

## آلودگی سفره آب زیرزمینی دشت انار به نترات، سرب، آرسنیک و کادمیوم

مژگان دهقانی<sup>۱\*</sup>، احمد عباس نژاد<sup>۲</sup>

۱- کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه شهید باهنر

۲- استادیار بخش زمین شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان aabbas@mail.uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۲

### چکیده

این پژوهش در ارتباط با بررسی تغییرات غلظت نترات، سرب، آرسنیک و کادمیوم در آبهای زیرزمینی دشت انار واقع در جنوب شرقی ایران (غرب استان کرمان) است. به این منظور تعداد ۲۱ نمونه از چاههای سراسر دشت در اردیبهشت ۱۳۸۸ برداشت شد و پس از تجزیه و تحلیل و کنترل نتایج، نقشه‌های هم‌غلظت و نمودارهای مربوط ترسیم و تفسیر شد. براین اساس غلظت کادمیوم در بخش جنوب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه که در مجاورت چندین معدن مس قرار دارد بالاست و در نمونه‌ای به حد مجاز آب آشامیدنی نزدیک می‌شود. غلظت آرسنیک در نمونه‌های واقع در جنوب شرقی دشت (در مجاورت معادن مس) و نمونه‌های غرب روستای بیاض بالاتر از حد مجاز آب آشامیدنی است. غلظت سرب در بیشتر نمونه‌های بخش میانی دشت بالا و در برخی نمونه‌ها بیش از حد مجاز آب آشامیدنی (۱۰ppb) است. منبع سرب این قسمت جاده اصلی منطقه (جاده کرمان- یزد) فرض می‌شود. بالا بودن غلظت آرسنیک، سرب و کادمیوم در یک نمونه واقع در غرب روستای بیاض به فعالیت‌های هیدروترمال نسبت داده نمی‌شود. بالا بودن دما، pH پایین و قرارگیری در زون غسل انار مؤید این نکته است. به نظر می‌رسد منبع کادمیوم، آرسنیک و سرب موجود در نمونه‌های جنوب شرق منطقه، رگه‌های سولفیدی موجود در معادن مس باشد. غلظت نترات در دو نمونه در مجاورت شهر انار بیش از حد مجاز آب آشامیدنی است. منبع نترات در این نمونه‌ها فاضلاب‌های شهری است. تمرکز فعالیت‌های کشاورزی و مناطق مسکونی در بخش میانی دشت باعث افزایش متوسط غلظت این ترکیب در این بخش شده است.

### کلید واژه

دشت انار، آرسنیک، نترات، کادمیوم، سرب.

### سرآغاز

دشت انار با مساحت تقریبی ۳۵۰۰ کیلومتر مربع در محدوده‌ای به طول ۱۰'۵۵ تا ۵۶'۵۶ شرقی و عرض ۵۸'۳۰ تا ۳۰'۳۰ شمالی در جنوب شرق ایران و غرب دشت رفسنجان واقع شده است. ارتفاع متوسط آن حدود ۱۴۰۰ متر از سطح دریاست. این دشت به شکل کلی مستطیلی با عرض و طول تقریبی ۴۲ و ۸۲ کیلومتر و با امتداد شمال باختری- جنوب خاوری بین دو رشته کوه دهج- ساردوئیه (در جنوب) و بدبخت کوه (در شمال) واقع شده است (شکل شماره ۱). حدود نیمی از مساحت دشت را نمکزارهای لم یزرع شمالی و غربی آن در بر گرفته‌اند. در این دشت علاوه بر شهرهای انار و کشکوئیه، دهها روستای دیگر به چشم می‌خورند که به طور عمده در قسمت میانی دشت، جایی که در گذشته مظهر قنوات بوده است، قرار دارند. از جمله راههای دسترسی به این منطقه جاده آسفالت و دو بانده

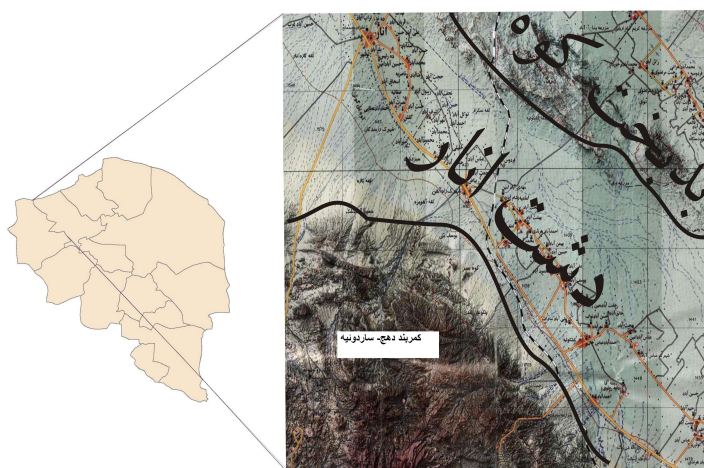
کرمان- یزد- تهران است که تقریباً از قسمت میانی دشت عبور می‌کند. همچنین جاده‌های انار- شهر بابک و انار- نوق و نیز راه آهن بافق- بندر عباس این دشت را به مناطق مجاور متصل می‌سازند.

### زمین شناسی

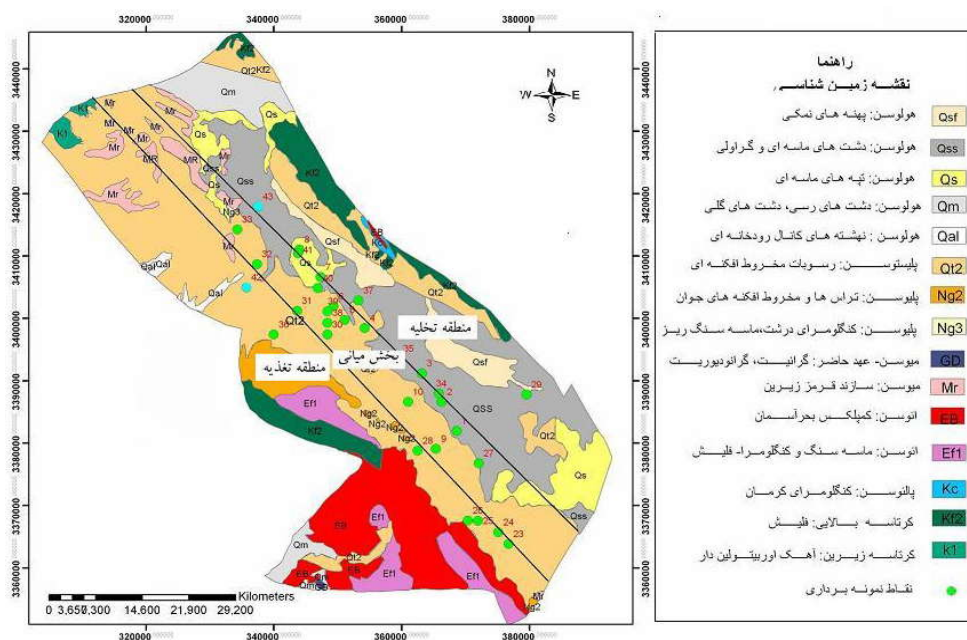
دشت انار بین دو واحد از ایران مرکزی، شامل زون ارومیه- دختر (رشته کوه دهج- ساردوئیه) در جنوب و کوهستان فلیشی بدبخت کوه، واقع شده است و به بلوک یزد تعلق دارد که همراه با بلوک طبس، کوه طبس را تشکیل می‌دهند. به لحاظ زمین‌شناسی، بدبخت کوه به طور عمده از فلیش‌های کرتاسه فوقانی تشکیل شده است که تحت تأثیر تکتونیک شدت چین خورده و در هم ریخته شده‌اند (مهندسان مشاور جویاب نو، ۱۳۶۴). علاوه بر فلیش‌ها، در کوهستان بدبخت کوه کنگلومرای کرمان و سنگهای آتشفشانی ائوسن (بیشتر گدازه‌های آندزیتی تا بازالتی، ریوداسیت، تراکی

al., 1972). در بعضی نقاط لایه‌های آهکی نیز در این سازند گزارش شده است. سن آن میوسن در نظر گرفته می‌شود. این سازند عامل اصلی افزایش مقدار املاح محلول و شور شدن آبهای زیرزمینی در بخشهایی از این دشت قلمداد می‌شود. در شکل شماره (۲) نقشه زمین شناسی دشت انار ارائه شده است.

آندزیت و پیروکلاستیک‌ها) نیز به مقدار کمتر گسترش دارند (Seradic, et al., 1972). سطح دشت انار به طور عمده از آبرفت‌های جدید اشغال شده ولی بر اساس رخنمون‌های کوچک موجود در غرب آن و نیز حفاری‌های انجام شده، آبرفت‌های جدید روی آبرفت‌های پلیوسن قرار دارند که خود سازند قرمز بالایی را می‌پوشاند. در این دشت سازند قرمز بالایی از مارن‌های گچی، ماسه سنگ و کنگلومرای قرمز تشکیل شده است (Seradic, et

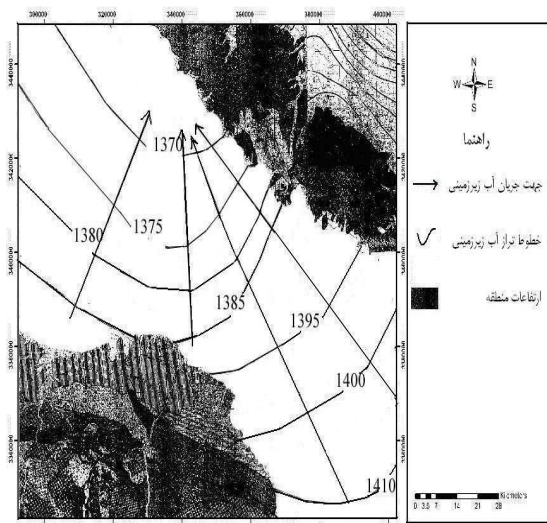


شکل شماره (۱): موقعیت جغرافیایی دشت انار



شکل شماره (۲): نقشه زمین شناسی دشت انار

تماس آب زیرزمینی با سنگ بستر گچی و مارنی دشت باعث افزایش این کاتیون شده است.



شکل شماره (۳): نقشه کلی تراز آب زیرزمینی دشت انار

(مهندسان مشاور کاواب، ۱۳۸۱)

### منابع آلاینده

منابع بالقوه آلاینده آب زیرزمینی این دشت عبارتند از آبادی‌ها، جاده‌ها (بویره جاده پرتراپیک کرمان - یزد که از میانه دشت عبور می‌کند)، کشاورزی که تقریباً به طور کامل شامل پسته‌کاری است و در مرکز دشت متمرکز شده است، صنایع و معادن. مهم‌ترین صنایع موجود در دشت را ترمینال‌های ضبط پسته و کوره‌های تهیه آجر و سفال به خود اختصاص داده‌اند.

از دیگر صنایع موجود در منطقه می‌توان به ظروف یک بار مصرف، کابل برق و تلفن، تریلر کشاورزی و تانکر حمل مایعات، ساخت گاواهن، دانه‌بندی و شست‌وشوی شن و ماسه، سوله و ورق کرکره، پودر ماهی، بسته‌بندی حبوبات و سنگ ساختمانی اشاره کرد. منابع معدنی شناسایی شده در منطقه عبارتند از: مس، خاک صنعتی، گچ، بنتونیت و پوکه معدنی. در شکل شماره (۷) نقشه منابع بالقوه آلاینده (نقشه کاربری اراضی) که معرف منابع بالقوه آلاینده غیرطبیعی است، ارائه شده است. هرچند شرایط طبیعی منطقه نیز همان‌گونه که ملاحظه خواهد شد، می‌تواند در مواردی منجر به آلودگی منابع آب زیرزمینی شود

### هیدروژئولوژی

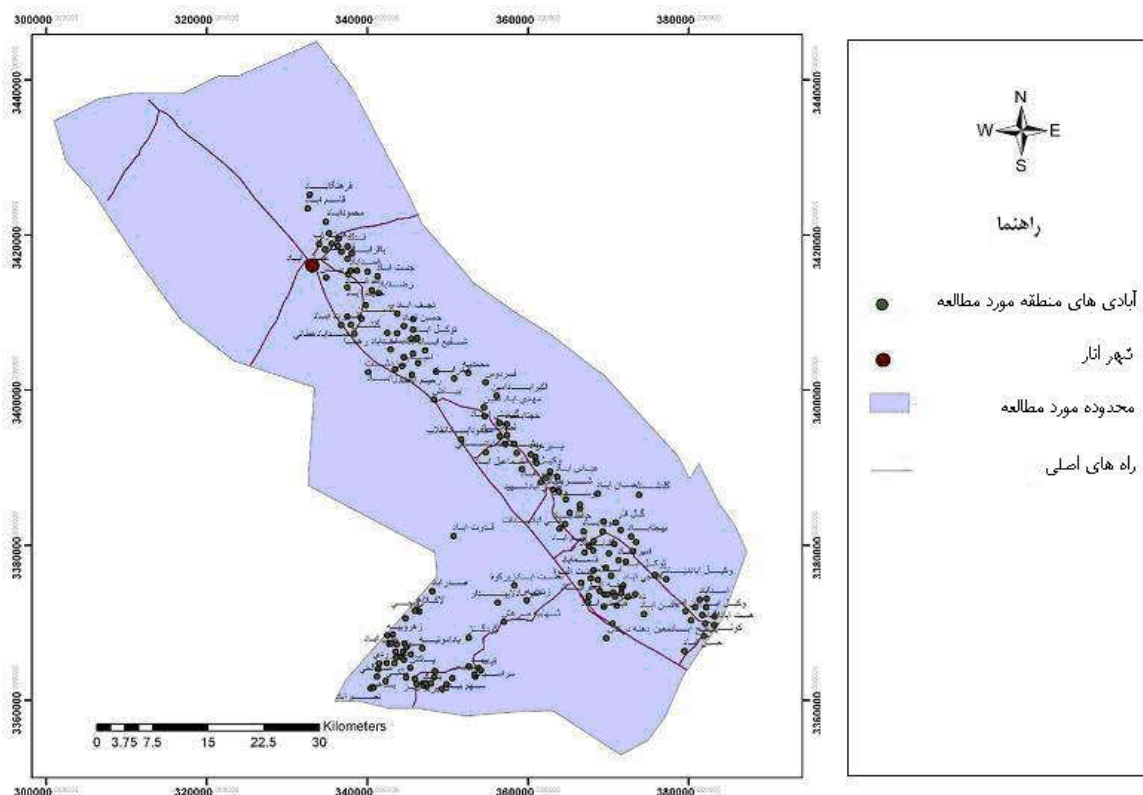
آبرفت‌های پلیوکواترنر نهشته شده در این دشت سفره آب زیرزمینی آن را تشکیل داده‌اند. با توجه به این که رشته کوه دهج - ساردوئیه مرتفع و دارای پهنای چشمگیر است، در تغذیه دشت انار نقش اساسی دارد. در حالی که بدیخت کوه پهنای کمی داشته و از سطح دشت فقط چند صد متر مرتفع‌تر است. بنابراین در تغذیه این دشت نقشی ندارد.

این وضعیت سبب شده مخروط افکنه‌های بزرگ و حاوی منابع آب زیرزمینی در جنوب و مرکز دشت و برعکس سطوح کفه‌ای و نمکزارها در شمال آن (در مجاورت بدیخت کوه) واقع شوند (ناظم زاده شعاعی، ۱۳۶۷). از این رو سفره آب زیرزمینی در جنوب و مرکز دشت دارای منابع آب قابل استفاده و در شمال آنها کاملاً شور و غیرقابل استفاده است. جریان آب زیرزمینی از جنوب به شمال دشت و از آنجا به سمت شمال باختری آن است (طباطبایی، ۱۳۸۵).

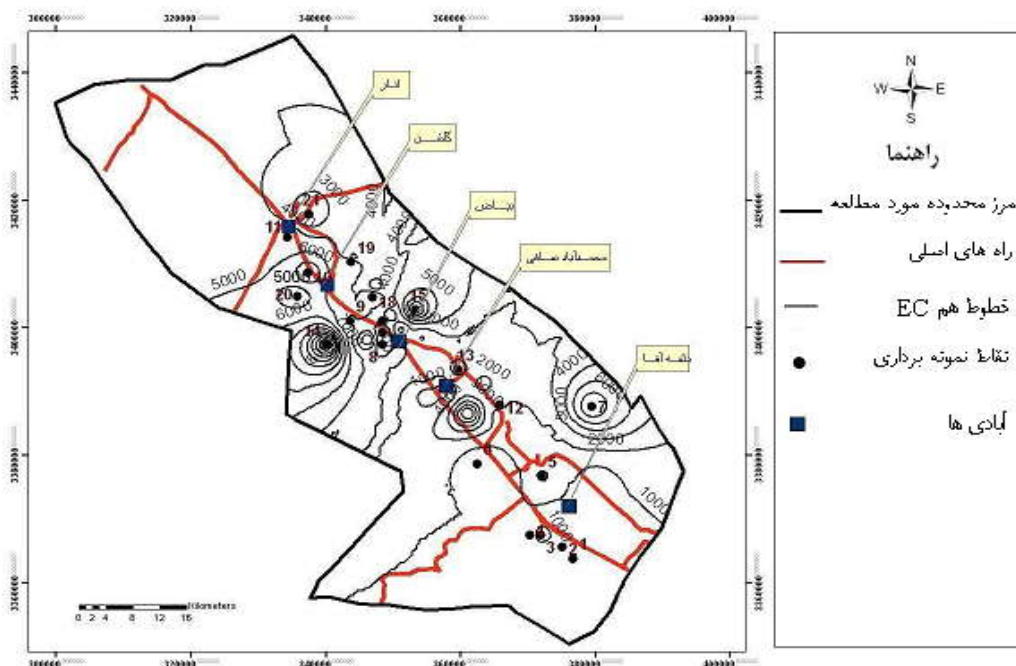
این مطلب در نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی (شکل شماره ۳) مشخص است. سفره آب زیرزمینی در جنوب از طریق رأس مخروط افکنه‌ها، گسل‌های حد کوه و دشت و سیلاب‌های پخش شونده در سطح مخروط افکنه‌ها تغذیه می‌شود (کاظمی‌آذر، ۱۳۸۵). عمق آب زیرزمینی از جنوب به سمت شمال آن کاهش می‌یابد. به طوری که در نزدیکی رأس مخروط افکنه‌ها در عمق حدود ۱۰۰ متر و در نمکزارهای شمال دشت در عمق کمتر از ۱۰ متر قرار دارد. با توجه به این که در گذشته در این دشت قنوات یگانه شکل برداشت آب زیرزمینی بوده‌اند، آنها در سطح مخروط افکنه‌های جنوبی دشت حفر شده و در طول قاعده آنها (مرکز دشت) ظاهر می‌شده‌اند. به همین دلیل کلیه آبادی‌ها در قسمت میانی این دشت مستقر هستند (شکل شماره ۴).

در حین جریان آب زیرزمینی، به علت تماس با سنگ بستر حاوی گچ و نمک (سازند قرمز بالایی)، میزان املاح آن افزایش می‌یابد. نقشه EC (شکل شماره ۵) مؤید این نکته است. شکل شماره (۶) نقشه نمودارهای استیف نمونه‌های آب زیرزمینی دشت را نشان می‌دهد.

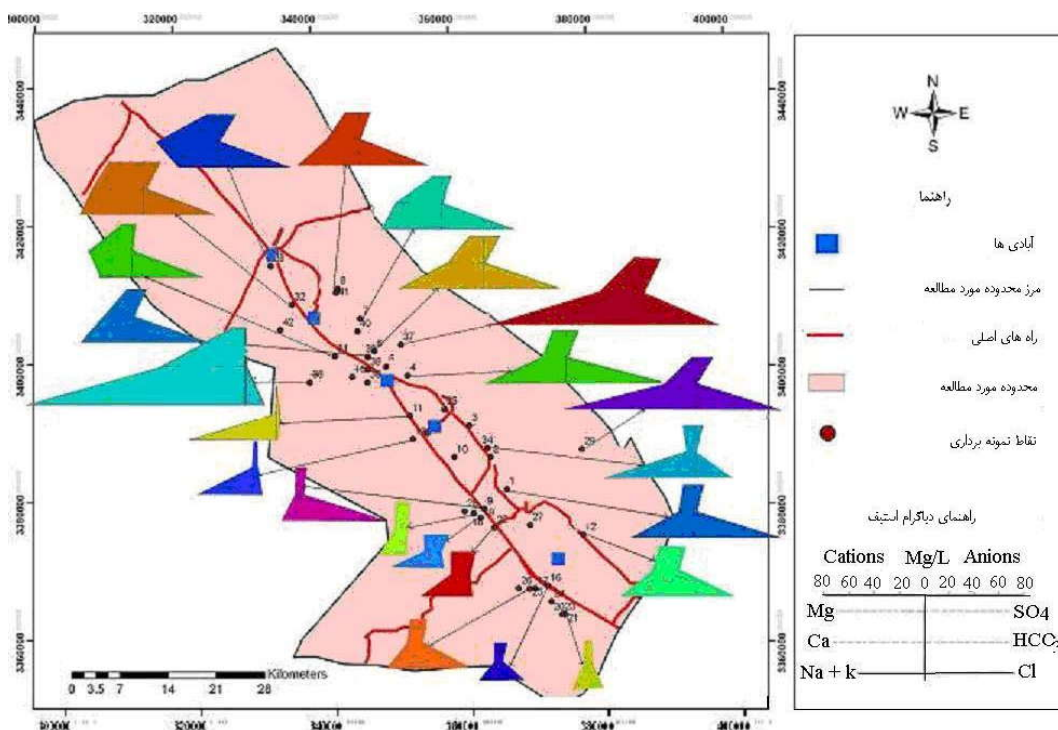
بر روی نقشه مشخص است که در بخش جنوب شرقی دشت انار مقدار کلر نسبت به سایر یون‌ها بیشتر است. نمونه‌های شمال منطقه کلر و سدیم بالایی داراست. نمونه ۱۴ که در مجاورت معدن گچ شوره واقع شده، سدیم بسیار بالایی داشته و در نمونه‌های غرب منطقه کلسیم نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر است. زیرا افزایش زمان



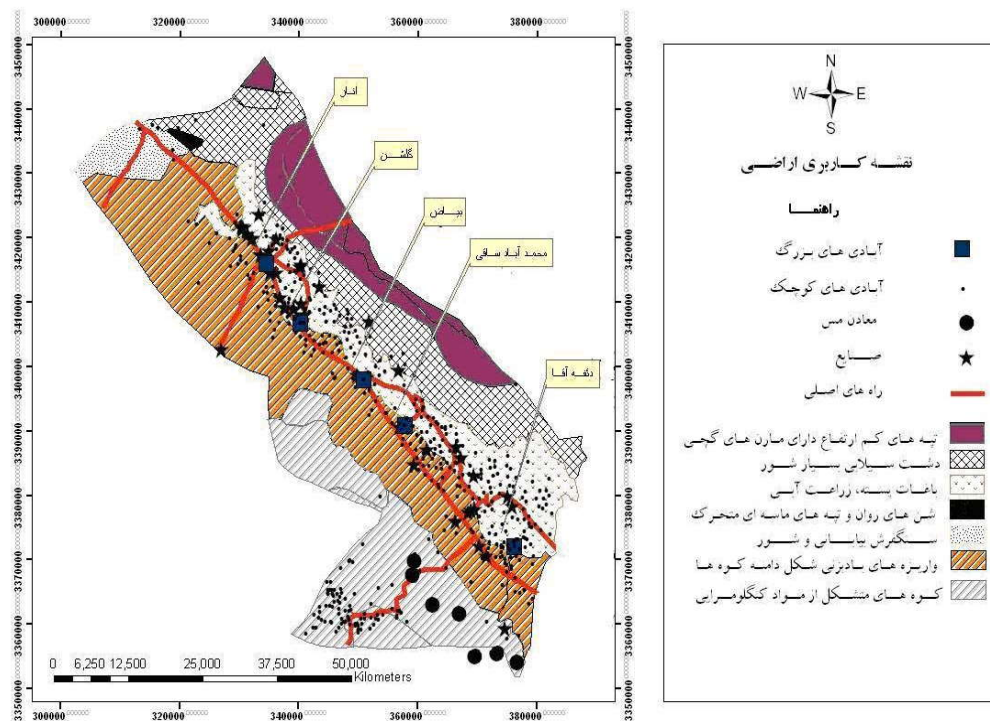
شکل شماره (۴): نقشه پراکندگی آبادی‌های دشت انار



شکل شماره (۵): نقشه EC دشت انار



شکل شماره (۶): نقشه پراکندگی نقاط نمونه برداری همراه با نمودارهای استیفا



شکل شماره (۷): نقشه کاربری اراضی دشت انار

## ابزارها و روشها

سنگین مد نظر بود. نمونه فلزات سنگین با استفاده از اسیدنیتریک غلیظ تا pH زیر ۲ اسیدی شد تا از رسوب احتمالی کاتیون‌ها و رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری شود و همچنین جذب سطحی به وسیله دیواره‌های ظرف به حداقل برسد.

در محل نمونه‌برداری دما و pH نمونه‌ها و همچنین موقعیت جغرافیایی محل نمونه‌برداری با GPS اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس نمونه‌ها برای آنالیز به آزمایشگاه مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی ماهان فرستاده شدند.

آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی با استفاده از روش کروماتوگرافی یونی (IC) و فلزات سنگین با روش جذب اتمی<sup>۱</sup> تجزیه شدند. نتیجه تجزیه و تحلیل نمونه‌ها در جدول شماره (۱) ارائه شده است. تجزیه ارسنیک نیز با روش جذب اتمی کوره گرافیتی انجام شد

نمونه‌برداری طی چهار روز در اوایل اردیبهشت ماه ۱۳۸۸ و از ۲۱ حلقه چاه صورت گرفت. تمام چاه‌های بهره‌برداری عمیق بوده‌اند. نمونه‌ها از خروجی چاه برداشت شدند و برداشت نمونه از عمق یا لایه خاصی مد نظر نبوده است. نقاط نمونه‌برداری طوری انتخاب شدند که دارای پراکندگی مناسب جهت پوشاندن دشت بوده و در هنگام نمونه‌برداری پتانسیل آلودگی نقطه نمونه‌برداری در نظر گرفته نشده است.

ظروف نمونه‌برداری از جنس پلی‌اتیلن ۱ لیتری بوده که قبل از نمونه‌برداری اسیدشویی شده و با آب مقطر نیز شسته شدند؛ در موقع نمونه‌برداری نیز سه بار با آب مورد نظر، شست‌وشو صورت گرفت. در هر نقطه نمونه‌برداری، دو ظرف آب برداشته شد که در یکی اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و دیگری اندازه‌گیری فلزات

جدول شماره (۱): نتایج آنالیز نمونه‌های آب دشت انار

شماره نمونه	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	Pb (ppb)	As (ppb)	Cd(ppb)	شماره نمونه	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	Pb (ppb)	As (ppb)	Cd(ppb)
۱	۱۲	۲۰	۵۷	۲/۶۳	۱۲	۱۴	۱۲	<۱۰	۰/۲۸
۲	۱۶	۱	۳۴	۰/۱۱	۱۳	۱۹	۱۷	<۱۰	۰/۰۵
۳	۲۹	۳	۹۶	۰/۰۹	۱۴	۳۰	۱۷	۲۵	۰/۶۶
۴	۱۶	۱	<۱۰	۰/۲۸	۱۵	۱۴	۱۴	۱۵	۰/۱۷
۵	۱۲	۱	<۱۰	۰/۱۵	۱۶	۲۱	۱۵	<۱۰	۰/۰۸
۶	۱۸	۱۳	<۱۰	۰/۳۷	۱۷	۲۱	۱۴	<۱۰	۰/۳۴
۷	۱۳	۱۵	<۱۰	۰/۲۵	۱۸	۲۴	۱۴	<۱۰	۰/۱۱
۸	۲۴	۱۱	۱۳	۰/۱۷	۱۹	۲۵	۱۳	۱۶	۰/۲۹
۹	۱۵	۱۵	۱۱	۰/۰۶	۲۰	۳۰	۱۳	۱۹	۰/۱۱
۱۰	۶۴	۱۵	<۱۰	۰/۲۹	۲۱	۱۶	۱۰	<۱۰	۰/۰۶
۱۱	۹۷	۱۳	۱۷	۰/۰۶					

قسمت میانی دشت را مورد ارزیابی قرار داد. از آنجا که بیشتر معادن موجود در منطقه غیرفعال هستند باطله معدنی موجود نیست. موقعیت مناطق تغذیه، میانی و انتهایی دشت بر روی شکل شماره (۲) مشخص شده است. بر اساس مطالعات مهندسان مشاور کاواب (۱۳۸۱) و باقرزاده (۱۳۸۷)، هیدروگراف‌های سالانه و مطالعه سطح آب پیژومترهای منطقه، طبقه‌بندی شکل شماره (۲) در مورد تمام فصول سال صدق می‌کند. نمودار ستونی EC شکل شماره (۸) نیز مؤید این طبقه‌بندی است.

نتایج آنالیز نمونه‌ها به صورت نقشه‌های هم‌غلظت و با استفاده از نرم افزار Arc GIS ارائه شده‌اند. از آنجا که در بخش جنوبی (به دلیل آب شناختی بالادست) و بخش شمالی (پایین دست) سفره آب زیرزمینی منابع آلاینده کمتری به چشم می‌خورند و بخش اعظم منابع آلاینده (آبادی‌ها، جاده کرمان - یزد، بسیاری از صنایع و باغهای پسته) در بخش میانی دشت قرار دارند، سعی شد میانگین غلظت ترکیبات مورد مطالعه در این سه بخش محاسبه و به صورت هیستوگرام ارائه شد تا بهتر بتوان سهم عوامل آلاینده موجود در

بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶) حد مجاز کادمیوم در آب آشامیدنی انسان ۳ ppb است که تمام نمونه‌ها در محدوده مجاز قرار می‌گیرند و صرفاً نمونه شماره ۱ واقع در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه نزدیک به حد مجاز (۲/۶۳ ppb) است. این چاه آب شرب تعداد زیادی از روستاهای مجاور را تأمین می‌کند که نزدیک‌ترین آنها هرمزآباد است.

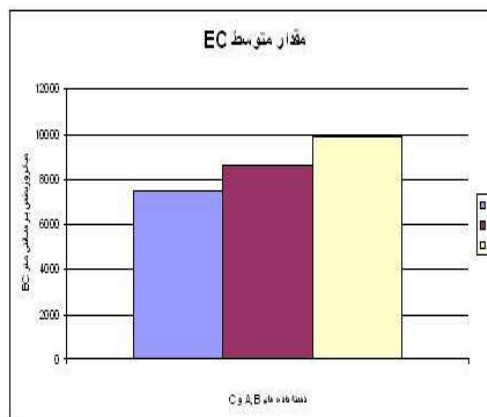
### آرسنیک

مطالعات خواجه‌پور (۱۳۸۶) و ابراهیمی میمند (۱۳۸۸) بر روی بخش جنوبی دشت رفسنجان واقع در شرق دشت انار نشان داد که غلظت آرسنیک در کل منطقه بیش از حد مجاز آب آشامیدنی است. با توجه به نقشه هم‌غلظت آرسنیک شکل شماره (۱۱) بیشترین غلظت این عنصر مربوط به بخش‌های جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه است. در این بخش از محدوده مورد مطالعه معادن مس قرار دارند. بر اساس شواهد، آرسنیک از رگه‌های سولفیدی این معادن آزاد شده و در جهت شیب آب زیرزمینی به این نقاط انتقال یافته است. نویسندگان مختلف وجود آرسنیک را در محیط‌های هیدروترمال تأیید می‌کنند (Campbell, et al., 2004).

نمونه شماره ۱۴ غلظت نسبتاً بالای این عنصر را نشان می‌دهد. با توجه به دمای بالا و pH پایین این نمونه و بالا بودن سرب، آرسنیک و کادمیوم در آن و همچنین امتداد یافتن گسل انار تا حوالی این بخش از منطقه، در این محل شرایط هیدروترمال حاکم است. نمودار متوسط غلظت‌ها (شکل شماره ۱۲) بیشترین مقدار آرسنیک را در منطقه تغذیه نشان می‌دهد که اختلاف زیادی با دو متوسط دیگر دارد و مبین منشأ طبیعی این عنصر است. جذب به وسیله اکسی-هیدروکسیدهای آهن (Henke, 2009) می‌تواند یکی از علل کاهش غلظت آرسنیک به سمت انتهای دشت باشد.

در حین حرکت آب زیرزمینی به سمت شمال دشت (پایین دست) افزایش درصد رسوبات ریزدانه (مهندسان مشاور، کاواب، ۱۳۸۱) و pH خنثی در بیشتر نمونه‌ها از عوامل جذب آرسنیک و کاهش غلظت آن به حساب می‌آید. سفره آبدار ناهمگن با لایه‌های رسی نامنظم باعث تفاوت غلظت آرسنیک در بخش‌های مختلف می‌شود (Henke, 2009).

این عامل نیز می‌تواند سبب تفاوت غلظت آرسنیک در نمونه‌های بخش میانی دشت شده باشد. همچنین استفاده از آفت کش‌های حاوی آرسنیک در باغهای پسته ممکن است در افزایش غلظت آرسنیک در برخی نمونه‌های موجود در بخش میانی دشت



شکل شماره (۸): نمودار متوسط EC در محل تغذیه (A)، میانی دشت (B) و بخش‌های انتهایی (C)

### بحث

#### کادمیوم

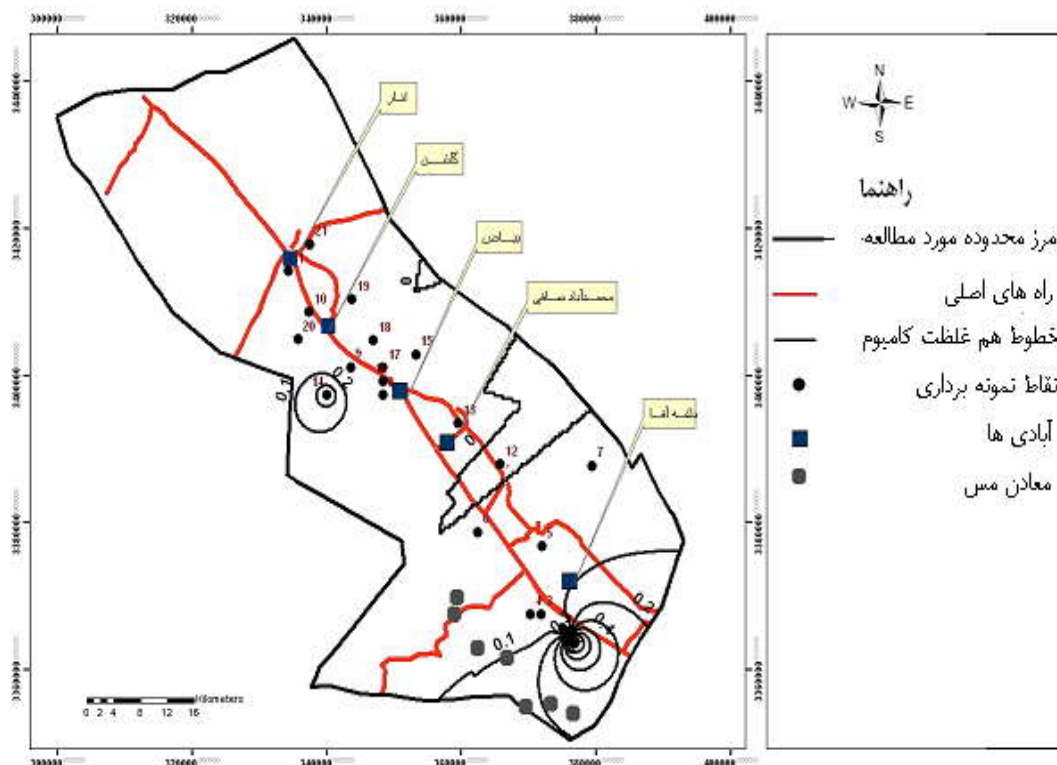
منبع آلودگی کادمیوم فاضلاب‌های صنعتی و باطله‌های معدنی هستند (Manahan, 2005). نقشه هم‌غلظت کادمیوم (شکل شماره ۹) نشان می‌دهد که غلظت این عنصر در بخش جنوب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه که در مجاورت معادن مس قرار دارد بالاست. کادمیوم موجود در این نمونه‌ها به احتمال زیاد از رگه‌های سولفیدی موجود در معادن مس آزاد شده است.

نمودار متوسط غلظت‌ها شکل شماره (۱) نیز بیشترین غلظت کادمیوم را در منطقه تغذیه نشان می‌دهد که مؤید منشأ طبیعی این عنصر است. PH آبهای منطقه تغذیه، به دلیل اکسیداسیون سولفیدهای کوهستان سرچشمه (کمر بند دهج- ساردوئی) نسبت به دو متوسط دیگر پایین‌تر است و کادمیوم در pH های پایین‌تر حلالیت بیشتری دارد. این عنصر در آب محلول است مگر این که یون سولفید هم وجود داشته باشد که در این صورت به صورت CdS رسوب می‌کند (عابدینی، ۱۳۸۶).

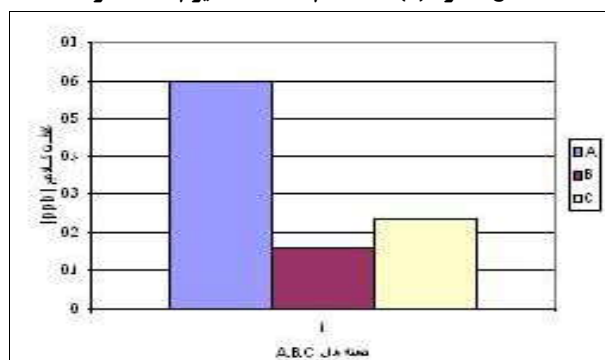
در بخش میانی دشت کمترین متوسط غلظت این عنصر مشاهده می‌شود. تحرک کادمیوم در شرایط Eh اکسیدی‌تر و pH اسیدی‌تر بیشتر است (Siegle, 2002). میانگین pH آبهای بخش میانی دشت ۷/۲ است. در این pH کادمیوم تحرک کمی دارد. pH آبهای بخش انتهایی دشت به دلیل اشباع شدن محل‌های جذب خاکها و آزادسازی  $H^+$  کاهش یافته (Siegle, 2002) و این عامل سبب افزایش تحرک کادمیوم و بالا رفتن متوسط غلظت این عنصر در بخش انتهایی شده است.

کیلومتری غرب روستای بیاض و نمونه ۱۵ واقع در ۷ کیلومتری شمال شرق روستای بیاض بالاتر از حد مجاز آب آشامیدنی هستند. توصیه شده که میزان آرسنیک در آب آشامیدنی حیوانات اهلی حداکثر ۵۰۰ ppb باشد. زیرا حیوانات توانایی تحمل آرسنیک موجود در آب و مواد غذایی را تا بیش از ۵ میلی گرم در لیتر ندارند (صلاحی و موسی نژاد، ۱۳۸۸). بر اساس این استاندارد تمام نمونه‌های آب در محدوده مجاز آشامیدن حیوانات قرار دارند.

نقش داشته باشد. بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶)، حد مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی، ۱۰ ppb است که بر این اساس نمونه‌های ۱، ۲ و ۳ واقع در جنوب شرقی دشت (در مجاورت معادن مس) و نمونه ۱۴ که در غرب منطقه (۱۵ کیلومتری غرب روستای بیاض در مجاورت معدن گچ شوره) واقع است، نمونه ۳ واقع در ۲ کیلومتری شرق روستای وکیل آباد، نمونه ۸ واقع در ۲

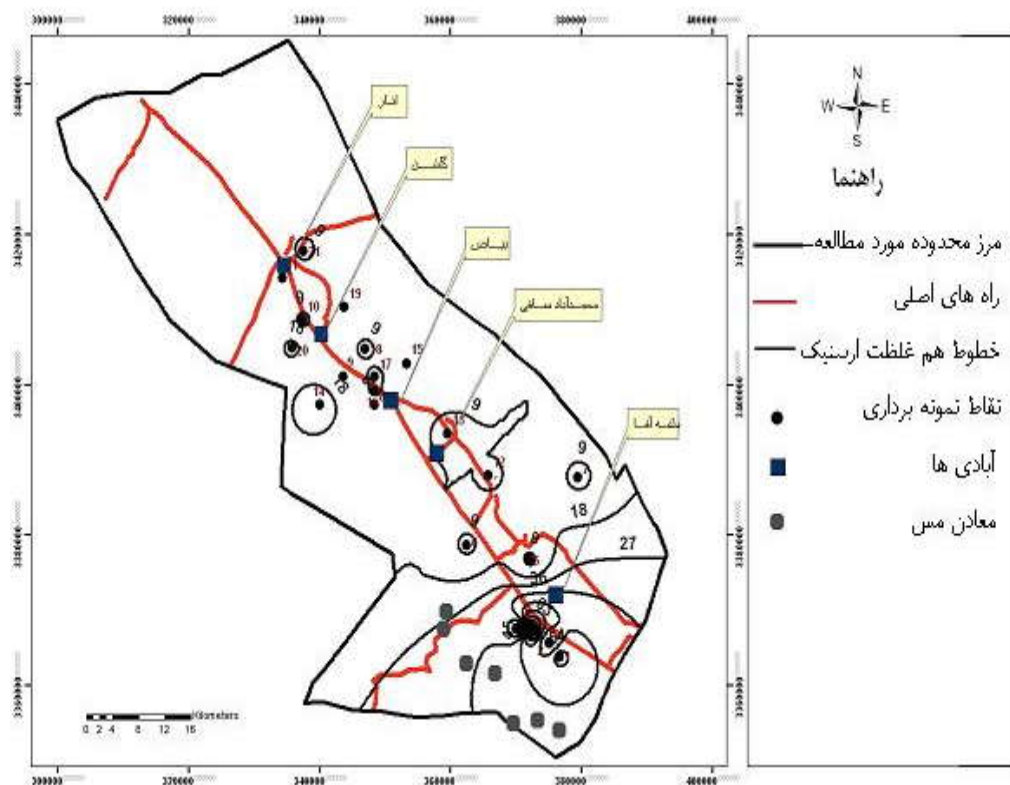


شکل شماره ۹: نقشه هم غلظت کادمیوم دشت انار

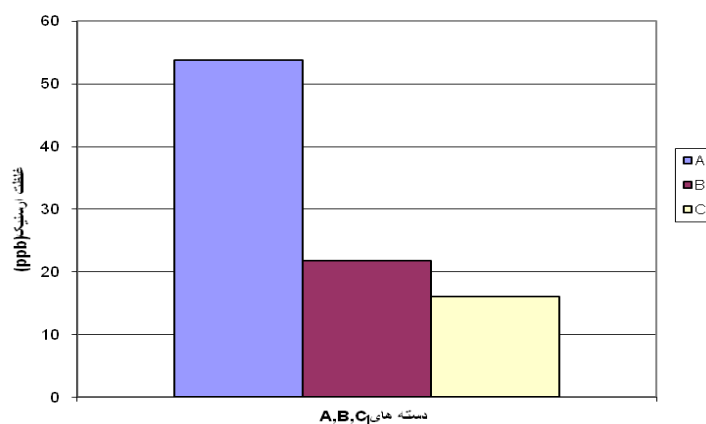


شکل شماره ۱۰: نمودار متوسط غلظت‌های کادمیوم در منطقه تغذیه (A)، بخش میانی (B) و منطقه تخلیه (C) دشت انار





شکل شماره (۱۱): نقشه هم غلظت آرسنیک در دشت انار



شکل شماره (۱۲): نمودار متوسط غلظت‌های آرسنیک در منطقه تغذیه (A)، بخش میانی (B)، منطقه تخلیه (C) دشت انار

### سرب

کادمیوم هم در همین نقطه حداکثر بود چون این دو عنصر گوگرد دوست بوده و در رگه‌های سولفیدی با هم یافت می‌شوند (Siegle, 1979). حد مجاز سرب در آب آشامیدنی ۱۵ ppb است که بر این اساس نمونه‌های شماره ۱ (چاه آب شرب روستای هرمز آباد)، ۹ (واقع در ۱۰ کیلومتری غرب روستای بیاض)، ۱۰ (در ۶ کیلومتری

نقشه هم غلظت سرب شکل شماره (۱۳) حاکی از بالا بودن این عنصر در بیشتر نقاط دشت است. بیشترین غلظت سرب در نمونه شماره (۱) واقع در جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. تصور می‌شود که منشأ آن معادن مس باشد. غلظت

از آنجا که متوسط غلظت در منطقه تغذیه هم نسبتاً بالاست بخشی از سرب موجود در آنها از سولفیدهای کوهستان سرچشمه منشأ گرفته اما افزایش غلظت آن در بخشهای میانی و انتهایی دشت ناشی از آلودگی انسانزاد شامل سرب اضافه شده به بنزین و گازوئیل خودروهای عبوری است که نهایتاً بر روی خاکها و گیاهان اطراف جاده نشسته و با شست‌وشو از سطح آنها به سفره آب زیرزمینی می‌رسد.

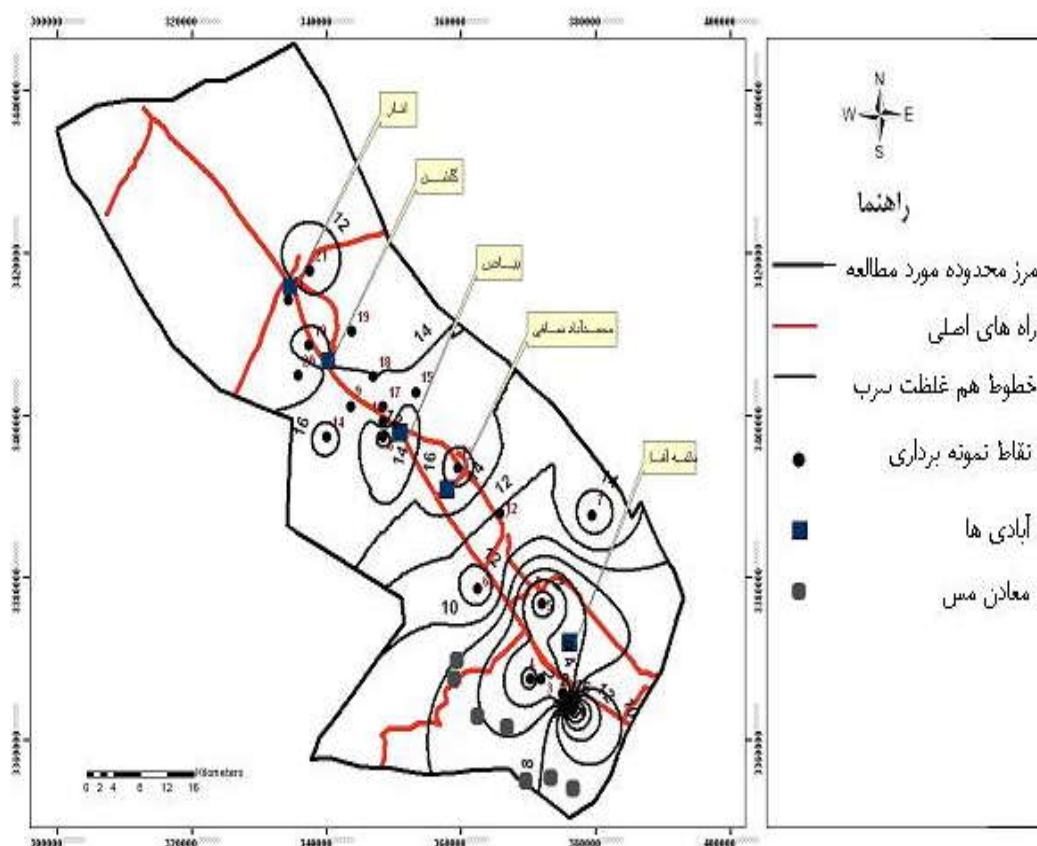
مطالعات رحمانی و همکاران (۱۳۷۹) نشان داد که غلظت سرب در کل اندامهای گیاهی در کنار بزرگراههای کشور، بیش از حد مجاز بوده و با تراکم ترافیک جاده ارتباط مستقیم دارد.

ذرات منتشر شده از کوره‌های آجرپزی موجود در منطقه نیز ممکن است در غلظت‌های بالای این عنصر در نمونه‌های آب سهیم باشند. احتمال آزادسازی این عنصر از کانی‌های سولفیدی کوهستان سرچشمه را نیز نباید از نظر دور داشت. سرب موجود در مناطق تغذیه نتیجه اکسید شدن سولفیدها تلقی می‌شود.

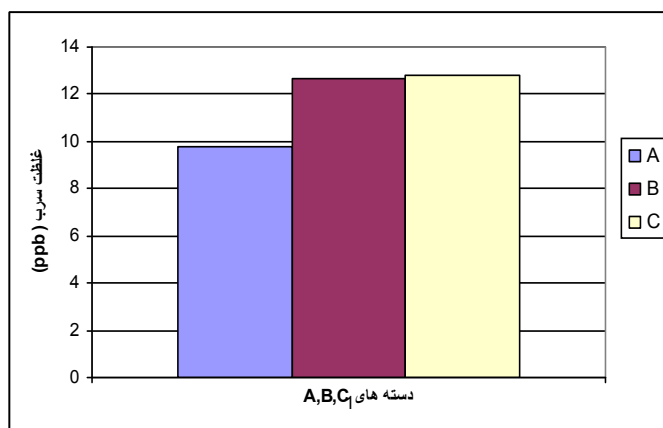
شمال غرب روستای گلشن)، ۱۳ (درمجاورت روستای محمودآباد انقلاب) و ۱۴ (در ۱۵ کیلومتری غرب روستای بیاض نزدیک معدن گچ شوره)، غلظتی بیش از حد مجاز داشته و تعدادی از نمونه‌ها هم به حد مجاز نزدیکتر هستند. حد مطلوب سرب در آب آشامیدنی دامها ۵۰ ppb است.

در صورتی که میزان سرب به ۰/۵ تا ۱ میلی‌گرم در لیتر برسد می‌تواند باعث مسمومیت مزمن در دامها شود (صلاحی و موسی نژاد، ۱۳۸۸). در تمام نمونه‌های آب برداشته شده از دشت انار میزان سرب در محدوده مجاز آب آشامیدنی دامها قرار می‌گیرد.

نمودار متوسط غلظت سرب (شکل شماره ۱۴) نشان‌دهنده زیاد بودن غلظت این عنصر در بخشهای میانی و انتهایی دشت است. سرب در این نمونه‌ها می‌تواند هم منشأ طبیعی و هم انسانزاد داشته باشد. ذرات سرب حاصل از احتراق بنزین به صورت مستقیم، یا غیر مستقیم بر سطح خاک و گیاه فرود آمده و سبب آلودگی آنها می‌گردند (Alloway, 1990). سرب حاصل از بنزین سرب دار در نهایت به سیستم‌های آبی وارد می‌شود (Manahan, 2005).



شکل شماره (۱۳): نقشه هم‌غلظت سرب در دشت انار

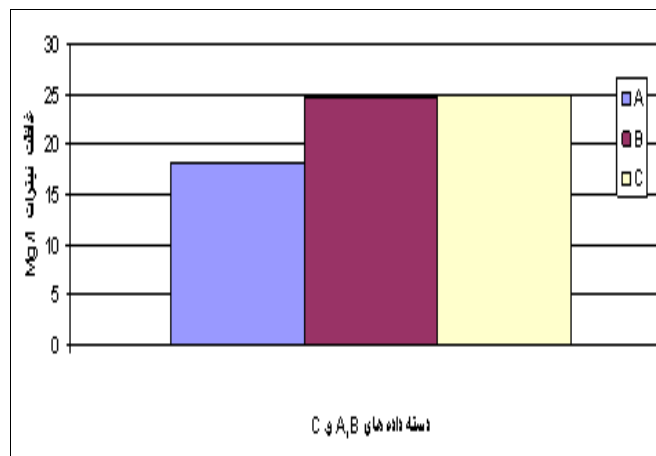


شکل شماره (۱۴): متوسط غلظت سرب در نمونه‌های مربوط به منطقه تغذیه (A)، بخش میانی (B) و منطقه تخلیه (C)

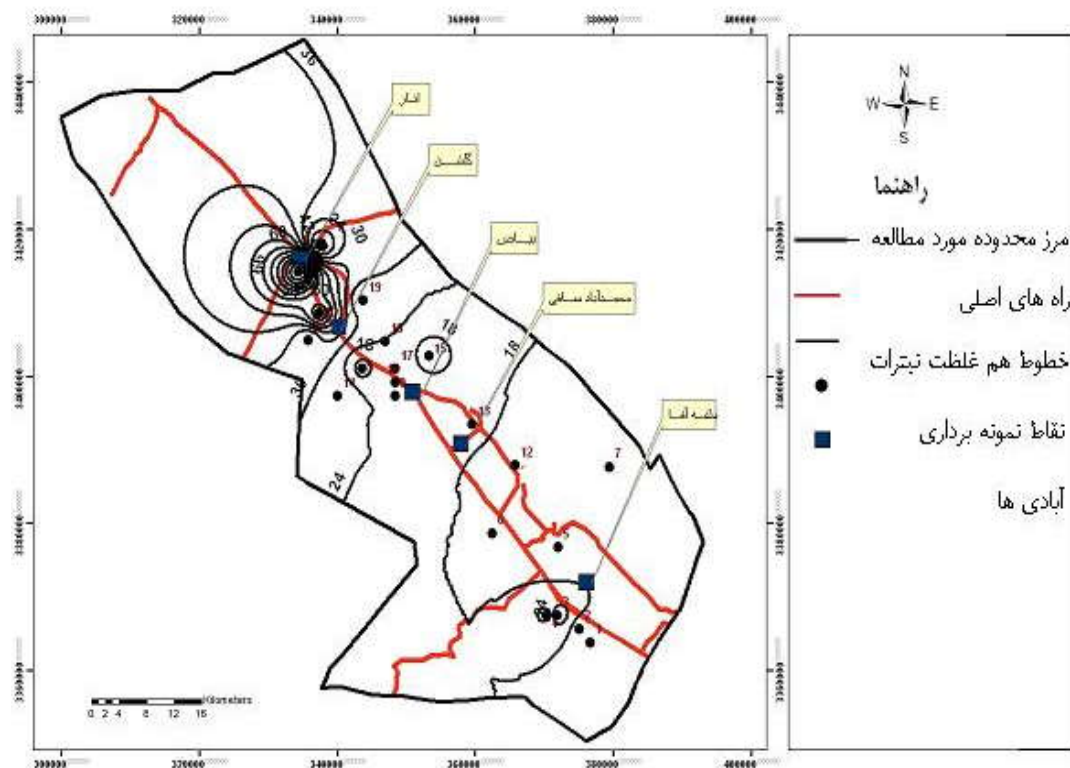
بخشهای میانی و انتهایی دشت است که دلیل آن قرار گرفتن زمینهای کشاورزی و مناطق مسکونی در محدوده میانی دشت است که آب برگشتی هر دو منبع نام برده حاوی نیترات است. به این دلیل که شیب آب زیرزمینی به سمت مناطق انتهایی دشت است و نیترات به شدت در آب محلول بوده و به آسانی با رس‌ها جذب نمی‌شود (Honslow, 1995, Neill, 1993)، در قسمت‌های پایین دست دشت نیز بالا باقی مانده است. با توجه به نقشه هم غلظت نیترات (شکل شماره ۱۶) غلظت این ترکیب در نمونه‌های شماره ۱۰ و ۱۱ بیش از سایر نقاط و به ترتیب ۶۴ ppm و ۹۶ ppm است. این نمونه‌ها در نزدیکی شهر انار واقع شده‌اند و علت افزایش نیترات، فاضلاب شهری انار است که از طریق چاههای جاذب وارد زمین می‌شود. غلظت نیترات در این دو نمونه بیش از حد مجاز آب آشامیدنی (۵۰ ppm) است (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱).

#### نیترات

منابع اصلی نیترات در آبهای زیرزمینی فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب شهری‌اند (Honslow, 1995, Marsh & Grossa, 2002, Sall & Vasudevan, 2006, Mchinney & Scjoch, 2003, Vanclooster, 2009). زمانی که غلظت آن به بیش از  $20 \text{ mg/l}$  برسد، آلودگی رخ می‌دهد (Honslow, 1995). نیترات اغلب به عنوان نوعی آلودگی که برای سلامت انسان مضر است مورد توجه است. یکی از آثار خطرناک نیترات، بیماری متاهموگلوبین، یا سندرم کودک آبی در نوزادان است. این بیماری در بیشتر موارد اگر نیترات بالاتر از  $100 \text{ mg/l}$  باشد مشاهده می‌شود. اما در شرایط غیرمعمول با میزان آلودگی میکروبی بالا حتی در غلظت‌های زیر  $50 \text{ mg/l}$  نیز دیده شده است (Harrison, 2001). نمودار متوسط غلظت نیترات (شکل شماره ۱۵) مبین افزایش غلظت این ترکیب در



شکل شماره (۱۵): نمودار متوسط غلظت نیترات در منطقه تغذیه (A)، بخش میانی (B) و منطقه تخلیه (C)



شکل شماره (۱۶): نقشه هم غلظت نیترات در محدوده مورد مطالعه

شهری انار به عنوان عامل افزایش غلظت نیترات در آبهای زیرزمینی مجاور شهر در نظر گرفته می‌شود. تمرکز زمین‌های کشاورزی در بخش مرکزی دشت و استفاده از کودهای نیترات در این زمینها همچنین تمرکز مناطق مسکونی در این بخش از دشت و فاضلاب حاصل از آنها می‌تواند در افزایش غلظت نیترات در آبهای زیرزمینی بخش میانی دشت نقش داشته باشد که به دلیل حلالیت بالای این ترکیب و عدم وجود فرایندی خاص برای رسوب آن، در جهت شیب آب زیرزمینی انتقال یافته و غلظت آن در بخشهای انتهایی دشت نیز تقریباً ثابت باقی مانده است.

#### یادداشت

#### 1-Atomic Absorption Spectrometry

ابراهیمی میمند، م. ۱۳۸۸، پراکندگی و منشأ آرسنیک در آبهای زیرزمینی دشت رفسنجان و ارائه راهکار مناسب برای حذف آن، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

#### نتایج

نقشه‌های هم غلظت و نمودارهای متوسط غلظت‌ها نشان‌دهنده آلودگی آبهای برخی از مناطق دشت انار به آرسنیک، سرب و نیترات است. غلظت کادمیوم نیز در برخی از بخشهای دشت به حداکثر مقدار مجاز در آب آشامیدنی نزدیک است. رگه‌های سولفیدی معادن مس واقع در جنوب شرقی دشت انار به همراه کانی‌های سولفیدی کوهستان سرچشمه باعث افزایش غلظت آرسنیک، سرب و کادمیوم در آبهای زیرزمینی مجاور شده‌اند. جاده پرتراфик کرمان- یزد نیز یکی دیگر از منابع آلودگی سرب در آبهای زیرزمینی بخش میانی دشت انار محسوب می‌شود. سرب حاصل از احتراق بنزین خودروهای عبوری بر روی خاک و گیاهان مجاور جاده فرود آمده و در نهایت همراه با بارندگی از سطح آنها شسته شده و به سفره آب زیرزمینی می‌رسد. غلظت نیترات در دو نمونه در مجاورت شهر انار بیش از حد مجاز آب آشامیدنی است. فاضلاب

#### منابع مورد استفاده

- اسماعیلی ساری، ع. ۱۳۸۱. آلاینده‌ها و بهداشت و استاندارد در محیط زیست، انتشارات نقش مهر، صص ۱۶۰-۱۶۴.
- باقرزاده، م. ر. ۱۳۸۷. گزارش ادامه مطالعات دشت رفسنجان سال آبی ۸۷-۸۶ شرکت سهامی آب منطقه‌ای، معاونت پایه منابع آب، صفحه ۷۰.
- خواجه پور، س. ۱۳۸۶. بررسی میزان فلزات سنگین در آبهای زیرزمینی جنوب دشت رفسنجان با تأکید بر نقش احتمالی مجتمع مس سرچشمه، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- رحمانی، ح. ر. و دیگران. ۱۳۷۹. آلودگی گیاه با سرب حاصل از وسائط نقلیه در محدوده برخی از بزرگراههای ایران، مجله محیط شناسی، شماره ۲۶.
- صلاحی، ا. موسی نژاد، م. ۱۳۸۸. کیفیت و کمیت آب مصرفی در حیوانات اهلی، انتشارات آبیژ، صص ۶۷-۷۷.
- طلباطیایی عقدا، س. ط. ۱۳۸۵. پیش‌بینی و پهنه‌بندی نشست منطقه‌ای زمین در اثر برداشت آبهای زیرزمینی در رفسنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه باهنر کرمان، صفحه ۷۶.
- عابدینی، م. ۱۳۸۶، شیمی محیط زیست (ترجمه)، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ دوم، صص ۳۲۰-۳۴۰.
- کاظمی آذر، ف. ۱۳۸۵. پایان‌نامه کارشناسی ارشد کشاورزی گرایش مهندسی آب، مدل سازی آبهای زیرزمینی دشت رفسنجان و بررسی آثار استخراج آب زیرزمینی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- مهندسان مشاور جویاب نو. ۱۳۶۴. پروژه مطالعات تأمین آب و آبرسانی شبکه توزیع آب مشروب شهر انار، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمان جلد اول، صفحات ۲۷ تا ۵۱.
- مهندسان مشاور کاواب. ۱۳۸۱. طرح مطالعاتی بیان آب محدوده رفسنجان، جلد‌های اول و دوم، صص ۵۰ و ۱۴۲.
- ناظم زاده شعاعی، م. ۱۳۶۷. گزارش مقدماتی رسوبات دوران چهارم حوضه انار- رفسنجان، صص ۴۲-۷۰.
- Alloway, B.L. 1990. Heavy metals in soils: Lead, Blackie and Son Ltd, Glasgo and London: Pp. 177-196.
- Campbell, J.R., et al. 2004. Geochemical signature of orogenic hydrothermal activity in an active tectonic intersection zone, Alpine Fault, New Zealand, Mineralium Deposita, 39: 437-451.
- Environmental Protection Agency of the United States. 2006. Drinking Water Standard and Health Advisorim, p:21.
- Harrison, R.H (ed). 2001. Pollution: Cause, Effects and Control, Forth Edition, Royal Society of Chemistry, Pp.70-74
- Henke, K.R. 2009. Environmental chemistry, Health threats, and Waste treatment, John Wiley & Sons, Inc, p: 569.
- Hounslow, A.W. 1995. Water Quality Data: Analysis and Interpretation, Lewis Publishers, Pp. 50-56.
- Manahan, S.E. 2005. Environmental Chemistry, CRC Press LLC, Eight Edition, Pp: 165-172.

---

Marsh, W. M., Grossa, J. 2002. Environmental Geography Science Land use and earth systems, John Wiley & Sons, Inc, Pp: 75-77.

Mckinney, M.L., Schoch, R. M. 2003. Environmental Science, Systems and Solutions, Third edition, Jons and Bartlett Publishers, Pp: 279

Nazemzade,M., et al. 1973. Geological map of Koshkuieh (Scale 1:100,000).

Neill, P.O. 1993. Environmental Chemistry, Chapman & Hall Publishers, pp.175-190.

Sall,M., M., Vanclooster. 2009. Assessing the well water pollution problem by nitrates in the small scale farming systems of the Niayes region, Senegal, Agricultural Water Management 96 , Pp. 1360–1368.

Seradic.A., et al. 1972. Geological map of Anar (Scale 1:100,000).

Siegle,F.R. (ed). 1979. Review of research on modern problems in geochemistry, Unesco, Pp.: 26 -33.

Siegle,F.R. 2002. Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals, Springel- Verlag Berlin Heidelberg, Pp: 202- 204.

Vasudevan,N. 2006. Essentials of Environmental science, Alpha Science International Ltd, Pp. 124-130.