

## بررسی اثرات زیست‌محیطی و زمین‌پزشکی آرسنیک در آب‌های شرب منطقه تفت، یزد

طاہر فرہادی نژاد<sup>۱\*</sup>، احمد خاکزاد<sup>۲</sup>، محمدرضا جعفری<sup>۳</sup>، ضیاءالدین شعاعی<sup>۱</sup>، خسرو خسرو تهرانی<sup>۱</sup>، رسول نوبری<sup>۲</sup>، علی زارعی<sup>۳</sup> و وحید شاهرخی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران

<sup>۲</sup>دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران

<sup>۳</sup>گروه زمین‌پزشکی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران

<sup>۴</sup>دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خرم‌آباد، گروه زمین‌شناسی، خرم‌آباد، ایران

### چکیده

آرسنیک به عنوان یک عنصر آلاینده در ۴ شکل اکسیداسیونی به طور طبیعی در محیط‌های مختلف پراکنده است که دارای منشأ زمین‌زاد می‌باشد هرچند منشأ انسان‌زاد همچون فعالیت‌های معدنکاری، احتراق سوخت‌های فسیلی، کود و سموم کشاورزی نیز حائز اهمیت هستند. هدف از این مقاله بررسی غلظت، پراکندگی و منشأ آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه تفت در ۱۵ کیلومتری جنوب غرب یزد است. برای این منظور ۵۶ نمونه از آب قنوت، چاه‌ها و چشمه‌های منطقه در مهرماه سال ۱۳۸۷ و اردیبهشت سال ۸۸ برداشت شده و با روش ICP-OES آنالیز شده است. با استفاده از نتایج آنالیز و تحلیل آن‌ها، نقشه‌های هم‌غلظت آرسنیک و نمودارهای فراوانی آن‌ها در نمونه‌های مورد نظر ترسیم شده و با استاندارد جهانی EPA و WHO مقایسه شده است. آرسنیک اندازگیری شده در نمونه‌ها عمدتاً با میانگین ۵/۷۲ میکروگرم در لیتر و ماکزیمم ۱۸/۳۷ میکروگرم در لیتر بالاتر از حد استاندارد (0.0 mg/l) EPA و WHO (10 mg/l) هستند. ترسیم و بررسی نمودار همبستگی آرسنیک با عناصر مختلف نشان می‌دهد که دارای همبستگی مثبت با pH، آهن و منگنز و همبستگی معکوس ضعیفی با آلومینیم است. از آنجا که افراد مصرف‌کننده آب‌های آلوده به آرسنیک در معرض اختلال سیستم عصبی، سرطان پوست، مثانه و ریه و کبد قرار دارند، بنابراین لازم است منابع آب آلوده از سیستم مصرف حذف شوند.

**کلیدواژه‌ها:** آرسنیک، تفت، EPA، WHO

farhadinejad@yahoo.com

\*نویسنده مسئول: طاہر فرہادی نژاد

### ۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی که در تعامل نزدیک با رسوبات غنی از آرسنیک هستند، منبع قابل توجهی از آلودگی آرسنیک طبیعی می‌باشند. آرسنیک موجود در این آب‌ها به شکل معدنی و طبیعی آن یعنی آرسنیت ( $As^{+3}$ ) و آرسنات ( $As^{+5}$ ) بوده و بندرت به شکل آلی ( $As^{+3}$ ) یافت می‌شود (Lindberg, 2007). فرم آرسنات آن در محیط آبی تحرک بیشتری داشته و برای موجودات زنده خطرناک‌تر است (Guha & Mazumdar et al. 1992; Bhattacharya et al. 1996, 1997; Ahmed. 1999). Eh و pH محیط مهم‌ترین فاکتورهای کنترل‌کننده فرم‌های مختلف آرسنیک در آب‌های زیرزمینی هستند (Smedley & Kinniburgh, 2002) به طوری که PH بالای محیط به همراه کاهش Eh تحرک As را افزایش می‌دهد. اگرچه در شرایط احیاء شدید تشکیل کانی‌های سولفیدی غلظت آن را کنترل می‌کند (Bissen & Frimmel, 2003) (شکل ۱).

باکتری‌های بی‌هوازی همانند پروکاریوت (prokaryotes) و یوکاریوتها (eukaryotes) یکی دیگر از فاکتورهای موجود در محیط آبی هستند که بیومتیلات آرسنیک معدنی (Biomethylate inorganic As) را به دی‌متیل آرسنیک اسید ( $DMAA, (CH_3)_2 AsO(OH)$ ) و منومتیل آرسنیک اسید ( $MMAA, (CH_3) AsO(OH)_2$ ) احیاء می‌کنند. سمیت فرم‌های متیله شده آرسنیک کم بوده و فرم‌های فرار آن تحت شرایط اکسیداسیون پایدار نیستند. بیومتیله شدن باعث تخریب مواد آلی و تبدیل  $As^{+5}$  به  $As^{+3}$  و تحرک بیشتر آن می‌گردد (Routh et al. 2000). اگرچه هر دو کاتیون  $As^{+3}$  و  $As^{+5}$  اثرات مسمومیت مشابهی برای

آرسنیک به عنوان یک عنصر آلاینده و سمی در ۴ شکل اکسیداسیونی  $+3$ ،  $+5$ ،  $0$ ،  $-3$  بطور طبیعی در جو، سنگ‌ها و کانی‌ها، خاک، آب و بیوسفر پراکنده است. تحرک این عنصر در محیط زیست عمدتاً تحت شرایط زمین‌زاد است هرچند منشأ انسان‌زاد همچون فعالیت‌های معدنکاری، احتراق سوخت‌های فسیلی، کود و سموم کشاورزی نیز حائز اهمیت هستند (Dissanayake and Chandrajith, 2009). مقدار متوسط آرسنیک در پوسته زمین  $2/5 - 0/5$  mg/kg است (جدول ۱) (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). سنگ‌های آذرین نفوذی با کمترین مقدار آرسنیک و سنگ‌های آتشفشانی با بیشترین مقدار آن از منابع مهم آرسنیک در محیط زیست به شمار می‌روند. از دیگر منابع آلاینده حاوی آرسنیک می‌توان به شیل‌های دریایی و رسوبات غنی از مواد آلی و همچنین بعضی از ذغال‌ها (بیش از ۳۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) اشاره نمود (Dissanayake and Chandrajith, 2009; Nordstrom 2000; Bhattacharya et al. 2002a, 2002b). آب‌های زیرزمینی و چشمه‌های آبگرم نیز با توجه به خصوصیات ژئوشیمیایی سازندهای زمین‌شناسی مناطق مختلف دارای مقادیر بسیار متفاوتی است (Nordstrom 2000). به طوری که در بسیاری از کشورهای جهان تمرکز آن در آب ناشی از هوازدگی و شستشوی سنگ‌های غنی از آرسنیک، باطله معادن، فاضلاب و چشمه‌های آبگرم گزارش شده است (Bhattacharya et al., 2002b; Burgess and Ahmed, 2006).

### ۳- زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ یزد و خضرآباد قرار داشته و از لحاظ تقسیم‌بندی زمین‌ساختی ایران بخشی از پهنه ایران مرکزی است (درویش‌زاده ۱۳۸۴). واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده تفت بیشتر از جنس شیل، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، آهک، آهک مارنی، شیل آهکی و دولومیت، سنگ‌های ولکانیکی آندزیتی و لاتریتی است. سنگ‌های نفوذی منطقه باتولیتی است با ترکیب گرانودیوریت تا گرانیت که ارتفاعات شیرکوه را تشکیل داده و به وسیله سنگ آهک‌های کرتاسه با قاعده پیشرونده پوشیده شده‌اند (شکل ۳). سن این توده اگرچه ژوراسیک فوقانی معرفی شده است اما سن پرتوسنجی ۱۷۶ میلیون سال و ۱۸۶-۱۵۹ میلیون سال تعیین شده برای آن و همچنین جایگاه چینه‌شناسی این توده نشانگر آن هستند که گرانیت‌های مذکور در زمان ژوراسیک میانی و در اثر عملکرد رخداد سیمین میانی پدید آمده‌اند (آقاباتی، ۱۳۸۹). توده‌های نیمه‌عمیق نفوذ کرده در سنگ آهک‌های کرتاسه در ارتباط با فاز کوهزایی لارامید وجود آمده‌اند و ترکیبی از نوع گرانودیوریت تا منزودیوریت دارند. سنگ‌های دیاپاز به رنگ تیره با ترکیب گابرو-دیوریت در همه گستره منطقه دیده می‌شوند.

روند ساختمانی حوضه شمال غرب-جنوب شرق بوده که با امتداد زاگرس، پهنه سندانج-سیرجان و کمان ماگمایی ارومیه-بزمان یکی بوده و دارای گسل‌های از نوع امتداد لغز راستگرد است که باعث تکنونیزه شدن منطقه، کوهسازي و مرز گسلی واحدهای سنگی نسبت بهم شده است. وجود این گسل‌ها نشان دهنده ناآرامی‌های زمین‌ساختی همزمان با رسوبگذاری است (آقاباتی، ۱۳۸۹). به طور مثال، گسل دره انجیر با روند شمالی-جنوبی گسلی امتداد لغز راستگرد است که فعالیت آن سبب تشکیل دایک‌های دیاپاز با ترکیب گابرویی-دیوریتی منطقه ده بالا شده و به نظر می‌رسد دگرسانی سفیدرنگ آهک‌های تفت نیز نتیجه عملکرد این گسل باشد.

### ۴- روش مطالعه

در این تحقیق نمونه برداری از چاه، چشمه و قنوات در طی دو مرحله در شهریور ۸۷ و اردیبهشت ۸۸ به تعداد ۵۶ نمونه بوده که کل منطقه مورد مطالعه (از جمله سطح دشت و حاشیه ارتفاعات) انجام گرفته و مختصات محل نمونه برداری به وسیله دستگاه GPS گارمین ثبت شده است. جهت نمونه برداری از ظروف ۱/۵ لیتری پلی‌اتیلن استفاده شده که بعد از شستشو با آب چشمه، قنات یا چاه مورد نظر، در هر ایستگاه تعداد ۲ نمونه به منظور اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌ها و نیز سنجش عناصر سنگین مورد نظر برداشت شده و پارامترهای شیمیایی همانند pH، دما، Ec، شوری و اکسیژن محلول نیز در محل اندازه‌گیری شده است. میزان آنیون‌ها و کاتیون‌ها توسط دستگاه کروماتوگرافی یونی (IC) و غلظت عناصر سنگین به روش ICP-OES انجام گرفته است. حد تشخیص دستگاه برای آرسنیک ۰/۵ میکروگرم بر لیتر است. نتایج به دست آمده از آنالیزها در جدول (۲) ارائه شده است.

نقشه‌های پراکندگی آرسنیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار Arc GIS و روش درون‌یابی کریجینک تهیه گردیده و همبستگی آرسنیک با عناصر آهن، منگنز، آلومینیم، pH محیط مورد بررسی قرار گرفته و با حداکثر مجاز غلظت استانداردهای جهانی مقایسه شده است.

موجودات زنده از جمله انسان دارند اما به دلیل تحرک بیشتر  $As^{+3}$  برای موجودات زنده خطر بیشتری دارد (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). کاتیون‌های مذکور در بدن انسان متابولیزه شده و تشکیل فرم متیلات آرسنیک می‌دهند که به آسانی از طریق ادرار دفع می‌شود. بنابراین آنالیز ادرار شاخص خوبی برای ارزیابی در معرض قرار گرفتن آرسنیک می‌تواند باشد (Akter and Naidu 2006). سمیت ترکیبات مختلف As را می‌توان به صورت زیر بیان کرد (Aras & Ataman, 2006):

As(III) > As(V) > Monomethylarsonate (MMA) > Dimethylarsinate (DMA) > Arsenobetaine (AsB)  
از سایر فاکتورهای کنترل‌کننده تحرک آرسنیک حضور هیدروکسیدهای Fe و Mn در محیط‌های آبی است که مانند مواد آلی اثر زیادی بر رفتار As موجود در آب دارند (Smedley & Kinniburgh 2002; Bhattacharya & Mukherjee 2002).

از آنجا که به راحتی می‌تواند از طریق محیط آبی وارد زنجیره غذایی شده و سبب بروز مشکلاتی در سلامتی انسان همانند جهش‌زایی، سرطان و اثرات تراژونیک (teratogenic) همانند تاثیر بر سیستم عصبی، بیماری‌های قلبی و عروقی، اختلالات تنفسی، فشارخون، دیابت شیرین، سرطان و ضخیم شدن پوست از جمله آن‌هاست (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007; Smith et al. 2000). امروزه یکی از بزرگترین فجایع زیست‌محیطی جهان مسمومیت با آرسنیک است به طوری که سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقدار مجاز این عنصر سمی را در آب شرب از ۵۰ میکروگرم در لیتر به ۱۰ میکروگرم در لیتر تقلیل داده است که این ناشی از به رسمیت شناختن پیامدهای سمیت آرسنیک موجود در آب است. مشاهدات آماری نشان می‌دهد که در حال حاضر حدود ۳۵ میلیون نفر از جمعیت جهان در معرض آب‌های دارای آرسنیک بالای ۵۰ میکروگرم در لیتر بوده و ۵۷ میلیون نفر نیز از آب‌های آلوده به بیش از ۱۰ میکروگرم در لیتر آرسنیک استفاده می‌کنند (Dissanayake and Chandrajith, 2009).

### ۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه تفت به صورت دشتی محصور بین کوه‌های مرتفع با ارتفاع متوسط ۲۲۷۳ m و مساحتی حدود ۸۳۱ km<sup>2</sup> از ۱۵ کیلومتری جنوب غرب شهر یزد، مرکز ایران واقع شده است (E ۲۵° ۴۳' ۵۳" / ۷° ۱۵' ۵۴" و N ۳۱° ۳۳' ۹" / ۲۰° ۴۹' ۳۱") (شکل ۲). این منطقه با میانگین بارندگی ۲۲۳/۷۸ mm، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۲/۹۶°C و میانگین تبخیر ۱۶۱۵ mm بر اساس تقسیم‌بندی دمارتن دارای اقلیم خشک، خشک ضعیف و خشک متوسط است (گزارش استانداری یزد، ۱۳۸۶).

این منطقه یکی از مراکز کشاورزی استان یزد است که ۴۵/۷۱٪ مردم شهرنشین و ۵۴/۲۸٪ ساکن روستا هستند و شغل عمده روستائیان کشاورزی و دامپروری است. به طور کلی ۱۵۲/۴۴ کیلومتر مربع اراضی کشاورزی و باغی در حوضه وجود دارد که در این میان ۷۹/۹۱ کیلومتر مربع باغ و ۷۲/۵۳ کیلومتر مربع زراعی است. آب شرب و کشاورزی منطقه از آب‌های زیرزمینی به صورت قنوات، چاه و چشمه‌ها تأمین می‌شود.

## ۵- بحث

بررسی نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده با استفاده از نرم افزار SPSS و ترسیم هیستوگرام و نمودارهای Q-Q Plot و Box plot نشان می‌دهد که داده‌ها دارای توزیع نامتقارن و چولگی مثبت هستند (شکل ۴). ترسیم نقشه پراکندگی آرسنیک (شکل ۵) و تلفیق آن با نقشه زمین‌شناسی نشان می‌دهد که واحدهای سنگی بالادست محل نمونه‌های دارای آرسنیک با غلظت بالا آبرفت‌های ریزدانه، شیل، ماسه‌سنگ، دولومیت، آهک، گرانودیوریت و آندزیت با میان لایه‌های توف هستند. از آنجا که شیل و آندزیت با میان لایه‌های توف در تمام موارد تکرار شده و با توجه به مقدار آرسنیک بالای آن‌ها (۳۸ ppm در رسوبات آبراهه‌ای) می‌توان منشأ آرسنیک موجود را به این واحدها نسبت داد.

نمودار فراوانی آرسنیک و مقایسه آن با استانداردهای جهانی (شکل ۵) نشان می‌دهد که نمونه‌های  $T_{114}$ ،  $T_{122}$ ،  $T_{125}$  (اکثراً در شمال غرب و میان دشت تفت قرار دارند) دارای تمرکز آرسنیک بیش از ۱۰ میکروگرم در لیتر است که مقادیری بیش از حد مجاز استاندارد جهانی WHO و EPA (۱۰ ppb) است. اگر چه حد مطلوب استانداردهای جهانی صفر است (WHO, 2011; EPA, 2011).

دیگرام همبستگی AS-pH، AS-Fe و AS-Mn که پس از حذف داده‌های سنسورد تهیه شده (شکل ۷، ۸ و ۹) بیانگر این مطلب است که As دارای همبستگی مثبت با pH و عناصر فوق الذکر است اما با Al همبستگی منفی ضعیفی نشان می‌دهد.

همبستگی بین AS-pH برای داده‌های با pH بیش از ۷ بسیار قوی‌تر است (شکل ۱۰) و این نشان می‌دهد AS یک متغیر حدی بوده و آستانه‌ای عمل می‌کند. حد این آستانه برای pH ۷ در نظر گرفته شده است و این مطابقت دارد با دیگرام Eh-pH و ناشی از انحلال Fe در محیط می‌باشد.

در بیشتر ارزیابی‌های انجام شده در سال‌های اخیر، آرسنیک غیرآلی به عنوان عامل سرطانزا در انسان (طبقه ۱) در نظر گرفته شده است و عامل ایجاد کننده سرطان مثانه، ریه، پوست و احتمالاً کلیه و کبد تشخیص داده شده است (IARC, 2004). کنگره ملی تحقیقات امریکا (NRC) در سال ۲۰۰۱ میزان خطر بیماری‌زایی آرسنیک در آب شرب را ارزیابی نموده و مصرف آب شرب با غلظت آرسنیک بیش از ۱۰ میکروگرم در لیتر را عاملی برای بروز سرطان دانسته است، بطوری که راهنمای توصیه شده توسط WHO بیش از یک مورد سرطان در هر ۱۰۰ هزار نفر نشان می‌دهد (NRC, 1999; NRC, 2001).

بررسی مرگ ناشی از سرطان در شهرستان تفت نشان می‌دهد که میزان سرطان ریه با بیشترین مقدار در سال‌های ۸۱، ۸۲ و ۸۳ به ترتیب ۱۹، ۱۹ و ۱۰ نفر بوده که با توجه به جمعیت این شهرستان خطر ابتلا به سرطان بسیار بالاست، گرچه ارتباط مشخص سرطان با مقادیر آرسنیک هنوز به درستی مشخص نشده است (شکل ۱۱).

## ۶- نتیجه گیری

بررسی نتایج حاصل از آنالیز نمونه آب‌های برداشت شده از منطقه تفت و ترسیم نقشه پراکندگی عنصر سمی آرسنیک موجود در آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه و تلفیق آن با نقشه زمین‌شناسی بیانگر این امر است که نوع سنگ‌های پو شاننده منطقه به ویژه واحدهای سنگی بالادست محل نمونه‌برداری (بیشتر شیل و

آندزیت با تمرکز بالایی از آرسنیک) می‌تواند عامل اصلی و طبیعی آرسنیک موجود در آب‌های منطقه تفت باشد. ضمن اینکه فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی با توجه به میزان کود شیمیایی مصرفی برای محصولات مختلف، آبیاری غرقابی، ضخامت کم و بافت شنی ماسه‌ای آبرفت نیز به عنوان بخشی از منشأ آلودگی در نظر گرفته می‌شود.

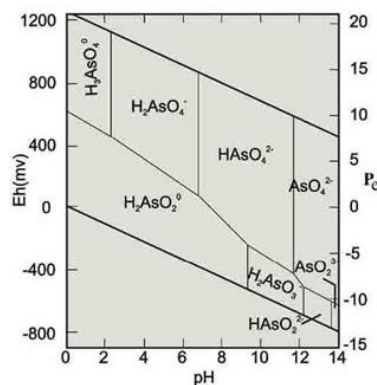
نمودار فراوانی آرسنیک و مقایسه آن با استانداردهای جهانی نشان می‌دهد که نمونه‌های برداشت شده از شمال غرب و بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه ( $T_{114}$ ،  $T_{122}$ ،  $T_{125}$ ) دارای تمرکز آرسنیک بالاتری نسبت به حد مجاز استاندارد جهانی WHO و EPA (۱۰ ppb) می‌باشند.

جذب سطحی هیدروکسیدهای آهن و منگنز موجود موجب مثبت شدن همبستگی AS با Fe و Mn در آب‌های منطقه شده در حالی که با Al همبستگی منفی ضعیفی نشان می‌دهد. همبستگی بین As-pH برای داده‌های با pH بیش از ۷ بسیار قوی‌تر است. این امر نشان می‌دهد که عنصر آرسنیک یک متغیر حدی بوده و آستانه‌ای عمل کرده و دارای حد آستانه ۷ برای pH است.

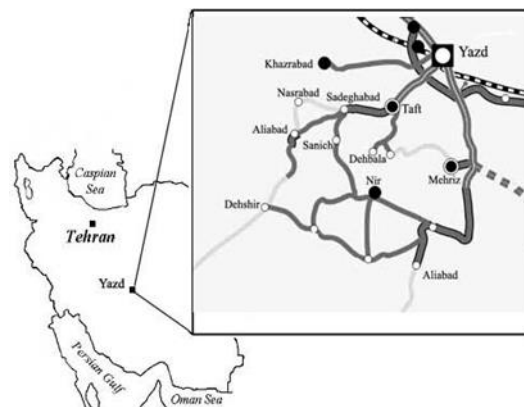
از آنجا که آرسنیک موجود در آب‌های زیرزمینی به فرم معدنی آن (آرسنیت ( $As^{3-}$ ) و آرسنات ( $As^{5-}$ )) است و بندرت به شکل آلی وجود دارد و با این ترکیبات از خطر سرطان‌زایی بالایی برخوردار است، لذا ارتباط سرطان با توزیع آرسنیک در منطقه احتیاج به بررسی بیشتری دارد. پیشنهاد می‌شود چاه‌ها و قنوات با آلودگی بالای آرسنیک را از چرخه مصرف شرب خارج نموده و یا با روش‌های تصفیه مقدار آرسنیک آن را کاهش دهند.

## سپاسگزاری

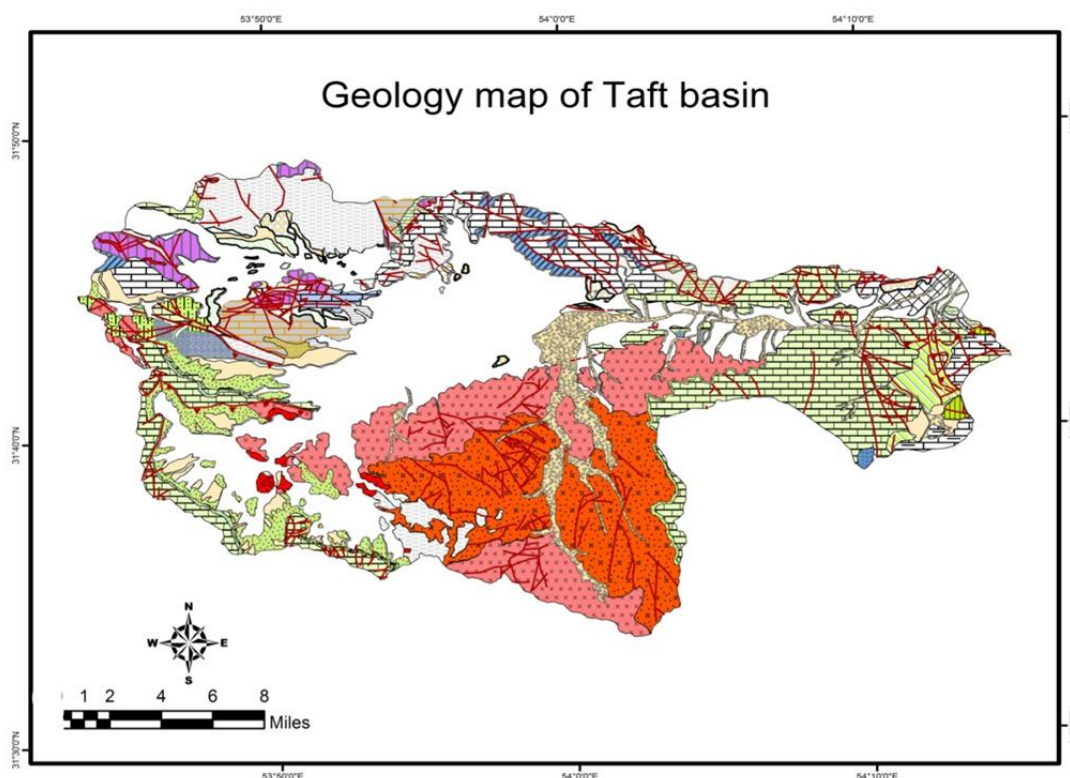
از مدیریت بخش زمین‌پزشکی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی خانم رحمانی و کارشناسان این بخش به خاطر همکاری صمیمانه سپاسگزاریم. با یادآوری این مطلب که این مقاله منتج از پروژه زمین‌پزشکی تفت می‌باشد.



شکل ۱- دیگرام pH-Eh در سیستم  $As-O_2-H_2O$  در  $25^\circ C$  و فشار ۱ بار (Smedley and Kinniburgh 2002)



شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه



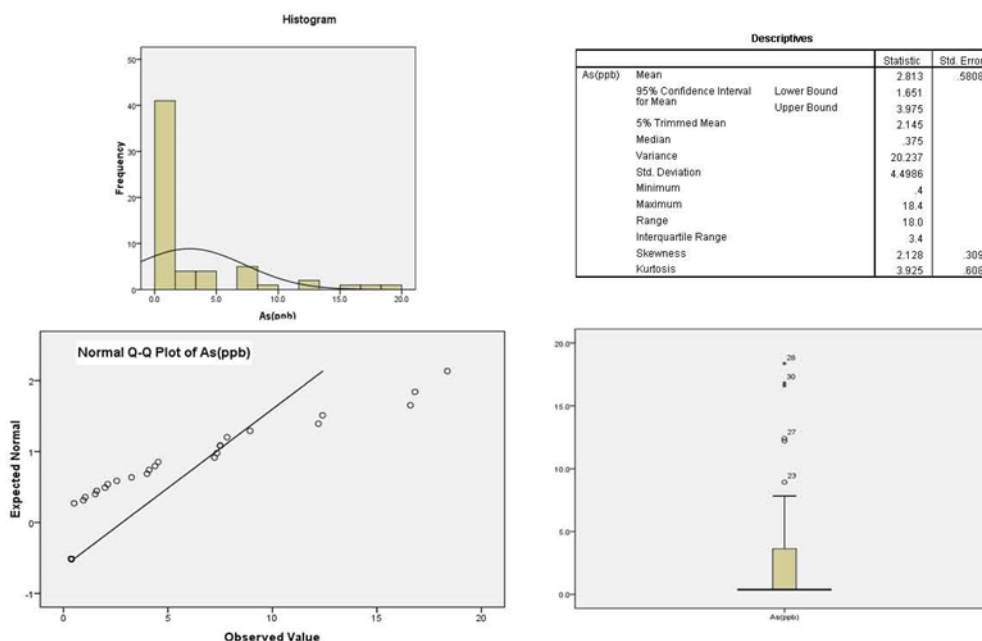
**lithology**

- Ekcg: conglomerate (Kerman Fm.)
- D: Shale, sandstone, quartzitic arenate with intercalated sandy limestone
- Da: Dacite
- Ean: andesite with intercalated greenish grey tuff
- Et: Grey, greenish grey tuff and tuffaceous with andesite intercalation
- Js: Shale, sandstone, quartz arenite (Shemshak Fm.)
- Kdz: Grey to greenish grey shale, marly limestone (Darreh zanjir Fm.)
- Ks sh: Fine grained purple sandstone and shale
- Ks: Grey to dark grey sandstone and conglomerate (Sangestan Fm.)
- Ksh: Shale and sandstone
- Kt: Grey limestone (Taft Fm.)
- Ktw: White limestone
- Pck: Sandstone and shale (Kahar Fm.)
- Pjd: Yellowish grey dolomite (Jamal Fm.)
- Pj: Grey limestone (Jamal Fm.)
- Qal: Alluvium (Channel fill deposit)

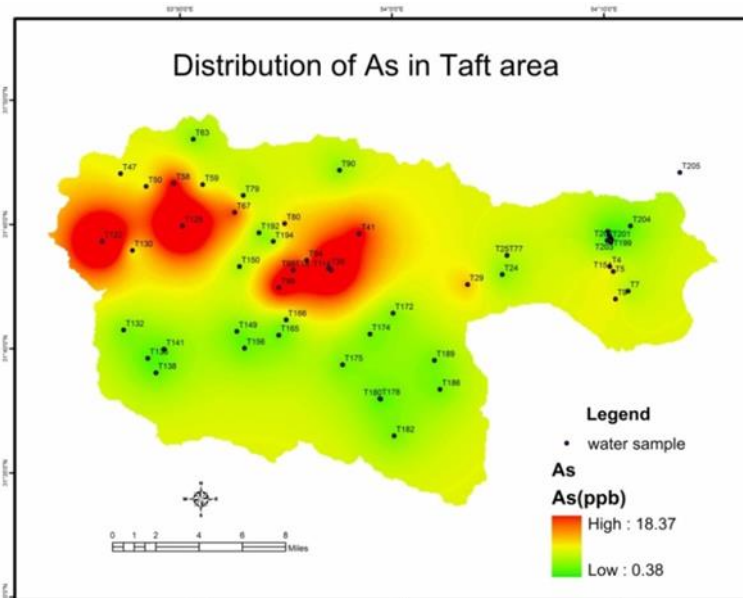
**Legend**

- Qt1: Alluvium (older terraces and gravel fans)
  - Qt2: Alluvium (Younger terraces and gravel fans)
  - Qtr: Travertine
  - TRn sh: Dark grey sandy shale
  - TRn: shale, quartz arenite sandstone, limestone (Nyband Fm.)
  - TRnd: Pale grey limestone
  - TRn1: white massive limestone
  - TRn2: Dark grey limestone
  - TRsh: Massive dolomite (Shotori Fm.)
  - g-gd: Granite and granodiorite
  - gd: Granodiorite
  - gr: Granite
  - kt-d: Dolomite, limy dolomite
- Fault**
- Norma fault
  - Reverse fault
  - Taft city

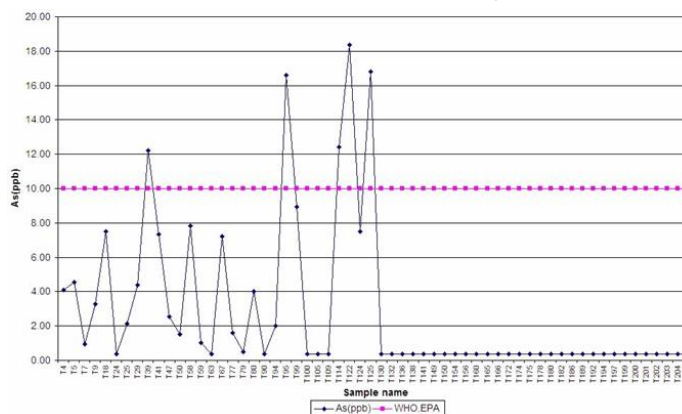
شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه تفت (حاج ملاعلی و همکاران ۱۳۷۱ و ۱۳۷۹)



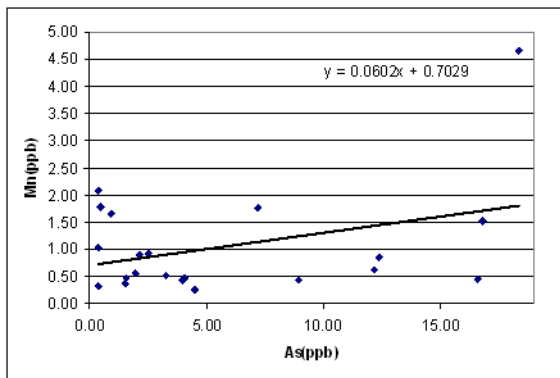
شکل ۴- پارامترهای آماری داده‌های آرسنیک در منطقه تفت



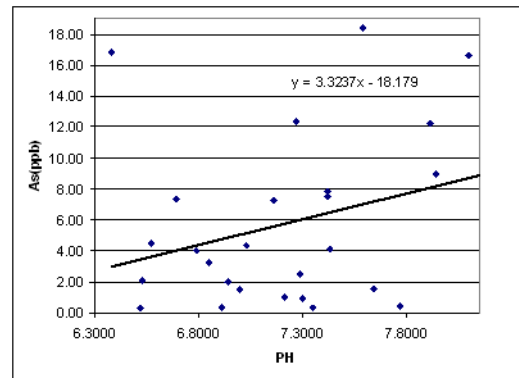
شکل ۵- نقشه پراکنندگی آرسنیک در منطقه تفت



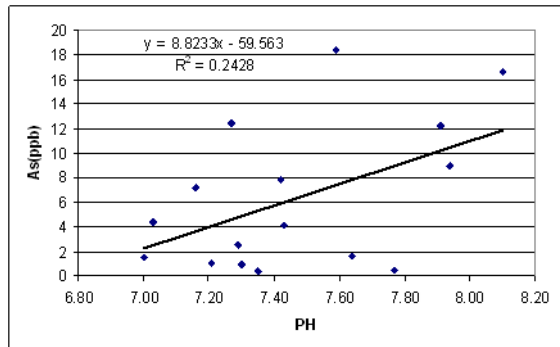
شکل ۶- دیاگرام روند As اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های آب منطقه تفت



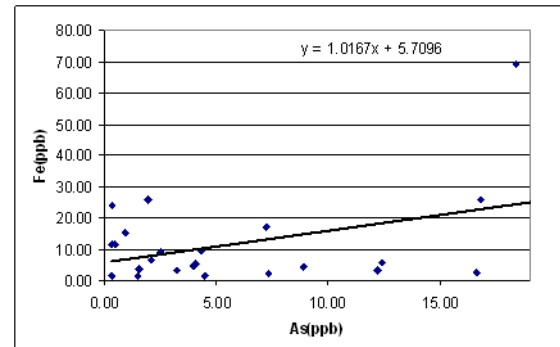
شکل ۸- نمودار همبستگی As-Mn



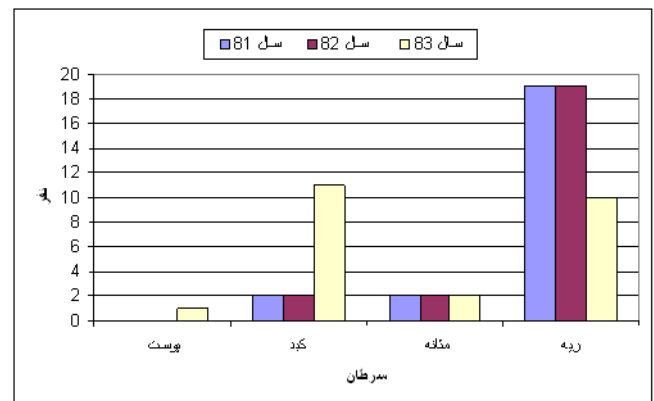
شکل ۷- نمودار همبستگی As-pH



شکل ۱۰- نمودار همبستگی As-pH برای داده‌های با pH بیشتر از ۷



شکل ۹- نمودار همبستگی As-Fe



شکل ۱۱- نمودار فراوانی ابتلا به سرطان در سال‌های ۸۱، ۸۲ و ۸۳

جدول ۱- مقدار آرسنیک در محیط‌های مختلف (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007).

بخش‌های زیست محیطی	آرسنیک (mg/kg)
پوسته زمین	۰/۵-۲/۵
سنگ‌های آذرین مافیک	۰/۵-۲/۵
سنگ‌های آذرین اسید	۱-۲/۵
سنگ‌های رسوبی ارژیلی	۵-۱۳
ماسه‌سنگ	۰/۵-۱/۲
سنگ‌های کربناته	۱-۲/۵
خاک‌های رسی	۲-۲۳
خاک‌های آلی	۰/۱-۶۷
آب باران	۰/۳-۰/۴

جدول ۲- میزان تمرکز عناصر در نمونه‌های آنالیز شده منطقه تفت.

N-sample	pH	Ec	Al(ppb)	As(ppb)	Fe(ppm)	Mn(ppb)
T4	7.43	2.73	7.4	4.1	0.006	0.47
T5	6.57	543	6.6	4.53	0.002	0.25
T7	7.3	1370	444	0.95	0.015	1.65
T9	6.85	355	11.6	3.26	0.003	0.52
T18	6.47	933	13	7.5	0.003	0.46
T24	7.35	1388	29.6	0.38	0.012	1.04
T25	6.53	756	17.6	2.12	0.007	0.91
T29	7.03	539	18.7	4.38	0.01	24.5
T39	7.91	1055	21.2	12.2	0.003	0.63
T41	6.69	406	12.7	7.35	0.002	86
T47	7.29	1153	25	2.55	0.009	0.92
T50	7	1376	7.3	1.52	0.002	0.36
T58	7.42	1304	326	7.83	0.204	10.5
T59	7.21	569	166	1.04	0.1	13
T63	6.91	1789	57.6	0.38	0.024	2.08
T67	7.16	690	33	7.23	0.017	1.76
T77	7.64	1391	6	1.59	0.004	0.47
T79	7.77	431	28.3	0.51	0.012	1.78
T80	6.79	524	9.8	4	0.005	0.42
T90	6.52	1057	5.4	0.38	0.002	0.32
T94	6.94	380	10.4	1.99	0.026	0.56
T95	8.1	467	7.4	16.6	0.003	0.45
T99	7.94	697	4.8	8.93	0.004	0.42
T114	7.27	616	12.6	12.4	0.006	0.85
T122	7.59	363	75.27	18.37	0.069	4.67
T124	7.42	206	27.16	>0.5	0.029	1.72
T125	6.38	167.4	24.22	16.82	0.026	1.51
T130	6.88	244	18.8	>0.5	0.021	0.75
T132	6.95	276	42.01	>0.5	0.064	6.56
T136	7.91	621	14.52	>0.5	0.016	0.75
T138	6.72	385	22.26	>0.5	0.02	1.02
T141	7.18	397	31.34	>0.5	0.044	10.09
T149	6.77	318	10.92	>0.5	0.02	0.75
T150	6.89	829	32.58	>0.5	0.044	2.89
T154	6.44	2144	12.66	>0.5	0.032	0.75
T156	6.49	1020	17.54	>0.5	0.014	0.75
T165	7.34	945	55.47	>0.5	0.06	5.22
T166	6.99	1107	7.91	>0.5	0.017	0.75
T172	7.28	688	38.41	>0.5	0.055	2.35
T174	6.55	1077	13.29	>0.5	0.024	0.75
T175	8.15	1058	6.27	>0.5	0.013	0.75
T178	7.29	698	1.5	>0.5	0.008	0.75
T180	6.58	497	7.55	>0.5	0.013	0.75
T182	6.5	945	23.22	>0.5	0.027	1.76
T186	6.79	421	40.15	>0.5	0.044	1.79
T189	7.58	403	40.91	>0.5	0.057	3.82
T192	-	-	5.06	>0.5	0.031	0.75
T194	-	-	13.91	>0.5	0.046	0.75
T197	-	-	31	>0.5	0.047	1.76
T199	6.55	1077	14.85	>0.5	0.046	3.87

T200	6.47	933	54.01	>0.5	0.082	11.02
T201	6.5	945	8.86	>0.5	0.041	1.32
T202	6.49	1020	9.76	>0.5	0.079	1.13
T203	6.52	1057	17.33	>0.5	0.095	2.37
T204	6.53	756	29.83	>0.5	0.065	1.98
T205	6.44	2144	16.68	>0.5	0.092	2.91
Max	8.15	2144	444	18.37	0.204	86
Min	6.38	2.73	1.5	0.38	0.002	0.25
Average	7.02	808.11	36.56	6.68	0.032	4.09

## کتابنگاری

- آقاباتی س،ع (۱۳۸۹)، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- استاندارداری یزد (۱۳۸۶)، سند توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی شهرستان تفت، استاندارد یزد.
- حاج ملاعلی، ع، علوی نائینی (۱۳۷۱)، نقشه خضرآباد. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران.
- حاج ملاعلی، ع، مجیدی فرد، م (۱۳۷۹)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ یزد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران.
- درویش زاده، ع (۱۳۸۴)، زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۹۰۲ صفحه.
- ناوی پ، فرودی م، مهشادنیاف، عسگر زاده م (۱۳۸۶)، گزارش زمین‌شناسی پزشکی آرسنیک، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران.

## References

- Ahmed KM (1999) A review of available geochemical data and their implications to the origin of arsenic in Bangladesh groundwater. Seminar on groundwater arsenic contamination in the Bengal Delta Plains of Bangladesh. University of Dhaka, Bangladesh, 24 p
- Akter K, Naidu R (2006) Arsenic speciation in the environment. In: Naidu R, Smith E, Owens G, Bhattacharya P, Nadebaum P (eds) Managing arsenic in the environment: from soil to the human health. CSIRO Publishing, Collingwood, VIC, pp 59–71
- Aras K, Ataman O, (2006) "Trace Element Analysis of Food and Diet" The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, p344.
- Bissen M, Frimmel F (2003) Arsenic – A review: Part I. Occurrences, toxicity, speciation, and mobility. Acta Hydrochim Hydrobiol 31:9–18
- BGS (2001) Arsenic consumption of groundwater in Bangladesh, vol 2: Final report. British Geol Sur Techn Rep WC/00/19.
- Bhattacharya P, Chatterjee D, Jacks G (1996) Options to safeguard groundwater from arseniferous aquifers in West Bengal, In: Pickford J, House S, Miles D, Ockelford J, Parr J, Saywell D, Skinner B, Smoutnd I, Stear (eds) Proc 22<sup>nd</sup> WEDO Conf, New Delhi, pp 258–261
- Bhattacharya P, Chatterjee D, Jacks G (1997) Occurrence of arsenic contaminated groundwater in alluvial aquifers from Delta Plains, Eastern India: Options for safe drinking supply. Intern J Water Res Manag 13:79–92
- Bhattacharya P, Mukherjee AR (2002) Management of arsenic contaminated groundwater in the Bengal Delta Plain. In: Chattewrji M, Arlosoroff S, Guha G (eds) Conflict management of water resources. Ashgate Publ Comp, Aldershot, Hampshire, pp 308–348
- Bhattacharya P, Frisbie SH, Smith E, Naidu R, Jacks G, Sarkar B (2002a) Arsenic in the environment: A global perspective. In: Sarkar B (ed) Handbook of heavy metals in the environment. Marcel Dekker, New York, pp 147–215
- Bhattacharya P, Jacks G, Ahmed KM, Khan AA, Routh J (2002b) Arsenic in groundwater of the Bengal Delta Plain aquifers in Bangladesh. Bull Environ Cont Toxicol 69:538–545.
- Burgess W, Ahmed KM (2006) Arsenic in aquifers of the Bengal Basin. In: Naidu R, Smith E, Owens G, Bhattacharya P, Nadebaum P (eds) Managing arsenic in the environment: from soil to the human health, CSIRO Publ, Collingwood, Vic, pp 31–56.
- Dissanayake CB, Chandrajith R (2009) Introduction to Medical Geology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p297.
- Guha Mazumder DN, Gupta JD, Chakravorty AK, Chatterjee A, Das D, Chakraborti D (1992) Environmental pollution and chronic arsenicosis in South Calcutta. Bull WHO 70, pp 481–485
- IARC, 2004. Some drinking-water didinfectants and contaminants, including Arsenic. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. IARC press, Lyon. pp. 512
- Kabata-Pendias A, Mukherjee A, 2007, Trace elements from soil to human. Springer Berlin Heidelberg New York. pp. 550.
- Lindberg A, 2007. Factor influencing the metabolism of inorganic Arsenic in humans, Institute of environmental medicine(karolinska), Stockholm, Sweden
- Nordstrom DK (2000) An overview of arsenic mass-poisoning in Bangladesh, and West Bengal, India. In: Young C (ed) Minor elements 2000: Arsenic, Antimony, Selenium, Tellurium and Bismuth. Soc Mining Metallurgy and Exploration, pp 21–30
- NRC, 1999. Arsenic in drinking water. National Academy press, Washington Dc. pp. 310.
- NRC, 2001. Arsenic in drinking water, 2001 update. National Academy press, Washington Dc. pp. 225.
- Routh J, Bhattacharya P, Jacks G, Ahmed KM, Khan AA, Rahman MM (2000) Arsenic geochemistry of Tala groundwater and sediments from Satkhira District, Bangladesh. Eos Trans Amer Geophy Union 81:550
- Smedley P L, Kinniburgh DG (2002) A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry, Vol.17 ,517–568
- Smith AH, Lingas EO, Rahman M (2000) Contamination of drinking water by arsenic in Bangladesh: a public health emergence. Bull WHO 78:1093–1103
- US EPA, (2011). Drinking water standards and health advisories US Environmental Protection Agency, Office of water, 820-R-11-002, Washington, D.C.
- World Health Organization( 2011)Guidelines for Drinking-water Quality, fourth edition, Geneva, World Health Organization.