

بررسی اثرات زیست‌محیطی آهن، آرسنیک و کادمیوم منابع آب‌های زیرزمینی روستاهای حومه تهران به‌منظور امکان استفاده در دریاچه‌های مصنوعی پرورش ماهی

• فرهنگ فرهمند*: گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین-پیشوا

تاریخ دریافت: بهمن 1393 تاریخ پذیرش: خرداد 1394

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی و اندازه‌گیری غلظت عناصر آهن، آرسنیک و کادمیوم بر روی آب‌های زیرزمینی روستاهای حومه منطقه شمیرانات واقع در شمال تهران انجام شد. با توجه به مشخصات جغرافیایی، اقلیمی، فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی این منطقه 7 ایستگاه نمونه‌برداری (به‌ترتیب: برگ‌جهان، رسنان، لواسان بزرگ، زرد بند، نیکنام ده، کند سفلی و راحت آباد) تعیین شدند. نمونه آب‌های جمع‌آوری شده با استفاده از روش طیف سنجی جذب اتمی (AAS) با شعله و کوره گرافیتی مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌ها و داده‌های حاصل نشان می‌دهند که بیش‌ترین غلظت آهن در ایستگاه‌های برگ‌جهان و زرد بند بوده و کم‌ترین مقدار آن در ایستگاه نیکنام ده می‌باشد. با توجه به نمودار غلظت‌ها، روند تغییرات فلز آهن در این نمونه‌ها ناهمگون است و نظم خاصی ندارد. همچنین بیش‌ترین غلظت آرسنیک در ایستگاه رسنان و کم‌ترین آن در ایستگاه راحت آباد به‌دست آمده است. با توجه به نمودار غلظت‌ها، روند تغییرات عنصر آرسنیک از ایستگاه برگ‌جهان تا نیکنام ده کاهشی بوده و در ایستگاه کند سفلی افزایش جزئی و در آخر دوباره کاهش یافته است. برای فلز کادمیم، بیش‌ترین غلظت در ایستگاه‌های برگ‌جهان، رسنان و لواسان بزرگ و کم‌ترین آن در ایستگاه‌های نیکنام ده و راحت آباد به‌دست آمد. با توجه به نمودار غلظت‌ها، روند تغییرات فلز کادمیم از ایستگاه برگ‌جهان تا نیکنام ده روند کاهشی داشته و در ایستگاه کند سفلی افزایش جزئی و در ایستگاه آخر به حداقل خود می‌رسد.

کلمات کلیدی: غلظت، نمونه‌برداری، اندازه‌گیری، آهن، آرسنیک، کادمیم



مقدمه

تا مدت‌های طولانی این تصور در ذهن بشر وجود داشت که منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی آنقدر گسترده است که می‌توان از میزان مواد آلاینده آن چشم‌پوشی کرد (ویست، 1966). اما امروزه که اثرات مستقیم و غیرمستقیم آلودگی آب‌ها بر زندگی انسان ثابت شده است. مسئله مبارزه با رفع این آلودگی‌ها به‌شکل بسیار جدی‌تری مطرح می‌باشد (کمالی‌زاد، 1388). براساس شواهد تاریخی اولین اجتماعات انسانی همیشه در محلی به‌وجود آمده که مقداری آب وجود داشته است (برد، 2005). علاوه بر انسان زندگی تمام موجودات طبیعت و گیاهان که به طریقی در زندگی انسان و بهتر زیستن آن موثر هستند به وجود آب بستگی دارد (اسدی، 1384). زندگی پاره‌ای از موجودات آبی مثل ماهی و میگو که انسان برای تأمین پروتئین آینده مورد نیاز خود نیز به آن وابسته است باز هم به آب بستگی دارد (بهرام‌سلطانی، 1385). آب بزرگ‌ترین حلال شیمیایی محسوب می‌شود و ادامه دهنده حیات بوده و یکی از پایدارترین ترکیبات طبیعت است (عباسپور، 1381). در کلیه جنبه‌های اجتماعی، کشاورزی، صنعتی، اقتصادی، فرهنگی و تولید نیرو نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (ناصری، 1379). پیشرفت‌های انسان در زمینه‌های گوناگون بدون وجود آب امکان‌پذیر نبود (ماناهان، 2013). وظیفه اصلی رساندن مواد غذایی به تمام سلول‌های بدن و دفع سموم از آن‌ها نیز به‌عهده آب است (موتقی، 1383). با افزایش سریع جمعیت در دنیا و با بالا رفتن سطح بهداشت عمومی روزانه میزان مصرف آب و به همان اندازه تولید فاضلاب را که مهم‌ترین عامل آلودگی طبیعت است افزایش می‌دهد (بهبهانی و امینی، 1383). با تخلیه این فاضلاب‌ها از طریق صنایع، کشاورزی، واحدهای مسکونی، اداری و تجاری به‌درون آب‌ها سبب شیوع بیماری‌ها و حتی مرگ و میر برای انسان و از بین بردن مقادیر عظیمی از منابع تأمین پروتئین آبی شده‌اند (مهدوی، 1383). بررسی‌ها نشان داده است آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی منحصر به وجود بقایای نیترات نمی‌باشد بلکه تراژدی‌های دیگر مانند وجود بقایای سایر مواد سمی نظیر فسفر، فلزات سنگین (Heavy Metals) و سموم نباتی (Pesticides) در آب‌های سطحی و زیرزمینی را به اثبات رسانده است (Madramootoo و همکاران، 1994).

شیرانی و همکاران (1392) در مورد ارزیابی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی در محیط شهری مطالعه‌ای را انجام دادند و نتیجه گرفتند که افزایش نیترات، سولفات و کلراید مرتبط با شیب و همچنین بافت شنی منطقه بود، وجود دارند (شکل 1) که با توجه به اطلاعات شرکت آب و فاضلاب روستایی استان تهران کار پژوهش جامعی بر روی منابع آب مصرفی آن‌ها صورت نگرفته است (آب منطقه‌ای تهران). این روستاها از نظر موقعیت جغرافیایی در منطقه لواسانات واقع در دامنه البرز مرکزی قرار داشته و کل آب مصرفی ساکنین آن‌ها از منابع آب‌های زیرزمینی این منطقه

ضمناً علت افزایش غلظت پتاسیم مرتبط با بافت رسی، فاضلاب چاه‌های جذبی و کود مصرفی در فضای سبز این نواحی به‌دست آمد. آن‌ها همچنین نشان دادند که کادمیوم نیز تنها فلز سنگینی بود که غلظتش بیش از حد مجاز بود. محمودی‌نیکو و همکاران (1390) با ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه معدنی چشمه حافظ به فلزات و عناصر سنگین دریافتند که مقدار فلزات سنگین شامل روی، مس، نقره و تا حدودی سرب، در آب‌های زیرزمینی منطقه نسبت به مقادیر استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) پایین‌تر بوده و آلودگی نشان نمی‌دهند با این حال مقدار این عناصر نسبت به میانگین آن‌ها در آب شرب بسیار بالاتر می‌باشد. حسن‌زاده و همکاران (1389) با مطالعه ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی محدوده شهر کرمان نشان دادند که غلظت عناصر جزئی سمی از جمله سرب، کادمیوم، کروم و منگنز در مرکز شهر بالاتر از حد مجاز آب‌های آشامیدنی است که دلیل آن بر اساس ضرایب همبستگی برای عناصر سرب، کروم و منگنز آلودگی‌های انسانی و عنصر کادمیوم سازندهای زمین شناسی خاص موجود در منطقه است. زینی و همکاران (1387) با بررسی وضعیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب قنات اهرستان یزد و ارائه پیشنهادات آموزشی مشخص کردند که می‌توان توان از آب قنات مذکور علاوه بر کشاورزی، برای مصارف دیگر از جمله پرورش ماهی، مصرف حیوانات، آشامیدن (پس از فیلتراسیون و کلرزنی)، احیاء آسیاب‌های آبی، ایجاد مکان‌های توریستی و تفریحی استفاده نمود.

Baig و همکاران (2009) وضعیت آرسنیک و خصوصیات فیزیکی- شیمیایی آب‌های سطحی و زیرزمینی جامشورو در پاکستان را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که میزان آرسنیک در آب‌های زیرزمینی خیلی بیشتر از میزان آن در آب‌های سطحی می‌باشد که دلیل آن، غرقابی کردن گسترده به شیوه آبیاری رودخانه‌ای ایندوس است.

هدف از این پژوهش، بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه شمیرانات به جهت استفاده در مصارف آشامیدن و دریاچه‌های مصنوعی پرورش ماهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی منطقه: نتایج حاصل از مطالعات اقلیمی، جغرافیایی و شناسایی منطقه مورد نظر نشان می‌دهد که 7 روستا در حومه منطقه شمیرانات واقع در شمال تهران

به‌شکل چشمه و چاه تأمین می‌شود. مساحت منطقه مورد پژوهش برابر 274/78 کیلومتر مربع بوده و در این محدوده هر روستا به‌عنوان یک ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شد. از نظر شرایط آب و هوایی، این منطقه در دسته مناطق نیمه-خشک و بیابانی طبقه‌بندی می‌شود (Wyn و Morris، 2005).





شکل 1: نقشه موقعیت مکانی و مساحت منطقه مورد مطالعه در پژوهش

گرفت و هر ایستگاه در مدت سه ماه 12 نوبت و در مجموع از 7 ایستگاه (جدول 1) تعیین شده 84 بار نمونه برداری انجام شد (شکل 2).

بعد از مطالعات اقلیمی، جغرافیایی، بررسی و شناسایی منطقه مورد نظر، نمونه برداری ها از آب روستاها انجام شد. در طول تمامی روزهای هفته در شرایط یکسان زمانی، عمق و آب و هوایی این نمونه برداری ها صورت



شکل 2: نقشه روستاهای مشخص شده به عنوان نقاط نمونه برداری

زیرزمینی در مقایسه با آب های سطحی آلودگی شیمیایی بیش تری دارند ولی در مقابل آلودگی های فیزیکی و میکروبی ندارند. آب مصرفی ایستگاه های 5 و 6 (نیکنام ده و کند سفلی) از طریق چاه و بقیه از چشمه تأمین می شوند.

هر روز پس از نمونه برداری ها، آماده سازی نمونه ها صورت گرفته و سپس نمونه ها به مجتمع آزمایشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران مرجع منتقل شدند (Baghvand و Nasrabadi، 2010). آب های

جدول 1: نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (شمالی)	طول جغرافیایی (شرقی)
1	برگ جهان	35° 00' 37"	51° 44' 02"
2	رسانان	35° 00' 08"	51° 45' 21"
3	لواسان بزرگ	35° 00' 30"	51° 46' 58"
4	زردبند	35° 00' 00"	51° 34' 00"
5	نیکنامده	35° 00' 07"	51° 43' 52"



6	کند سفلی	35° 51' 53"	38° 49' 51"
7	راحت آباد	35° 53' 48"	37° 01' 51"

در تمام روزهای هفته مطابق جدول 2 انجام شد (Ahmad و Islam، 2008).

در آزمایشگاه ابتدا محلول‌های استاندارد هر یک از فلزات تهیه شده سپس اندازه‌گیری غلظت هر یک از آنها توسط روش دستگاهی جذب اتمی (AAS) صورت گرفت. نمونه‌برداری از ایستگاه‌های تعیین شده با روش چرخشی

جدول 2: روش نمونه برداری از آب زیرزمینی روستاها براساس شماره ایستگاه‌ها

روزهای هفته	هفته 1	هفته 2	هفته 3	هفته 4	هفته 5	هفته 6	هفته 7	هفته 8	هفته 9	هفته 10	هفته 11	هفته 12
شنبه	1	7	6	5	4	3	2	1	7	6	5	4
یکشنبه	2	1	7	6	5	4	3	2	1	7	6	5
دوشنبه	3	2	1	7	6	5	4	3	2	1	7	6
سه شنبه	4	3	2	1	7	6	5	4	3	2	1	7
چهارشنبه	5	4	3	2	1	7	6	5	4	3	2	1
پنج شنبه	6	5	4	3	2	1	7	6	5	4	3	2
جمعه	7	6	5	4	3	2	1	7	6	5	4	3

آلاینده‌ها وجود داشته و نیز روش‌های حذف آن‌ها در جدول 3 آمده‌اند (Reinhold، 2010).

با استفاده از روش‌های فوق سعی شده است تا خطاها، تداخل و مزاحمت‌های اندازه‌گیری به حداقل برسند. میزان جرم و حجم‌های به‌کار رفته نسبی بوده و با توجه به نوع نمونه‌های آب تغییر می‌کنند در پایان غلظت فلزات سنگین جیوه، کروم و نیکل اندازه‌گیری شدند (Grabow، 2008). در اندازه‌گیری‌ها، ابتدا محلول‌های استاندارد هر یک از فلزات تهیه شدند. به طوری که برای آماده‌سازی محلول استاندارد 1000 میلی‌گرم بر لیتر فلز آهن، 1 گرم فلز آهن، را در 50 میلی‌لیتر محلول اسیدکلریدریک 1:1 حل کرده سپس با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شد.

با استفاده از بطری‌های نائسن یک لیتری از آب روستاها نمونه‌برداری شده و در ادامه در ظرف‌های پلاستیکی قرار گرفتند. در ظرف‌ها باید کاملاً بسته و محکم باشند تا از هر گونه تغییر و دگرگونی قبل از زمان آنالیز شیمیایی نمونه‌ها جلوگیری شود (Dezuane، 2010). برای آماده‌سازی نمونه‌ها، 100 الی 200 میلی‌لیتر از نمونه آب را در بمب تفلونی ریخته، سپس 2/6 گرم اسیدبوریک به آن اضافه کرده تا فلونوریدهای غیر محلول حل شوند. به‌دنبال آن پس از مدت زمانی حرارت دادن، همه محلول را که اکنون شفاف شده درون بالن حجمی 100 میلی‌لیتری ریخته و به حجم رسانده شد. سپس محلول‌های استاندارد، ساخته شده و در پایان با روش دستگاهی طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) با شعله و کوره گرافیتی غلظت فلزات اندازه‌گیری شدند. تداخل و مزاحمت‌هایی که در هنگام سنجش این

جدول 3: تداخلها و مزاحمت‌های اندازه‌گیری (Reinhold، 2010)

نام عنصر	تداخل و مزاحمت‌ها	رفع تداخل و مزاحمت‌ها	توضیحات
آهن (Fe)	کبالت، نیکل، مس، سیلیکون، اسیدنیتریک و اسیدهای آلی به ویژه اسیدسیتریک (جوهر لیمو)	اضافه کردن محلول کلرور سدیم 0/2% و تنظیم ارتفاع شعله	استفاده از شعله اکسیدنتیرو - استیلن، تداخل‌ها را از میان می‌برد ولی حساسیت اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد.
آرسنیک (As)	غلظت‌های بالای کبالت، مس، آهن، سرب، مولیبدن و نیکل	استفاده از شعله هوا - استیلن برای کاهش تداخل‌های شیمیایی مؤثر است.	شعله اکسید نیترو - استیلن تداخل‌های شیمیایی را کاهش می‌دهد ولی حساسیت کار را کم می‌کند. از حلال‌های آلی نمی‌توان استفاده کرد. برای جلوگیری از تبخیر نمونه حاوی آرسنیک و دقت بالای کار باید ژنراتور هیدروژن را به‌کار برد و آرسنیک را به شکل هیدرید به داخل شعله فرستاد. شعله آرگن - هیدروژن (شعله سرد) نیز دقت کار را بالا می‌برد.
کادمیم (Cd)	غلظت بالای سیلیکات‌ها	استفاده از شعله هوا - استیلن تداخل‌ها را کاهش می‌دهد.	استفاده از سیستم نمونه‌های میکرو و کوره گرافیتی به- جای شعله دقت و حساسیت کار را در زمان اندازه‌گیری دو چندان می‌کند.

50 میلی‌لیتر اسیدکلریدریک 1:1 حل کرده و سپس با اسیدکلریدریک 1% محلول را رقیق کرده و به حجم یک لیتر رسانده شد (Aylett، 2003). اندازه‌گیری عناصر آهن، آرسنیک و کادمیم با روش دستگاهی طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) دارای ویژگی‌هایی است که در جدول 4 نشان داده شده است (Varma، 2005).

برای آماده‌سازی محلول استاندارد 1000 میلی‌گرم بر لیتر آرسنیک، 1/32 گرم اکسید آرسنیک در 25 میلی‌لیتر هیدروکسید پتاسیم 20% (وزنی-حجمی) حل کرده سپس با اسیدسولفوریک 20% در حضور فنل فتالین تا نقطه‌ای والان تیتیر گردید و در پایان با اسیدسولفوریک 1% به حجم یک لیتر رسانده شد. برای آماده‌سازی محلول استاندارد 1000 میلی‌گرم بر لیتر فلز کادمیم، 1 گرم فلز کادمیم را در

جدول 4: ویژگی‌های اندازه‌گیری فلزات سنگین با روش طیف‌سنجی جذب اتمی (Varma، 2005)

نام پارامتر	آهن (Fe)	آرسنیک (As)	کادمیم (Cd)
طول موج (نانومتر)	248/3	193/7	228/8
پهنای شکاف (نانومتر)	0/2	0/7	0/7
نوع لامپ	H.C.L	E.D.L/H.C.L	H.C.L
نوع شعله	هوا- استیلن	هوا- استیلن	هوا- استیلن
حساسیت (میلی‌گرم بر لیتر)	0/0-04/1	1	0/01
حدشناسایی (میلی‌گرم بر لیتر)	0/004	0/1	0/002
دامنه بهینگی (میلی‌گرم بر لیتر)	5	100	2
دومین طول موج (نانومتر)	248/8	189	326/1
دومین حساسیت (میلی‌گرم بر لیتر)	0/13	0/8	-

به‌منظور افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها و دستیابی به غلظت‌های دقیق فلزات در این پژوهش و به‌دلیل فراوانی تعداد داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها، میانگین حسابی آن‌ها به تفکیک هر فلز و برای هر یک از ایستگاه‌ها تعیین گردید (Jones، 2008). برای تعیین ضریب همبستگی کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار، واریانس و آنالیز خوشه‌ای، نتایج از نرم‌افزارهای Explore و Cluster بهره‌گیری شده است (Razmkhah و همکاران، 2010).

نتایج

مقادیر حاصل از اندازه‌گیری غلظت عناصر آهن، آرسنیک و کادمیم در هر یک از نمونه‌ها به تفکیک ایستگاه‌ها مرتب شدند. همچنین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها، میانگین حسابی آن‌ها به تفکیک هر فلز و برای هر یک از ایستگاه‌ها در جدول 5 تنظیم و ارائه شده است.

جدول 5: میانگین غلظت فلزات برحسب میلی‌گرم بر لیتر (ppm) در ایستگاه‌های تعیین شده

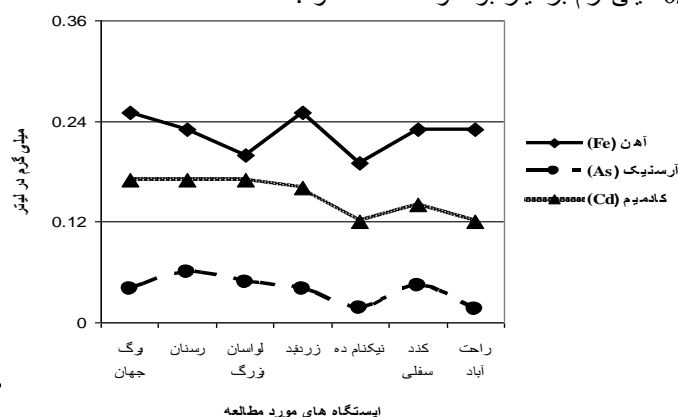
شماره	نام ایستگاه	آهن (Fe)	آرسنیک (As)	کادمیم (Cd)
1	برگ جهان	0/25	0/04	0/17
2	رسنان	0/23	0/06	0/17
3	لواسان بزرگ	0/20	0/048	0/17
4	زردبند	0/25	0/04	0/16



0/12	0/018	0/19	نیکنام ده	5
0/14	0/044	0/23	کند سفلی	6
0/12	0/016	0/23	راحت آباد	7
0/12	0/016	0/19	کمترین غلظت	
0/17	0/06	0/25	بیشترین غلظت	
0/08	0/044	0/10	دامنه	
0/15	0/032	0/225	میانگین کلی	
0/05	0/15	0/28	انحراف معیار	

نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهند که ایستگاه‌های 1، 2، 4 بیشترین تجمع عناصر آهن، آرسنیک و کادمیوم را در این نمونه آب‌ها دارند و با حرکت از ایستگاه 1 به سمت ایستگاه‌های 4 و 5 کاهش غلظت و در ادامه افزایش جزیبی و در نهایت در ایستگاه 7 از میزان غلظت و بار آلودگی این عناصر کاسته می‌شود و کمترین تجمع غلظت در ایستگاه شماره 5 است. شکل 3 نشان می‌دهد دامنه تغییرات میانگین غلظت برای فلز آهن معادل 0/25 - 0/19 میلی‌گرم بر لیتر بوده و

نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهند که ایستگاه‌های 1، 2، 4 بیشترین تجمع عناصر آهن، آرسنیک و کادمیوم را در این نمونه آب‌ها دارند و با حرکت از ایستگاه 1 به سمت ایستگاه‌های 4 و 5 کاهش غلظت و در ادامه افزایش جزیبی و در نهایت در ایستگاه 7 از میزان غلظت و بار آلودگی این عناصر کاسته می‌شود و کمترین تجمع غلظت در ایستگاه شماره 5 است. شکل 3 نشان می‌دهد دامنه تغییرات میانگین غلظت برای فلز آهن معادل 0/25 - 0/19 میلی‌گرم بر لیتر بوده و



اری.

ایستگاه‌های مورد مطالعه

شکل 3: نمودار

بحث

عناصر آهن، آرسنیک و کادمیوم در گروه آلودگی‌های شیمیایی طبقه‌بندی می‌شوند که در اثر تخلیه فاضلاب‌های صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند. این آلاینده‌ها از نوع تجمعی بوده و با مصرف آبزیان به بدن انسان منتقل می‌شوند و در کبد، کلیه‌ها، ریه‌ها، مو، لوزالمعده و طحال تجمع کرده و عوارض و بیماری‌های خطرناک و حتی مرگ و میر را به دنبال دارند (Kurerishy، 2009). از آنجایی که آب مصرفی ساکنین این روستاها تنها از منابع زیرزمینی تأمین می‌شوند و احتمال مخلوط شدن این آب‌ها با پساب‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی این منطقه وجود دارد، حساسیت آن بیش‌تر است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها درستی این مطلب را مشخص می‌کنند (Roques و Alpmann، 2006). تخلیه پساب‌ها به‌درون چاه‌های جذبی عمیق، زمین‌های زراعتی، باغ‌های منطقه و استفاده از سموم دفع آفات سبب انتقال تدریجی این عناصر از طریق خاک به منابع آب‌های زیرزمینی می‌شوند (Ntengwe،

از سوی دیگر دامنه تغییرات میانگین غلظت آرسنیک 0/06 - 0/016 میلی‌گرم بر لیتر و میانگین کلی غلظت آن 0/032 میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. بیشترین مقدار آن در ایستگاه رسنان با 0/06 میلی‌گرم بر لیتر و کمترین غلظت آن در ایستگاه راحت‌آباد با مقدار 0/016 میلی‌گرم بر لیتر ثبت شد. روند تغییرات آرسنیک نیز ناهمگون است، به طوری که در شکل 3 نیز ارائه شده است در ایستگاه رسنان بیشترین مقدار آرسنیک و بعد از آن تا ایستگاه نیکنام‌ده غلظت آرسنیک کاهش می‌یابد و در ایستگاه کندسفلی افزایش داشته و دوباره در ایستگاه راحت‌آباد کاهش داشته و به کمترین مقدار خود می‌رسد. همچنین دامنه تغییرات میانگین غلظت کادمیوم، 0/17 - 0/12 میلی‌گرم بر لیتر و میانگین کلی غلظت آن 0/15 میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. بیشترین مقدار آن در ایستگاه‌های برگ‌جهان، رسنان، لواسان بزرگ و کمترین مقدار آن در ایستگاه‌های نیکنام‌ده و راحت‌آباد ثبت شد. روند تغییرات کادمیوم با حرکت از ایستگاه 1 تا 5 سیر کاهشی داشته و دوباره در ایستگاه 6 روند افزایشی دارد و در آخر به حداقل غلظت خود می‌رسد (شکل 3).



طوری که در این تحقیق نیز دیده شد میزان کادمیوم در ایستگاه‌های مختلف متفاوت بود و در بیشترین غلظت مربوط به منطقه‌ای است که علت آنرا می‌توان به شسته شدن خیابان‌ها یا خاک‌های آلوده به کادمیوم در هنگام بارندگی دانست. ضمناً فاضلاب‌های صنعتی با بهره برداری‌های معدن، تولید رنگ و باتری‌سازی می‌توانند موجبات آلودگی به این آلاینده را فراهم کنند.

در مقایسه با استانداردهای زیست محیطی آبریان و نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای این عناصر، غلظت کادمیم در رده بسیار آلوده و غلظت آهن و آرسنیک در رده غیرآلوده طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین بررسی ضرایب همبستگی این عناصر در این پژوهش نشان می‌دهد که آلودگی آهن، آرسنیک و کادمیم در این منطقه بیش‌تر منشأ کشاورزی، باغبانی و پسابی داشته که این آلودگی‌ها ناشی از تخلیه فاضلاب‌ها و پساب‌های شهری خانگی، کشاورزی و صنعتی آن منطقه به درون این آب‌ها می‌باشد. تجمع زیاد این فلزات به شدت محیط زیست، آبریان، اکوسیستم آبی و ساکنین منطقه را آلوده کرده و سلامتی و جنبه‌های بهداشتی آن‌ها را تهدید می‌کنند (Nabibidhendi, 2007).

با توجه به نتایج بدست آمده، در یک رتبه‌بندی کلی می‌توان تمام ایستگاه‌ها را برحسب کاهش آلودگی از بیش‌ترین به کم‌ترین به ترتیب زیر مرتب کرد: ایستگاه برگ-جهان < ایستگاه رسنان > ایستگاه زردبند < ایستگاه لواسان-بزرگ > ایستگاه کندسلفی < ایستگاه راحت‌آباد > ایستگاه نیکانامه

سازمان بین‌المللی WHO (سازمان جهانی بهداشت)، EPA (اژانس حفاظت از محیط زیست)، سازمان حفاظت محیط زیست ایران و محققینی در رابطه با میزان مجاز آلاینده‌های شیمیایی، استانداردهای زیست محیطی آبریان را تعیین کرده‌اند (جدول 6).

2005). از آنجایی که آب‌های زیرزمینی برای ساکنین این منطقه تنها منبع آب مصرفی و آشامیدنی آن‌ها می‌باشد پس به‌طور مستقیم در هرم غذایی و سلامت انسان نقش داشته و از این نظر اهمیت این گونه پژوهش‌ها مشخص می‌شود (Clark, 2010).

به‌منظر می‌رسد به‌دلیل دوری از مراکز صنعتی، فعالیت‌های کشاورزی، تخلیه فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی بوده است. نتایج این تحقیق با نتایج Rollinson (2003) همخوانی دارد.

Appa (2009) نیز نشان داد که میزان غلظت فلز آهن در منابع آبی زیرزمینی در یک حوزه ممکن است متغیر باشد که به‌دلیل پراکندگی جمعیت و به‌دنبال آن راهیابی متفاوت فاضلاب‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی به این منابع آبی بوده که در نتیجه بر میزان آلاینده‌ها نیز تاثیر خواهد گذاشت. نتیجه مطالعه مذکور با این پژوهش مطابقت دارد به‌طوری که میزان غلظت آهن در مناطقی که احتمال آلودگی می‌رفت در آب‌های زیرزمینی نیز خود را نشان داد. به‌طور کلی می‌توان ادعان داشت که منابع تولید آهن، قاطلاب-های خانگی و صنعتی می‌باشند.

Fewtrell و Bartram (2010) اظهار داشتند که شیل-های حاوی کانی‌های آرسنیک به‌عنوان منشأ اصلی آلودگی آرسنیک آب به‌شمار می‌آیند. به‌همین دلیل می‌توان گفت در این مناطق ناهمگون بودن میزان آرسنیک منشأ زمین‌زاد دارد. آرسنیک علاوه بر معادن، همچنین از طریق واحدهای بهره‌برداری مختلف مانند حشرمکش و سموم، عکاسی، فتوکپی، صنایع داروسازی، نفت و زغالسنگ از فاضلاب‌های صنعتی منشأ می‌گیرد.

Krishna و Aradhi (2009) اعلام نمودند که میزان غلظت کادمیوم در چشمه‌های مختلف زیرزمینی ناشی از میزان شسته شدن این آلاینده توسط بارندگی است. به-

جدول 6: مقادیر حد مجاز و استانداردهای غلظت عناصر در محیط زیست آبریان

منبع	مقادیر مجاز آلاینده (میلی‌گرم در لیتر یا ppm)			ردیف
	کادمیم (Cd)	آرسنیک (As)	آهن (Fe)	
WHO (1989)	0/01	0/1	5	1
EPA (1977)	0/01	0/1	5	2
سازمان حفاظت محیط زیست (1378)	0/05	0/1	3	3
Boyd (1998)	0/1	0/05	0/1	4
Wedemeyer (1997)	0/003	0/05	0 – 0/15	5
Piper و همکاران (1982)	0/003	0/05	0 – 0/15	6

شوند. ضمن این‌که برای موقعیت و جمعیت تهران امکان ساخت حوضچه‌ها یا دریاچه‌های مصنوعی جهت کاربری-هایی چون استخرهای ذخیره آب، اماکن تفریحی، صید ورزشی ماهی و ... وجود دارد. اما به‌طور کلی به جهت نزدیکی مناطق نمونه‌برداری با شهرهای تهران، لواسان و روستاهای بزرگ منطقه و به‌دلیل ویژگی‌های کلیمای

با توجه به غلظت‌های اندازه‌گیری شده عناصر فوق در منابع آب‌های زیرزمینی روستاهای مورد نظر و مقایسه آن‌ها با مقادیر استانداردهای بین‌المللی و ایران (Barati, 2010)، در حال حاضر علاوه بر مصارف عمومی، همگانی و شستشو، برای مصارف آشامیدن و استخرهای پرورش ماهی نیز قابل قبول و مناسب بوده و توصیه می-



14. **موتقی، ش.**، 1383. تصفیه آب‌های آشامیدنی و صنعتی. انتشارات دانشگاه شیراز. 163 صفحه.
15. **مهدوی، م.**، 1383. هیدرولوژی کاربردی. جلد 1. انتشارات دانشگاه تهران. 85 صفحه.
16. **ناصری، س.**، 1379. فرایندهای فیزیکی و شیمیایی در صنعت آب و فاضلاب. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. تهران. 55 صفحه.
17. **ویست، ر.**، 1966. شناخت آب‌های زیرزمینی. ترجمه: پازوش، ه.، 1390. انتشارات دانشگاه تهران. 504 صفحه.
18. **Ahmad, M. and Islam, K., 2008.** Heavy metals in water, sediment and some fishes of Buriganga River. Intl. Jor of envt. Vol. 4, pp: 321-332.
19. **EPA. 1977.** Process design manual for land treatment of manicipal wastewater. Report 625/1-77-008. Us Environment Protection Agency, Circinnatei, Ohio. 371 p.
20. **Appa, R., 2009.** Engineering chemistry and environmental studies. New age Intl pub. Pp: 178-183
21. **Aradhi, K. and Krishna, M., 2009.** Assessment of heavy metals pollution in water using multivariate in aria from Iran. Vol. 167, pp: 336-373.
22. **Aylett, B.J., 2003.** The chemistry of Pb, Cd and Hg. Pergamon press. 95 p.
23. **Baig, J.A.; Kazi, T.G.; Arain, M.B.; Afridi, H.L.; Kandhro, G.H.A.; Sarfraz, R.A.; Jamal, M.K.H. and Shah, A.Q., 2009.** Evaluation of arsenic and other physico-chemical parameters of surface and ground water of Jamshoro, Pakistan. J. Hazardous Mater. Vol. 166, No. 2-3, pp: 662-669.
24. **Barati, A.H., 2010.** Multi trace elements level in surface water and the prevalence of multi poisoning in Iran. Skin of the envt. Vol. 408, pp: 1523-1529.
25. **Baghvand, A. and Nasrabadi, T., 2010.** Ground water quality degradation of an aquifer in Iran central desert. Desalination. Vol. 260, pp: 264-275.
26. **Boyd, C.E., 1998.** Water Quality for Pond Aquaculture. Research and Development Series No. 43. International Center for Aquaculture and Aquatic Environments, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama. 235 p.
27. **Clark, R.J., 2010.** The chemical characterization of V, Fe and Cd. Pergamon press. Vol. 20, pp: 70-74.
28. **Dezuane, J., 2010.** Hand book of drinking water quality. 2nd USA. 575 p.
29. **Fewtrell, L. and Bartram, J., 2010.** Drinking water quality standard. Prentice hall pub. Pp:
- مطلوب آن، محل اسکان و اتراق گردشگران قرار می‌گیرد و در صورت عدم مدیریت مناسب با ادامه فعالیت‌های توسعه شهرنشینی و افزایش آلاینده‌ها و عدم استفاده بهینه از این منابع آبی متصور خواهد بود.
- ### منابع
1. **اسدی، ن. و کرباسی، ع.**، 1385. محیط زیست و شاخص آلودگی. ماهنامه آبریان ایران. سال 5، شماره 4، صفحات 60 تا 71.
2. **اسدی‌سامانی، ن.**، 1384. میزان فلزات سنگین در آب، رسوب و ماهی کفشک در آب‌های شور. فصلنامه علمی شیلات ایران. سال 6، شماره 2، صفحات 14 تا 26.
3. **بهبهانی، ا.ح. و امینی‌رنجبر، غ.ح.**، 1383. بررسی فلزات سنگین در دوکفه‌ای مرواریدساز آب‌های شور به‌روش طیف سنجی جذب اتمی، فصلنامه علمی شیلات ایران. سال 5، شماره 3، صفحات 40 تا 53.
4. **برد، ک.**، 2005. شیمی محیط زیست. ترجمه: عابدینی، م.، 1387. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی. تهران. 595 صفحه.
5. **بهرام‌سلطانی، ک.**، 1385. مقدمه‌ای بر شناخت محیط زیست. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست. تهران. 165 صفحه.
6. **حسن‌زاده، ر.؛ عباس‌نژاد، ا. و حمزه، م.ع.**، 1389. ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی محدوده شهر کرمان. فصلنامه محیط شناسی، سال 36، شماره 4، صفحات 101 تا 113.
7. **زینی، م.؛ قانعیان، م.ت.؛ طالبی، پ.؛ شیخعلی‌شاهی، س.؛ شریفی، م.؛ گودرزی، ب. و مالی، ف.**، 1387. بررسی وضعیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب قنات اهرستان یزد و ارائه پیشنهادات آموزشی. فصلنامه پژوهشی دانشکده بهداشت یزد. سال 7، شماره 1 و 2، صفحات 36 تا 43.
8. **سازمان حفاظت محیط زیست.** 1378. ضوابط و استانداردهای زیست محیطی. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست ایران. تهران. 29 صفحه.
9. **شیرانی، ز.؛ عباس‌پور، م.؛ جاوید، ا.ح. و تقوی، ل.**، 1392. ارزیابی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی در محیط شهری (مطالعه موردی: منطقه 14 شهرداری تهران). فصلنامه انسان و محیط زیست. دوره 11، شماره 1، صفحات 1 تا 16.
10. **عباس‌پور، م.**، 1381. آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی. جلد 1. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی. تهران. 275 صفحه.
11. **کمالی‌زاد، ع.**، 1388. راهنمای آب. انتشارات ایران علمی. تهران. 81 صفحه.
12. **ماناهان، س.**، 2013. شیمی محیط زیست. ترجمه: نوری، ج.، 1390. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی. تهران. 227 صفحه.
13. **محمودی‌نیکو، م.؛ فردوست، ف.؛ موسیوند، ف. و جعفری، ه.**، 1390. ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه معدنی چشمه حافظ به فلزات و عناصر سنگین. مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین. تهران. 378 صفحه.



- conditions on the health and Physiological quality of fish in intensive culture. Fish stress and health in Aquaculture. Soc. Exp. Biol. semin. Ser. 62. Cambridge University, Press. UK. pp: 35-71.
45. **WHO. 1989.** Health guidelines for the use of wastewater in agriculture. Technical Report. No. 778. WHO. Geneva, 74 P.
 46. **WWW.abfartehran.ir**
 - 65-69.
 30. **Grabow, M., 2008.** Water science and technology. Pub VCH. pp: 175-180
 31. **Jammel, A., 2009.** Evaluation of physicochemical parameters of ground water, Journal of hazardous materials. Vol. 166, No. 2-3, pp: 662-674.
 32. **Jones, W., 2008.** Annual book of ASTM Standards part B₁ water and waste water. 325 p.
 33. **Kurerishy, T., 2009.** Concentration of heavy metals in marine organisms around Qatar. Vol. 27, pp: 183-186.
 34. **Madramootoo, C.A.; Dodds, G.T. and Alikhani, Z., 1994.** Proceedings of a national policy workshop on sustainable land and water resources management. Agricultural and biosystems department of McGill University, Macdonald Campus, 21111 Lakeshore Road, Sainte Anne-de-Bellevue, Quebec, H9X 3V9, Canada. 65 P.
 35. **Morris, G. and Wyn, J., 2005.** Water science and technology. Mc grow hill pub. pp: 157-160.
 36. **Nabibidhendi, G., 2007.** Influence of heavy metals on surface water quality. Intel journal of science and technology. Vol. 4, No. 1, pp: 85-91.
 37. **Ntengwe, F., 2005.** An overview of industrial wastewater treatment and underground water. Physics and chemistry of earth. Vol. 30, No. 11-16, pp: 734-736.
 38. **Piper, R.G.; Mcelwain, L.E.; Orme, J.P.; Maccraren, L.G. and Leonard, J.R., 1982.** Fish Hatchery management, United States Department of the interior fish and wildlife service. Washington DC. 279 p.
 39. **Razmkhah, H.; Abrishamchi, A. and Torkian, A., 2010.** Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood River (Tehran, Iran). Journal of Environmental Management. Vol. 91, pp: 852-860
 40. **Reinhold, V.N., 2010.** Standard methods for water and wastewater treatment. 55 p.
 41. **Rollinson, C.L., 2003.** The chemistry of Fe, Co and Ni. Pergamon press. Vol. 21, pp: 75-80.
 42. **Roques, H. and Alpmann, S., 2006.** Chemical water treatment principles and practice. Pub VCH, England. pp: 250-260
 43. **Varma, A., 2005.** Hand book of Atomic Absorbtion Analysis. CRC press. pp: 88-90.
 44. **Wedemeyer, G.A., 1997.** Effects of rearing

