تغییرات کیفی آب زیرزمینی با تاکید بر فلوراید در دشت کبودرآهنگ استان همدان

فریبا صالحی سیف‌آبادی[۱]، عبدالله طاهری‌تیزرو*[۲]، راضیه ابراهیمی[۳] و فاطمه فرجی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
۳- دانش‌آموخته دکترا مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
۴- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

نویسنده مسئول: ttizro@basu.ac.ir *

دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۲ نوع مقاله: کاربردی

چکیده

این مطالعه با هدف اصلی تعیین غلظت پارامترهای کیفی آب و سپس توزیع غلظت یون فلوراید در منابع آب زیرزمینی شهرستان کبودرآهنگ واقع در استان همدان بررسی شد؛ پس از نمونه‌برداری از چاه‌های انتخابی و آنالیز شیمیایی داده‌های مربوط، میزان غلظت پارامترهای کیفی آب برای تمامی فصول تر و خشک سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ مورد تحلیل قرار گرفت. براساس تقسیم‌بندی WQI اکثر نمونه‌های آب درسال‌های انتهایی در محدوده ضعیف و برای سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ در بازه خوب کلاس‌بندی قرار گرفته‌اند. طی سال‌های گذشته، تأثیر فلوراید بر سلامت انسان شناخته شده است. میزان غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی حومه همدان (کبودرآهنگ) برای فصل‌های تر و خشک سال ۱۳۹۹ به کمک نرم‌افزار زمین آماری GIS و با استفاده از شاخص آماری WQI مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که در بعضی از مناطق کبودرآهنگ، احتمال قرار گرفتن در معرض آلودگی طبیعی ناشی از افزایش غلظت فلوراید در آب آشامیدنی وجود دارد. به طور کلی ۱۸/۹۱ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی غلظت بالاتری از بیشینه غلظت مجاز فلوراید توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) در آب آشامیدنی دارند. با توجه به نقشه‌های ارائه شده تغییرات مکانی پارامتر مورد مطالعه در آب زیرزمینی مشخص شد که بیشترین آلودگی فلوراید در مسیر ایده لو، واقع در شمال غرب منطقه و نوده واقع در اراضی جنوب غرب دشت است. کمترین میزان غلظت فلوراید در شمال شرق دشت می‌باشد. منشاء این عضو گروه هالوژن در محدوده دشت، عوامل زمین‌شناسی بوده که به علت قرار گرفتن ایران بر روی سومین کمربند فلوراید جهان است. به طور کلی هوازدگی و انحلال سنگ‌های آتشفشانی، سنگ‌های قلیایی کالک عامل افزایش سطح فلوراید در آب‌های زیرزمینی محدوده باشد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، آلودگی، آب زیرزمینی، فلوراید، کبودرآهنگ، GIS

۱- پیشگفتار

رشد جمعیت و آلودگی‌های ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله، روان‌آب‌های سطحی باعث گسترش آلودگی و محدودتر شدن منابع آب شده‌اند (پریتکارد و همکاران، ۲۰۰۸). در سال‌های اخیر کیفیت آب زیرزمینی اهمیتی تقریبا برابر با کمیت آن پیدا کرده و طی بررسی‌های صورت گرفته کیفیت آب طی دوره‌های آینده نیز به دلیل آلوده شدن منابع آب مناسب نمی‌باشد. حتی می‌توان گفت بحران آب از دیدگاه کیفی، جایگاه غالب‌تری نسبت به بحران کمی آب پیدا نموده است. برای جلوگیری از آلودگی آب به ویژه در بخش کشاورزی و نیز با در نظر گرفتن خشکسالی‌های اخیر و کاهش میزان بارش در کشورمان، کاهش آلودگی آب یکی از مهم‌ترین راهکارهای عملی برای مقابله و گذر از این بحران جدی می‌باشد (مرتضوی‌زاده، ۱۳۸۹). فلوئور بالاترین عضو گروه عناصر هالوژن است. رفتار شیمیایی آن از جهاتی با سایر هالوژن‌ها متفاوت است و برخی از این تفاوت‌ها در رفتار آن در آب طبیعی مشهود است. فلوئور الکترونگاتیوترین عنصر در بین تمام عناصر است. الکترومنفی گرایش نسبی یک اتم برای به دست آوردن بار منفی است. در محلول‌ها یون‌های F مختلف تشکیل می‌شود. فلوراید مجموعه‌ای از املاح قوی با تعداد یون‌های مختلف تشکیل می‌دهد و برخی از گونه‌های معدنی نسبتاً رایج با حلالیت کم حاوی فلوراید هستند. فلوریت (CaF_2) یک کانی رایج فلوئور است که حلالیت نسبتاً کمی دارد و در سنگ‌های آذرین و رسوبی وجود

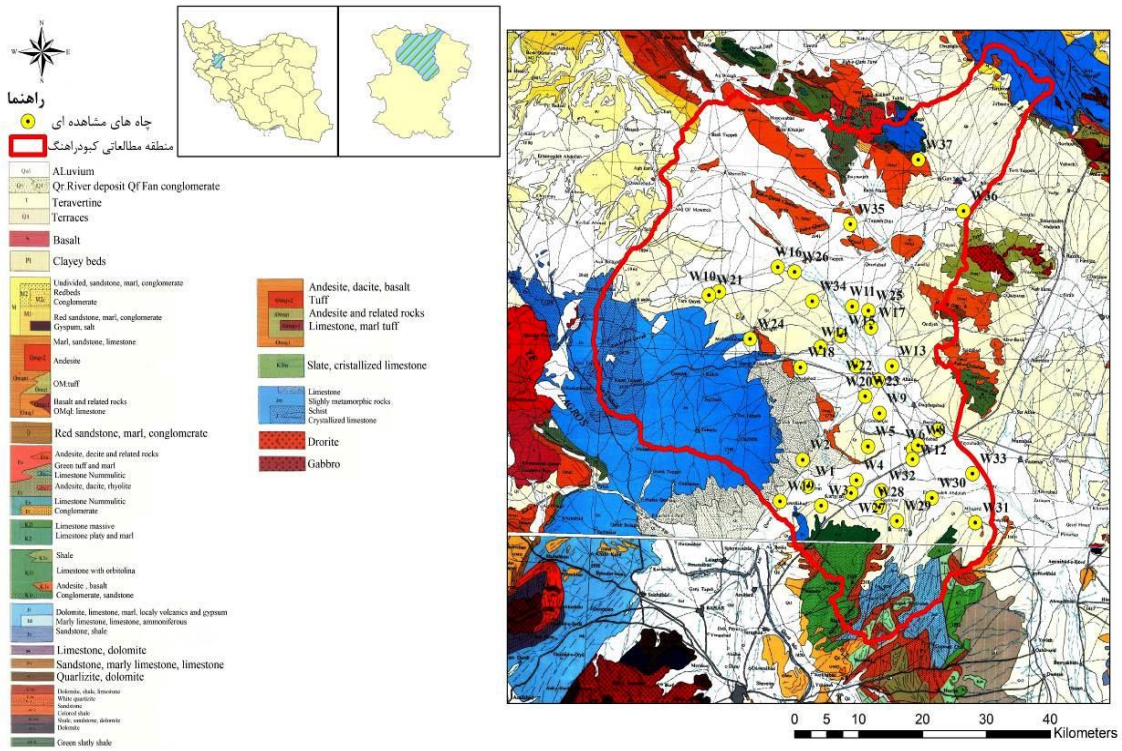
دارد. آپاتیت، $Ca_5 (Cl,F,OH) (PO4)_3$ معمولا حاوی فلوراید است. آمفیبول‌ها مانند هورنبلند و برخی میکاهای دیگر نیز ممکن است حاوی فلوراید باشند (هم، ۱۹۸۶). آگاهی از مشکلات زیست‌محیطی فلوراید در آب آشامیدنی با این واقعیت افزایش یافته است که ناهنجاری‌های اسکلتی و فلوروز دندان می‌تواند به میزان مصرف فلوراید مرتبط باشد (شاپ و همکاران، ۱۹۷۹).

سطح فلوراید موجود در آب‌های زیرزمینی نیز می تواند به دلایل انسانی افزایش یابد. کودهای فسفاته، سموم از بین برنده جونـدگان، مـاده ضـدعفونی کـننده تدخینـی، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها حاوی فلوراید به عنوان ناخالصی هستند (داتا، ۱۹۹۶). منبع اصلی ورود فلوراید به سیستم هیدرولوژیکی را می‌توان در فعالیت‌های آتشفشانی مرتبط با تشکیل شکاف و هوازدگی شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی جستجو کرد. ژئوشیمی فلوراید توسط محققان زیادی بررسی شده است همچنین دیده می‌شود که جذب فلوراید به شدت به pH وابسته است (ایوب و گوپا، ۲۰۰۶). طی مطالعات هیدروشیمیایی آبخوان‌های بازالتی و غیربازالتی، میزان فلوراید و pH نمونه‌های بازالتی را بیش از نمونه‌های غیربازالتی معرفی شده‌اند. هوازدگی در بازالت‌ها، موجب افزایش تمرکز یون سدیم و افزایش pH و در نتیجه علت اصلی آزاد شدن فلوراید از لایه آبدار بوده است (اصغری‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۷). در سطح نواحی شهری ایران میزان فلوئور در منابع آب زیرزمینـی تـامین کننـده آب آشامیدنی در کلیه شهرهای کشور به جز بوشـهر، کمتـر از اســتاندارد مجــاز ســازمان جهــانی بهداشـــت بـــوده است (مصداقی‌نیـا و همکـاران، ۱۳۸۹). از آنجا که سامانه‌های آب زیرزمینی فعال بوده و خصوصیات و دامنه فعالیت آن‌ها در مقیاس مکانی و زمانی عمل می‌کنند، نمی‌توان آن‌ها را در بعد مکان و زمان ثابت فرض کرد و رفتارشان در هر دو بعد باید بررسی شود. در پژوهش اغنیایی و همکاران (۱۳۹۵) بررسی منشا فلوراید در آب زیرزمینی جنوب ایران مورد بررسی قرار گرفت نتایج ۶۲ نمونه مورد حاکی از آن بود که مقدار فلوراید بیش از ۹۸ درصد نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی است. نتایج پژوهش محسنی سجادی و همکاران (۱۳۹۰) در توزیع مکانی فلوراید در آب زیرزمینی نشان داد میزان فلوراید با تمرکز خطوط جریان آب زیرزمینی افزایش یافته است. در پژوهش کومار و سینگ (۲۰۱۵) در هند، گائو و همکاران (۲۰۰۷) در چین و اوروک (۲۰۰۸) ترکیه غلظت بالای فلوراید آب زیرزمینی بررسی شده است. در این پژوهش منطقه مورد مطالعه دشت کبودرآهنگ انتخاب شده است. این دشت به علت منفی شدن بیلان و بروز افت مداوم در سطح آب در حال حاضر یکی از مناطق بحرانی کشور ایران است (احتشامی و همکاران، ۱۳۹۷). هدف از این پژوهش بررسی تغییرات مکانی پنج سال نامتوالی پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ، واقع در استان همدان و بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی عنصر فلوئور در یک سال با استفاده از نرم‌افزار GIS به همراه تحلیل آماری داده‌ها می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت کبودرآهنگ با موقعیت جغرافیائی به طول ′۲۷ °۴۸ و عرض ′۳۳ °۳۴ و به ارتفاع ۱۶۸۰ متر از سطح دریا با وسعت ۳۴۴۸ کیلومترمربع در شمال استان همدان واقع شده است (شکل ۱). این دشت یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه رودخانه قره‌چای است که از شمال با دشت قزوین و زنجان، و از جنوب به دشت قهاوند و بهار، از شرق به دشت رزن و از غرب به محدوده مطالعاتی گل‌تپه-زرین‌آباد در ارتباط می‌باشد. محدوده مطالعاتی دربرگیرنده بخش‌هایی از شهرستان‌های کبودرآهنگ، فامنین، همدان، بهار و رزن می‌باشد. دشت کبودرآهنگ به علت گستردگی زیاد در محدوده زون زمین‌شناسی بزرگ ایران مرکزی و زون متامورفیکی سنندج - سیرجان واقع گردیده، قسمتی از محدوده این شهرستان نیز در سرشاخه رودخانه قزل‌اوزن قرار گرفته است و پدیده طبیعی و تاریخی شگفت جهان یعنی غار علیصدر در تشکیلات آهکی این منطقه می‌باشد. نقشه محدوده مطالعاتی در شکل (۱) نشان داده شده است. طی سال‌های گذشته ۷ حلقه چاه اکتشافی و ۴ حلقه چاه پیزومتر اکتشافی در این محدوده مطالعاتی حفر شده است که بعضی از خصوصیات آن‌ها و سپس اطلاعات مربوط به لوگ آن‌ها ارائه گردیده است. در جدول ۱ مشخصات چاه‌های اکتشافی منطقه کبودرآهنگ نشان داده شده است.



شکل ۱. نقشه دشت و محدوده مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری کبودرآهنگ

جدول ۱. مشخصات چاه‌های اکتشافی محدوده مطالعاتی کبودرآهنگ

	نام محل	مختصات		عمق سطح ایستابی (m)	جنس سنگ کف
		x	y		
۱	خنجرآباد	۳۰۶۵۵۰	۳۹۲۶۵۵۰	۶۰	شیست
۲	عین‌آباد	۳۰۱۲۲۰	۳۸۸۶۸۰۰	-	آهک
۳	ایده‌لو	۲۷۷۱۵۰	۳۹۱۵۹۹۵	۷۵	مارل
۴	طاسران	۲۸۵۸۵۰	۳۹۱۰۸۸۰	۱۰۴	مارل
۵	کوریجان	۲۹۱۸۸۰	۳۸۸۳۵۱۰	۱۳۸	شیست
۶	اورقین	۲۹۱۱۰۰	۳۹۱۰۳۵۰	۷۹	مارل
۷	داق داق آباد	۲۹۸۳۰۰	۳۸۹۷۱۱۰	۱۱۲	آهک مارنی
۸	قاباق تپه	۲۸۰۶۳۰	۳۹۲۰۵۵۰	۱۵۰	آهک
۹	تپه دبی	۲۹۰۴۹۰	۳۹۲۴۸۵۰	۶۰	شیست
۱۰	بیوک آباد شرقی	۳۰۷۹۵۰	۳۸۸۲۲۱۰	-	آهک
۱۱	یسترلو	۲۹۸۱۸۰	۳۸۷۸۲۴۰	۹۵	آهک
۱۲	نوده	۳۱۰۱۰۷	۳۸۷۸۸۰۹	۷۰	مارل و آهک

جهت بررسی مقدار فلوراید در آب‌های زیرمینی منطقه، ۴۰ حلقه چاه و ۸۰ نمونه آب زیرزمینی از آبخوان دشت به وسعت ۳۱۶۵ کیلومتر مربع در طول یک سال و در فصول مرطوب و خشک، از عنصر فلوراید و هر یک از پارامترهای کیفی آب در محدوده مورد بررسی نمونه‌برداری شد. با توجه به تراز سطح آب در آبخوان، فصل تابستان به عنوان دوره کم آبی یا خشک و فصل بهار به عنوان دوره پرآبی یا مرطوب منطقه می‌باشد. نمونه‌برداری در فصل تر با توجه به دریافت زمان دقیق بارندگی از سازمان هواشناسی استان همدان، و در محل مورد نظر (دشت کبودرآهنگ) انجام شد. بدین صورت که نقاطی که قبلا طی بازدید میدانی از چاه‌های نمونه‌گیری مشخص شده بود برداشت شد. همه نقاط نمونه‌برداری در دشت کبودراهنگ شهرستان همدان قرار داشتند. برای نمونه‌برداری از ظروف پلی‌اتیلنی ۱/۵

لیتری عاری از آلودگی که قبلاً با اسیدنیتریک ٪۱۱ و آب مقطر شسته شده بود استفاده شد. بعد از کالیبره کردن بطری‌ها با استفاده از آب زیرزمینی، نمونه پر شده در داخل کولباکس قرار گرفت و با برچسب‌هایی زمان و مکان بر روی بطری‌ها مشخص شد و به سرعت به آزمایشگاه انتقال یافت. پس از برداشت و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها با توجه به روش استاندارد صورت گرفت. برای آنالیز سایر پارامترها نمونه‌ها تا زمان آنالیز در دمای ۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت کمتر از دو روز نگهداری و به آزمایشگاه منتقل می‌شود. اندازه‌گیری غلظت عناصر فلوئور با استفاده دستگاه اکوآی‌سی انجام می‌شود. بعد از طی مسیر ستون تفکیک بر اساس غلظت هر کدام از مواد داده آنالیزها به وسیله کروماتوگرافی ic ۹۳۰ (دتکتور) و ستون آنیونی کاتیونی و تفاوت در طول موج حاصل از هر یون مقدار یون های موجود در آب شناسایی می‌شود. دستگاه کروماتوگرافی یونی (آنیونی) روشی سودمند برای اندازه‌گیری آنیون‌های متداول در نمونه‌های مختلف به ویژه نمونه‌های آبی به شمار می رود. اصول این دستگاه بر مبنای جداسازی و اندازه‌گیری یون‌ها با آشکارساز هدایت‌سنج می‌باشد. این آشکارساز به همراه یک فرونشاننده حد تشخیص بسیار خوبی برای آنالیز آنیون‌ها را فراهم می‌سازد.

۲-۲- آنالیز شیمیایی نمونه

کیفیت منابع آب انتخابی و داده‌های مورد استفاده نیز مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات فلوراید در فصل خشک و تر منابع آب انتخابی به ترتیب در جدول ۲ آمده است.

با توجه به داده‌های به‌دست آمده مشاهده می‌گردد که بیشترین مقدار غلظت فلوراید در طول فصل خشک مربوط به ایستگاه نوده، با مقدار ۲/۲ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین مقدار مربوط به ایستگاه سردارآباد با مقدار ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین غلظت فلوراید در ایستگاه‌های طاسران و شمال مهاجران در این فصل صفر است.

در طول فصل تر نیز بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه شماره ۲، ایستگاه ایده لو با مقدار ۲/۳ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین مقدار مربوط به ایستگاه‌های ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۲۲، ۲۴ و ۳۱ با مقدار ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (جدول ۲). همچنین غلظت فلوراید در ایستگاه‌های اورقین و شمال مهاجران در این فصل صفر است.

۲-۳- شاخص WQI

ارزیابی مستمر پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب از ضروریات برنامه‌های کنترل کیفیت آب است. این کار سبب جمع‌آوری اطلاعات شایان توجهی می‌شود که معمولا نمی‌تواند به طور مستقیم کیفیت آب را تعیین کند. شاخص کیفیت آب WQI یکی از تکنیک‌هایی است که برای ارزیابی کیفی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد در این شاخص برآیند اثر مولفه‌های مختلف کیفی آب در قالب یک عدد که بیانگر کیفیت آب است ارائه می‌شود (جدول ۳). بنابراین یکی از مهم‌ترین مسائل پیش‌روی محققین، محاسبه میزان اهمیت هر یک از پارامترهای مورد بررسی است. هدف از این پژوهش تاثیر پارامترهای وزن‌دار شده به روش تئوری آشفتگی در نتایج کیفیت آب دشت کبودرآهنگ بود. شاخص‌های کیفی، روش‌هایی هستند که مقادیر ویژگی‌های کیفی آب را به یک عدد تبدیل می‌نمایند تا برای مدیریت و تحلیل کیفیت آب و همچنین پایش تغییرات کیفی آب در طول زمان و مکان مورد استفاده قرار گیرند. این شاخص معمولا از مقدار پارامترهای عمومی آب شامل اکسیژن محلول، اسیدیته، سختی، مواد جامد محلول، دما، کدورت، نیترات، نیتریت و برخی یون‌های اصلی به دست می‌آید. این شاخص هم برای ارزیابی کیفیت آب سطحی و هم برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ارائه شده است (پارسامهر و همکاران، ۱۳۹۷).

۲-۴- تئوری آشفتگی یا آنتروپی شانون

شانون مفهوم اطلاعات علمی یا آنتروپی اطلاعاتی را تحت عنوان آنتروپی شانون معرفی کرد. آنتروپی را می‌توان به عنوان معیاری از میزان آشفتگی در داخل سیستم تعریف نمود. در واقع آنتروپی شانون مقدار عدم قطعیت داده‌های پیش‌بینی شده از یک رخداد تصادفی را بیان می‌کند. وجود اطلاعات مشخص در یک مسئله که سبب کاهش و یا از بین رفتن عدم قطعیت می‌گردد، می‌تواند به عنوان یک شاخص در آنتروپی استفاده شود (شانون ،۲۰۰۴). بنابراین اطلاعات و عدم قطعیت به عنوان دو مولفه که اطالعات بدست آمده را تشریح می‌کنند به صورت اندازه‌گیری غیرمستقیم از مقدار عدم قطعیت کاهش یافته بدست می‌آیند.

جدول ۲. غلظت فلوراید اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های دشت کبودرآهنگ در دو فصل خشک و تر

ردیف	مختصات		نام محل	فلوراید (فصل خشک) (mg / l)	فلوراید (فصل تر) (mg / l)
	x	y			
۱	۲۶۸۷۵۷	۳۹۱۲۳۸۲	ناصرآباد	۱	۰/۹
۲	۲۷۳۲۸۹	۳۹۱۷۹۲۸	ایده لو	۱/۲	۲/۳
۳	۲۷۵۱۸۵	۳۹۰۵۹۵۰	جنوب شرق قره گل	۱/۷	۱/۴
۴	۲۷۹۵۰۱	۳۹۱۶۵۴۶	قاباق تپه ایده لو	۱/۸	۱/۷
۵	۲۷۹۸۴۴	۳۸۸۱۹۷۹	کوشک آباد	۱/۸	۱/۸
۶	۲۸۱۹۶۰	۳۹۰۱۸۲۴	امیرآباد	۱/۷	۱/۸
۷	۲۸۳۴۰۴	۳۸۸۸۱۱۲	شمال مهاجران	۰	۰
۸	۲۸۴۲۴۲	۳۸۸۴۱۸۱	مهاجران-ریکان	۱/۱	۱/۱
۹	۲۸۴۶۴۵	۳۹۰۵۹۵۷	سردارآباد	۱/۲	۱/۲
۱۰	۲۸۴۸۹۳	۳۹۱۱۵۱۳	طاسران	۰	۰/۳
۱۱	۲۸۶۲۵۲	۳۸۸۱۲۹۱	کوریجان	۱/۱	۱/۱
۱۲	۲۸۹۳۷۵	۳۹۰۶۴۲۱	اورقین	۰/۴	۰
۱۳	۲۹۰۳۳۶	۳۹۱۱۰۴۶	شمال اورقین	۱/۱	۰/۳
۱۴	۲۹۰۸۷۲	۳۹۲۲۸۹۸	تپه دبی	۱/۲	۱/۳
۱۵	۲۸۹۳۷۵	۳۸۸۳۲۰۹	اراضی کوریجان	۰/۴	۰/۳
۱۶	۲۹۱۷۵۶	۳۹۰۱۹۶۱	دستجرد	۰/۳۲	۰/۳
۱۷	۲۹۱۸۶۵	۳۸۸۵۰۱۶	مزرعه مهدی آباد	۱/۲	۱/۱
۱۸	۲۹۳۱۷۷	۳۸۹۷۸۴۹	کبودرآهنگ	۱/۲	۱/۱
۱۹	۲۹۳۶۴۰	۳۹۰۹۵۹۹	شریعت آباد	۱/۱	۱/۲
۲۰	۲۹۴۱۰۳	۳۹۰۷۵۹۶	شمال دستجرد	۰/۴	۱/۲
۲۱	۲۹۵۲۲۸	۳۸۹۹۸۰۵	اراضی بابان	۰/۵	۰/۵
۲۲	۲۹۵۳۸۸	۳۸۸۱۱۶۵	قرخلر	۰/۵	۰/۳
۲۳	۲۹۵۴۱۳	۳۸۹۴۹۵۷	خان آباد	۱/۲	۱/۲
۲۴	۲۹۵۷۰۵	۳۸۸۳۵۴۰	قرخلر	۱	۰/۳
۲۵	۲۹۷۳۶۵	۳۹۰۱۹۴۷	شمال کبودرآهنگ	۰/۵	۰/۴
۲۶	۲۹۸۱۵۵	۳۸۷۹۰۷۱	جنوب یسترلو	۱/۸	۱/۵
۲۷	۳۰۰۶۱۰	۳۸۸۸۱۷۲	عین آباد	۱/۵	۰/۹
۲۸	۳۰۰۷۳۷	۳۸۸۹۵۹۱	خلعت آباد	۱/۷	۱/۱
۲۹	۳۰۳۶۲۴	۳۸۸۲۵۲۳	بیوک آباد	۱/۴	۱/۷
۳۰	۳۰۴۰۲۳	۳۹۳۶۸۶۳	شمال خورونده	۰/۵	۰/۴
۳۱	۳۰۴۴۱۳	۳۹۳۲۱۸۰	کهریزبغازی	۰/۶	۰/۳
۳۲	۳۰۴۴۷۱	۳۸۹۲۵۷۷	شمال روعان	۱/۲	۱/۲
۳۳	۳۰۸۵۷۱	۳۹۲۴۸۲۳	خنجرآباد	۰/۵	۰/۴
۳۴	۳۰۹۷۷۳	۳۸۸۶۰۸۳	نگارخاتون	۱/۵	۱/۴
۳۵	۳۱۰۱۰۷	۳۸۷۸۸۰۹	نوده	۲/۲	۲
۳۶	۳۰۱۴۰۶	۳۸۹۰۲۵۹	رامیشان	۱/۳	۱/۳
۳۷	۲۸۲۱۴۲	۳۹۱۵۸۳۹	قاباق تپه	۱/۳	۱/۲

آنتروپی داده شانون به صورت زیر قابل تعریف است: تعداد n داده به صورت $x \in\{x_1,x_2,x_3,\dots\}$ با احتمال $p(x_1),p(x_2),p(x_3),\dots p(x_n)$ مفروض است. میزان آنتروپی که یک مقدار واقعی غیر صفر، جمع پذیر و یک تابع پیوسته است به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$H(X=-)\sum ni=1pi.\log_2 p_i$$

که H(X) مقدار آنتروپی و p_i میزان احتمال x_i است. برای محاسبه وزن هر یک از پارامترهای کیفی آب بر اساس آنتروپی شانون به ترتیب زیر عمل می‌کنیم: نمونه آب در دسترس باشد و اگرتعداد m نمونه آب در دسترس باشد و تصمیم بر ارزیابی کیفی آب، بر اساس n پارامتر باشد بر اساس داده‌های مشاهداتی ماتریس مقادیر ویژه X نوشته شده و سپس نرمال‌سازی داده‌ها به منظور کاهش تاثیر ایجاد شده توسط اختلاف واحد پارامترهای کیفی مختلف انجام شود. هر چه مقدار آنتروپی کمتر باشد، تاثیر پارامتر i بیشتر خواهد بود.

جدول ۳. وزن نسبی پارامترهای مواد شیمیایی

پارامترهای شیمیایی	واحد	WQI استاندارد	وزن	نسبت وزنی
Ph	-	۶/۵ -۸/۵	۴	۰/۰۹۸
Hardness	mg/L	۵۰۰	۳	۰/۰۷۳
TDS	mg/L	۱۵۰۰	۵	۰/۱۲۲
Ca	mg/L	۲۰۰	۲	۰/۰۴۹
Mg	mg/L	۱۵۰	۱	۰/۰۲۴
K	mg/L	۱۲	۲	۰/۰۴۹
Na	mg/L	۵۰	۲	۰/۰۴۹
HCO_3	mg/L	۱۲۰	۳	۰/۰۷۳
Cl	mg/L	۲۵۰	۳	۰/۰۷۳
SO4	mg/L	۲۵۰	۴	۰/۰۹۸
NO3	mg/L	۱۰	۴	۰/۰۹۸
BOD	mg/L	۵	۳	۰/۰۷۳
Coliform	MPN/100mL	۰	۵	۰/۱۲۲
Total		-	۴۱	۱

۲-۵- محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی

برای محاسبه شاخص کیفیت آب، در ابتدا لازم است معیار رتبه‌بندی کیفی i برای هر یک از پارامترها q تعیین شود. برای این منظور از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$q_i=(c_j/s_j).100$$

که در این رابطه Cj غلظت هر پارامتر شیمیایی در هر نمونه برحسب میلی‌گرم بر لیتر، j غلظت همان پارامتر بر اساس یک استاندارد ارزیابی کیفیت آب جهت استفاده شرب می‌باشد. در این تحقیق از استانداردهای کیفی سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای آب شرب در محاسبه شاخص کیفیت آب زیزمینی در آب موجود استفاده شد. در انتها شاخص کیفیت آب بر اساس آنتروپی شانون از ضرب مقدار وزن آنتروپی و معیار رتبه‌بندی کیفی هر پارامتر در هم و جمع تمامی این مقادیر با هم بدست (جیان و هوا، ۲۰۱۱).

۲-۶- نقشه توزیع مکانی

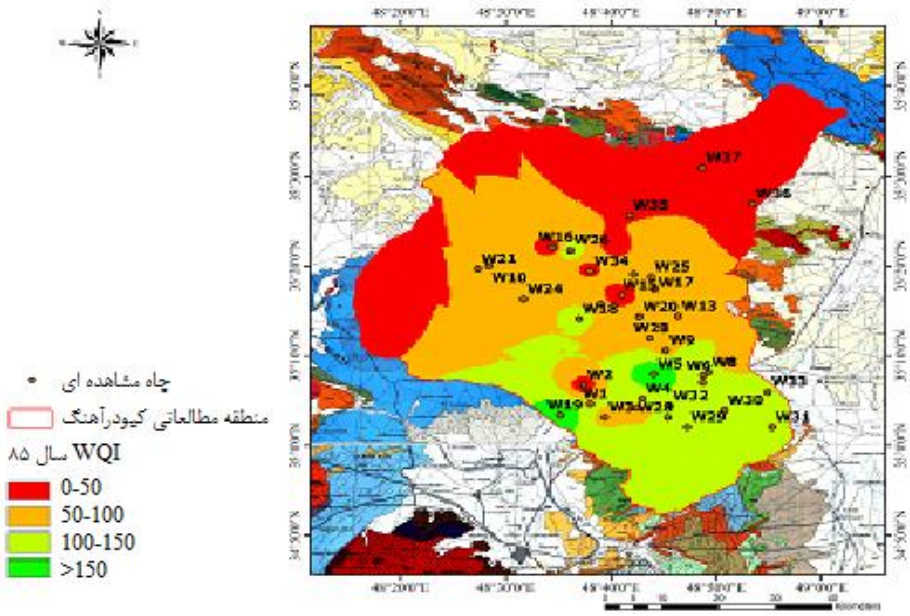
برای تهیه نقشه توزیع مکانی مقادیر فلوراید از نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید. اکثر روش‌های میان‌یابی که در تحلیل مکانی وجود دارد، در تحلیل‌گر زمین آماری نیز در دسترس است با این تفاوت که تحلیل‌گر مکانی دارای روش‌های میان‌یابی مقدماتی است اما تحلیل‌گر زمین آماری روش‌های پیشرفته زمین آماری و قطعی (عددی) را نیز شامل می‌شود. در این پژوهش از نسخه ۱۰/۴ نرم‌افزار GIS استفاده شده است. سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری مؤثر برای نقشه‌برداری کیفی، پایش، مدل‌سازی و تعیین تغییرات زیست محیطی بوده و قادر به ترکیب منابع اطلاعاتی گوناگون، تجزیه و تحلیل روند زمانی وقایع و ارزشیابی اطلاعات مکانی می‌باشد. همچنین سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری قدرتمند و راه حلی توسعه‌ای برای حل مشکلات منابع آب از طریق ارزیابی کیفیت آب،

مشخص کردن قابلیت استفاده از منابع آب، جلوگیری از جریان سیلاب، شناخت بهتر محیط زیست و مدیریت منابع آب طبق شرایط منطقه‌ای و محلی می‌باشد. به منظور میانیابی از روش کریجینگ که یک روش تخمین است که بر منطق «میانگین متحرک وزن‌دار» استوار می‌باشد و روش معکوس فاصله که در آن داده‌ها از طریق رابطه انحراف یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه‌بندی شده، وزن‌دهی می‌شوند استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

برای پی بردن به وضعیت شرایط کیفی آب زیرزمینی دشت کبودراهنگ بررسی پارامترهای کیفی مربوط به آب زیرزمینی منطقه کمک شایانی به درک هرچه بهتر شرایط کیفی آبخوان محدوده می‌کند. به همین منظور نقشه‌های پهنه‌بندی در چهار سال ۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ در زیرآورده شده است.

بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شده در زیر در شکل ۲ که مربوط به سال ۱۳۸۵ است شاخص WQI برای پهنه‌های شمال تا شمال غربی در بازه‌ی عالی قرار گرفته است. این شاخص که برای نقاط میانی این محدوده در بازه خوب و برای مناطق با شیب کمتر در بازه متوسط تا ضعیف دسته‌بندی شده است، نشان می دهد که آب زیرزمینی در آبخوان کبودرآهنگ در مناطق شمالی حوضه طبق شاخص WQI از کیفیت بالایی برخوردار است و در مناطق میانی کیفیت خوب و در محدوده مجاز سازمان جهانی بهداشت قرار دارد اما در مناطق جنوبی که حوضه دارای شیب کمتری است کیفیت آب زیرزمینی منطقه خارج از بازه نرمال و استاندارد است.

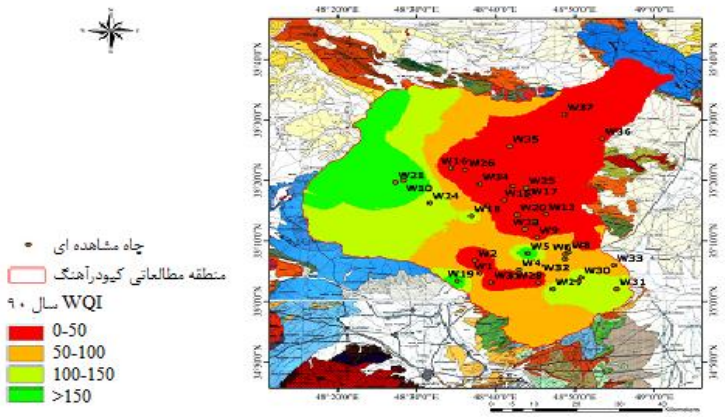


شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب در سال ۱۳۸۵

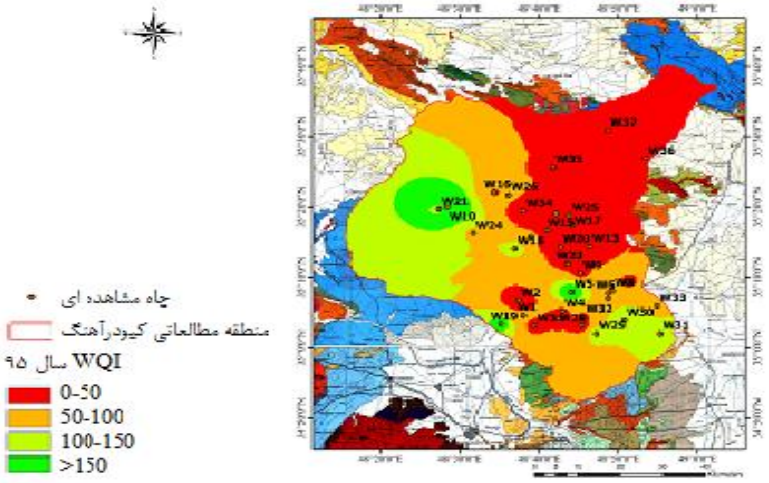
طبق شاخص WQI برای سال ۱۳۹۰ پهنه‌بندی مناطق شمال شرق تا میانه دشت دارای کیفیت آب زیرزمینی بالایی هستند. مناطق میانی تا جنوبی با کیفیت خوب برطرف کننده نیاز آب متقاضیان منطقه است. تنها در چاه منطقه (ناصرآباد) شاخص WQI مقداری بالاتر از ۱۵۰ دارد که نشان می‌دهد کیفیت آب در این چاه خارج از حد استاندارد جهانی است. از مشاهده و بررسی داده‌ها و شاخص کیفیت آب در این سال مشخص شد که آبخوان در وضعیت نسبتا خوبی خود قرار داشته است (شکل ۳).

بر اساس نقشه پهنه‌بندی در سال ۱۳۹۵ بر اساس شاخص WQI آب زیرزمینی در مناطق شمال شرق تا قسمت‌هایی از مناطق میانی حوضه از کیفیت بسیار خوبی برخوردار است. مناطق شمال غربی دارای کیفیت خوب و مناطق میانی تا جنوب حوضه دارای کیفیت خوبی بوده و تنها در چاه‌های نمونه‌برداری ایده‌لو منطقه ناصرآباد میزان شاخص WQI به صورت گسترده‌ای بالاتر از حد مجاز است. در این منطقه آب کیفیت پایینی دارد. و می‌توان از چاه‌های مناطق نواباد و کوشک‌اباد به عنوان آلودگی‌های نقطه‌ای

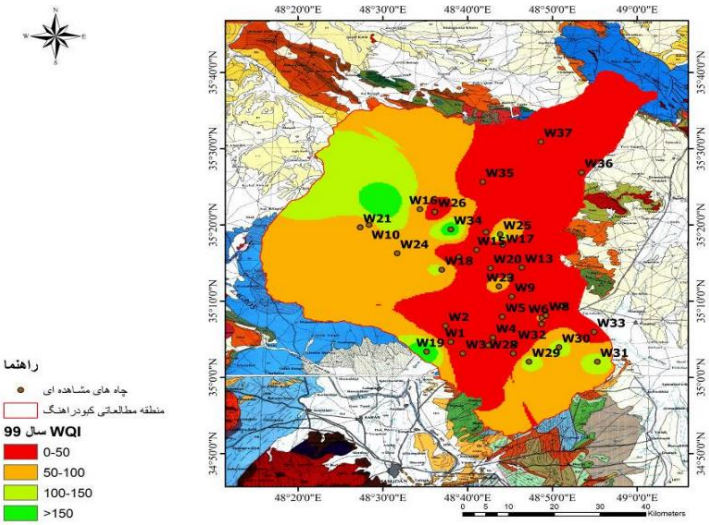
نام برد (شکل ۴). طبق نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب سال ۱۳۹۹ مناطق شمال شرق و پهنه‌های شرقی تا میانی دشت طبق شاخص WQI از شرایط کیفی بسیار بالایی برخوردار هستند و برای بقیه نقاط شرایط خوب تا متوسطی را مشاهده می‌کنیم. تنها برای چاه منطقه ایده‌لو و قباق تپه و کوشک‌آباد میزان این شاخص خارج از بازه استاندارد قرار گرفته است (شکل ۵).



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب در سال ۱۳۹۰



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب در سال ۱۳۹۵

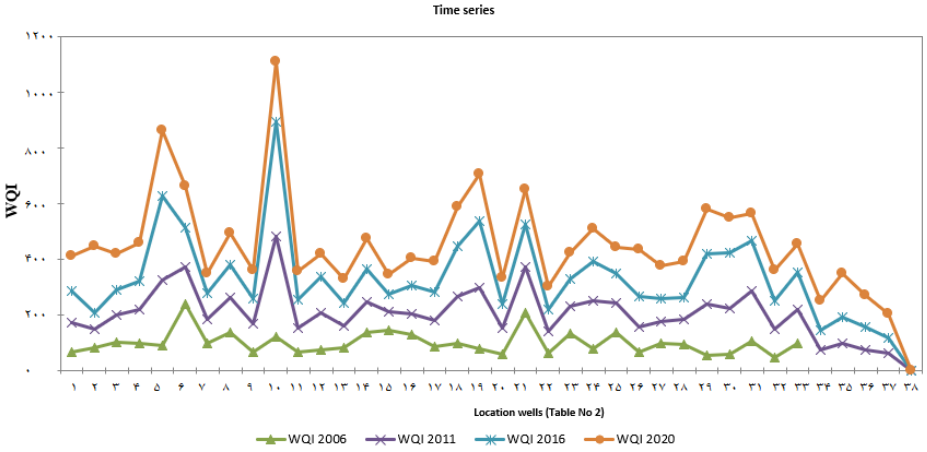


شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب در سال ۱۳۹۹

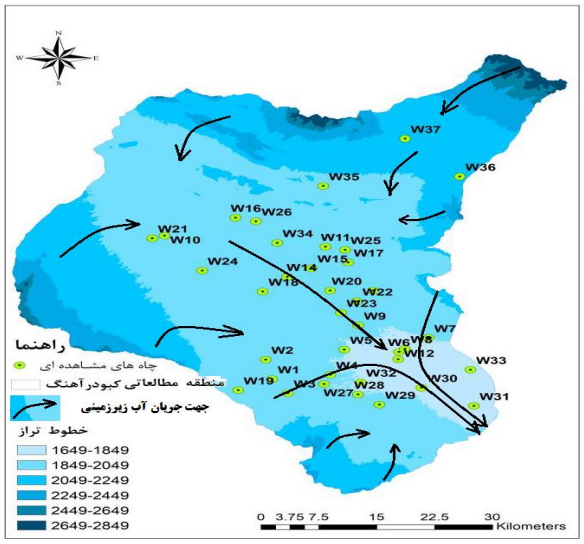
نمودار فوق نشان دهنده تغییر شاخص کیفی WQI برای سال‌های نام برده بوده و نشان می‌دهد که این شاخص برای سال ۱۳۸۵ در وضعیت بهتری نسبت به سال‌های بعد است (شکل ۶). بر طبق این نمودار:

$$WQI_{85} > WQI_{90} > WQI_{95} > WQI_{99}$$

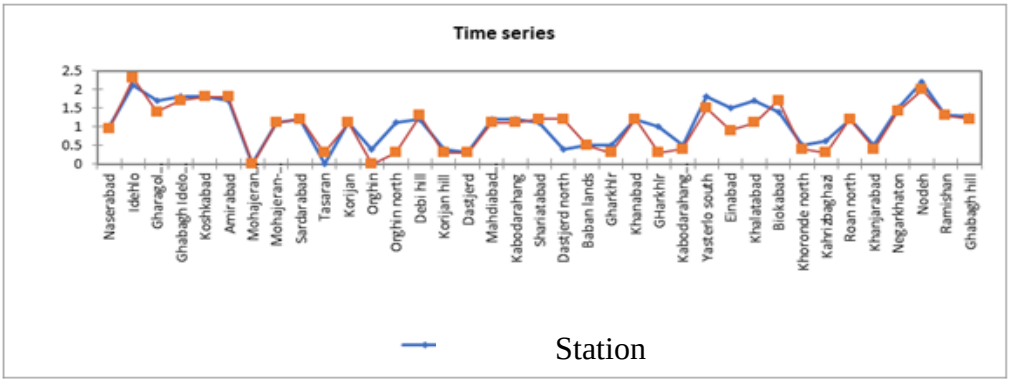
بر اساس شکل ۷ و مقایسه با شکل‌های ۹ و ۱۰ همسو با جریان آب زیرزمینی در قسمت جنوب شرق و جنوب و شمال شرق مقدار فلوراید در دوره تر و خشک بیشتر است. براساس شکل ۸ غلظت فلوراید در طی مسیر در ایستگاه‌های مختلف هم روند نزولی و در برخی ایستگاه‌ها روند صعودی داشته است.



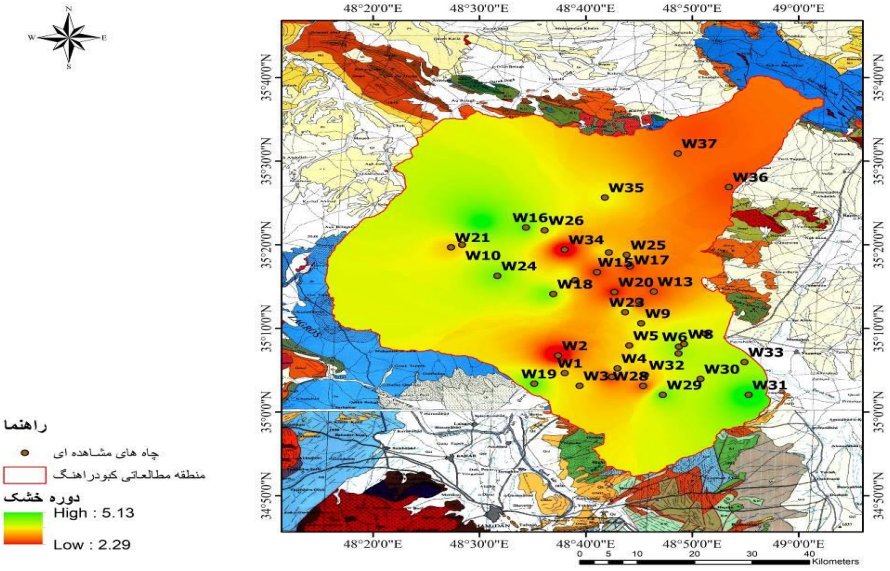
شکل ۶. نمودار روند تغییرات شاخص WQI برای سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۵، ۱۳۹۹



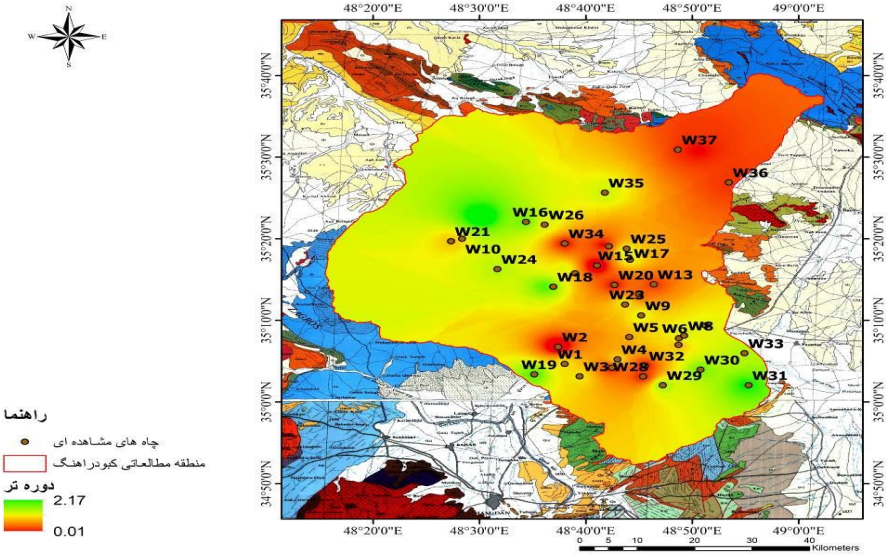
شکل ۷. نقشه تراز سطح ایستابی و جهت جریان آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه



شکل ۸. روند تغییرات غلظت فلوراید برحسب میلی‌گرم بر لیتر در فصل خشک و مرطوب در ایستگاه‌های مختلف



شکل ۹. نقشه پهنه‌بندی تغییرات فلوراید در فصل خشک دشت کبودرآهنگ

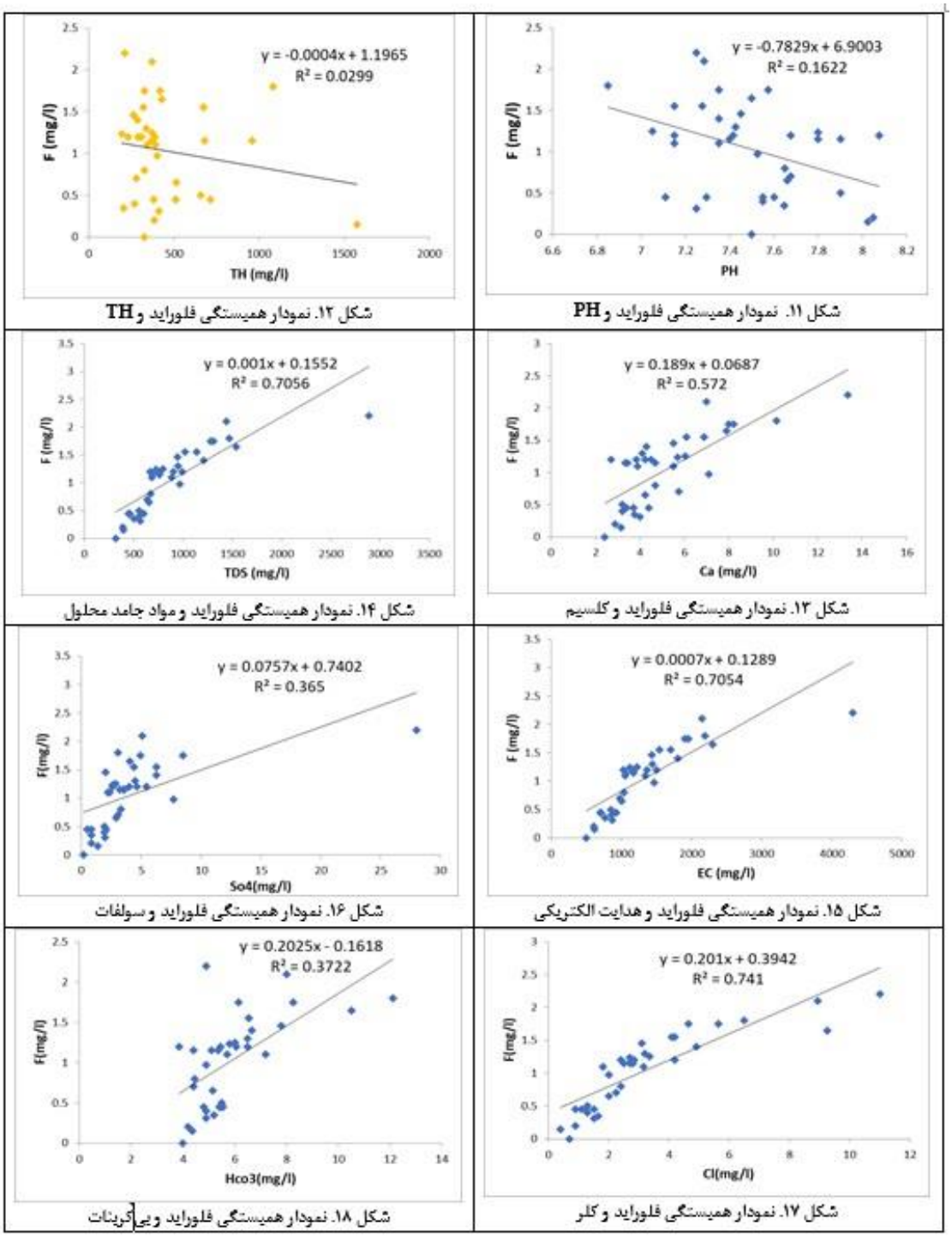


شکل ۱۰. نقشه پهنه‌بندی تغییرات فلوراید در فصل تر دشت کبودرآهنگ

نتایج حاصل از پهنه‌بندی آلودگی فلوراید در محدوده منطقه مورد مطالعه با استفاده از نتایج به‌دست آمده از سنجش نمونه‌ها در آزمایشگاه غلظت فلوراید برای نقاط تعیین شده در طول دوره مطالعه است. برای تهیه نقشه‌ها و پهنه‌بندی دشت کبودراهنگ، ابتدا ایستگاه‌های تبدیل نهایی داده‌ها در نرم‌افزار Arc GIS و با استفاده از روش کریجینگ صورت گرفت. در این پژوهش روش کریجینگ ساده از میان روش‌های نام برده شده به عنوان روش درونیابی انتخاب شد که با استفاده از آن نقشه تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت کبودرآهنگ تهیه گردید. در اشکال مذکور نقشه‌های تغییرات فلوراید با استفاده از روش نام برده شده آورده شده است.

با توجه به شکل ۹ و ۱۰ مشخص می‌گردد که غلظت فلوراید در فصل خشک و تر دارای تغییرات و نوسان زیادی در طول دشت مورد مطالعه بود و از نقاط شمال غرب دشت به سمت جنوب شرق، غلظت فلوراید در برخی ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین میزان غلظت فلوراید در نقاط شمال غرب محدوده مورد مطالعه در حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی قرار دارد.

میانگین غلظت فلوراید در آبخوان دشت کبودرآهنگ در فصل تر ۰/۹ میلی‌گرم بر لیتر و در فصل خشک اندکی بیشتر از آن یعنی ۱/۰۸ می‌باشد که پایین‌تر از مقدار آن از نظر سازمان بهداشت جهانی است.



شکل ۱۱. نمودار همبستگی فلوراید و PH

شکل ۱۲. نمودار همبستگی فلوراید و TH

شکل ۱۳. نمودار همبستگی فلوراید و کلسیم

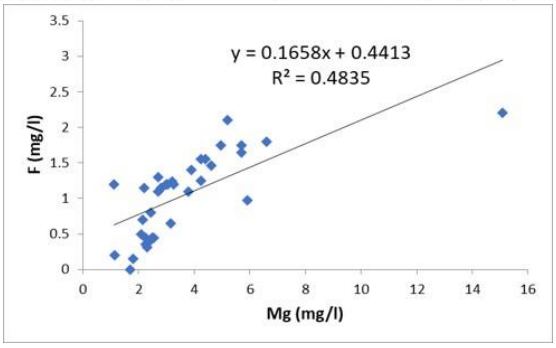
شکل ۱۴. نمودار همبستگی فلوراید و مواد جامد محلول

شکل ۱۵. نمودار همبستگی فلوراید و هدایت الکتریکی

شکل ۱۶. نمودار همبستگی فلوراید و سولفات

شکل ۱۷. نمودار همبستگی فلوراید و کلر

شکل ۱۸. نمودار همبستگی فلوراید و بی‌کربنات



شکل ۱۹. نمودار همبستگی فلوراید و منیزیم

بیشترین میزان غلظت فلوراید در آب زیرزمینی منطقه مربوط به ایستگاه‌های نوده و ایده‌لو است که بیشتر از میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی است. چاه ایده‌لو در اراضی روستای ایده‌لو حفاری گردیده است. طبق نقشه این چاه از یک جهت در همسایگی صفحات و سازندهای قم با مشخصه مربوط به نوع سازند (omq_1) مرکب از آندوزیت و بازالت و آهک آمیخته به مارل و توف آتشفشانی و سنگ‌های آذرین دوره الگومیوسن قرار گرفته است. همچنین سازندهای دارای سنگ‌های دگردیس شده و کریستال آهک متعلق به دوران مزوزوئیک در اطراف قرار دارند. از طرف دیگر با سازندهای Q_t و Q_f که نشان‌دهنده سازندهای باقی مانده از دوره کواترنری و از نوع سنگ تراس و کنگلومرا هستند، همسایه می‌باشد. بر اساس سازندهای زمین‌شناسی منطقه و وجود سنگ‌های آندزیت و توف‌های آتشفشانی مشخص می‌شود که منشاء فلوراید منطقه می‌تواند مربوط به فعالیت‌های آتشفشانی در سال‌های دور در این منطقه باشد. آب‌های زیرزمینی در اطراف منطقه با عبور از سازندهای زمین‌شناسی نام برده دارای فلوراید محلول در آب شده و باعث بالا رفتن غلظت فلوراید در محدوده مورد نظر می‌شود.

نوده نیز از روستاهای شهرستان فامنین در دشت رزن-قهاوند بوده که با روستاهای جیحون‌آباد، همه‌کسی و امامزاده پیرنهان همجوار است. در این روستا اکثر چاه‌ها دهانه گشاد بوده به صورت دستی و عمیق حفر شده اند. سنگ کف چاه نوده به صورت سنگ مارل و آهکی و دارای تشکیلات سازند قم می‌باشد. طبق آمار ارائه شده میزان غلظت فلوراید در این چاه نمونه‌برداری در دو فصل خشک و مرطوب بالاتر از حد استاندارد است. به نظر می رسد وجود سازندهای قم موجود در لوگ چاه نوده از دلایل بالا بودن غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی منطقه است.

۳-۱- نمودارهای همبستگی مربوط به فلوراید و پارامترهای کیفی سال ۹۹

روابط همبستگی غلظت فلوراید و پارامترهای کیفی آب در شکل‌های بالا نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، به دلیل همبستگی منفی بین فلوراید و PH و TH شیب نمودار منفی و برای سایر پارامترها به دلیل همبستگی مثبت شیب نمودارها مثبت می‌باشد.

با توجه به مقایسه داده‌های جدول ۴ مشاهده می‌شود که آب زیرزمینی در سال‌های پیشین در منطقه از کیفیت بالاتری برخوردار بوده و در سال ۹۹ کیفیت پایین‌تری دارد.

جدول ۴. کلاس‌بندی شاخص WQI سال ۹۹ و ۸۵

شماره نمونه	کلاس کیفیت آب (۸۵)	کلاس کیفیت آب (۹۹)	شماره نمونه	کلاس کیفیت آب (۸۵)	کلاس کیفیت آب (۹۹)	شماره نمونه	کلاس کیفیت آب (۸۵)	کلاس کیفیت آب (۹۹)
W1	خوب	ضعیف	W14	متوسط	متوسط	W27	خوب	متوسط
W2	خوب	ضعیف	W15	متوسط	متوسط	W28	خوب	متوسط
W3	متوسط	متوسط	W16	متوسط	متوسط	W29	خوب	ضعیف
W4	خوب	متوسط	W17	خوب	متوسط	W30	خوب	متوسط
W5	خوب	ضعیف	W18	خوب	متوسط	W31	متوسط	متوسط
W6	ضعیف	ضعیف	W19	خوب	ضعیف	W32	عالی	متوسط
W7	خوب	خوب	W20	خوب	خوب	W33	خوب	متوسط
W8	متوسط	متوسط	W21	ضعیف	متوسط	W34	مت.سط	متوسط
W9	خوب	متوسط	W22	خوب	خوب	W35	متوسط	ضعیف
W10	متوسط	ضعیف	W23	متوسط	خوب	W36	خوب	متوسط
W11	خوب	متوسط	W24	خوب	متوسط	W37	خوب	خوب
W12	خوب	خوب	W25	متوسط	خوب			
W13	خوب	خوب	W26	خوب	ضعیف			

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی و تغییرات مکانی یون فلوراید در آب زیرزمینی دشت کبودرآهنگ با بکارگیری روش کریجینگ در GIS مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش و اندازه‌گیری‌های انجام شده مشاهده گردید که در طول فصل تر بیشترین مقدار غلظت فلوراید مربوط به ایده‌لو با مقدار ۲/۳ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین مقدار مربوط به ایستگاه شمال مهاجران و اورقین می‌باشد. در طول فصل خشک بیشترین مقدار غلظت فلوراید مربوط به

نوده با مقدار ۲/۲ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین مقدار مربوط به ایستگاه شمال مهاجران و طاسران می‌باشد.

بر اساس تحقیق صورت گرفته مشخص شد فلورایدی که در آب یافت می‌شود با درصد بالایی منشاء زمین‌شناسی دارد. مهم‌ترین روش تمرکز فلوراید در آب‌های زیرزمینی، شستشوی سنگ‌های حاوی مواد معدنی غنی از فلوراید است که از سنگ منبع خارج شده و با انحلال آب‌های زیرزمینی را آلوده می‌کنند. با بررسی‌های ژئوشیمیایی منطقه کبودرآهنگ و بررسی لوگ چاه‌ها در می‌یابیم که علت بالا بودن غلظت فلوراید در چاه اکتشافی ایده‌لو نسبت به استانداردهای محلی وجود سازندهای قم مرکب از آندزیت و بازالت و آهک آمیخته به مارن (به‌عنوان سنگ بستر) در اطراف و همچنین وجود سنگ‌های اذرین و سنگ‌های دگردیس شده و کریستال آهک و توف‌های آتشفشانی مربوط به دوره مزوزئیک است. از آنجایی که سنگ‌های آذرین دشت کبودرآهنگ در استان همدان، واقع در غرب ایران، و در پهنه سنندج - سیرجان برونزد دارند از علل احتمالی بالا بودن غلظت فلوراید بدنه‌های آبی در این منطقه می‌توان به همین سنگ‌های بازالتی اشاره کرد که طی واکنش بین سنگ‌های بازالتی و آب، هیدرولیز آلومینوسیلیکات‌هایی مانند آلبیت، می‌تواند با تولید یون هیدروکسیل و سدیم در انحلال کانی‌های فلوئوردار مؤثر واقع شود. براساس بررسی‌های سنگ‌نگاری و زمین شیمیایی، این توده‌ها از دیوریت، گابرودیوریت، مونزونیت و کوارتزمونزونیت، آندزیت و آندزیت بازالتی تشکیل شده‌اند. نتایج حاصل از آنالیزهای زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها وابسته به سری ماگمایی آهکی قلیایی هستند. ماهیت و ترکیب زمین‌شیمیایی سنگ‌های منطقه دستخوش فرایندهای ماگمایی چون تبلور جدایشی، هضم و آلایش پوسته‌ای شده‌اند. ماگمای سنگ‌های آذرین دشت کبودرآهنگ در یک پهنه فرورانش و قوس‌های آتشفشانی کرانه فعال قاره‌ای تشکیل شده است. با توجه به شاخص کیفی WQI این نتیجه حاصل شد که با گذشت زمان از میزان کیفیت آب کاسته شده است به طوری که در سال ۹۹ کیفیت آب پایین‌تری نسبت به سال ۸۵ وجود داشته است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی مشخص گردید، هر کجا کیفیت آب پایین‌تر است، میزان فلوراید بالا است که ساختار زمین‌شناسی در میزان کیفیت آب بی‌تاثیر نیست.

منابع

احتشامی، م.، خراسانی، م.، قدیمی، ح. و حیات‌بینی، ن (۱۳۹۶) ارزیابی تغییرات تراز و غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی دشت کبودرآهنگ با استفاده از سری‌های زمانی. نشریه مهندسی عمران، دوره ۴۹، شماره ۲، ص ۲۹۳-۲۸۵.

اغنیایی، ف.، زارعی، م.، و اسدی، س (۱۳۹۵) بررسی منشا فلوراید در آب زیرزمینی در جنوب ایران، صحرای باغ لارستان. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲۴، ص ۳۸-۴۸.

آقازاده، ن.، اصغری‌مقدم، ا.، و کیمیایی، ا (۱۳۸۷) ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه سلماس و تعیین کیفیت آن‌ها برای مصارف مختلف، مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، شماره ۳۴، ص ۷۹-۹۸.

پارسامهر، ا.، زارع، م.، خسروی، ز.، و پورباقری، ع (۱۳۹۸) مقایسه تاثیر پارامترهای هم‌وزن و پارامترهای وزن‌دار شده به روش تئوری آشفتگی در نتایج شاخص کیفیت آب (مطالعه موردی: دشت فسا). نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۹، شماره ۳، ص۲۱۱-۱۹۶.

پارسامهر، ا.، ملکی‌نژاد، و خسروانی.، ز (۱۳۹۷) بررسی تئوری آنتروپی شانون در وزندار کردن شاخص کیفیت آب (مطالعه موردی: دشت مقان). نشریه پژوهش آب ایران، شماره ۱۹، ص۱۱۰-۱۰۱.

محسنی سجادی، م.، افیونی، م.، خادمی، ح.، محسنی موحد، س. ا.، و ایوبی، ش (۱۳۹۰) توزیع مکانی فلوراید در آب‌های زیرزمینی و خاک بخشی از اراضی دشت اراک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). دوره ۲۵، شماره ۵، ص ۱۰۴۱-۱۰۳۳.

محمدی فتیده، م (۱۳۶۶) شناخت آب سالم. انتشارات دانشگاه تبریز.

مصداقی‌نیا، ع.، مسافری، م.، یونسیان، م.، ناصری، س و محوی ا، ح (۱۳۸۹) سنجش غلظت آرسنیک در آب آشامیدنی یک منطقه آلوده به آرسنیک از طریق راه‌اندازی روش آزمایشگاهی SDDC و استفاده از یک روش صحرایی به همراه ارزیابی دقت و صحت روش‌ها. مجله پژوهشی حکیم، دوره ۸، شماره ۱، ص ۴۳-۵۱.

Ayoob, S., & Gupta, A. K (2006) Fluoride in drinking water: a review on the status and stress effects. Critical reviews in environmental science and technology, 36(6): 433-487.

Bromiley, P. A., Thacker, N. A. and Bouhova-Thacker, E (2004) Shannon entropy, Renyi entropy, and information. Statistics and Inf. Series (2004-004) 9.

Chaturvedi, A. K., Pathak, K. C., & Singh, V. N (1988) Fluoride removal from water by

adsorption on china clay. Applied Clay Science, 3(4): 337-346.
Datta, P. S., Deb, D. L., & Tyagi, S. K (1996) Stable isotope (18O) investigations on the processes controlling fluoride contamination of groundwater. Journal of contaminant hydrology, 24(1): 85-96.
Gaciri, S. J., & Davies, T. C (1993) The occurrence and geochemistry of fluoride in some natural waters of Kenya. Journal of Hydrology, 143(3-4): 395-412
Gao, X., Wang, Y., Li. Y., & Guo, Q (2007) Enrichment of fluoride in groundwater under the impact of saline water intrusion at the salt lake area of Yuncheng basin, northern China, Environmental geology, 53(4): 795-803
Hem, J. D (1986) Study and interpretation of chemical characteristics of natural water. U. S. Geological survey water supply paper 2254.
Kumar, A., & Singh, C. K (2015) Characterization of Hydrogeochemical Processes and Fluoride Enrichment in Groundwater of South-Western Punjab, Water Quality, Exposure and Health, 7(3): 373-387.
Naseri, H., Raghimi, M., Yakhkeshi, M. E (2006) Investigation of the Effective Factors Variation of Nitrate Concentration in the Groundwater of Ghareso Watershed Basin Golestan Province. Agric sci Natur, 13(1): 1-9
Pritchard, M., Mkandawire, T., O'Neill, J. G (2008) Assessment of groundwater quality in shallow wells within the southern districts of Malawi. Phys Chem Earth PT A, 33(8– 13): 812-823.
Shupe, J. L., Olson, A. E., & Sharma, R. P (1979) Effects of fluorides in domestic and wild animals. Hazard. Toxic Subst, (United States).
Vithanage, M., & Bhattacharya, P (2015) Fluoride in the environment: sources, distribution and defluoridation. Environmental Chemistry Letters, 13(2): 131-147
Oruc, N (2008) Occurrence and problems of high fluoride waters in Turkey: an overview, Environmental Geochemistry and Health, 30(4): 315-323.

Groundwater Quality Variations with reference to fluoride in KabudarAhang plain of Hamadan province

F. Salehi Seifabadi[1], A. Taheri Tizro[2*], R. Ebrahimi[3] and F. Farajy[4]

1- M. Sc., (graduated), of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2- Assoc. Prof., Dept., of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
3- Ph. D. (graduated), of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
4- Ph. D. student of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

*** ttizro@basu.ac.ir**

Recieved: 2022.4.30 Accepted: 2022.10.24

Abstract

The main purpose of this study was to determine the concentration of water quality parameters and then the distribution of fluoride ion concentration in groundwater resources of KabudarAhang city located in Hamadan province; For this purpose, after sampling from selected wells and chemical analysis of relevant data, the concentration of water quality parameters for all wet and dry seasons of 2016, 2011, 2006, and 2020 were analyzed. According to the WQI classification, most water samples in the final years are in the weak range and for the years 2006 to 2011 are in the good classification range. Over the years, the effects of fluoride on human health have been recognized. Fluoride concentration in groundwater of Hamedan suburbs (KabudarAhang) for wet and dry seasons of 2020 was investigated using GIS software and WQI statistical index. The results of this study showed that in some areas of KabudarAhang, there is a possibility of exposure to natural pollution due to increased concentration of fluoride in drinking water. In general, 18.91% of groundwater samples have higher concentrations than the maximum allowable concentration of fluoride recommended by the World Health Organization (WHO) in drinking water. According to the proposed maps, the spatial variation of the studied parameter in groundwater was determined that the highest fluoride pollution is in the ideal route, located in the northwest of the region and Nodeh located in the southwest of the plain. The lowest fluoride concentration is in the northeast of the plain. The origin of this halogen group in the plains is due to geological factors, which is due to the country being located on the third fluoride belt in the world. In general, weathering and dissolution of gypsum, volcanic rocks, and calc-alkaline rocks cause an increase in fluoride levels in the groundwater of the area.

Keywords: Zoning, Pollution, Groundwater, Fluoride, KabudarAhang, GIS.