۰ppm است (جدول ۶). بیشترین مقدار مس اندازه‌گیری شده در منطقه مربوط به خاک چشمه آب اسک با ۲۸/۵ppm است. در تمامی نمونه‌های خاک منطقهٔ مورد مطالعه، مقدار این عنصر کم‌تر از حد مجاز است.

مقدار مجاز سرب در خاک ۱۵۰ppm است، ولی غلظت بیش از ۱۰۰ppm می‌تواند نشان‌دهنده آلودگی خاک نسبت به این عنصر باشد (جدول ۶). میزان تمرکز سرب در خاک‌هایی که در مجاورت واحدهای صنعتی فلزی و یا جاده‌های پر رفت و آمد قرار دارند، ممکن است بین ۱ تا ۱۰ درصد باشد. از بین عناصر سنگین، سرب تحرک شیمیایی کم‌تری دارد و نیمه عمر آن در خاک گستره‌ای بین ۸۰۰ تا ۶۰۰۰ سال دارد [۲۹]. تمرکز سرب در تمامی نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه کم‌تر از حد مجاز است.

جدول ۶- غلظت مجاز عناصر سنگین موجود در خاک [۳۰]

عناصر سنگین*	غلظت مناسب خاک	غلظت مجاز برای سلامتی انسان و محیط	غلظتی که بهبود وضعیت خاک را ضروری می سازد
آرسنیک	۲۰	۳۰	۵۰
کادمیم	۱	۵	۲۰
کرم	۱۰۰	۲۵۰	۸۰۰
سرب	۵۰	۱۵۰	۶۰۰
جیوه	۵	۲	۱۰
نیکل	۵۰	۱۰۰	۵۰۰
باریم	۲۰۰	۴۰۰	۲۰۰۰
مس	۵۰	۱۰۰	۵۰۰
روی	۲۰۰	۵۰۰	۳۰۰۰
مولیبدن	۱۰	۴۰	۲۰۰
قلع	۲۰	۵۰	۳۰۰
کبالت	۲۰	۵۰	۳۰۰

* برحسب ppm

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه ضمن بررسی خصوصیات عمومی آب چشمه‌های آب‌گرم منطقه مرکزی مازندران، غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، کروم، سرب، نیکل، مس، منیزیم، روی، مولیبدن، وانادیم و کبالت در آب چشمه‌ها و خاک یا سنگ‌های پیرامون چشمه‌ها اندازه‌گیری و از نظر زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. مطالعه نمونه‌های آب چشمه‌های آب‌گرم نشان می‌دهد که چون مقدار آرسنیک در آب همه چشمه‌ها بیش از حد مجاز است، احتمالاً به‌لحاظ زیست‌محیطی اثرات نامطلوبی در منطقه برجای می‌گذارد. همچنین مقدار سرب در همه چشمه‌ها، به‌جز چشمه آب‌گرم لاریجان، بیشتر از حد مجاز است. براساس نتایج به دست آمده از این مطالعه غلظت وانادیوم در تمامی چشمه‌های آب‌گرم مورد بررسی بیشتر از حد مجاز تشخیص داده شد که می‌تواند اثرات نامطلوب زیست‌محیطی در منطقه داشته باشد. مقدار سایر فلزات سنگین در آب چشمه‌ها کم‌تر از حد مجاز است و در نتیجه از نظر زیست‌محیطی احتمالاً آثار زیان‌باری برجای نخواهد گذاشت.

همچنین براساس این تحقیق مشخص شد که در نمونه‌های خاک پیرامون چشمه‌های استراباکو و لاریجان مقدار آرسنیک کم‌تر از حد مجاز، ولی در تراورتن آب اسک بیشتر از حد مجاز است. مقدار آرسنیک خاک در آب اسک کم‌تر ازحد مجاز و بسیار کم‌تر از میزان آرسنیک در تراورتن حاصل از همان چشمه است. آرسنیک موجود در تراورتن چشمه آب اسک ممکن است ناشی از انحلال تشکیلات واقع در مسیر عبور آب باشد. مقدار کادمیوم در نمونه تراورتن آب اسک بیشتر از کادمیوم موجود در خاک سایر چشمه‌هاست، ولی بیشتر از حد مجاز نیست. مقدار سایر فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک چشمه‌های مورد مطالعه کم‌تر از حد مجاز است و درنتیجه از نظر زیست‌محیطی احتمالاً آثار زیان‌باری نخواهند داشت.

منابع

[1] Smedley P L, Kinniburgh D G. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Appl. Geochem; 2002; 17: 517-568.

[2] Brown K L, Simmons S F. Precious metals in high temperature geothermal systems in NewZealand. Geothermics; 2003; 32: 619-625.

[3] Zhang G P, Liu C Q, Liu H, Jin Z H, Han G L, Li L. Geochemistry of the Rehai and Ruidian geothermal waters, Yunnan Province, China. Geothermics; 2008; 37: 73-83.

[4] Mroczek E K. Contributions of arsenic and chloride from the Kawerau geothermal field to the Tarawera River, New Zealand. Geothermics; 2005; 34: 218-233.

[5] Robinson B, Duwig C, Bolan N, Kannathasan M, Saravanan A. Uptake of arsenic by New Zealand watercress (Lepidium sativum). Science of the Total Environment; 2003; 301: 67-73.

[6] WHO. Guidelines for Drinking Water Quality. World Health Organisation; 2002.

[7] Mandal B K, Ogra Y, Anzai K, Suzuki K T. Speciation of arsenic in biological samples. Toxicology and Applied Pharmacology; 2004; 3: 307-318.

[8] Brown G E, Calas G. Environmental mineralogy: Understanding element behavior in ecosystems. Comptes Rendus Geoscience; 2011; 343: 90-112.

[9] Li W, Wei C, zhang C, Hylle M V, Cornelis R, Zhang X. A survey of arsenic species in Chinese seafood. Food and Chemical Toxicology; 2003; 41: 1103-1110.

[10] Li S H. Xiao T F. Zheng B S. Medical geology of arsenic, selenium and thallium in China. Science of the Total Environment; 2012 (421-422), p. 31-40.

[11] Noorollahi Y, Yousefi H, Itoi R. Ehara E. Geothermal energy resources and development in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews; 2009; 13: 1127-1132.

[12] Yousefi H, Noorollahi Y, Ehara S, Itoi R, Yousefi A, Fujimitsu Y. Developing the geothermal resources map of Iran, Geothermics; 2010; 39: 140-151.

[13] Shahbeig A. Mineral waters and thermal waters of Iran, Geological Survey of Iran; 1372: 402. [In Persian]

[14] Ghafouri M. Recognition of mineral waters and thermal springs of Iran. Tehran University Press; 1382: 386. [In Persian]

[15] Allenbach P. Geology and petrography of Mt. Damavand and its environment, Central Alborz, Iran. Geological Survey of Iran; 1970: 153.

[16] Plant J A, Kinniburgh D G, Smedley P L, Fordyce F M, Klinck B A. Arsenic and Selenium, Treatise on Geochemistry, Volume 9: Environmental Geochemistry; 2003: 17-66.

[17] Callender E. Heavy Metals in the Environment-Historical Trends. In: Treatise on Geochemistry, Volume 9: Environmental Geochemistry; 2003: 67-106.

[18] Navarro A, Font X. Viladevall M. Geochemistry and groundwater contamination in the La Selva geothermal system (Girona, Northeast Spain). Geothermics; 2011; 40: 275-285.

[19] Guo Q. Hydrogechemistry of high-temperature geothermal systems in China: A review. Applied Geochemistry; 2012; 27: 1887-1898.

[20] Evans A. An introduction to economic geology and its environmental impact. Wiley-Blackwell; 1997: 376.

[21] Esmaeili Sari A. Contaminants, health and standards in environment. Naghshe Mehr Publishing Co.; 1381: 793. [In Persian]

[22] Iran National Standard, No. 1053. Drinking water: Physical and chemical specifications. Institute of Standards and Industrial Research of Iran; 1388: 26. [In Persian]

[23] Hughes M F. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. Toxicology letters; 2002; 133: 1-16.

[24] Esmaeili Sari A, Riahi A, Ershad D. Determination of upper limits of heavy metals in marine products. Institute of Standards and Industrial Research of Iran; 1380: 35. [In Persian]

[25] Kim Y T, Yoon C, Woo N C. An assessment of sampling, preservation, and analytical procedures for arsenic speciation in potentially contaminated waters. Environmental Geochemistry and health; 2007; 29: 337-346.

[26] Kim Y T, Yoon C, Woo N C. Arsenic species in ecosystems affected by arsenic-rich spring water near an abandoned mine in Korea. Environmental Pollution; 2009; 157: 3496-3501.

[27] Hossain M F. Arsenic contamination in Bangladesh: an overview. Agriculture, ecosystem and environment; 2006; 113: 1-16.

[28] Calvin R. Brunner P E. Hazardous air emissions from incineration. Chapman and Hall; 1985: 222.

[29] Ghazban F. Environmental geology. Tehran University Press; 1390: 440. [In Persian]

[30] Iranian Data Bank of Environmental Researches, http://iranenvex.ir, (assessed: March 30, 2013). [In Persian]