

# تعیین منشأ و پراکندگی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی دشت راین (جنوب خاور کرمان) با استفاده از تکنیک‌های آماری

یلدا نظری<sup>۱\*</sup> و احمد عباس نژاد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۳۰

## چکیده

دشت راین با گستردگی حدود ۱۹۰۰ کیلومتر مربع بخشی از حوزه آبریز کویر لوت به‌شمار می‌آید که در حاشیه جنوب باختری کویر لوت و دامنه خاوری کوه هزار و به فاصله حدود ۱۱۰ کیلومتری جنوب خاوری کرمان قرار گرفته است. این منطقه از در محدوده ۱۳°، ۵۷' تا ۵۴°، ۵۷' طول خاوری و ۲۳'، ۲۹° تا ۲۹°، ۵۲' عرض شمالی قرار دارد. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا حدود ۲۶۰۰ متر است. با توجه به قرارگیری منطقه در مجاورت کمر بند آتشفشانی ارومیه-دختر و نقش فوران‌ها و سنگ‌های آتشفشانی و فعالیت‌های گرمایی در تمرکز آرسنیک و اهمیت این عنصر در محیط زیست، مطالعه روی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی دشت انجام گرفت. در این مطالعه به‌منظور ارزیابی پراکندگی و منشأ آرسنیک، از ۲۹ منبع آب زیرزمینی (چشمه، قنات و چاه) نمونه‌برداری شد و غلظت As، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی (Na<sup>+</sup>، K<sup>+</sup>، Ca<sup>2+</sup>، Mg<sup>2+</sup>، Cl<sup>-</sup>، SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>، HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)، فلوراید، نترات و پارامترهای EC، TDS، قلیائیت و سختی کل در نمونه‌های آب تعیین شد. بر پایه این داده‌ها، نقشه هم‌غلظت و نمودار همبستگی رسم شدند و سپس با روش‌های آزمون مؤلفه اصلی (PCA) و تجزیه خوشه‌ای (CA) مورد تجزیه و تحلیل‌های آماری قرار گرفتند. تغییرات غلظت آرسنیک در منطقه میان ۰/۱ ppb تا ۲۰۴/۸ ppb با میانگین ۲۰/۹۶ ppb است. بر پایه تجزیه و تحلیل آماری، آرسنیک در منطقه با pH همبستگی مثبت نشان می‌دهد. دو عامل اصلی تریق آب‌های گرمایی به سفره آب زیرزمینی و واجدیی از اکسید و هیدرواکسیدهای آهن به عنوان عوامل افزایش غلظت آرسنیک در این دشت معرفی می‌شوند.

**کلید واژه‌ها:** آرسنیک، آب زیرزمینی، دشت راین، کمر بند آتشفشانی ارومیه-دختر

\*نویسنده مسئول: یلدا نظری

E-mail: yalda.nazari20@gmail.com

## ۱- پیش‌گفتار

غیرآلی است (Liu et al., 2003). مصرف طولانی مدت آن سبب بیماری پوستی شامل هیپرکراتوزیس (hyperkeratosis)، بیماری بلک فوت (blackfoot) و ایسکمی میوکارد (myocardial ischemia)، فشارخون، دیابت و اختلال عملکرد کبد و ممکن است سبب سرطان ریه، مثانه، کبد، کلیه و پوست شود (Luu et al., 2009; Yu et al., 2006; Bissen & Frimmel, 2003). ترکیبات آرسنیک می‌توانند منجر به جهش ژنتیکی و آسیب DNA گردند (Merian et al., 2004). سازمان بهداشت جهانی (WHO) (World Health Organization) و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (United State Environmental Protection Agency (US EPA)) مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی را ۱۰ میکروگرم بر لیتر مشخص کرده‌اند (Baig, et al., 2010). بر پایه استاندارد ملی ایران (۱۳۸۸) نیز حد مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی ۱۰ میکروگرم بر لیتر است.

As از طریق فرایندهای طبیعی و یا انسان‌زاد وارد محیط می‌شود. اصلی‌ترین منابع طبیعی آن فعالیت آتشفشانی، ژئوترمال و فرایندهای طبیعی دیگر مثل انحلال کانی‌هاست. فعالیت‌های انسانی شامل دفن پسماندهای خطرناک صنعتی، ذوب و خالص کردن مواد معدنی دارای آرسنیک، احتراق زغال سنگ، برداشت آب زیرزمینی، استفاده از ترکیبات آرسنیک در بسیاری از محصولات به‌ویژه در چند صد سال گذشته مثل استفاده از آفت‌کش‌های آرسنیک‌دار در کشاورزی و حفاظت از جنگل نیز سبب آزاد شدن آرسنیک به محیط زیست می‌شوند (Appelo, 2006; Nikolaidisa et al., 2004; Bissen & Frimmel, 2003). زیرزمینی غنی از آرسنیک ممکن است در مناطق فعال آتشفشانی، آب‌های گرمایی، سنگ‌های رسوبی (به‌ویژه تراورتن‌ها و شیل‌های تیره)، خاک‌های با تمرکز بالای سولفیدها مثل آرسنوپیریت، خاک‌های کشاورزی که به دلیل استفاده از علف‌کش

آرسنیک یک شبه فلز سمی و سرطان‌زاست که به‌طور گسترده در محیط زیست پراکنده شده است و رتبه بیستم فراوانی عناصر در پوسته زمین با میانگین ۱/۸ mgk<sup>-1</sup> را دارد (Henke, 2009). این عنصر در طبیعت به‌حالت‌های اکسایش As(V) (آرسنات)، As(III) (آرسنیت)، As(0) (آرسنیک عنصری) و آرسین As(III) دیده می‌شود (Bissen & Frimmel, 2003). آرسنیک به‌فرم ترکیبات آلی و غیرآلی وجود دارد و ترکیبات غیرآلی آن سمی‌تر و متحرک‌تر از گونه‌های آلی هستند (Dopp et al., 2005). در محیط آبی، گونه‌های معدنی As<sup>3+</sup> (در شرایط احیایی) و As<sup>5+</sup> (در شرایط اکسیدی) و شکل‌های آلی (ترکیبات متیل و دی‌متیل آرسنیک) حضور دارند (Baig et al., 2010; Bissen & Frimmel, 2003). As در محدوده pH آب‌های طبیعی (۵/۵-۸/۵) و در دو وضعیت اکسیدی و احیایی نسبتاً متحرک است (Smedley & Kinniburgh, 2005). آرسنات (As(V))، گونه رایج در آب‌های سطحی و آرسنیت (As(III))، گونه رایج‌تر در آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در انواع احیایی است (Khandaker et al., 2009).

بسیاری از ترکیبات آرسنیک سمی است و سبب مسمومیت حاد و مزمن در انسان می‌شوند. آرسین (AsH<sub>3</sub>) سمی‌تر از آرسنیت (AsO<sub>3</sub><sup>3-</sup>) است و ترکیبات آرسنات (AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) نسبت به آرسنیت سمیت کمتر و قابلیت جذب بیشتری دارند. در نتیجه در محیط آب، آرسنیت بیشتر به حالت محلول است که این امر منجر به افزایش آرسنیک در شرایط احیایی در آب زیرزمینی می‌شود (Weltch & Stollenwerk, 2003; Luu et al., 2009). سمناکی آرسنیک به ترتیب زیر است:

گونه‌های غیرآلی (As(III) < گونه‌های آلی (As(III) < گونه‌های غیرآلی (As(V) < گونه‌های آلی (As(V) آرسنیک عنصری. آرسنیت ۶۰ بار سمی‌تر از آرسنات است (Akter & Ali, 2011).  
منبع اصلی دریافت آرسنیک توسط انسان، آشامیدن آب دارای آرسنیک

خاوری کوه هزار و به فاصله حدود ۱۱۰ کیلومتری جنوب خاوری کرمان قرار دارد (شکل ۱). این محدوده از نظر جغرافیایی در مختصات ۱۳°، ۵۷' تا ۵۴'، ۵۷° طول خاوری و ۲۳'، ۲۹° تا ۵۲'، ۲۹° عرض شمالی قرار دارد. حدود ۴۴ درصد از گسترده‌گی محدوده مطالعاتی را آبرفت و بقیه را نواحی کوهستانی و کوهپایه‌ای تشکیل می‌دهند (شه‌ریاری، ۱۳۸۶). کشیدگی حوضه در امتداد تقریبی جنوب خاوری- شمال باختری است و دشت آبرفتی نیز در همین سو کشیدگی پیدا کرده است. شیب دشت حدود ۳ در هزار به طرف جنوب خاوری است. این دشت توسط کوهستان‌هایی متشکل از سنگ‌های آذرین، آهکی، ماسه سنگی و دیگر سنگ‌های رسوبی احاطه شده‌است. آبرفت‌هایی که از تخریب این کوه‌ها حاصل و توسط سیلاب‌ها حمل و ته‌نشین شده سطح دشت را می‌پوشانند. آبخوان دشت از نوع آزاد است. ستبرای لایه آبدار در منطقه راین حدود ۱۵۰ متر و ژرفای برخورد به سطح آب زیرزمینی میان ۱۵ تا ۸۰ متر متغیر است. ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا حدود ۲۶۰۰ متر است. در بخش شمال باختری دشت، دانه‌بندی رسوبات در حد شن، قله و سنگ و ماسه است، در بخش میانی و نیمه جنوب خاوری دانه‌بندی مواد آبرفتی ریزتر شده و در جنوب دشت مواد آبرفتی ترکیبی از مواد دانه‌ریز و درشت دارند و در شمال خاور آن رسوبات به‌طور عمده شامل شن، ریگ، قله و مقداری سیلت و رس هستند (سازمان آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۸۲). به‌علت رسوب‌گذاری در شرایط قاره‌ای و محیط با آب و هوای خشک، این رسوبات که سفره آب زیرزمینی این دشت را تشکیل می‌دهند تقریباً فاقد مواد آلی هستند. با توجه به فقدان مواد آلی، درشت بودن آبرفت و کوچک بودن ابعاد سفره، شرایط آب زیرزمینی اکسایشی بوده و وضعیت احیا بعید به‌نظر می‌رسد. اگرچه به‌علت نبود امکانات، این آب‌ها سنجیده نشده‌است.

## ۲-۲. زمین‌شناسی

محدوده مطالعاتی راین از نظر زمین‌شناسی جزو زون ایران مرکزی طبقه‌بندی شده و در پایان بخش خاوری و جنوب خاوری آن، در مجاورت بلوک لوت قرار دارد (شکل ۱). سازندها و واحدهای زمین‌شناسی که در ارتفاعات و دشت این محدوده رخنمون دارند متعلق به دوران‌های مزوزویک و سنوزویک هستند. سازندها و واحدهای زمین‌شناسی متعلق به مزوزویک شامل سازندهای شمشک و بادامو و رسوبات آهکی و ماسه‌سنگی کرتاسه است و غالباً از سنگ‌هایی نظیر ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ، مارن، دولومیت، آهک و کنگلومرا تشکیل شده‌اند. سنگ‌های سنوزویک ترکیبی از سنگ‌های رسوبی، آذرین و آذرین آواری هستند که به‌طور پراکنده در سطح دشت و ارتفاعات گسترش دارند. بخشی از سطح ارتفاعات و به‌ویژه حاشیه ارتفاعات، از سنگ‌های آذرین بازی تا نیمه بازی، آندزیت، بازالت، تراکی آندزیت و ریولیت‌های انوسن و سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ و میکروکنگلومرای نئوژن پوشیده شده‌است. سنگ کف آبخوان آبرفتی دشت راین از جنس رسوبات گچ و مارنی نئوژن است که در کیفیت آب منطقه نقش مهمی دارد. بخشی از رسوبات سنوزویک را رسوبات آبرفتی تشکیل می‌دهند که سطح دشت راین و بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها را در دره‌های ارتفاعات می‌پوشانند. این رسوبات شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، جدید و رسوبات رودخانه‌ای است (Dimitrijevic et al., 1973)؛ سازمان آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۸۲). مهم‌ترین معادن در حال بهره‌برداری در منطقه، معدن سنگ مرمر در دامنه کوه هزار است که حاصل فعالیت چشمه‌های تراورتن‌ساز است و بنابراین می‌تواند سبب بالا رفتن غلظت آرسنیک در آب زیرزمینی منطقه گردند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۱)، سنگ‌های آتشفشانی واقع در جنوب دشت که دارای کانی‌های گوگرد هستند و و شیل‌های ژوراسیک در شمال منطقه می‌توانند منبع طبیعی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی باشند.

## ۲-۳. نمونه برداری

نمونه‌برداری در اواخر شهریور ۱۳۹۰ طی سه روز از ۲۹ منبع آب زیرزمینی در

و آفت کش آرسنیک‌دار دارای مقدار زیادی آرسنیک هستند و مناطق معدنی غنی از آرسنیک به‌ویژه زون‌های کانسار سولفیدی و مناطق با فعالیت معدن کاری یافت شود (Smedley & Kinniburgh, 2005). در کل چهار فرایند در آزادسازی آرسنیک به‌سفره‌های آب زیرزمینی نقش دارند؛ نخست انحلال احیایی است، در این مکانیسم، واجذبی آرسنیک در pH نزدیک به خنثی از کانی‌های اکسیدی و انحلال احیایی اکسیدهای Fe (III) و Mn (IV) منجر به آزاد شدن آرسنیک به درون آبخوان می‌شود (Petrini et al., 2010). دوم واجذبی قلیایی است، در  $pH > 8$  واجذبی آرسنیک از اکسیدهای فلزی به‌ویژه آهن و منگنز می‌تواند سبب افزایش غلظت آرسنیک در آب زیرزمینی شود (Chouhan & Flora, 2010). سوم اکسایش کانی‌های سولفیدی است، آرسنیک یک عنصر کالکوفیل است و با کانی‌های سولفیدی مثل پیریت و آرسنوپیریت همراه است. بنابراین اکسایش کانی‌های سولفیدی سبب آزادسازی آرسنیک به آب زیرزمینی می‌شود (Smedley & Kinniburgh, 2005). چهارم فعالیت ژئوترمال است، اختلاط محلول‌های ژئوترمال و آب زیرزمینی می‌تواند منجر به افزایش غلظت آن شود (Chouhan & Flora, 2010).

در حال حاضر حدود ۶۰ درصد آب آشامیدنی جهان و ۷۷/۸ درصد مصارف شرب در ایران از آب زیرزمینی تأمین می‌شود (عسکری و همکاران، ۱۳۸۹؛ فاتحی مرج و همکاران، ۱۳۹۰). آرسنیک با منشأ زمین‌شناسی و منبع غیر نقطه‌ای اکنون به‌عنوان جدی‌ترین آلاینده در آب‌های زیرزمینی جهان در نظر گرفته می‌شود (Mukherjee et al., 2008). غلظت بالای آرسنیک در آب‌های زیرزمینی بسیاری مناطق در سراسر جهان از جمله در جنوب خاور آسیا (بنگلادش، ویتنام، باختر هند- بنگال، نپال، چین، تایلند، پاکستان، تایوان)، آمریکای جنوبی و مرکزی (آرژانتین، شیلی، مکزیک) و آمریکای شمالی (امریکا و کانادا)، اروپا (مجارستان، رومانی، ایتالیا، یونان، اسپانیا، آلمان و فنلاند) و استرالیا گزارش شده است (Kouras et al., 2007). آلودگی آرسنیک در آب زیرزمینی در دلتای بنگال (بنگلادش و باختر بنگال و هند) نسبت به دیگر نقاط شدیدتر است (Gurung et al., 2007).

در ایران مواردی از آلودگی در استان‌های خراسان، کردستان، آذربایجان شرقی و غربی گزارش شده است ولی مطالعات جامعی در این زمینه صورت نگرفته است و با پیش‌هایی که هر ساله صورت می‌گیرد بر تعداد روستاها و مناطق آلوده به آرسنیک افزوده می‌شود. برای نمونه می‌توان به بررسی میزان آرسنیک در منابع آب شرب شهرستان هشتروند آذربایجان شرقی (مسافری و همکاران، ۱۳۸۷)، بررسی آرسنیک در آب آشامیدنی استان آذربایجان شرقی (حسین پورفیضی و همکاران، ۱۳۸۸) و مطالعه زمین‌شناسی پزشکی و منشأ آرسنیک در کمربند سندج- سیرجان شمالی (کشاورزی، ۱۳۹۰) اشاره کرد.

دشت راین در مجاورت کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر قرار دارد و با توجه به نقش قابل توجه سنگ‌های آتشفشانی و فعالیت گرمایی مربوط در تمرکز آرسنیک در سفره‌های آب زیرزمینی انتظار می‌رفت غلظت آرسنیک در این دشت همچون دشت‌های مشابه نظیر دشت رفسنجان- انار (دهقانی، ۱۳۸۸؛ خواجه‌پور، ۱۳۸۸) و (ابراهیمی، ۱۳۸۹) و بردسیر (میرزائی، ۱۳۹۰) بالاتر از حد مجاز ۱۰ میکروگرم بر لیتر باشد. بنابراین در این مطالعه با استفاده از روش‌های آماری منشأ و پراکندگی آرسنیک مورد مطالعه قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱. موقعیت محدوده

دشت راین با گسترده‌گی حدود ۱۹۰۰ کیلومتر مربع بخشی از حوزه آبریز کویر لوت از حوضه‌های ۳۰ گانه کشور و جزو حوزه آبریز فلات مرکزی از حوضه‌های ۶ گانه اصلی کشور به‌شمار می‌آید که در حاشیه جنوب باختری کویر لوت و دامنه

است. نمونه شماره ۲ با درجه حرارت ۳۲ دارای حداکثر درجه حرارت است. در ۶۲ درصد از نمونه‌ها سختی کل بالاتر از حد مجاز است. به طرف محل تخلیه و با افزایش فاصله از محل تغذیه، سختی کل (TH) افزایش می‌یابد. میانگین EC در منطقه ۳۳۰۰ میکروموس بر سانتی متر است. EC از شمال باختر به جنوب خاور در سوی جریان آب زیرزمینی روند افزایشی داشته که علت آن را می‌توان به دانه ریز شدن رسوبات، افزایش سطح تماس و تبادل یونی، افزایش فاصله تا محل تغذیه، کم شدن سرعت جریان آب زیرزمینی و سنگ کف آبخوان که از رسوبات نئوژن و از جنس مارن و گچ است نسبت داد.

در ۳۱ درصد از نمونه‌ها TDS بیش از حد مجاز است. ۲۷/۶ درصد نیز دارای شوری خیلی بالایی است. در سوی جریان آب زیرزمینی از شمال باختر به جنوب خاور، به علت دانه‌ریز شدن رسوبات، کاهش سرعت آب زیرزمینی، افزایش تماس رسوبات با آب و تبادل یونی، میزان شوری، EC، TDS، TH،  $Na^+$ ،  $SO_4^{2-}$  و  $Mg^{2+}$  روند افزایشی دارند. در تمام نمونه‌ها غلظت نیترات کمتر از حد مجاز (۵۰ میلی گرم بر لیتر) است. غلظت فلورید نیز در همه نمونه‌ها کمتر از حداقل مجاز (۰/۵ میلی گرم بر لیتر) است که عامل آن را می‌توان احتمالاً به بالا بودن کلسیم و تشکیل رسوب به‌شدت نامحلول فلوئورید کلسیم فلوریت ( $CaF_2$ ) نسبت داد (Vikas et al., 2009; Daessle et al., 2008).

۲۴ درصد از نمونه‌ها که در میانه دشت قرار دارند دارای pH میان ۶ و ۶/۵ هستند که این امر به تأثیر گسل فعال موجود در میانه دشت و تزریق گاز  $CO_2$  به لایه‌های آبدار نسبت داده می‌شود (عباس نژاد و داستان پور، ۱۳۷۷).

از میان ۲۹ نمونه آب برداشت شده، ۲۲ نمونه از چاه و ۵ نمونه از قنات و ۱ نمونه از چشمه برداشت شد. میانگین آرسنیک در نمونه‌های چاه ۱۶/۱۲، در نمونه‌های قنات نیز ۴۵/۰۲ و در تنها چشمه نمونه‌برداری شده نیز ۲۰/۶۰ میکروگرم بر لیتر است. نقشه هم‌غلظت آرسنیک در سطح دشت در شکل ۳ نشان داده شده است. غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه میان ۰/۱ تا ۲۰۴/۸ میکروگرم بر لیتر یا میانگین ۲۰/۹ میکروگرم بر لیتر تغییر می‌کند (جدول ۱). از ۲۹ نمونه تجزیه شده، در ۹ نمونه (۳۱ درصد از نمونه‌ها) آرسنیک بیش از حد مجاز (۱۰ میکروگرم بر لیتر) است (شکل ۴).

بر پایه نمودار جعبه‌ای و فراوانی، پراکندگی آرسنیک در منطقه غیرنرمال است. (شکل ۵). نمودار جعبه‌ای (Box plot) نمایش رسمی و دقیق برای خلاصه کردن پراکندگی یک سری داده است. در این نمودار مقادیر غیرعادی، چولگی و پرت نشان داده می‌شود (اسلامیان و همکاران، ۱۳۸۴).

بیشترین مقدار آرسنیک مربوط به نمونه ۴۰، قناتی واقع در جنوب شهر راین است. تیپ آب این نمونه بی‌کربنات سدیک و دارای pH بالا (۸/۶) است. بنابراین علت بالا بودن آرسنیک در این نمونه را می‌توان واجدیی از اکسید و هیدرواکسیدهای آهن آبخوان آبرفتی به‌علت بالا بودن pH عنوان کرد. گونه‌های آرسنات در pH نزدیک به خنثی به‌شدت جذب سطح هیدرواکسید آهن می‌شوند و با افزایش pH، جذب سطحی آرسنیک کاهش یافته و بنابراین آزاد و وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود (مر و همکاران، ۱۳۹۰; Appelo, 2006; Khandaker et al., 2009). نمونه ۲ مربوط به چشمه نیمه آبگرم تراورتن ساز است. این نمونه دارای آرسنیک بالا (۹۲/۶ میکروگرم بر لیتر) بوده که با توجه به دما (۳۲ درجه سانتی گراد)، pH اسیدی (۶) و تراورتن‌سازی، فعالیت گرمایی می‌تواند دلیل غلظت بالای آرسنیک در این نمونه است. نمونه ۱۳ واقع در روستای حجت‌آباد (تلمبه فتح المبین) دارای ۳۲/۶ میکروگرم بر لیتر آرسنیک و pH برابر ۷/۴ است. غلظت آرسنیک در نمونه ۱ که مربوط به چاه آب شرب روستای قصر فلنج و روستاهای اطراف می‌باشد، بالا است (۵۴/۷ میکروگرم بر لیتر). غلظت آرسنیک در نمونه‌های ۱۲ و ۲۵ نیز واقع در روستای قصرمیان به ترتیب ۲۶/۲ و ۲۸/۲ است. pH در نمونه‌های ۱۲ و ۲۵ به ترتیب ۷/۴ و ۷/۳ است.

محدوده مورد مطالعه انجام پذیرفت. برای نمونه‌برداری از آب چاه، ابتدا پمپ به مدت ۱۵ دقیقه روشن بود تا اطمینان حاصل شود که آب خروجی مستقیماً از سفره آب بیرون می‌آید و آب‌های راکد که احتمالاً ممکن است تغییراتی در کیفیت آنها صورت گرفته باشد از چاه خارج شوند. برای نمونه‌برداری از قنات نیز از مادر چاه نمونه‌برداری به عمل آمد. ظروف نمونه‌برداری از جنس پلاستیک شفاف بودند و در هنگام نمونه‌برداری ۳ مرتبه با آب نمونه مورد نظر شستشو داده شدند. برای هر نقطه دو ظرف یک لیتری آب یکی برای اندازه‌گیری آنیون و کاتیون‌های اصلی و دیگری برای تعیین غلظت آرسنیک برداشته شد. برای جلوگیری از رسوب کردن آرسنیک در فاصله حمل به آزمایشگاه، جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها، سنجش دستگاهی و به حداقل رساندن جذب سطحی با اضافه کردن اسید نیتریک غلیظ، pH نمونه‌های مربوط به تعیین آرسنیک به کمتر از ۲ رسید. برای نگهداری نمونه‌های تهیه شده برای تجزیه کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و جلوگیری از تغییر غلظت آنیون‌ها به‌ویژه نیترات و کاتیون‌ها در اثر فعالیت باکتری‌ها و پلانکتون‌ها، نمونه‌ها تا رسیدن به آزمایشگاه در مکانی خنک و دور از نور قرار داده و در فاصله ۲۴ ساعت به آزمایشگاه حمل شدند. در هنگام نمونه‌برداری پارامترهای دما، pH، وضعیت ظاهری نمونه مانند زلال و کدر بودن و موقعیت جغرافیایی با استفاده از GPS تعیین و تاریخ نمونه برداری، محل چاه، نوع مصرف آب، کد چاه، نام مالک چاه و ویژه‌گی‌های لازم دیگر یادداشت شد. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ آورده شده است. از دو نمونه برداشت شده در محل، یک نمونه برای تجزیه کاتیون و آنیون‌های اصلی به آزمایشگاه آب و فاضلاب روستایی کرمان و یک نمونه برای تجزیه آرسنیک به آزمایشگاه مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی ماهان کرمان ارسال شد. کاتیون‌های پتاسیم و سدیم به روش نوسنج شعله‌ای، سختی کل و کلیتیت، کلراید، بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون (حجم سنجی)، هدایت الکتریکی به روش ولتامتری الکتروود (EC متر)، فلوراید، نیترات و سولفات به روش فتومتری و آرسنیک با روش طیف سنج جذب اتمی (با حد تشخیص ۰/۱ میکروگرم بر لیتر بر پایه نتایج اعلام شده توسط آزمایشگاه) تعیین شدند.

با استفاده از روش درون‌یابی (Inverse distance weighting IDW) نقشه هم‌غلظت آرسنیک در نرم افزار Arc GIS 9.3 رسم شد. سپس با کمک نرم‌افزار PASW Statistics 18 شاخص‌های پراکندگی آماری (میانگین، انحراف معیار و غیره) و ضریب همبستگی میان پارامترهای هیدروژئوشیمیایی تعیین و برای بررسی پراکندگی و همبستگی آرسنیک با دیگر متغیرها، نمودارهای فراوانی، جعبه‌ای و پراکنش رسم شدند. نمودار غنی‌شدگی و تهی‌شدگی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه نیز رسم شد. برای یافتن روابط میان آرسنیک با پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده و عوامل تعیین‌کننده کیفیت آب در نمونه‌های آب از روش‌های چند متغیره آزمون مؤلفه اصلی (PCA: Principal Component Analysis) و تجزیه خوشه‌ای (CA: Cluster Analysis) استفاده شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱. پارامترهای فیزیکوشیمیایی

خلاصه‌ای از داده‌های آماری برای هر پارامتر فیزیکوشیمیایی در آب زیرزمینی در جدول ۱ آمده است. کاتیون‌های اصلی بر پایه فراوانی در منطقه عبارتند از  $K^+ > Mg^{2+} > Na^+ > Ca^{2+}$  و آنیون‌های اصلی نیز عبارتند از  $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$ . برای تعیین تیپ آب در نمونه‌های آب با توجه به کاتیون و آنیون اصلی از دی‌گرام پایپر رسم شد (شکل ۲). تیپ آب زیرزمینی بر پایه یون‌های چیره در نمونه‌های واقع در ابتدای دشت بی‌کربناتی کلسیک، در میانه دشت بی‌کربناتی سدیک و سولفات‌ی در پایان دشت کلرور سدیک است.

دمای نمونه‌های آب در محل تغذیه (جنوب باختر دشت) سردتر از محل تخلیه

پنهان موجود در داده‌ها در این آزمون قابل تشخیص هستند بنابراین در بررسی ارتباط میان متغیرها به‌طور گسترده استفاده می‌شود. در PCA مؤلفه‌های جدید هر کدام دارای یک ویژه مقدار (eigenvalue) هستند. برپایه شاخص کایزر (Kaiser criterion) تنها ویژه مقداری که بیش از یک باشد دارای اهمیت است. هر کدام از متغیرهای اولیه در این آزمون دارای یک مقدار ارزش عددی (factor loading) در هر کدام از مؤلفه‌های جدید است که مقدار ارزش عددی کمتر از ۰/۵ غالباً بی‌اهمیت در نظر گرفته می‌شود. مقدار ارزش عددی بیش از ۰/۷۵ برای تفسیر بسیار خوب، میان ۰/۷۵-۰/۵ متوسط و دارای اهمیت و کمتر از ۰/۳ برای تفسیر ضعیف و نامناسب است (Ebrahimzadeh et al., 2011; Liu et al., 2003). به‌منظور یافتن فاکتور اصلی یا فرایندهای مسئول شیمی آب زیرزمینی به‌ویژه آرسنیک در منطقه مورد مطالعه از این روش استفاده شده است. واری مکس چرخشی (Varimax rotation) که در این مطالعه از آن استفاده شده است عمومی‌ترین نوع PCA است که مؤلفه‌های قابل تفسیر بیشتری ارائه می‌دهد. در روش واری مکس چرخشی میزان واریانس میان متغیرهای اولیه افزایش یافته و تغییرات میان متغیرها با جزئیات بیشتر نشان داده می‌شود و مؤلفه‌های نامعتبر حذف می‌گردند. نتیجه PCA برای متغیرهای اندازه‌گیری شده موجود در نمونه‌های آب زیرزمینی در جدول ۳ نشان داده شده است.

متغیرها در چهار مؤلفه که جمعاً ۸۶ درصد از واریانس کل را نشان می‌دهند قرار گرفتند. چهار مؤلفه با چهار ارزش عددی متفاوت نشان دادند که چهار عامل در تعیین ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی منطقه درگیر هستند.

مؤلفه یا فاکتور اول، ۴۴/۶ درصد از واریانس کل را شامل می‌شود. ارتباط مثبت و قوی میان متغیرهای  $Na^+$ ،  $Cl^-$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ، EC، TDS،  $TH$ ،  $K^+$  و  $SO_4^{2-}$  در این مؤلفه مشخص است. این پارامترها کاتیون و آنیون‌های اصلی آب هستند که نشانگر کیفیت آب منطقه هستند. فاکتور یک ممکن است برهم کنش سنگ-آب و هوازدگی کانی‌های تبخیری را نشان دهد. پارامترهای فیزیکی و کاتیون و آنیون‌های اصلی دارای منشأ طبیعی و رفتار ژئوشیمیایی یکسانی در نمونه‌های آب زیرزمینی هستند. مؤلفه یا فاکتور دوم، ۲۴/۴ درصد از واریانس کل را نشان می‌دهد. قلیائیت و بی‌کربنات رابطه مستقیم و مقدار ارزش عددی منفی بالا دارند. مقدار ارزش عددی pH و  $NO_3^-$  در این مؤلفه مثبت و با این دو رابطه عکس نشان می‌دهند. افزایش فشار بخشی  $CO_2$  در نتیجه فعالیت گسلی منطقه و انحلال این گاز در لایه آب‌دار منجر به انحلال سنگ آهک و کانی‌های فلدسپار موجود در آبرفت‌های تشکیل‌دهنده سفره و افزایش غلظت  $Ca^{2+}$  و بی‌کربنات و در نتیجه قلیائیت می‌شود (Norton et al., 2009). مر و همکاران، (۱۳۹۰).

مؤلفه یا فاکتور سوم، ۸/۹ درصد از واریانس کل را نشان می‌دهد. آرسنیک با ارزش عددی مثبت بالا در این مؤلفه قرار می‌گیرد. نیترات نیز با ارزش عددی منفی همراه با آرسنیک در این گروه قرار می‌گیرد. البته نیترات نسبت به دیگر متغیرها دارای ویژه مقدار پایینی است و در مؤلفه دوم نیز دارای ارزش عددی بالایی است. بنابراین ممکن است به درستی گروه بندی نشده باشد. آرسنیک نسبت به دیگر متغیرها رفتار ژئوشیمیایی متفاوتی دارد. آرسنیک در محیط قلیایی محلول است و از انحلال احیایی هیدرواکسیدهای آهن و منگنز و اکسایش میکروبی مواد آلی ناشی می‌شود. مقدار بالای آرسنیک در ماسه‌های سیلتی و رسوبات رسی سیلتی که غنی از هیدرواکسیدهای آهن و منگنز، مواد آلی و کانی‌های رسی و بنابراین غنی از آرسنیک هستند، یافت می‌شود که با افزایش pH مقدار آرسنیک محلول در آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. قرارگیری نیترات با آرسنیک در این مؤلفه آن هم با ارتباط عکس می‌تواند درست باشد زیرا در pH نزدیک خنثی و در شرایط احیایی، آرسنیک از هیدرواکسید و اکسیدهای آهن آزاد می‌شود ولی به علت فعالیت باکتری‌ها، نیترات احیا می‌شود. بنابراین منشأ برخی از نمونه‌های آلوده به آرسنیک به‌ویژه اگر چاه عمیق باشد می‌تواند انحلال احیایی باشد (Chitsazan et al., 2008).

است. نمونه ۲۴ واقع در روستای اسماعیل‌آباد با غلظت ۴۵/۶ و pH برابر ۸، نمونه ۲۲ واقع در روستای چیچور با pH برابر ۷/۸ و غلظت ۲۰/۶، از نمونه‌های آلوده به آرسنیک در منطقه هستند که در یک راستا و در سوی جریان آب زیرزمینی (شمال باختر به جنوب خاور) قرار دارند.

این نمونه‌ها دارای pH خنثی تا قلیایی و دارای تپ آب کلرور سدیک است و در رسوبات کواترنری قرار دارند. معادن موجود در جنوب باختر و جنوب این نمونه‌ها از نوع آهک، تراورتن، منگنز و مرمر هستند. در باختر و جنوب باختر آن رخنمون‌هایی از سازند رازک از جنس گدازه‌های ریولیتی، آندزیتی، سنگ‌های آذرآواری و رسوبات تئوزن پرونزد دارد. سنگ‌های آتشفشانی واقع در این کمربند، دارای سولفید هستند (شفیعی، ۱۳۸۷) و آرسنیک به‌عنوان یک شبه فلز کالکوفیل می‌تواند جانشین گوگرد شود و در کانی‌های سولفیدی حضور داشته باشد. به مرور زمان بر اثر هوازدگی و فرسایش این سنگ‌ها آرسنیک وارد دشت آبرفتی می‌شود. به دلیل قرارگیری این نمونه‌های آلوده در سوی جریان آب زیرزمینی، تأثیر عامل زمان تماس با سنگ بستر و اثر اشباع‌شدگی در افزایش میزان آرسنیک در آب می‌تواند مطرح شود. به‌سوی جنوب خاور و در سوی جریان آب، رسوبات دانه‌ریزتر و بیشتر رسی هستند. در این رسوبات دانه ریز، میزان کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن و منگنز بالاست. بنابراین با مساعد شدن شرایط ژئوشیمیایی مثل تغییر Eh و pH آرسنیک می‌تواند از این رسوبات آزاد شود. در صورت ژرف بودن چاه‌ها، شرایط احیایی به‌ویژه در pH نزدیک خنثی می‌تواند سبب آزاد شدن آرسنیک از هیدرواکسیدهای آهن و ورود آن به آب شود (Bissen & Frimmel, 2003; Khandaker et al., 2009).

### ۳-۲- تحلیل آماری

– ضریب همبستگی و نمودار پراکنش: ضریب همبستگی (Correlation Coefficient = r) میزان ارتباط میان دو متغیر پیوسته را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بدون بعد و مقیاس است که میان ۱- و ۱+ تغییر می‌کند. همبستگی نزدیک ۱ و ۱- نشانگر ارتباط خوب میان متغیرها و صفر یعنی رابطه‌ای وجود ندارد (اسلامیان و همکاران، ۱۳۸۴؛ Zaharin Aris et al., 2007). نمودار پراکنش یکی از روش‌های ترسیمی برای تحلیل داده‌ها است که رابطه میان دو متغیر را توصیف می‌کند (اسلامیان و همکاران، ۱۳۸۴). در این مطالعه برای بررسی همبستگی میان پارامترها از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) استفاده شده است (جدول ۲).

پارامترهای  $SO_4^{2-}$ ، EC،  $K^+$ ،  $Na^+$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $Cl^-$ ، TDS و TH همبستگی مثبت شدید با هم نشان می‌دهند. As با هیچ‌کدام از پارامترها همبستگی معنی‌دار و بالایی ندارد و با همه متغیرها همبستگی ضعیف دارد. As با  $K^+$ ، F، T و pH همبستگی مثبت ضعیف و با  $Na^+$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $Cl^-$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $NO_3^-$ ،  $HCO_3^-$ ، EC، TDS، TH و قلیائیت نیز همبستگی منفی ضعیف نشان می‌دهد.

همبستگی منفی با  $NO_3^-$  در منطقه می‌تواند بیانگر شرایط احیایی و در نتیجه انحلال هیدرواکسیدهای آهن و افزایش As باشد. pH نقش مهمی در انحلال آرسنیک در آب زیرزمینی دارد. برای نشان دادن بهتر همبستگی میان آرسنیک و pH، نمودار پراکنش آرسنیک با pH در نمونه‌های آلوده به آرسنیک ( $As < 10 \mu g/lit$ ) رسم شده است. برای این منظور نمونه ۲ به دلیل متفاوت بودن منشأ آرسنیک آن نسبت به دیگر نمونه‌ها، حذف شد. این نمودار ارتباط مثبت آرسنیک با pH را به خوبی نشان می‌دهد (شکل ۶).

– آنالیز مؤلفه اصلی: تجزیه مؤلفه اصلی (Principal Component Analysis) PCA یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که کاربرد گسترده‌ای در تحلیل داده‌های زیست محیطی دارد. PCA برای کاهش داده‌ها و توصیف آنها در یک سیستم چند بعدی با متغیرهای جدید است. در این روش عناصر بر پایه رفتار و ژئوشیمی مشابه گروه‌بندی شده و در یک مؤلفه قرار می‌گیرند. به‌دلیل اینکه فاکتورها و یا مؤلفه‌های

۶ شاخه یا گروه قابل تقسیم هستند. شاخه ۱ (۱۷=۱۴ > ۱۸=۲=۲۸=۳=۵=۴)، شاخه ۲ (۲۰)، شاخه ۳ (۱۶=۲۹)، شاخه ۴ (۶)، شاخه ۵ (۹=۱۵)، شاخه ۶ با زیرشاخه ۶-۱ (۲۱=۲۶=۷=۱۹=۱۰)، زیرشاخه ۶-۲ (۲۳=۱۱=۱)، زیرشاخه ۶-۳ (۱۳=۱۲=۲۴=۲۵=۲۲) و شاخه ۹ (۸).

همان گونه که دیده می شود نمونه های آلوده به آرسنیک ۱، ۱۲، ۱۳، ۲۲، ۲۴ و ۲۵ در یک گروه قرار گرفته اند. نمونه ۱۸ و ۲ نیز در یک گروه و نمونه ۲۰ در یک گروه جدا قرار گرفته است. این سه گروه ممکن است نشانگر سه مکانیسم متفاوت آزادسازی آرسنیک به آب زیرزمینی منطقه هستند که عبارتند از انحلال احیایی، انحلال قلیایی و گرمایی.

#### ۴- نتیجه گیری

مطالعه صورت گرفته نشان از این دارد که به علت عدم وجود فعالیت صنعتی و کاربرد ناچیز کود و آفت کش های دارای آرسنیک و ژرفای قابل ملاحظه آب زیرزمینی، نه تنها منبع آلودگی انسان زاد آرسنیک وجود ندارد بلکه امکان رسیدن آرسنیک از این منابع (اگر وجود داشتند) به سفره آب زیرزمینی کم است. بنابراین منبع آرسنیک آب های زیرزمینی این دشت طبیعی (ژئوژنیک) تصور می شود. وجود ارتفاعات آتشفشانی هزار در جنوب باختر منطقه و تغذیه سفره آب زیرزمینی از کوه های متشکل از سنگ های آتشفشانی سولفیددار از دلایل آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت راین به آرسنیک است. پس از آزاد شدن آرسنیک از کانی های سولفیدی سنگ های آتشفشانی، این عنصر توسط کانی های رسی، اکسید و هیدرواکسیدهای آهن و آلومینیوم جذب شده و با افزایش pH (بیش از ۸)، آرسنیک موجود در سطح اکسید و هیدرواکسیدهای فلزی آزاد و به شکل محلول در سفره آب زیرزمینی قرار می گیرد. بر پایه نمودار پراکنش، آرسنیک با pH رابطه مثبت نشان می دهد. فعالیت گرمایی نیز در بالا بودن غلظت آرسنیک منطقه به ویژه در دو نمونه ۲ و ۱۸ نقش دارد. فعالیت های گرمایی در این منطقه به صورت چشمه های نیمه گرم (نظیر چشمه آبگرم گسک)، تراورتن سازی و نیز تزریق CO<sub>2</sub> به درون آب های زیرزمینی در برخی از نقاط دشت به چشم می خورد. این نوع CO<sub>2</sub> خوردگی آب های برخی از چاه ها را افزایش داده و سبب آسیب به لوله جدار و وسایل تأسیسات چاه ها شده است. همبستگی منفی نترات با آرسنیک می تواند مؤید این نکته باشد که برخی از لایه های آبدار احتمالاً دارای شرایط Eh پایین است و حلالیت آرسنیک افزایش یافته است. بنابراین لازم است در مطالعات بعدی Eh نمونه های آب زیرزمینی این دشت نیز سنجیده شود تا به نحو بهتری تأثیر این عامل بر مقدار آرسنیک آب زیرزمینی روشن شود.

مؤلفه یا فاکتور چهارم، ۸ درصد از واریانس کل را نشان می دهد. در این فاکتور F<sup>۲-</sup> قرار دارد. F<sup>۲-</sup> می تواند منشأ گرمایی داشته باشد و یا از سنگ های اسیدی مثل گرانیت آزاد شود. این آنیون به دلیل بالا بودن غلظت کلسیم در منطقه، کاهیدگی نشان می دهد.

بر پایه PCA، متغیرها می توانند در چهار فاکتور گروه بندی شوند: برهم کنش سنگ و آب و انحلال سنگ های تبخیری مثل ژپس، انحلال کربنات کلسیم بر اثر فشار دی اکسید کربن، آزاد سازی آرسنیک از هیدرواکسید و اکسیدهای آهن و منگنز، فعالیت گرمایی و هوازدگی سنگ های گرانیت و آتشفشانی.

مؤلفه اول به دلیل داشتن بیشترین واریانس، مهم ترین نقش را در کیفیت آب زیرزمینی منطقه ایفا می کند. در این مؤلفه کاتیون و آنیون های اصلی قرار گرفته اند که تعیین کننده کیفیت آب زیرزمینی منطقه هستند.

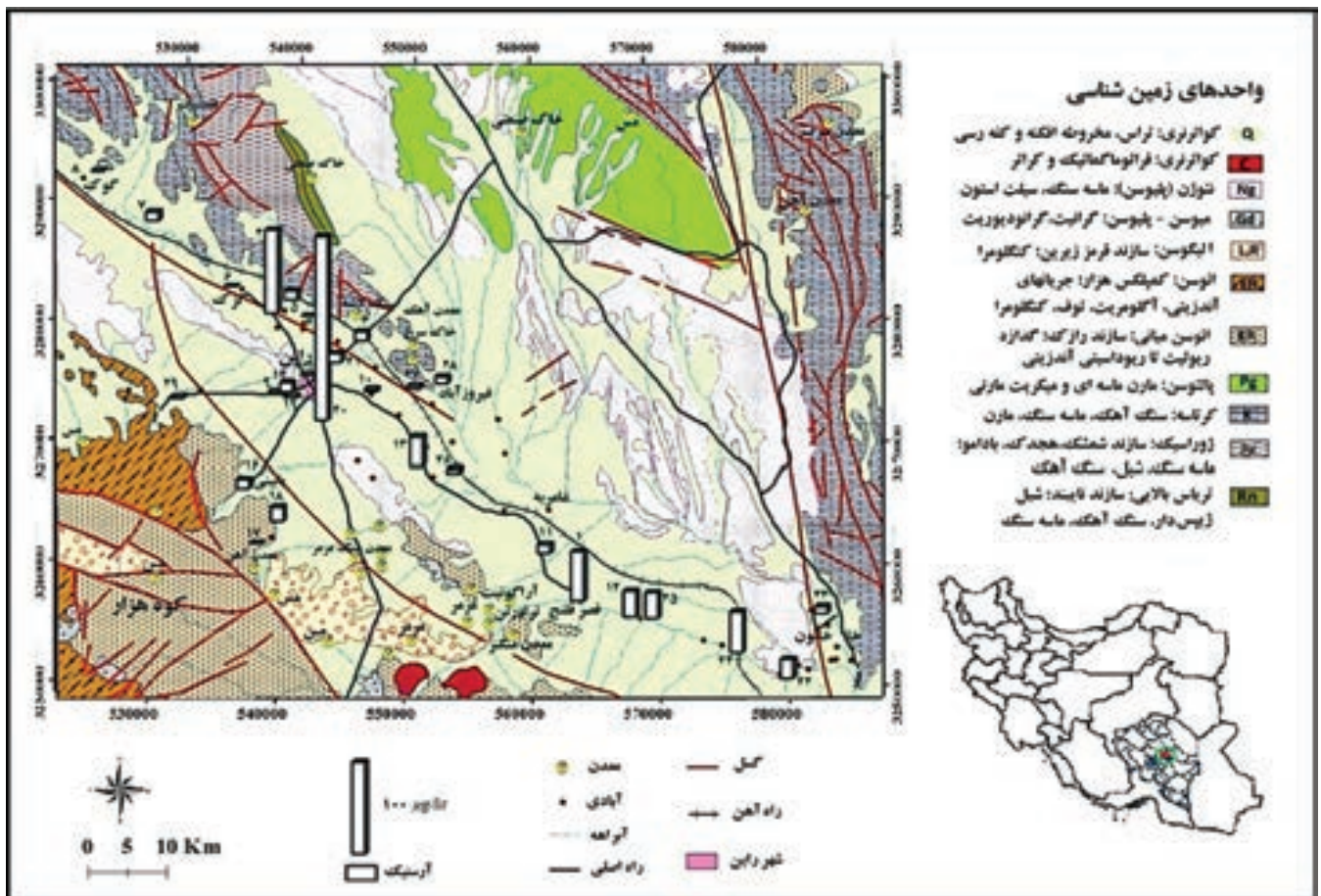
– **تجزیه خوشه ای:** تجزیه خوشه ای (Cluster Analysis) CA یکی از روش های آماری چند متغیره است که برای گروه بندی متغیرها و یا نمونه ها مورد استفاده قرار می گیرد. هدف از CA، قرار دادن مجموعه دیده شده در تعدادی گروه متغیر معنی دار است. CA به صورت مدیریت نشده بر پایه فاصله و شباهت میان متغیرها آنها را در گروه های کم و بیش همگن و متمایز از گروه های دیگر قرار می دهد. هر گروه به صورت خوشه مشخص می شود که از این طریق می توان ساختار داده را ارزیابی کرد. اگر تفاوت میان خوشه ها یا گروه ها بیشتر باشد این آزمون بهتر انجام می گیرد. روش تجزیه خوشه ای در واقع تکمیل کننده روش مؤلفه اصلی است. در مطالعات زیست محیطی بیشتر از روش تجزیه خوشه بندی سلسله مراتبی (Hierarchical cluster analysis) استفاده می شود. برای نمایش AC نمودار دندروگرام (Dendrogram) به کار می رود. بدین ترتیب که متغیرهای دارای بیشترین شباهت به یکدیگر متصل و پس از آن شبیه ترین داده های بعدی به ترتیب به این متغیرهای اولیه اضافه می شوند. در این مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون برای رسم دندروگرام و روش پیوستگی میان گروه، برای گروه بندی استفاده شده است. گروه بندی بر پایه متغیرها و نمونه ها صورت گرفت (شکل ۷). برای پایه متغیرهای زیر در یک گروه قرار می گیرند:

EC= TDS > Cl > Mg > SO<sub>4</sub> = Na >> Ca = TH

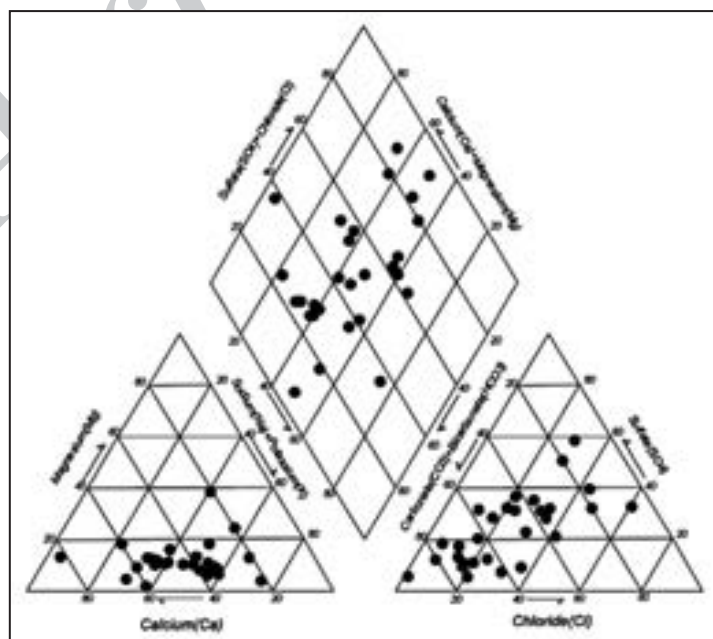
قلیائیت و بی کربنات نیز یک گروه جدا تشکیل می دهند زیرا عامل اصلی قلیائیت آب های منطقه آنیون بی کربنات است:

Alkalinity = HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

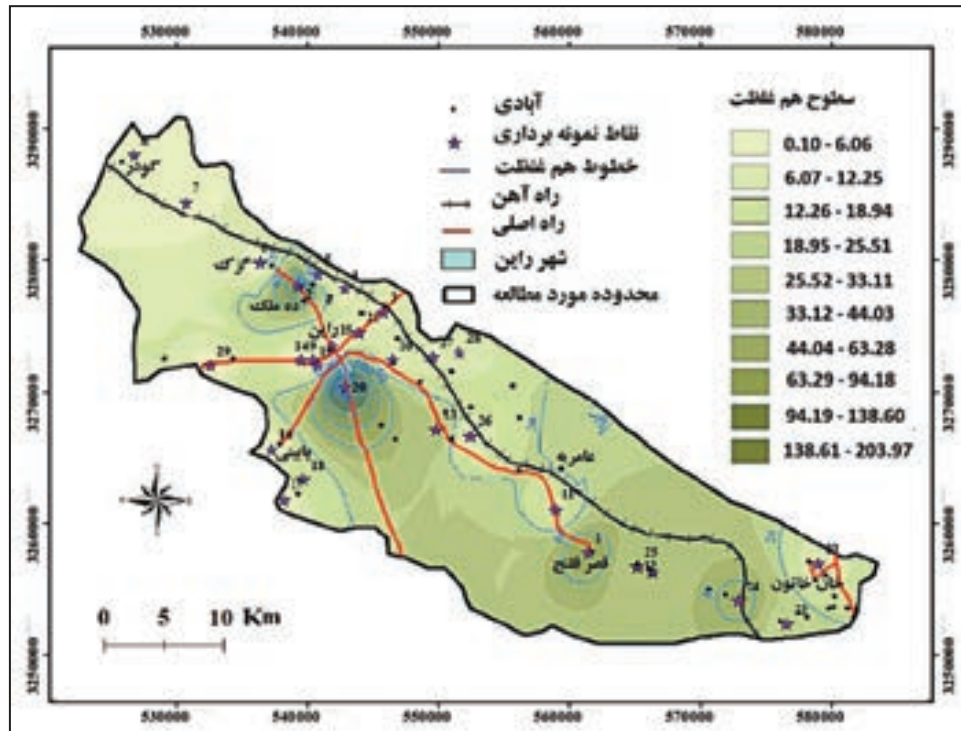
متغیرهای K<sup>+</sup>، F<sup>-</sup>، NO<sub>3</sub><sup>-</sup> و pH و As هر کدام در گروه های جدا قرار می گیرند. نمونه های دارای بیشترین شباهت نیز گروه بندی شده اند (شکل ۷). نمونه ها در



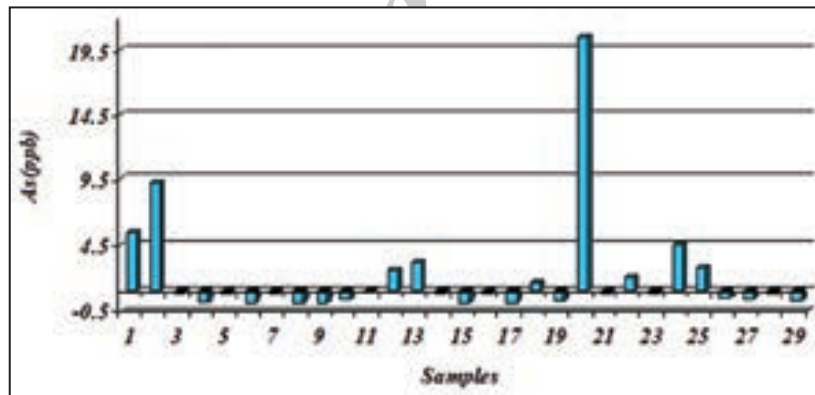
شکل ۱- موقعیت منطقه، نقشه زمین شناسی و هیستوگرام مقدار آرسنیک در محدوده مورد مطالعه.



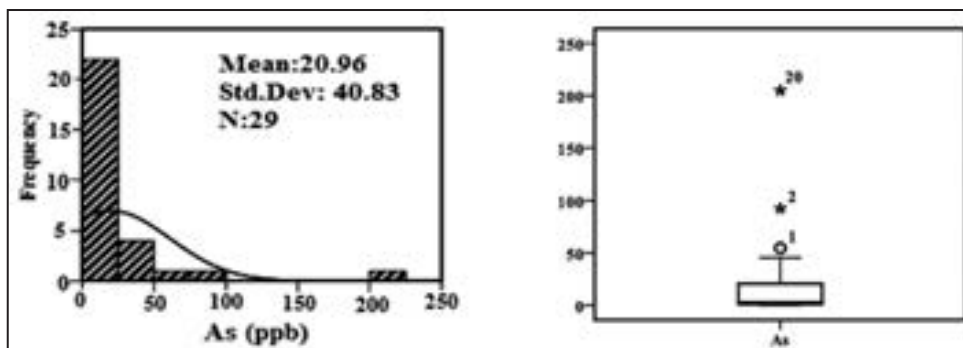
شکل ۲- نمودار پایپر برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه.



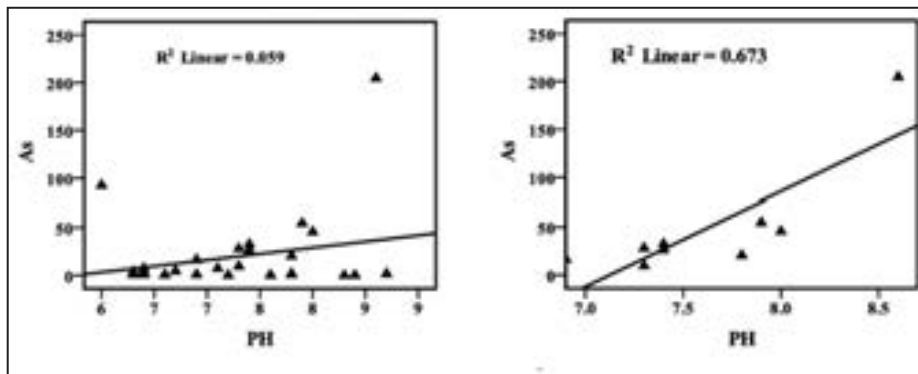
شکل ۳- نقشه هم غلظت آرسنیک در آبهای زیرزمینی دشت زاین.



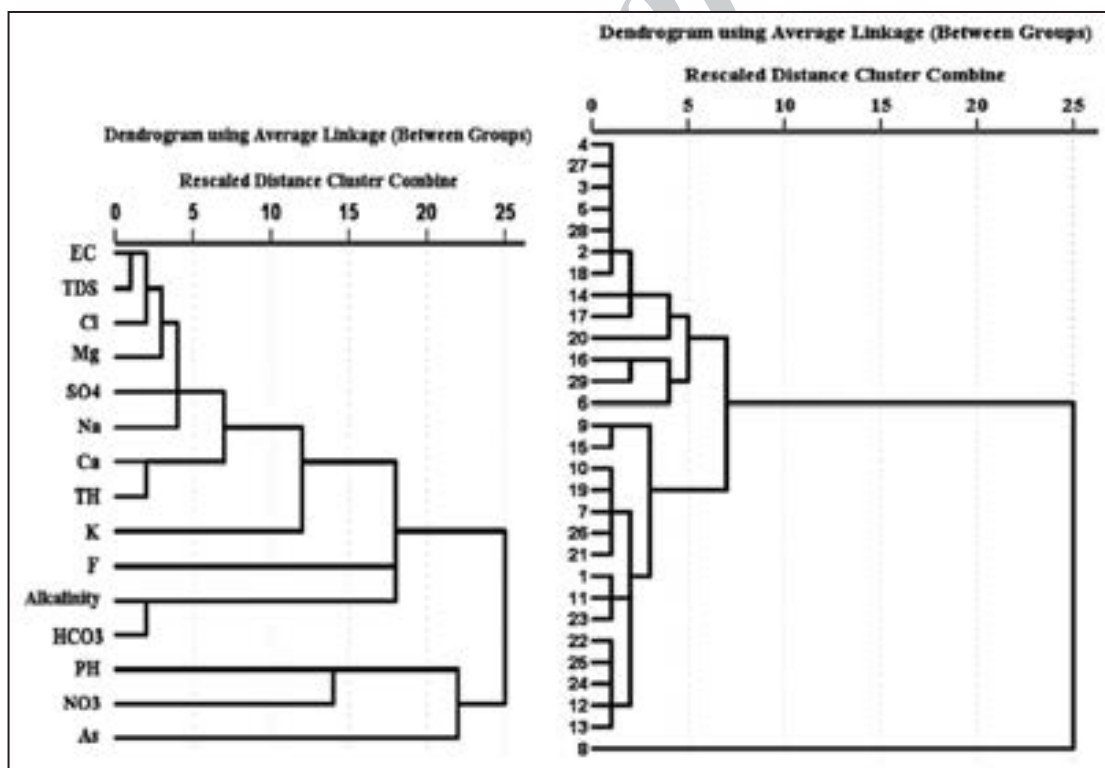
شکل ۴- نمودار کاهیدگی و افزودگی آرسنیک (بر پایه حد مجاز) در نمونه‌های آب.



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای یا باکس پلات (سمت راست) و فراوانی (سمت چپ) آرسنیک.



شکل ۶- همبستگی آرسنیک با pH در نمونه‌های آلوده به آرسنیک (سمت راست) و با همه نمونه‌ها (سمت چپ).



شکل ۷- گروه‌بندی نمونه‌ها (سمت راست) و متغیرها (سمت چپ) بر پایه دندروگرام مرتبه‌ای.



جدول ۱- نتایج تجزیه پارامترهای فیزیکوشیمیایی و آرسنیک و داده آماری هر پارامتر

As µg/lit	TH mg/lit CaCO <sub>3</sub>	Alkalinity mg/lit CaCO <sub>3</sub>	TDS mg/lit	EC µs/ cm	F <sup>-</sup> mg/ lit	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/lit	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/lit	Cl <sup>-</sup> mg/ lit	Mg <sup>2+</sup> mg/ lit	Ca <sup>2+</sup> mg/ lit	K <sup>+</sup> mg/ lit	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/ lit	Na <sup>+</sup> mg/ lit	T C°	pH	نمونه
۵۴/۷	۵۶۰	۲۵۸	۱۶۵۰	۳۳۰۰	۰/۰۱ <	۳۱۴/۴	۵۰۰	۷۵۰	۳۷/۴	۱۹۵/۲	۳۰	۱۷/۶	۲۶۰	۱۸	۷/۹	*۱
۹۲/۶	۸۸۴	۷۴۰	۱۳۰۰	۲۶۰۰	۰/۱۰	۹۰۲/۴	۱۰۴	۴۵۰	۴۴/۱	۲۸۰	۲/۱	۷/۹	۱۳	۳۲	۶	*۲
۷/۵	۷۶۰	۷۱۰	۱۱۵۰	۲۳۰۰	۰/۱۶	۸۶۶	۱۵۳	۱۶۵	۶۷/۲	۱۹۲	۹/۳	۸/۳	۱۵۴	۲۲	۶/۴	*۳
۰/۶	۷۰۰	۶۹۶	۱۰۴۰	۲۰۸۰	۰/۰۱ <	۸۴۹	۱۲۴	۲۰۰	۴۳/۲	۲۰۸	۱۱/۱	۱۱/۹	۱۵۵	۲۴	۶/۶	*۴
۷/۵	۷۲۰	۶۵۰	۹۷۵	۱۹۶۰	۰/۲۷	۷۹۳	۹۹	۱۸۵	۴۸	۲۰۸	۴/۸	۱۴/۱	۱۲۱	۲۲	۶/۶	*۵
۰/۱	۳۴۰	۲۴۶	۳۱۰	۶۲۰	۰/۲۶	۳۰۰	۴۹	۲۰۰	۶۱/۴	۳۳/۶	۲/۱	۳۳/۵	۶۳	۲۴	۸/۳	*۶
۷/۵	۱۲۰۰	۸۵۸	۲۳۰۰	۴۶۰۰	۰/۰۳	۱۰۴۰	۵۱۰	۷۰۰	۷۲	۳۶۰	۲/۱	۱۴/۱	۲۵۰	۲۱	۶/۳	*۷
۰/۱	۲۲۰	۲۸۰	۳۱۵	۶۳۰	۰/۰۲	۸۴۱	۴۹	۱۲	۱۹/۲	۵۶	۲/۱	۳۰/۹	۶۹	۲۲	۸/۳	*۸
۰/۴	۶۸۰	۱۷۲	۹۴۰	۱۸۸۰	۰/۰۵	۲۱۰	۵۲۰	۳۰۰	۳۸/۴	۲۰۸	۲/۱	۲۶/۹	۱۴۱	۱۸	۷/۶	*۹
۲/۸	۱۱۰۰	۶۰۴	۱۶۵۰	۳۳۰۰	۰/۰۱ <	۷۳۶	۶۳۰	۳۶۰	۷۲	۳۲۰	۳/۹	۱۶/۳	۲۲۲	۲۳	۶/۴	*۱۰
۹/۷	۱۲۰۰	۳۵۶	۲۸۷۰	۵۷۴۰	۰/۴۹	۴۳۴	۱۰۰۰	۱۱۰۰	۸۴	۳۴۰	۱۹/۲	۱۶/۳	۳۸۸	۲۴	۷/۳	*۱۱
۲۶/۲	۵۲۰	۳۵۰	۱۳۲۵	۲۶۵۰	۰/۲۴	۴۲۷	۲۴۰	۴۷۵	۲۸/۸	۱۶۰	۲۵/۴	۲۶/۹	۲۵۰	۲۲	۷/۴	*۱۲
۳۲/۶	۵۸۰	۲۶۰	۱۳۷۰	۲۷۴۰	۰/۱۲	۳۱۷	۲۴۰	۳۰۰	۴۳/۲	۱۶۰	۷/۵	۱۳/۲	۲۵۳	۲۳	۷/۴	*۱۳
۷/۵	۳۰۰	۳۱۴	۴۷۵	۹۵۰	۰/۱۲	۳۸۳	۲۱۰	۷۶	۴۸	۴۰	۲/۱	۲۵/۶	۱۰۸	۲۱	۷/۸	*۱۴
۰/۴	۱۲۲۰	۱۷۶	۱۷۵۰	۳۵۰۰	۰/۰۱ <	۲۱۴	۱۰۰۰	۵۰۰	۸۱/۶	۳۵۲	۲/۱	۳۰/۹	۲۲۶	۲۲	۷/۲	*۱۵
۷/۵	۲۰۰	۲۲۲	۲۲۰	۴۴۰	۰/۰۱ <	۲۷۰	۶۵	۲۲	۹/۶	۶۴	۲/۱	۱۲/۳	۳۱/۴	۱۵	۶/۹	*۱۶
۰/۳	۱۶۰	۲۸۸	۲۹۰	۵۸۰	۰/۱۸	۲۵۱	۳۷	۲۲	۹/۶	۴۸	۲/۱	۱۵/۴	۶۱	۱۷	۸/۴	**۱۷
۱۶/۴	۴۸۰	۴۵۶	۹۲۵	۱۸۵۰	۰/۰۱ <	۵۵۶	۱۷۸	۱۴۸	۳۸/۴	۱۲۸	۲/۱	۱۶/۷	۱۹۰	۲۰	۶/۹	**۱۸
۱/۷	۲۸۰	۱۵۴	۴۰۰	۸۰۰	۰/۰۱ <	۱۸۸	۱۲۷	۸۰	۲۴	۷۲	۲/۱	۱۵	۸۸/۵	۲۲	۸/۷	**۱۹
۲۰۴/۸	۱۸۰	۳۸۶	۶۷۵	۱۳۵۰	۰/۲۱	۴۷۰	۹۰	۱۷۴/۴	۹/۶	۵۶	۵/۷	۱۲/۸	۱۸۵	۱۹	۸/۶	**۲۰
۷/۵	۱۲۰۰	۷۶۷	۱۴۸۲/۵	۲۹۸۰	۰/۲۹	۵۸۵	۴۰۰	۳۰۰	۲۸/۸	۴۳۲	۴/۸	۲۲/۲	۱۹۵	۲۲	۶/۴	*۲۱
۲۰/۶	۵۰۰	۳۴۰	۱۲۰۰	۲۴۰۰	۰/۱	۴۱۴	۳۹۰	۴۲۰	۲۴	۱۶۰	۴	۱۳/۷	۲۲۹	۲۴	۷/۸	**۲۲
۷/۵	۲۰۵۰	۲۶۸	۶۲۸۵	۱۲۵۷۰	۰/۰۱ <	۳۲۶	۱۵۶۰	۲۹۰۰	۲۴۰	۴۲۰	۲۶/۴	۱۹/۴	۶۴۲	۱۹	۷/۱	*۲۳
۴۵/۶	۴۵۰	۳۴۶	۱۲۶۰	۲۵۲۰	۰/۰۱ <	۴۲۱	۳۵۰	۳۶۰	۵۴	۹۰	۲/۲	۱۲/۸	۲۷۸	۲۱	۸	*۲۴
۲۸/۲	۶۰۰	۴۰۲	۱۳۳۵	۲۶۷۰	۰/۲	۴۹۰	۴۶۰	۳۶۰	۴۲	۱۷۰	۲۴/۶	۲۲/۵	۲۷۸	۲۱	۷/۳	*۲۵
۴/۷	۱۱۷۵	۶۶۲	۲۲۲۰	۴۴۴۰	۰/۳	۸۰۷	۴۲۰	۲۶۰	۷۸	۳۴۰	۲/۲	۱۲/۳	۳۵۱	۲۰	۶/۷	*۲۶
۳/۷	۱۳۷۵	۱۳۶۶	۱۳۷۵	۴۳۳۰	۰/۲	۱۶۶۵	۲۶۰	۴۸۰	۹۰	۴۰۰	۱۰/۳	۹/۷	۳۲۴	۲۲	۶/۳	*۲۷
۷/۲	۱۲۰۰	۱۰۱۸	۱۷۹۰	۳۵۸۰	۰/۲	۱۲۴۱	۳۰۰	۲۱۲	۱۲	۴۰۰	۱۰/۳	۱۲/۸	۲۷۹	۲۲	۶/۴	*۲۸
۱/۹	۳۰۰	۲۳۴	۲۴۰	۴۸۰	۰/۰۱ <	۲۸۵	۲۰	۸۰	۲۴	۸۰	۲/۲	۱۴/۱	۲۷	۱۲	۷/۸	**۲۹
۰/۱	۱۶۰	۱۵۴	۲۲۰	۴۴۰	۰/۰۱ <	۱۸۸	۲۰	۱۲	۶/۹	۳۳/۶	۲/۱	۸/۳	۱۳	۱۲	۶	حداقل
۲۰۴/۸	۲۰۵۰	۱۳۶۶	۶۲۷۵	۱۲۵۷۰	۰/۴۹	۱۶۶۵	۱۵۶۰	۲۹۰۰	۲۴۰	۴۶۰	۳۰	۳۳/۵	۶۴۲	۳۲	۸/۷	حداکثر
۲۰/۹۶	۷۲۸/۸	۴۶۸/۲	۱۳۷۶/۱	۲۷۵۳	۰/۱۲۴	۵۷۲/۸	۳۴۷/۸	۳۹۹/۸	۵۰/۸	۲۰۸	۷/۸	۱۷/۶	۲۰۰/۷	۲۱	۷/۳	میانگین
۴۰/۸۳	۴۵۶/۸	۲۸۹/۶	۱۱۶۶/۳	۲۳۳۲/۶	۰/۱۲۴	۳۴۹/۸	۳۴۶/۹	۵۳۸/۱	۳۴/۴	۱۳۴/۶	۸/۶	۶/۹	۱۳۱/۳	۳/۶	۰/۸	انحراف معیار
۱۰	۵۰۰	-	۱۰۰۰	-	۱/۵	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۱۵۰	۲۰۰	-	۵۰	۲۰۰	-	۶/۵-۸/۵	مقدار مجاز (WHO,2011)

نوع نمونه: جاه (\*), قنات (\*\*), چشمه (\*\*\*)

جدول ۲- ضریب همبستگی میان پارامترها

	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	alkalinity	pH	EC	TH	As
As	۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۱۹	-۰/۲۰	۰/۰۷	-۰/۰۲	-۰/۱۵۶	-۰/۲۲۹	-۰/۰۵	-۰/۰۴	۰/۲۲	-۰/۰۸	-۰/۲۳	۱
TH	۰/۳۲	**۰/۷۶	**۰/۹۴	**۰/۷۷	۰/۲۳	**۰/۷۱	**۰/۷۷	-۰/۱۲	*۰/۴۲	**۰/۴۹	**۰/۶۵	**۰/۸۸	۱	
EC	**۰/۵۴	**۰/۹۱	**۰/۷۱	**۰/۸۹	۰/۱۹	**۰/۹۴	**۰/۸۷	-۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۱۶۹	-۰/۳۶	۱		
pH	-۰/۰۵	-۰/۲۲	**۰/۷۳	-۰/۲۷	-۰/۱۰	-۰/۱۵	-۰/۱۸	*-۰/۳۷۸	**۰/۶۶	-۰/۷۴۳	۱			
alkalinity	-۰/۰۲	۰/۱۷	**۰/۶۲	۰/۰۸	۰/۲۳	-۰/۰۵	-۰/۱۱	**۰/۴۸	**۰/۹۴	۱				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-۰/۰۳	۰/۱۳	**۰/۵۲	۰/۰۷	۰/۱۴	-۰/۰۷	-۰/۱۵	*-۰/۴۰	۱					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۰/۰۵	-۰/۰۹	-۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۰۲۷	۰/۰۳	۰/۱۸۴	۱						
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	**۰/۴۶	**۰/۸۱	**۰/۶۲	**۰/۷۹	۰/۰۹	**۰/۸۵	۱							
Cl <sup>-</sup>	**۰/۵۹	**۰/۸۰	**۰/۵۰	**۰/۸۹	۰/۱۰	۱								
F <sup>-</sup>	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۰۸	۱									
Mg <sup>2+</sup>	*۰/۳۷	**۰/۷۵	**۰/۵۱	۱										
Ca <sup>2+</sup>	۰/۲۶	**۰/۶۲	۱											
Na <sup>+</sup>	**۰/۶۰	۱												
K <sup>+</sup>	۱													

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

جدول ۳- نتیجه آزمون مؤلفه اصلی برای متغیرها در نمونه‌های آب

مؤلفه‌ها				متغیرها
F4	F3	F2	F1	
			۰/۸۹۴	Na
			۰/۹۶۶	Cl
			۰/۸۹۹	Mg
			۰/۶۰۵	Ca
			۰/۹۲۸	SO4
			۰/۹۷۲	EC
			۰/۹۷۲	TDS
			۰/۷۹۸	TH
			۰/۵۸۰	K
		۰/۹۶۱		Alkalinity
		-۰/۸۵۱		PH
		۰/۹۰۹		HCO3
	-۰/۶۰۵	-۰/۵۵۴		NO3
	۰/۸۵۳			As
۰/۹۱۱				F
۱/۲۱	۱/۳۴	۳/۶۶	۶/۶۹	ویژه مقدار
۸/۰۴	۸/۹۳	۲۴/۴۱	۴۴/۶۲	درصد واریانس
۸۶/۰۱	۷۷/۹۷	۶۹/۰۳	۴۴/۶۲	درصد تجمعی

 Extraction Method: Principal Component Analysis.  
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

## کتابکاری

- ابراهیمی، م.، ۱۳۸۹- بررسی پراکندگی و منشأ آرسنیک در آب زیرزمینی دشت رفسنجان و ارائه راهکار مناسب جهت حذف آن، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۱۳ صفحه.
- استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۸- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تجدید نظر پنجم.
- اسلامیان، س. س.، سلطانی، س. و زارعی، ع. ز.، ۱۳۸۴- کاربرد روش‌های آماری در علوم زیست محیطی، انتشارات ارکان، صفحات ۲۰۶ و ۲۱۵.
- حسین پورفیضی، م. ع.، مسافری، م.، دستگیری، س. و کوشا، ا.، ۱۳۸۸- بررسی آرسنیک در آب آشامیدنی: یک مطالعه موردی در استان آذربایجان شرقی، مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز، دوره ۳۳ شماره ۲ خرداد و تیر ۱۳۹۰، صفحات ۳۱-۲۵.
- خواجه پور، س.، ۱۳۸۸- بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی جنوب دشت رفسنجان با استفاده از GIS و با تأکید بر نقش احتمالی مجتمع مس سرچشمه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۶۲ صفحه.
- دهقانی، م.، ۱۳۸۸- بررسی هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی دشت انار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- سازمان آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۸۲- مطالعات کمی و کیفی منابع آب دشت راین (مطالعات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی)، جلد سوم.
- شفیعی، ب.، ۱۳۸۷- الگوی فلززایی کمربند مس پورفیری کرمان و رهیافت‌های اکتشافی آن، رساله دکتری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۵۷ صفحه.
- شهریاری، ع.، ۱۳۸۶- گزارش ادامه مطالعات محدوده مطالعاتی راین سال آبی ۸۶-۸۵، شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، معاونت مطالعات پایه منابع آب.
- عباس نژاد، ا.، داستان پور، م.، ۱۳۷۷- زلزله‌ها و زمین‌لرزه‌خیزی استان کرمان، سازمان مسکن شهرسازی استان کرمان، انتشارات خدمات فرهنگی کرمان، ۲۵۵ ص.
- عسکری، ک.، ا. ع.، معاضد، ه. و قربانی‌زاده خرازی، ح.، ۱۳۸۹- مدل‌سازی آلودگی نترات در آب‌های زیرزمینی حاشیه زاینده رود با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- فاتحی مرج، ا.، طائی سمیرمی، م. و میرنیا، س. خ.، ۱۳۹۰- مدیریت منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل عددی (مطالعه موردی: دشت گربایگان استان فارس)، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، اردیبهشت ۹۰، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- کشاورزی، ب.، ۱۳۹۰- زمین‌شناسی پزشکی و منشأ آرسنیک در کمربند دگرگونی- ماگمایی سندانج- سیرجان شمالی، رساله دکتری، دانشگاه شیراز.
- مر، ف.، مدبری، س. و فرقانی تهرانی، گ.، ۱۳۹۰- مبانی زمین‌شناسی زیست محیطی، مرکز نشر دانشگاهی، صفحات ۹۱، ۱۲۵ و ۴۷۹. ترجمه، (نوشته جی نلسون ایبای).
- مسافری، م.، تقی‌پور، ح.، حسنی، ا. ح.، برقی، م.، کمالی کردآباد، ز. و قدیرزاده، ا.، ۱۳۸۷- بررسی میزان آرسنیک در منابع آب شرب، مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره اول، شماره اول، صفحات ۱۹ تا ۲۸.
- میرزایی، ا.، ۱۳۹۰- بررسی توزیع فلزات سنگین و اثرات زیست محیطی آن در آب‌های زیرزمینی دشت بردسیر با تأکید ویژه بر عنصر آرسنیک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

## References

- Akter, A. & Ali, M. H., 2011- Arsenic contamination in groundwater and its proposed remedial Measures, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 8 (2), 433-443.
- Appelo, T., 2006- Arsenic in Groundwater -World Problem, Seminar Utrecht 2006, Netherlands National Committee of the IAH.
- Baig, J. A., Kazi, T. G., Shah, A. Q., Kandhro, G. A., Afridi, H. I., Arain, M. B., Jamali, M. K. & Jalbani, N., 2010- Speciation and evaluation of Arsenic in surface water and groundwater samples: A multivariate case study, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, N. 73, PP. 914-923.
- Bissen, M. & Frimmel, F. H., 2003- Arsenic- a Review, part I: Occurrence, Toxicity, Speciation, Mobility, *Acta hydrochim. Hydrobiol.*, V. 31, N. 1, PP. 9-18.
- Chitsazan, M., Dorranejad, M. S., Zarasvandi, A. & Mirzaii, S. Y., 2008- Occurrence, distribution and source of arsenic in deep groundwater wells in Maydavood area, southwestern Iran, *Environ Geol* (2009) 58:727-737.
- Chouhan, S. & Flora, S. J. S., 2010- Arsenic and fluoride: Two major groundwater pollutants. *Indian Journal of Experimental Biology*, N. 48, PP. 666-678.
- Daessle', L. W., Ruiz-Montoya, L., Tobschall, H. J., Chandrajith, R., Camacho-Ibar, V. F., Mendoza-Espinosa, L. G., Quintanilla-Montoya, A. L. & Lugo-Ibarra, K. C., 2008- Fluoride, nitrate and water hardness in groundwater supplied to the rural communities of Ensenada County, Baja California, Mexico, *Environ Geol* (2009) 58:419-429.
- Dimitrijevic, M. N., Djokovic, I., Cvetice, S. & Halaviati, J., 1973- Geology Map of Iran, 1:100 000 Series, Sheet 7449 - Rayen.
- Dopp, E., Hartman, L. M., Recklighausen, U., Florea, A. M. & Rabieh, S., 2005- Forced uptake of trivalent and pentavalent methylated and inorganic arsenic and its cyto-/genotoxicity in fibroblasts and hepatoma cells. *Toxicol Sci* 87:45-56.
- Ebrahimzadeh, S., Boustani, F. & Shakeri, A., 2011- Groundwater Quality Assessment of Zarghan Plain. Shiraz, Iran, 2011 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, IPCBEE vol.6 IACSIT Press, Singapore, V.2, PP.305-308. [www.SID.ir](http://www.SID.ir)

- Gurung, J. K., Ishiga, H. & Khadka, M. S., 2007- The geochemical study of fluvio-lacustrine aquifers in the athmandu Basin (Nepal) and the implications for the mobilization of arsenic, *Environ Geol*, N. 52, PP. 503–517.
- Hanke, K. R., 2009-Arsenic Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment, John Wiley & Sons Ltd, PP. 77.
- Khandaker, N., Brady, P.V. & Krumhansl, J. L., 2009- Arsenic Removal from Drinking Water: A Handbook For Communities, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
- Kouras, A., Katsoyiannis, I. & Voutsas, D., 2007- Distribution of arsenic in groundwater in the area of Chalkidiki, Northern Greece, *Journal of Hazardous Materials*, N. 147, PP.890–899.
- Liu, C.W., Lin, K. H. & Kuo, Y. M., 2003- Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan, *The Science of the Total Environment*, N. 313, PP. 77–89.
- Luu, T. T. G., Sthiannopkao, S. & Kim, K.W., 2009- Arsenic and other trace elements contamination in groundwater and a risk assessment study for the residents in the Kandal Province of Cambodia, *Environment International*, N. 35, PP. 455–460.
- Merian, E., Anke, M., Ihnat, M. & Stoepler, M., 2004- Elements and their Compounds in the Environment (Occurrence, Analysis, and Biological Relevance), WILEY-VCH publications, V. 3, PP.1348.
- Mukherjee, A., Bromssen, M.V., Scanlon, B. R., Bhattacharya, P., Fryar, A. E., Hasan, Md. A., Ahmed, K. M., Chatterjee, D., Jacks, G. & Sracek, O., 2008- Hydrogeochemical comparison and effects of overlapping redox zones on groundwater arsenic near the Western (Bhagirathi sub-basin, India) and Eastern (Meghna sub-basin, Bangladesh) margins of the Bengal Basin, *Journal of Contaminant Hydrology*, N. 99, PP. 31–48.
- Nikolaidis, N., Dobbs, G. M., Chen, J. & Lackovic, J. A., 2004- Arsenic mobility in contaminated lake sediments, *Environmental Pollution*, N. 129, PP. 479–487.
- Norton, J., Petersen, C., Early, L. E., Largey J., & et al., 2009- Potential Groundwater Quality Impacts Resulting From Geologic Carbon Sequestration, Water Research Foundation.
- Petrini, R., Slejko, F., Lutman, A., Pison, S., Franceschini, G., Zini, L., Italiano, F. & Galic, A., 2010- Natural arsenic contamination in waters from the Pesariis village, NE Italy, *Environmental Earth Science*, N. 62, PP.481–491.
- Smedley, P. & Kinniburgh, D. G., 2005- Arsenic in Groundwater and the Environment, in: *Essentials of Medical Geology (impacts of the natural environment on public health)*, ed. By: Selinus O., Elsevier Academic press, Chaina, PP. 263-295.
- Vikas, C., Kushwaha, R. K. & Pandit, M. K., 2009- Hydrochemical Status of Groundwater in District Ajmer (NW India) with Reference to Fluoride Distribution, *Journal Geological Society of India*, V.73, PP.773-784.
- Welch, A. H. & Stollenwerk, K. G., 2003- *Arsenic in Groundwater Geochemistry and Occurrence*, Kluwer Academic Publishers, PP. 101-102.
- World Health Organization (WHO), 2011- *Guidelines for drinking water quality*. 4rd Edn.
- Yu, H.S., Liao, W.T. & Chai, C.Y., 2006- Arsenic carcinogenesis in the skin, *Journal of Biomedical Science*, N.13, PP. 657–666.
- Zaharin Aris, A., Abdullah, M. H. & Kim, K.W., 2007- Hydrogeochemistry of Groundwater in Manukan Island, Sabah, *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, V. 11, N. 2, PP. 407 – 413.

## Determining the Origin and Distribution of Arsenic in Groundwater in the Rayen Plain (Southeast of Kerman) using Statistical Techniques

Y. Nazari <sup>1\*</sup> & A. Abbasnejad <sup>2</sup>

<sup>1</sup> M. Sc. Student, Department of Geology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

<sup>2</sup> Associated Professor, Department of Geology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2012 February 06

Accepted: 2013 July 21

### Abstract

The Rayen plain, which is about 1900km<sup>2</sup> in area is considered as a part of the Lut drainage basin and is located in the southwest of Lut and eastern slopes of the Hezar Mountain. This plain lies at the 110km southeast of Kerman city. Geographically, it is at 57°, 13' to 57°, 54' eastern longitude and 29°, 23' to 29°, 52' northern latitude. The average height of this plain is about 2600m above msl. Given the location of the plain at the vicinity of the Urmiah- Dokhtar volcanic Belt and considering the role of eruptions as well as volcanic rocks and hydrothermal activities on the concentration of arsenic and the role of this element in environmental problems, this study was performed on the concentration of arsenic in groundwater. In order to determine the variations and source of arsenic, in all, 29 samples were collected from the water points (springs, qanats and wells). Subsequently, the concentration of As, major cations and anions (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, as well as EC, TDS, alkalinity and total hardness were determined. Accordingly, isoconcentration map and correlation diagram were prepared and statistical analysis including Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis (CA) were carried out. The arsenic concentration in groundwater of this plain varies from 0.1 ppb up to 248.4 ppb with an average of 21.6 ppb. Based on the statistical analysis, arsenic concentration shows positive correlation with pH. The intrusion of hydrothermal waters into the aquifer and desorption from oxides and hydroxides of iron are considered as the main causes of high-arsenic level in some parts of this plain.

**Keywords:** Arsenic, Groundwater, Rayen plain, Uromieh–Dokhtar volcanic belt.

For Persian Version see pages 117 to 128

\*Corresponding author: Y. Nazari; E-mail: yalda.nazari20@gmail.com