

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

ارزیابی کربن آلی کل در منابع آب شرب شهر شاهرود

نگارنده: شهربانو عرب

استاد راهنما

دکتر غلامحسین کرمی

تیرماه ۱۳۹۶

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: علوم زمین

گروه: آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد: شهربانو عرب

تحت عنوان: "ارزیابی کربن آلی کل در منابع آب شرب شهر شاهرود"

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر غلامحسین کرمی

امضاء	نمایندة تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم به

روح پاک پدرم که عالمانه زندگی کردن را به من آموخت

و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق

و به همسر و فرزندانم، امید بودم

و به تمامی شهدای عزیز میهنم که امنیتمان را مدیون فداکاری‌های آن عزیزان می‌باشیم

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

در این راستا مراتب سپاس قلبی خود را به استاد بزرگوار و فرزانه‌ام جناب آقای دکتر غلامحسین گرمی که مرا به شاگردی پذیرفتند و همواره با راهنمایی‌های ارزنده علمی و اخلاقی خود مرا مرهون لطف و محبت قرار داده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از اساتید گرانقدر و دلسوز سرکار خانم کیتی فرقانی و جناب آقای دکتر رحیم باقری که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند نهایت تشکر را دارم.

از زحمات بی‌دریغ اساتید بزرگوار و دلسوز جناب آقای دکتر قشلاقی، جناب آقای دکتر جعفری و جناب آقای دکتر مومنی در طول دوره کارشناسی ارشد صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از زحمات همه دوستان و همکلاسی‌های عزیزم به خصوص زهرا بوسلیک، فاطمه باقری، امیر سلیمانی که به هر نحو در تدوین این تحقیق یاری رسانده‌اند تشکر می‌نمایم.

و در نهایت از همکاری و همراهی خانواده‌ام صمیمانه تشکر می‌نمایم. از خداوند منان طول عمر و توفیق روزافزون همه این بزرگواران را خواستارم.

تعهد نامه

اینجانب **شهربانو عرب** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش زیست محیطی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان **ارزیابی کربن آلی کل در منابع آب شرب شهر شاهرود** تحت راهنمایی آقای **دکتر غلامحسین کرمی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در دهه‌های اخیر با افزایش رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به طور چشمگیری افزایش یافته است. بخشی از این آلاینده‌ها را ترکیبات آلی تشکیل می‌دهند که از منابع طبیعی و انسانزاد به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد می‌شوند. حضور این ترکیبات در آب آشامیدنی به هنگام کلرزنی منجر به تولید موادی می‌شود که به سلامتی انسان آسیب می‌رساند. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کربن آلی کل (TOC) در منابع آب شرب شهر شاهرود انجام شده است. محدوده مورد مطالعه شامل بخشی از دامنه‌های کوه‌های تپال می‌باشد که در غرب محدوده شهر شاهرود واقع شده‌اند. به منظور ارزیابی کربن آلی کل از ۹ حلقه چاه مربوط به منابع تأمین آب شرب شهر شاهرود در دو نوبت اردیبهشت و مهر ۱۳۹۵ نمونه‌برداری به عمل آمد. برای تمامی نمونه‌ها مقادیر هدایت الکتریکی و pH در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که مقادیر هدایت الکتریکی در اردیبهشت ماه از ۳۰۱ تا ۶۱۴ میکروموس بر سانتی‌متر و در مهر ماه از ۲۰۹ تا ۵۹۲ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. مقادیر pH در اردیبهشت ماه از ۷/۷۵ تا ۷/۹۰ و در مهر ماه از ۷/۴۴ تا ۷/۸۱ متغیر است. مقدار هدایت الکتریکی و pH نمونه‌ها در هر دو نوبت در محدوده مجاز آب شرب می‌باشد. غلظت کربن آلی کل توسط دستگاه TOC متر مدل Multi N/C 3100 در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری شد. مقایسه کربن آلی کل با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (USEPA 1979) نشان می‌دهد که غلظت کربن آلی کل در همه نمونه‌های مورد مطالعه بالاتر از مقدار مجاز تعیین شده می‌باشد. همچنین مقدار کربن آلی کل کاهش چشمگیری را در نوبت مهر ماه نسبت به اردیبهشت ماه نشان می‌دهد. دلیل بالا بودن غلظت کربن آلی کل در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه، به احتمال زیاد به وجود نهشته‌های زغال‌دار در شیل و مارن‌های سازند شمشک مربوط می‌شود. علاوه بر این، پائین بودن غلظت کربن آلی کل در مهر ماه نسبت به اردیبهشت، احتمالاً "به خاطر اثرات تغذیه آبخوان کارستی

بوده است و این امر باعث رقیق‌سازی آب‌های آبخوان شده است. پائین‌تر بودن مقادیر هدایت الکتریکی در مهر ماه نیز مؤید این مطلب می‌باشد.

کلمات کلیدی: آب شرب، آلودگی آب، کربن آلی کل، شاهرود

مقالات برگرفته از پایان نامه:

➤ عرب، ش.، کرمی، غ. ح. ۱۳۹۵، بررسی مقدار کربن آلی کل در منابع آب شرب شهر شاهرود، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

➤ عرب، ش.، کرمی، غ. ح. ۱۳۹۶، بررسی هیدروژئوشیمیایی منابع آب شرب شهر شاهرود، دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهر کرد.

فهرست

- فصل اول: مقدمه ۱
- ۱-۱- بیان مسأله و ضرورت انجام تحقیق ۱
- ۲-۱- اهداف تحقیق ۲
- ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۳
- ۴-۱- هواشناسی منطقه ۴
- ۵-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۶
- ۱-۵-۱- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۸
- ۲-۵-۱- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه ۹
- ۶-۱- ژئومورفولوژی ۱۰
- ۷-۱- هیدروژئولوژی منطقه ۱۱
- فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشینیان درباره کربن آلی کل در منابع آب ۱۳
- ۱-۲- مقدمه ۱۳
- ۲-۲- مواد آلی موجود در آب ۱۳
- ۳-۲- اجزاء کربن آلی کل ۱۵
- ۱-۳-۲- کربن آلی فرار ۱۵
- ۲-۳-۲- کربن آلی غیرفرار ۱۶
- ۴-۲- منشاء و عوامل مؤثر بر میزان ترکیبات آلی در آب ۱۷
- ۱-۴-۲- عوامل طبیعی ۱۹
- ۲-۴-۲- فعالیت‌های انسانزاد ۲۳
- ۵-۲- ارزیابی میزان کربن آلی کل در منابع آب ۲۶

- ۶-۲- ارزیابی حد مجاز کربن آلی کل در آب آشامیدنی ۲۶
- ۷-۲- ارزیابی اثرات زیست محیطی ترکیبات آلی ۲۸
- ۸-۲- برخی مطالعات انجام شده در ایران ۳۰
- ۹-۲- روش‌های حذف ترکیبات آلی از آب آشامیدنی ۳۱
- ۱۰-۲- جمع‌بندی تحقیقات پیشین در باره کربن آلی کل ۳۲
- فصل سوم: روش انجام کار ۳۵
- ۱-۳- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مربوط به منابع آب شرب شاهرود ۳۶
- ۲-۳- بررسی‌های زمین‌شناسی ۳۶
- ۳-۳- نمونه‌برداری از منابع آب شرب منطقه ۳۶
- ۴-۳- اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی ۳۷
- ۱-۴-۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و pH نمونه‌های آب ۳۸
- ۲-۴-۳- تعیین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در نمونه‌های آب ۳۹
- ۵-۳- اندازه‌گیری کربن آلی کل ۴۱
- ۶-۳- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه ۴۱
- ۷-۳- برآورد خطای آزمایش ۴۲
- فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئوشیمیایی منابع آب شرب شاهرود ۴۳
- ۱-۴- مقدمه ۴۳
- ۲-۴- بررسی پارامترهای کیفی نمونه‌های آب ۴۳
- ۱-۲-۴- هدایت الکتریکی و کل جامدات حل شده ۴۷
- ۲-۲-۴- pH ۵۰
- ۳-۲-۴- غلظت یون‌های اصلی در منابع آب شرب شاهرود ۵۲

۵۷	۴-۲-۴- بررسی رابطه هدایت الکتریکی با یون‌های اصلی
۵۹	۴-۲-۵- تعیین تیپ آب‌های نمونه‌برداری شده‌ی منطقه
۶۲	۴-۲-۶- بررسی روند میزان یون‌های اصلی
۶۳	فصل پنجم: ارزیابی کربن آلی کل در منابع آب شرب شاهرود
۶۳	۵-۱- مقدمه
۶۳	۵-۲- بررسی روند تغییرات کربن آلی کل در چاه‌های نمونه‌برداری
۶۵	۵-۳- بررسی ارتباط کربن آلی کل با pH
۶۶	۵-۴- بررسی ارتباط کربن آلی کل با یون‌های اصلی
۶۹	۵-۵- شکل رابطه کربن آلی کل با لیتولوژی
۷۰	۵-۶- مقایسه کربن آلی کل با استانداردهای جهانی
۷۱	فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۷۱	۶-۱- مقدمه
۷۱	۶-۲- نتایج ارزیابی هیدروشیمی آب
۷۱	۶-۲-۱- هدایت الکتریکی
۷۲	۶-۲-۲- pH
۷۲	۶-۲-۳- یون‌های اصلی
۷۳	۶-۳- نتایج ارزیابی کربن آلی کل در منابع آب شرب شاهرود
۷۴	۶-۴- پیشنهادها
۷۵	منابع فارسی

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه ۳
- شکل ۱-۲- نمودار امپروترمیک شاهرود در طی دوره ۱۵ ساله ۱۳۹۱-۱۳۷۷ ۵
- شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود) ۷
- شکل ۱-۴- نمایی از واریزه‌های آهکی منطقه مورد مطالعه ۸
- شکل ۱-۵- نمایی از ژئومورفولوژی منطقه ۱۰
- شکل ۱-۶- چاه حفرشده در سازندهای آهکی ۱۱
- شکل ۳-۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری ۳۷
- شکل ۳-۲- دستگاه‌های اندازه‌گیری EC و pH ۳۸
- شکل ۳-۳- دستگاه اندازه‌گیری کربن آلی کل ۴۱
- شکل ۴-۱- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه (مهر ۱۳۹۵) ۴۸
- شکل ۴-۲- مقایسه تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی در اردیبهشت ماه و مهر ماه ۴۹
- شکل ۴-۳- مقایسه مقادیر pH در اردیبهشت ماه و مهر ماه ۵۰
- شکل ۴-۴- تغییرات مکانی pH در ایستگاه‌های نمونه‌برداری (مهر ماه) ۵۱
- شکل ۴-۵- رابطه هدایت الکتریکی و pH در نمونه‌های مورد مطالعه (مهر ماه) ۵۲
- شکل ۴-۶- رابطه هدایت الکتریکی و pH در نمونه‌های مورد مطالعه ۵۲
- شکل ۴-۷- نمودار تغییرات مکانی غلظت سدیم در منطقه مورد مطالعه ۵۳
- شکل ۴-۸- نمودار ستونی تغییرات یون کلر و هدایت الکتریکی (مهر ماه) ۵۴
- شکل ۴-۹- تغییرات مکانی غلظت یون سولفات در منطقه مورد مطالعه ۵۵
- شکل ۴-۱۰- تغییرات مکانی غلظت یون بی‌کربنات در منطقه مورد مطالعه ۵۵
- شکل ۴-۱۱- نمودار تغییرات سختی در منطقه مورد مطالعه ۵۶

- شکل ۴-۱۲- رابطه غلظت یون سدیم با هدایت الکتریکی ۵۷
- شکل ۴-۱۳- رابطه غلظت یون کلسیم با هدایت الکتریکی ۵۷
- شکل ۴-۱۴- رابطه غلظت یون منیزیم با هدایت الکتریکی ۵۸
- شکل ۴-۱۵- رابطه غلظت یون کلر با هدایت الکتریکی ۵۸
- شکل ۴-۱۷- رابطه غلظت یون بی کربنات با هدایت الکتریکی ۵۹
- شکل ۴-۱۸- نمودار پایپر آبهای مورد مطالعه ۶۰
- شکل ۴-۱۹- نمودار استیف آبهای مورد مطالعه ۶۱
- شکل ۵-۱- نقشه تغییرات مکانی کربن آلی کل آبهای مورد مطالعه (مهر ماه) ۶۴
- شکل ۵-۲- مقایسه مقدار کربن آلی کل در اردیبهشت ماه و مهر ماه ۶۵
- شکل ۵-۳- رابطه کربن آلی کل و pH (اردیبهشت ماه) ۶۶
- شکل ۵-۴- رابطه کربن آلی کل و pH (مهرماه) ۶۶
- شکل ۵-۵- رابطه کربن آلی کل و یون سدیم ۶۷
- شکل ۵-۶- رابطه کربن آلی کل و یون کلسیم ۶۷
- شکل ۵-۷- رابطه کربن آلی کل و یون منیزیم ۶۷
- شکل ۵-۸- رابطه کربن آلی کل با یون بیکربنات ۶۸
- شکل ۵-۹- رابطه کربن آلی کل با یون سولفات ۶۸
- شکل ۵-۱۰- رابطه کربن آلی کل با یون کلر ۶۸
- شکل ۵-۱۱- نمایی از شیل‌های زغال‌دار سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه ۶۹
- شکل ۵-۱۲- مقایسه غلظت کربن آلی کل با استاندارد (USEPA, 1979) ۷۰

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- میانگین بارندگی ماهانه ۱۵ ساله شاهرود در طی دوره (۱۳۹۱-۱۳۷۷)..... ۴
- جدول ۲-۱- رده‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده ۱۳۹۱) ۶
- جدول ۱-۲- حد مجاز محصولات فرعی گندزدایی در آب شرب (صبحی و همکاران ۱۳۹۳)..... ۲۷
- جدول ۱-۴- مقادیر هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت نمونه‌های مورد مطالعه ۴۴
- جدول ۲-۴- غلظت یون‌های اصلی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر ۴۵
- جدول ۳-۴- غلظت یون‌های اصلی بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر ۴۶
- جدول ۴-۴- برخی پارامترهای محاسباتی در چاه‌های نمونه‌برداری (مهر ماه ۱۳۹۵)..... ۴۷
- جدول ۵-۴- طبقه‌بندی آبها بر اساس سختی کل (Todd 2005)..... ۵۶
- جدول ۱-۵- مقدار کربن آلی کل در آب‌های مورد مطالعه ۶۴

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسأله و ضرورت انجام تحقیق

در دهه‌های اخیر با افزایش رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به طور چشمگیری افزایش یافته است. بخشی از این آلاینده‌ها را ترکیبات آلی تشکیل می‌دهند که از منابع طبیعی و انسانزاد به منابع آبی وارد می‌شوند. این مواد طیف گسترده‌ای از ترکیبات شیمیایی با اندازه‌های مولکولی متفاوت را شامل می‌شوند. مقدار مواد آلی در آب بستگی به شرایط آب و هوایی، هیدرولیکی و فاکتورهای محیطی دارد. منابع عمده مواد آلی موجود در آب شامل مواد آلی طبیعی (Natural Organic Matter = NOM) و ترکیبات به وجود آمده از فعالیت‌های انسانی است که در مجموع کربن آلی کل (Total Organic Carbon = TOC) نامیده می‌شوند. آلاینده‌های با منشأ انسانی شامل سموم کشاورزی مانند آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها، مواد رنگی و دیگر مواد شیمیایی هستند و از راه‌های مختلف وارد محیط آبی می‌شوند که از آن جمله می‌توان به دفع پسماندهای شیمیایی در مکان‌های دفن زباله، ریختن تصادفی مواد شیمیایی طی ذخیره‌سازی و انتقال آن‌ها، پساب کارخانجات تولیدی و سایر فعالیت‌های تجاری و تخلیه فاضلاب تصفیه شده مستقیماً از تصفیه‌خانه‌های شهری و تزریق غیرمستقیم آنها به آب‌های زیرزمینی اشاره کرد. همچنین ته‌نشینی ذرات خشک و مرطوب ترکیبات آلی اتمسفر نیز ممکن است روی دهد که در این حالت مواد از طریق احتراق مواد آلی و شسته شدن از سطح زمین وارد هوا یا آب زیرزمینی می‌شوند. مواد آلی طبیعی، ترکیبات کربن‌داری هستند که نتیجه تجزیه و فرآیندهای سوخت و ساز مواد در آب و یا مناطق اطراف آب می‌باشند. این ترکیبات در نتیجه تجزیه شیمیایی و میکروبی گیاهان و مواد

نشأت گرفته از خاک به وجود می‌آیند و شامل پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، کوتین، لیگنین، لیپیدها و مواد هیومیک می‌باشند. هرچند مواد آلی طبیعی خطری جدی برای سلامتی انسان محسوب نمی‌شوند، اما سبب بروز مشکلاتی در فرآیند تصفیه آب می‌شوند. ترکیبات آلی، کیفیت آب (رنگ، مزه، بو) را تغییر داده و سبب افزایش رشد میکروارگانیسم‌ها در شبکه توزیع آب می‌شوند. این ترکیبات باعث افزایش مصرف مواد منعقدکننده و در نهایت افزایش تولید لجن در آب می‌شوند. ترکیبات آلی به سبب واکنش با کلر و تشکیل فرآورده‌های جانبی گندزدایی، که اغلب سرطان‌زا می‌باشند و نیز عدم امکان حذف کامل در تصفیه متداول آب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. به این دلایل در سال‌های اخیر مواد آلی طبیعی و حذف آن‌ها از اولویت‌های بهداشتی آب‌های آشامیدنی محسوب می‌شوند (شیرمحمد و ابطحی ۱۳۸۹). با توجه به افزایش مواد آلی در منابع آبی و تأثیر این مواد بر سلامتی انسان، و با توجه به این که تاکنون در منابع آب شرب شاهرود، مطالعه‌ای در این خصوص صورت نگرفته است، بررسی غلظت کربن آلی کل در این منابع ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۲- اهداف تحقیق

اهداف کلی این تحقیق عبارتند از:

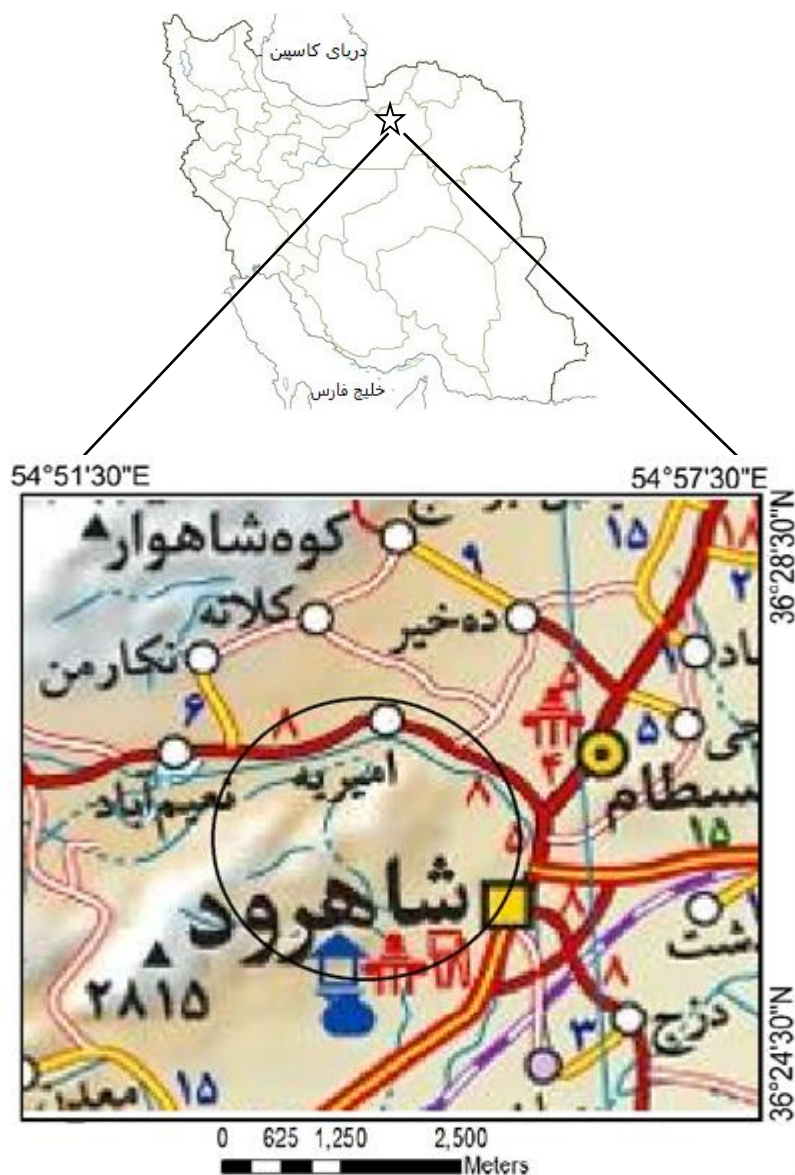
الف- بررسی پارامترهای کیفی منابع آب شرب

ب- ارزیابی غلظت کربن آلی کل در منابع آب شرب

ج- تعیین منشاء کربن آلی کل

۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل ارتفاعات شمال غربی شاهرود می‌باشد که بخشی از کوه‌های تپال را تشکیل می‌دهند. این منطقه در غرب محدوده شهر شاهرود واقع شده است و مختصات جغرافیایی آن ۵۴ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه

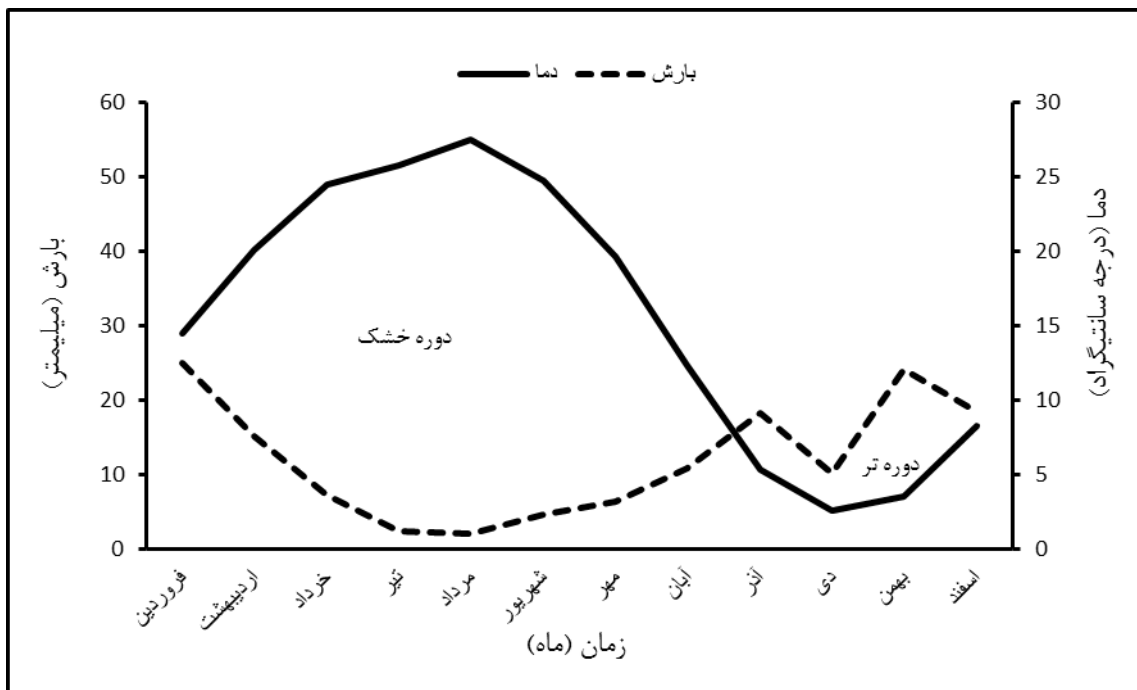
۴-۱- هواشناسی منطقه

اصلی ترین ایستگاه هواشناسی در منطقه شاهرود، ایستگاه سینوپتیک شاهرود است. بر اساس داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده در این ایستگاه در طی دوره (۱۳۷۷-۱۳۹۱)، حداکثر بارندگی ثبت شده در این منطقه در سال ۱۳۷۱ برابر با ۳۱۲/۸ میلی‌متر و حداقل آن در سال ۱۳۴۰ برابر با ۵/۷ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالانه منطقه حدود ۱۴۴ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. حداکثر بارندگی ماهانه در ایستگاه شاهرود در فروردین ماه و حداقل بارندگی ماهانه در مرداد ماه به ترتیب برابر با ۲۵/۰ و ۲/۱ میلی‌متر گزارش شده است. همچنین میانگین سالیانه دما در شاهرود ۱۵/۷ درجه سانتیگراد، میانگین حداقل سالیانه دما ۲/۶ سانتیگراد و میانگین حداکثر دمای سالیانه ۲۷/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱- میانگین بارندگی ماهانه ۱۵ ساله شاهرود در طی دوره (۱۳۷۷-۱۳۹۱)

ماه	بارش (میلی‌متر)	دما (درجه سانتیگراد)
فروردین	۲۵/۰۱	۱۴/۵۱
اردیبهشت	۱۵/۲۰	۲۰/۰۶
خرداد	۷/۲۰	۲۴/۴۶
تیر	۲/۲۹	۲۵/۸۱
مرداد	۲/۱۰	۲۷/۵۲
شهریور	۴/۵۴	۲۴/۸۰
مهر	۶/۴۰	۱۹/۶۸
آبان	۱۰/۷۷	۱۲/۳۱
آذر	۱۸/۱۸	۵/۳۰
دی	۱۰/۰۷	۲/۵۷
بهمن	۲۴/۰۷	۳/۵۵
اسفند	۱۸/۴۹	۸/۲۶
میانگین سالیانه	۱۴۴/۳۶	۱۵/۷۳

به منظور شناسایی دوره‌های تر و خشک در منطقه شاهرود، نمودار امپروترمیک منطقه در طی دوره ۱۵ ساله ترسیم شده است. شکل (۱-۲) نمودار امپروترمیک شاهرود را در این دوره ۱۵ ساله نشان می‌دهد. همانطور که این نمودار نشان می‌دهد، دوره خشک در شاهرود طولانی بوده و از فروردین تا پایان آبان ادامه دارد. همچنین دوره تر از اوایل آذر تا پایان اسفند ادامه می‌یابد.



شکل ۱-۲- نمودار امپروترمیک شاهرود در طی دوره ۱۵ ساله ۱۳۷۷-۱۳۹۱

ضریب خشکی دمارتن برای ارزیابی آب و هوای منطقه محاسبه شد. این ضریب در منطقه شاهرود ۱۹/۲ برآورد شده است. بر اساس رده‌بندی اقلیمی دمارتن (جدول ۱-۲)، منطقه شاهرود در محدوده اقلیم نیمه خشک قرار دارد. قرار گرفتن شاهرود در جنوب رشته کوه‌های البرز و مجاورت با کویر مرکزی ایران سبب شده است که این منطقه دارای آب و هوای نیمه بیابانی با زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های معتدل باشد.

جدول ۱-۲- رده بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده ۱۳۹۱)

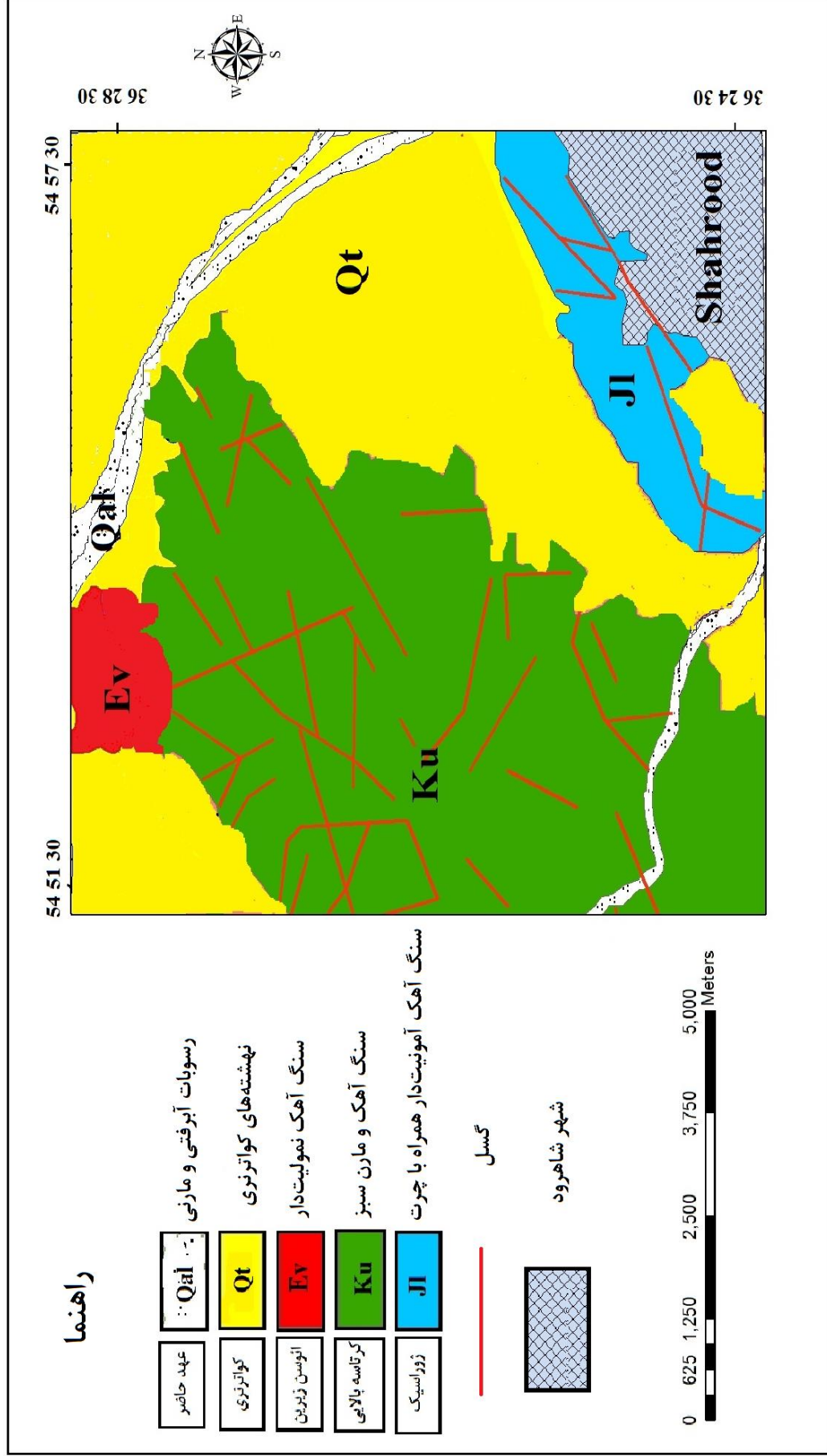
نوع اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن
خشک	< ۱۰
نیمه خشک	۱۰-۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰-۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴-۲۷/۹
مرطوب	۲۸-۳۴/۹
بسیار مرطوب	> ۳۵

۱-۵- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

از نظر زمین شناسی دشت شاهرود در دو ایالت ساختاری البرز (بخش‌های شمالی دشت) و ایران مرکزی (بخش‌های میانی و جنوبی) قرار دارد. به همین دلیل بسیاری از حوادث و پدیده‌های دو ایالت ساختاری ایران مرکزی و البرز را می‌توان مشاهده کرد. رشته کوه البرز از بخش‌های شمالی کوه‌زایی آلپ - هیمالیا در آسیای شرقی می‌باشد. این رشته کوه با روند شرقی- غربی نسبتاً "پیچ و خم‌دار خود از شمال به بلوک فرورفته کاسپین و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می‌شود. منطقه مورد نظر در بخش شرقی این رشته کوه قرار دارد.

فرآیندهای کوهزایی، خشکی‌زایی و حرکات زمین‌ساختی مختلف در بخش‌های شمالی منطقه باعث ایجاد چین‌خوردگی‌ها و گسلش‌های متعدد و در نتیجه سبب ایجاد ساختمان‌های تاقدیسی، ناودیسی و راندگی‌های متعدد شده است. در بخش‌های جنوبی منطقه نیز این پدیده‌ها مشاهده می‌شود (وزیری ۱۳۸۰).

شکل (۱-۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود)

۱-۵-۱- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

سازندهای لار، زیارت و رسوبات کواترنری، به ترتیب سنی، مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه می‌باشند. سازندهای مذکور به طور مختصر معرفی می‌شوند. شکل (۴-۱) نمایی از سنگ‌های آهکی سازند لار و واریزه‌های مربوطه را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که سازند شمشک شامل شیل‌های زغالدار با میان‌لایه‌های نازک ماسه سنگ در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه بر اثر ترانشه‌های ایجاد شده مشاهده می‌شود. این سازند متعلق به تریاس بالایی _ ژوراسیک زیرین و میانی می‌باشد.



شکل ۴-۱- نمایی از واریزه‌های آهکی منطقه مورد مطالعه

الف- سازند لار (J1)

سن این سازند ژوراسیک میانی - بالایی می‌باشد. این سازند از توالی سنگ آهک‌های خاکستری روشن و حاوی تعداد کمی آمونیت تشکیل شده است. این لایه‌ها در ابتدا ضخیم بوده و به تدریج به سنگ آهک‌های توده‌ای و دیوارساز تبدیل می‌شود که در قسمت بالایی خود دارای ندول‌های چرت فراوان می‌باشند. این سازند متعلق به یک محیط کم عمق دریایی می‌باشد.

ب- سازند زیارت (Ev)

سازند زیارت بر روی سازند فجن قرار گرفته و از تناوب‌های متوسط لایه نخودی تا خاکستری رنگ سنگ آهک نومولیت‌دار و سنگ آهک ماسه‌ای نومولیت‌دار تشکیل شده است. سن این سازند را به ائوسن زیرین نسبت می‌دهند.

ج- رسوبات کواترنری (Qt) و عهد حاضر (Qal)

بخش قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه از نهشته‌های آبرفتی و مارنی - گراولی پوشیده شده است که به دوره کواترنری و عهد حاضر تعلق دارد.

۱-۵-۲- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخش‌هایی از دو ایالت ساختاری البرز و ایران مرکزی را در بر می‌گیرد. بخش‌های شمالی منطقه دربرگیرنده رشته‌کوه‌ها و ارتفاعات البرز شرقی است. بخش‌های جنوبی منطقه دربرگیرنده زون ایران مرکزی می‌باشد. در قسمت شمالی گسل خوردگی‌ها (که اغلب رورانده هستند) و چین‌خوردگی‌ها (که اغلب متقارن هستند) با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی دیده می‌شود. در قسمت‌های جنوبی منطقه نیز گسل خوردگی‌ها و چین‌خوردگی‌های اصلی اغلب دارای روند شمال شرقی - جنوب غربی هستند. مهمترین چین‌خوردگی منطقه ناودیس نامتقارن ده‌ملا می‌باشد که دارای روند شمال شرقی - جنوب غربی بوده و به موازات راستای گسل خوردگی طزره و راندگی شاهرود می‌باشد. یال‌های این ناودیس را سازندهای لالون، زایگون و میلا تشکیل می‌دهد. در تناوب‌های این ناودیس گسل خوردگی‌های متعددی (اغلب امتدادلغز) دیده می‌شود. از جمله گسل خوردگی‌های این ناودیس، راندگی بزرگ شاهرود می‌باشد که یال شمالی آن را بریده و باعث شده تا یال تناوب‌های سازند زایگون مشاهده نشود. تاقدیس نامتقارن تل با راستای شمال شرقی و جنوب غربی، یکی دیگر از چین‌خوردگی‌های مهم منطقه است که در جنوب منطقه‌ی مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از

گسل‌های مهم منطقه گسل راندگی شاهرود است که از پایین شهر بسطام و شمال شهر شاهرود می‌گذرد و هم‌راستا با رشته‌کوه البرز و دارای روند تقریباً " شرقی _ غربی می‌باشد. این گسل در مسیر خود یال شمالی ناودیس ده‌ملا را نیز بریده و موجب حذف تناوب‌های سازند زایگون در این یال شده است. گسل رانده طزره نیز شاخه‌ای جدا شده از گسل رانده شاهرود در ناحیه ده‌ملا بوده و حرکتی را در جهت شمال شرقی - جنوب غربی انجام داده است. این گسل در ادامه روند خود وارد محدوده نقشه یکصد هزارم دامغان شده و به گسل عطاری متصل می‌شود.

۱-۶- ژئومورفولوژی

منطقه مورد مطالعه از رسوبات کواترنری که در بالا دست درشت دانه و در پایین دست و با کاهش شیب، ریز دانه هستند پوشیده شده است. در قسمت شمالی منطقه و در زون البرز شرقی، مناطق کوهستانی و در منطقه‌ی جنوبی محدوده‌ی مورد بررسی تپه‌ماهورها و همچنین مناطق کوهستانی مشاهده می‌شود. شهر شاهرود هم‌جوار با ارتفاعات آهکی کرتاسه عموماً بر روی رسوبات درشت دانه بنا شده است. سازندهای آهکی مقاومت فرسایشی زیادتری نسبت به بقیه سازندهای منطقه دارند و معمولاً ستیغ‌ساز هستند. سازند آهکی لار و سنگ آهک‌های کرتاسه‌ی بالایی مرتفع‌ترین نقاط منطقه را تشکیل می‌دهند. شکل (۱-۵) نمایی از ژئومورفولوژی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵- نمایی از ژئومورفولوژی منطقه

۷-۱- هیدروژئولوژی منطقه

در منطقه مورد مطالعه، سازندهای آهکی لار و کرتاسه بالایی حضور دارند. این سازندها به دلیل آهک-های ضخیم لایه نسبتاً "خالص"، استعداد زیادی برای توسعه کارست دارند. بخش آبدار همه چاههای مورد مطالعه (به استثناء چند متر ابتدایی چاهها که در آبرفت قرار گرفته است) در این سازندهای آهکی حفر شده‌اند. سنگ‌های آهکی سازندهای لار و کرتاسه بالایی یک آبخوان کارستی خوبی را تشکیل می‌دهند و شاهد این ادعا چاههای متعددی است که در این سازندها حفر شده‌اند و آبدهی خوبی دارند. شکل (۱-۶) چاه حفر شده در سازندهای آهکی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶- چاه حفر شده در سازندهای آهکی

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین در باره

کربن آلی کل در منابع آب

۲-۱- مقدمه

در این فصل منابع مرتبط با کربن آلی کل (Total Organic Carbon = TOC)، مورد مطالعه قرار گرفته و مواردی مانند مقدار کربن آلی موجود در منابع آب، منشأ، عوامل مؤثر بر آن و اثرات آن بر محیط زیست بررسی می‌شود. در نهایت به مطالعات انجام شده در سطح ایران و جهان در این خصوص پرداخته می‌شود.

۲-۲- مواد آلی موجود در آب

امروزه با توجه به رشد روز افزون جمعیت جهان و در نتیجه گسترش شهرها و توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، در منابع تأمین‌کننده آب شهرهای بزرگ، مواد شیمیایی گوناگون و احتمالاً خطرناک مشاهده شده است که بخش عمده آن را ترکیبات آلی تشکیل می‌دهند. در آب‌های غیرآلوده، کربن آلی کل، اغلب ناشی از ترکیبات هومیک و مواد گیاهی و جانوری تا حدی مقاوم در برابر تجزیه میکروبی، لیگنین و اسیدهای فولویک می‌باشد. این مواد طبیعی، توانایی تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین را دارند، از اینرو انحلال‌پذیری برخی فلزات سنگین را تحت تأثیر قرار داده

و سبب سمناکی آنها می‌شوند. در آب‌های آلوده، کربن آلی کل اغلب ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند استفاده از انواع کودها، آفت‌کش‌ها، سورفکتانت‌ها و شوینده‌ها می‌باشد (Visco *et al.* 2005).

مواد آلی موجود در منابع آب، به ویژه آب‌های سطحی، منشاء طبیعی و مصنوعی دارند. مواد آلی با منشاء طبیعی (Natural Organic Matter = NOM)، ناشی از تجزیه و تخریب مواد آلی طبیعی از جمله گیاهان آبی و جلبک‌های موجود در منابع آب سطحی و مواد آلی انسانزاد، ناشی از فعالیت‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی می‌باشند. مواد آلی طبیعی که از تجزیه گیاهان آبی و بقایای جانداران حاصل می‌شوند، در حین تصفیه آب در فرایندهای گندزدایی توسط کلر به محصولات فرعی گندزدایی (Disinfection By Products = DBP)، مانند تری‌هالومتان‌ها تبدیل می‌شوند که سرطان‌زا می‌باشند. همچنین مواد آلی با منشاء انسانی مانند حلال‌ها، آفت‌کش‌ها، هیدروکربن‌های آروماتیک چند هسته‌ای (PAHs) و پلی‌کلروبی‌فنیل‌ها (PCBs) مشکلات عمده بهداشتی، مانند سرطان‌زایی، موتانوژنیک و تراژونیک در انسان ایجاد می‌کنند (تکدستان و همکاران ۱۳۸۵).

ترکیبات آلی گسترده وسیعی از مواد را از آلفاتیک‌های رنگی تا آروماتیک‌ها در بر می‌گیرند و از ترکیبات شیمیایی و اندازه‌های مولکولی متفاوت تشکیل شده‌اند و مقدار آنها در آب بستگی به شرایط آب و هوایی، هیدرولیکی و فاکتورهای محیطی دارد (شیر محمد و ابطحی ۱۳۸۹).

مواد آلی طبیعی، به دو جزء اصلی آبدوست غیرهیومیکی و آب‌گریز هیومیکی تقسیم می‌شوند. جزء آبدوست پتانسیل بالاتری در تشکیل هالواستیک‌اسیدها و اجزای آب‌گریز پتانسیل بالاتری در تشکیل هالومتان‌ها دارند (محو و همکاران ۱۳۸۹). مواد هیومیکی، اسیدهای آلی مقاومی هستند که اغلب نتیجه تجزیه مواد گیاهی تخریب شده و جلبک‌ها و میکروارگانیسم‌های موجود در آب می‌باشند و بیش از ۸۰ درصد مواد آلی محلول را تشکیل می‌دهند. از ویژگی‌های این مواد، ایجاد رنگ در آب می‌باشد (Ledesma *et al.* 2012). منشاء مواد آلی طبیعی، بقایای گیاهان و جانوران و مواد دفعی آنهاست، این مواد از طریق رواناب‌ها و نفوذ بارندگی به هیدروسفر وارد شده و یا توسط گیاهان، پلانکتون‌ها و موجودات عالی آبی تولید می‌شوند (Hope *et al.* 1994, Kalbitz *et al.* 2000, Brooks *et al.* 2005).

مواد آلی طبیعی همه جا در اکوسیستم‌های آبی حضور دارند و شامل یک مخلوط ناهمگن از ترکیبات آلی با خواص بسیار متفاوت فیزیکوشیمیایی می‌باشند. این ترکیبات شامل مواد هومیک و فولویک، پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه، لیپیدها، پلی‌ساکاریدها و زیست‌بسپارها می‌باشند (Gibert et al. 2015). مواد آلی طبیعی یک ماتریس پیچیده آلی و یک جزء کلیدی در اکوسیستم‌های آبی می‌باشند که نتیجه تعامل بین آب‌کره، زیست‌کره و خاک‌کره است و میزان این مواد با غلظت کربن آلی کل و جذب پرتو فرابنفش در طول موج ۲۵۴ نانومتر رابطه مستقیم دارد (Silanpaa 2015).

۲-۳- اجزاء کربن آلی کل

ترکیبات آلی به دو صورت فرار و غیرفرار در منابع آبی حضور دارند. این ترکیبات، دمای تبخیر متفاوتی دارند و از منابع طبیعی و انسانزاد به اکوسیستم‌های آبی وارد می‌شوند.

۲-۳-۱- کربن آلی فرار

بیشتر ترکیبات آلی فرار پایداری دارند، یعنی به سادگی به بخار تبدیل نمی‌شوند. اما فرآیند تبخیر در تعدادی از ترکیبات آلی با منشاء انسانزاد، فرایند مهمی است. این ترکیبات شامل هیدروکربن‌ها، کتون‌ها، آلدئیدها و استرها می‌باشند. به طور کلی، مولکول‌های ناقصی با وزن مولکولی پایین، آسان‌تر از همه تبخیر می‌شوند که از آن جمله می‌توان به استون و بنزین اشاره کرد (مر و همکاران ۱۳۹۰). ترکیبات آلی فرار (Volatile Organic Carbon)، گروهی از آلاینده‌های موجود در آب‌های زیرزمینی می‌باشند که به دلیل انتشار در آب زیرزمینی نگرانی‌هایی را برای سلامتی جامعه ایجاد کرده‌اند. برخی از این ترکیبات منشاء طبیعی دارند و برخی از آن‌ها بر اثر فعالیت‌های انسانزاد به آب وارد می‌شوند. این ترکیبات هیدروکربنه، نقطه جوش کمتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد دارند، بنابراین به آسانی تبخیر

می‌شوند. بسیاری از این ترکیبات، مواد شیمیایی انسان‌زاد می‌باشند که در ساخت رنگ، چسب، فرآورده‌های نفتی و مواد دارویی استفاده می‌شوند. برخی از این مواد نیز، ترکیبات سوختنی، حلال‌ها و رقیق‌کننده‌های رنگ می‌باشند که در مناطق شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. اغلب این مواد ترکیباتی سمی هستند و خاصیت سرطان‌زایی دارند (USGS 2005).

۲-۳-۲- کربن آلی غیرفرار

کربن آلی کل، در اغلب موارد معادل کربن آلی غیرفرار (Non-Purgeable Organic Carbon) به کار می‌رود و بر اساس اندازه ذرات، به دو بخش کربن آلی محلول (Dissolve Organic Carbon = DOC) و کربن آلی ذره‌ای (Particulate Organic carbon = POC) تقسیم می‌شود. این تقسیم‌بندی، اغلب برای توصیف مواد آلی موجود در آب‌های سطحی استفاده می‌شود (Ledesma *et al.* 2012).

الف- کربن آلی محلول

ترکیبات آلی محلول در همه اکوسیستم‌های آبی وجود دارند و طبق تعریف، شامل هر ترکیب آلی می‌شود که از فیلتر ۰/۴۵ میکرون عبور کند. تعداد این ترکیبات بی‌شمار است به همین دلیل ارائه ترکیب شیمیایی آن‌ها غیرممکن است. این مواد ترکیب ناهمگنی از مواد آلی پیچیده بوده و شامل مواد هومیک، پروتئین، پلی‌ساکارید و آمینواسید می‌باشد. ترکیبات آلی محلول (DOC) با انتقال کربن از خاک به آب و در نهایت اکوسیستم دریایی، تشکیل بخشی از چرخه کربن جهانی را می‌دهد (Evans *et al.* 2005).

کربن آلی کل و کربن آلی محلول نشان‌دهنده همه ترکیبات کربن‌دار غیر فرار در یک نمونه آب می‌باشند و شامل همه گونه‌های مواد آلی طبیعی می‌شوند. کربن آلی محلول و کلوئیدی از فیلتر ۰/۴۵

میکرون عبور می‌کند که در مجموع کربن آلی محلول (DOC) نامیده می‌شود. بسیاری از پیش-سازهای آلی موجود در آب با کربن محلول و کلوئیدی در ارتباط می‌باشند و برخی از محققان ارتباط قوی و منطقی بین کربن آلی کل، کربن آلی محلول و پتانسیل تشکیل پیش‌سازهای آلی تشخیص داده‌اند (Chowddury and Champagne 2008).

کربن آلی محلول، کامل‌ترین پارامتر معادل برای تعیین میزان مواد آلی محلول می‌باشد، از این‌رو، در مواردی که اندازه‌گیری مواد آلی محلول از حساسیت بالایی برخوردار نیست، برای سهولت در اندازه‌گیری، (DOC)، اندازه‌گیری شده و به جای (DOM) استفاده می‌شود (Ying Hu 2016).

ب- کربن آلی ذره‌ای

کربن آلی ذره‌ای، شامل ذرات بزرگ‌تر از 0.45 میکرون می‌باشد، گاهی این ذرات از تجمع مواد آلی محلول ایجاد می‌شوند. میکروب‌ها می‌توانند نقش مهمی در دینامیک مواد آلی ذره‌ای داشته باشند. تولید پلی‌ساکاریدهای میکروبی منجر به تولید مواد ذره‌ای بزرگ‌تر از 2 میکرون شده و سبب افزایش مواد آلی ذره‌ای در آب می‌شود. برای تعیین میزان کربن آلی ذره‌ای (POC) از پارامتر مواد آلی ذره‌ای (Particulate Organic Matter = POM) استفاده می‌شود (Fiedler *et al.* 2008).

۲-۴- منشاء و عوامل مؤثر بر میزان ترکیبات آلی در آب

کربن آلی موجود در منابع آبی می‌تواند برجا یا نابرجا باشد. مواد گیاهی و خاک از منابع نابرجای کربن می‌باشند و کربن آلی برجا، بیش‌تر از جلبک‌ها، به شکل مواد مستقیم دفعی و یا از تجزیه باکتریایی و شیمیایی کربن آلی ذره‌ای، مشتق می‌شود. اهمیت نسبی این دو منبع، به اندازه توده آب بستگی دارد. در رودها و دریاچه‌های کوچک، منابع نابرجا غالب هستند در حالی که در دریاچه‌های

بزرگ و به ویژه در اقیانوس‌ها، منابع برجا چیرگی دارد. غلظت کربن آلی محلول و ذره‌ای، بسته به محیط آبگین تغییر می‌کند. برای مثال، آب دریا و آب زیرزمینی دارای غلظت‌های پایین کربن آلی و مقدار ناچیزی کربن آلی ذره‌ای هستند در حالی که مانداب‌ها و باتلاق‌ها، هم دارای کربن آلی بالا و هم دارای کربن آلی ذره‌ای قابل توجهی می‌باشند. بالا بودن میزان مواد آلی مانداب‌ها و باتلاق‌ها به دلیل تماس آب با محیط غنی از مواد آلی است. آب زیرزمینی اغلب دارای مقدار کربن پایینی است، زیرا کربن آلی به عنوان ذخیره غذایی، توسط میکروب‌ها مصرف شده و به کربن دی‌اکسید یا متان تبدیل می‌شود و نیز روی سطح دانه‌های رسوبی جذب شده و در آن‌جا به روش شیمیایی و زیست-شیمیایی به کربن دی‌اکسید تبدیل می‌شود. مقدار کربن آلی رودها، به عنوان تابعی از اقلیم و آبدهی رود تغییر می‌کند. به طور کلی میزان کربن آلی محلول یک رود، در ابتدا با افزایش جریان، افزایش می‌یابد و سپس افت می‌کند. افزایش کربن آلی محلول، به علت شسته شدن کربن آلی از خاک به درون رود در مرحله ابتدایی است، و افت آن بازتاب رقیق‌شدگی بعدی بر اثر افزایش جریان آب رود است (مر و همکاران ۱۳۹۰). کمترین میزان مواد آلی محلول، در اقیانوس‌ها، آب‌های زیرزمینی و سطحی، سدهای زهکشی، و خاک‌ها و زمین‌های فقیر از مواد ارگانیک و بالاترین غلظت مواد آلی در خاک‌های آلی نفوذپذیر، تالاب‌های آب شیرین و زمین‌های شیلی، به ویژه مناطقی که در مسیر رواناب آهسته قرار دارند مشاهده می‌شود (Evans *et al.* 2005). در مناطق مرتفع، کاربری اراضی و شیوه‌های مدیریت محلی، از جمله چرای دام‌ها، جنگل‌کاری، جنگل‌زدایی و آتش‌سوزی جنگل‌ها از عوامل مؤثر بر میزان مواد آلی در محیط می‌باشد (Holden *et al.* 2007).

خواص و ترکیب مواد آلی طبیعی در اکوسیستم‌های آبی به منابع و تغییرات فصلی بستگی دارد. مطالعات انجام شده در دو دهه گذشته نشان می‌دهد که میزان و تنوع ترکیبات آلی طبیعی در منابع آب به علت الگوهای غیر معمول آب و هوایی، بارندگی‌های شدید، افزایش خشکسالی همراه با افزایش دفع زباله در آب و خاک افزایش یافته است (Ng *et al.* 2013).

وابستگی مکانی، مقیاس‌های زمانی، تغییرات فصلی و شیوه‌های مدیریت محلی نیز از عوامل مؤثر بر میزان مواد آلی طبیعی می‌باشد (Clark *et al.* 2010).

میزان ترکیبات آلی طبیعی (NOM) در آب به روش عرضه آب و حوضه آبریز بستگی دارد، به عنوان مثال میزان ترکیبات آلی در حوضه‌های آبی کوچکتر اغلب نسبت به حوضه‌های آبی بزرگتر بیشتر است و تغییر میزان ترکیبات آلی در آب‌های جاری و رودخانه‌ها بیشتر از آب‌های راکد می‌باشد (Gora 2011).

۲-۴-۱- عوامل طبیعی

الف- دما

مطالعات دراز مدت ایوانز و همکاران (Evans *et al.* 2005) در انگلستان و ارزیابی ۲۲ منبع آبی در این کشور نشان داده که غلظت کربن آلی محلول در ۱۵ سال اخیر در شمال اروپا و امریکا افزایش یافته است که به نظر می‌رسد افزایش دما، تغییر الگوی بارندگی، کاربری اراضی و افزایش میزان کربن دی‌اکسید از مهمترین علت‌های این افزایش باشد.

مقدار فرایندهای تجزیه و انحلال برای تولید مواد آلی محلول به طور کلی با افزایش دما در طول فعالیت‌های میکروبی افزایش می‌یابد. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده که رابطه مثبتی بین دما و میزان تولید کربن آلی محلول وجود دارد و بیشتر واکنش‌های تعادلی در خاک و آب به دما وابسته‌اند، هرچند ممکن است توسط محیط محدود شوند. مطالعه در کشور سوئد نشان داده است که حداکثر میزان تولید کربن آلی محلول در بهار نسبت به زمستان بیشتر است. در آب‌های سطحی افزایش دما سبب کاهش اکسیژن محلول در آب می‌شود و این امر به نوبه خود موجب ایجاد شرایط مساعدتری برای رشد و شکوفایی جلبک‌ها می‌شود. مواد آلی محلول تولید شده از جلبک‌ها به دلیل داشتن مواد

پروتئینی بالا توانایی زیادی در تولید (DBPs) دارند و مشکلاتی را در فرایند تصفیه آب ایجاد می‌کنند (Ritson *et al.* 2014).

ب- تغییرات فصلی و تغییر الگوی بارندگی

مطالعات انجام شده در یک دریاچه بزرگ در ژاپن نشان داده است که بیشترین غلظت کربن آلی محلول در این دریاچه در پاییز به ثبت رسیده است، در حالی که در رودخانه‌های تغذیه‌کننده آن، این افزایش در پایان بهار مشاهده می‌شود (Imai *et al.* 2002).

بررسی‌های انجام شده در دو منبع آبی رودخانه و دریاچه که به منظور ذخیره آب استفاده می‌شود، نشان داده است که غلظت مواد آلی طبیعی در تابستان و پاییز افزایش داشته است. همچنین مقایسه نتایج به دست آمده در یک دوره دو ساله از این دو منبع آبی نشان داده است که روابط بین پارامترهای عمومی مواد آلی که بسیاری از پژوهشگران ارائه داده‌اند برای همه منابع آب معتبر نیست و روابط مثبت و معنادار بین جذب اشعه فرابنفش، کربن آلی محلول، کربن آلی کل و تری‌هالومتان‌ها در یک منبع آب وجود دارد و در منبع دیگر وجود ندارد. در این مورد خاص برخی از محققان پیشنهاد کردند که این تفاوت ممکن است به دلیل نسبت‌های متفاوت مواد آلی ورودی و مواد آلی بومی در دو منبع آبی باشد. به طور خاص ارتباط معنادار بین پارامترهای ذکر شده، تنها در منابع آبی مشاهده می‌شود که میزان بالاتری از مواد آلی طبیعی ورودی نسبت به مواد آلی بومی و محلی داشته باشند (Garvey and Tobiasson 2003).

مقدار و ویژگی‌های شیمیایی مواد آلی طبیعی در بسیاری از منابع آب تغییراتی نشان می‌دهد. بارندگی‌های شدید، ذوب برف‌ها و شکوفایی جلبک‌ها رویدادهای فصلی هستند که می‌تواند کل میزان مواد آلی طبیعی را در یک منبع آب افزایش دهد. در بیشتر اندازه‌گیری‌های انجام شده، میزان مواد آلی در تابستان و پاییز بالاتر از زمستان و بهار است. میزان مواد آلی بومی در اکوسیستم‌های آبی با

فعالیت و پوسیدگی جلبک‌ها و ماکروفیت‌ها ارتباط دارد و افزایش درجه حرارت در لایه‌های بالایی آب در طول تابستان منجر به رشد جلبک‌ها و ماکروفیت‌ها می‌شود. مطالعه کیفیت آب آشامیدنی در برخی مناطق لابرادور (Labrador) و نیوفوندلند (Newfoundland) افزایش دراز مدت میزان مواد آلی طبیعی را در بخش‌هایی از نیمکره شمالی نشان می‌دهد که این افزایش ناشی از تغییرات آب و هوایی، فعالیت‌های انسانی و تغییر الگوی بارندگی می‌باشد. همچنین در این پژوهش نشان داده شده است که تغییرات میزان مواد آلی طبیعی به تغییرات فصلی دما و بارش بستگی دارد (Gora 2011).

تعیین تغییرات کربن آلی کل (TOC) و کربن کل (TC) در رودخانه هارسیت (Harcite)، در ترکیه توسط بایرام و همکاران (Bayram et al. 2011) انجام شد. نمونه‌برداری هر دو هفته یک بار در فاصله سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ صورت گرفت. نتیجه بررسی‌ها نشان داد که به جز فصل زمستان، حداکثر میزان کربن آلی کل در بسیاری از نمونه‌ها بالاتر از استاندارد کنترل آلودگی آب ترکیه (۵ میلی‌گرم در لیتر) است. همچنین بالاترین میزان کربن کل و کربن آلی کل در فصل‌های تابستان و پاییز، به علت بارندگی کم به ثبت رسیده و کمترین میزان کربن آلی کل و کربن کل در فصل‌های زمستان و بهار، به دلیل بارندگی زیاد ثبت شده است.

پایش میزان کربن آلی محلول در رودخانه کلاکاماس (Clackamas) نشان داد که غلظت کربن آلی محلول در این رودخانه به طور کلی پایین است اما افزایش شدیدی در میزان کربن آلی محلول به هنگام بارندگی مشاهده می‌شود. غلظت کربن آلی محلول در تابستان تا حدی ثابت است اما به علت جریان‌های پاییزی و تغییر میزان کربن، میزان محصولات فرعی گندزدایی در آب مصرفی سه هفته بعد از بارندگی و پس از اینکه زمین از باران‌های اضافی اشباع شد، افزایش می‌یابد. بیشترین میزان کربن آلی محلول در پایین‌دست رودخانه، از حوضه بالادست سرچشمه می‌گیرد که نشان از غالب بودن منشاء زمینی کربن دارد. شاخه‌های پایین‌تر حوضه به طور معمول حاوی بالاترین غلظت کربن آلی محلول و پیش‌سازهای محصولات فرعی گندزدایی می‌باشد. اگرچه اغلب، کربن آلی محلول باعث تشکیل محصولات فرعی گندزدایی می‌شود، گاهی مواد آلی ذره‌ای از جمله مواد گیاهی و جلبک‌ها نیز

بخش قابل توجهی از پیش‌سازهای این مواد را می‌سازند، به طور متوسط ۱۰ درصد از تری‌هالومتان‌ها و ۳۲ درصد از هالواستیک‌اسیدها با کربن ذره‌ای در ارتباط می‌باشند، این یافته‌ها نشان می‌دهد که حذف ذرات قبل از تصفیه آب تا حد زیادی سبب کاهش میزان محصولات فرعی گندزدایی خواهد شد (USGS 2013).

مطالعه تغییر جریان تعدادی از رودخانه‌های آب شیرین در جنوب تگزاس (Texas) و تأثیر آن بر ترکیب، کمیت و کیفیت ذرات آلی معلق در مصب این رودخانه‌ها، ۱/۵ ماه پس از بارش شدید در سپتامبر ۲۰۱۰ به اجرا گذاشته شد و به مدت ۱۰ ماه پس از شرایط خشکسالی ادامه یافت (Lebreton *et al.* 2016). منشاء ذرات آلی معلق در رودخانه‌ها، خلیج مکزیک و مصب رودخانه‌ها با استفاده از ایزوتوپ پایدار (^{15}N ، ^{34}S ، ^{13}C) تعیین شد. میزان و کیفیت ذرات آلی معلق به کمک میزان کربن آلی و محتوای کلروفیل a و نسبت C به کلروفیل a مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فیتوپلانکتون‌های بومی در این مناطق فراوان هستند و کاهش جریان آب شیرین باعث کاهش میزان ورود مواد آلی و افزایش نسبت فیتوپلانکتون‌های بومی در ذرات آلی معلق می‌شود.

ارزیابی کربن آلی محلول و پتانسیل تشکیل تری‌هالومتان‌ها، بین منبع آب در بالا دست و آب آشامیدنی در پایین دست در یک دشت در انگلستان (Brooks *et al.* 2015)، نشان داد که میزان کربن آلی محلول در بالا دست، بسیار بالاتر از مناطق پایین دست است. نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد که غلظت بالای کربن آلی محلول در بالا دست حوضه به منشاء زمینی مربوط می‌شود و غلظت کم این مواد در پایین دست ناشی از رقیق‌شدگی است.

ج - pH

بررسی ارتباط میان تغییرات آب و هوا، انتشار کربن آلی محلول و اثرات آن بر تصفیه آب آشامیدنی در طراحی یک آزمایش دست‌کاری آب و هوا برای شبیه‌سازی تغییرات آب و هوایی پیش‌بینی شده و تأثیر آن بر انتشار کربن آلی محلول از مناطق مردابی و همچنین شبیه‌سازی عمل انعقاد در تصفیه

آب، نشان داد که خشکسالی عامل اصلی تغییر انتشار کربن آلی محلول می‌باشد که بر روی حذف این مواد نیز اثر دارد. در این بررسی‌ها نشان داده شد که خشکسالی کوتاه مدت آینده تأثیری بیش از افزایش دما، بر روی میزان تصفیه و حذف کربن آلی محلول خواهد داشت و بین pH نمونه آب و غلظت کربن آلی محلول رابطه معناداری وجود دارد و افزایش غلظت کربن آلی محلول با افزایش اسیدیته آب ممکن است به علت افزایش غلظت آنیون‌های اسیدی مثل سولفات یا نترات باشد که منجر به واکنش اکسیداسیون و افزایش انحلال کربن آلی محلول می‌شود (Tang et al. 2013).

د- لیتولوژی منطقه

بررسی میزان ورود کربن آلی به دو رودخانه دی (Dee) و دان (Don) در شمال شرقی اسکاتلند (Hope et al. 1997) و تعیین غلظت کربن آلی محلول و ذره‌ای در ۲۳ منطقه از این دو رودخانه، هر دو هفته یک بار انجام شد. در این مطالعه افزایش غلظت سالیانه کربن آلی محلول و ذره‌ای در پایین دست هر دو رودخانه مشاهده شد و میزان کربن آلی ذره‌ای حدود ۱۰ درصد از کل کربن آلی بود. در این بررسی‌ها یک رابطه مثبت و قوی بین غلظت کربن آلی و لایه زغال سنگی در ارتفاعات حوضه آبریز مشاهده شد که نشان می‌داد لایه‌های زغالی منبع اصلی کربن آلی به این دو رودخانه می‌باشند. در قسمت‌های پایین دست این دو رودخانه به نظر می‌رسد غلظت کربن آلی ذره‌ای تا حدی از زمین‌های کشاورزی اطراف حوضه آبریز ناشی شود.

۲-۴-۲- فعالیت‌های انسانزاد

تعداد زیادی از مواد شیمیایی آلی، برای کاربردهای متنوع، ساخته شده‌اند. از این میان، انواع گسترده‌ای از ترکیب‌های شیمیایی به‌عنوان حشره‌کش، آفت‌کش و علف‌کش استفاده می‌شوند. بسیاری از این ترکیب‌ها، اثر زیست‌محیطی قابل توجهی دارند. دیگر ترکیب‌های آلی، دارای مصارف گوناگونی در

فرآیندهای صنعتی هستند. از آنجا که بخش بزرگی از این ترکیب‌های آلی، قبلاً" در محیط طبیعی وجود نداشته‌اند، اثر آنها می‌تواند قابل توجه باشد. علاوه بر این، رهاسازی‌هایی از ترکیب‌های آلی طبیعی وجود دارد، اما مقدار آنها به مراتب بیش از مقادیری است که به طور عادی با آن برخورد می‌کنیم (مانند نشت نفت، تراوش از مخازن ذخیره زیرزمینی و غیره). از نظر اثرهای زیست‌محیطی، رهاسازی‌های انسان‌زاد مواد آلی، اغلب شدیدترین اثرهای زیست‌محیطی را داشته و رفع آلودگی و پاکسازی آنها، نیاز به تلاش بسیاری دارد (مر و همکاران ۱۳۹۰).

از دیگر فعالیت‌های انسانی که منجر به افزایش مواد آلی در منابع آبی به‌ویژه در سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود، دفن زباله‌ها در محیط است. دفن زباله‌ها در مناطقی که لایه زیرین نفوذناپذیر نباشد باعث نشت شیرابه زباله‌ها به داخل زمین شده و منجر به افزایش فلزات سنگین و ترکیبات آلی و نیتروژنی به سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود (Christenson *et al.* 2001, Goody *et al.* 2002). فعالیت‌های مختلف انسانی منجر به افزایش مواد آلی طبیعی در آب‌های سطحی می‌شود، به خصوص در مواقعی که باعث افزایش فرسایش و افزایش مواد آلی طبیعی در حوضه آبریز می‌شود. به عنوان مثال زهکشی مناطق مردابی می‌تواند باعث افزایش مواد آلی طبیعی در آب‌های جاری شود (Armstrong *et al.* 2010). آتش‌سوزی و تخریب جنگل‌ها به منظور کشاورزی، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، توسعه مسکن و جاده‌سازی، فعالیت‌های صنعتی، جهانگردی و تفریحی بر روی میزان ورود مواد آلی به آب‌های سطحی اثر می‌گذارد. مطالعات انجام شده در انگلستان نیز بیانگر افزایش کربن آلی محلول پس از آتش‌سوزی جنگل‌هاست (Glaves 2013).

الف- دفن زباله‌ها در محیط

مطالعات انجام شده در محل مکان‌های دفن زباله توسط کریستنسون (Christenson *et al.* 2001) نشان داده که غلظت مواد آلی در این مناطق، بالاتر از حداکثر غلظت زمینه بوده و شیرابه‌ای حاوی

فلزات سنگین تشکیل می‌شود، همچنین با افزایش فاصله از مکان‌های دفن زباله، میزان مواد آلی فرار و غیر فرار کاهش می‌یابد.

ارزیابی غلظت کربن آلی محلول در آب زیرزمینی منطقه‌ای در زیر یک تالاب جمع‌آوری کود دامی واقع در انگلستان (Goody *et al.* 2002) نشان داد که در این محل، منطقه اکسایش - کاهش تشکیل شده و غلظت کربن آلی محلول تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر (حدود ۱۰۰ برابر میزان طبیعی در آب زیرزمینی) افزایش یافته است.

ب- فعالیت‌های صنعتی

مطالعات کوهوسوا و همکاران (Kohusova *et al.* 2011) بر روی رودخانه بیلینا (Billina) در کشور چک نشان داد که غلظت فلزات سنگین و ترکیبات آلی در این رودخانه بالا می‌باشد که علت اصلی آن واقع شدن این رودخانه در یک منطقه صنعتی است.

ج- فاضلاب‌های شهری و خانگی

مطالعه و بررسی مقدار کربن آلی در مناطق مختلف رودخانه هارسیت (Harcite)، در ترکیه توسط بایرام و همکاران (Bayram *et al.* 2011) انجام شد. بررسی‌های انجام شده نشان داد که میزان کربن آلی در مناطق پایین‌تر بستر رودخانه، به سبب در دسترس بودن محیط زیست برای فعالیت‌های انسانی و امکان آلودگی رودخانه، بالاتر است و بیشترین میزان کربن آلی در ایستگاه گوموشن (Gomusion) اندازه‌گیری شده که در آن تخلیه مستقیم فاضلاب شهرستان و دفع زباله‌های جامد صورت می‌گیرد.

۲-۵- ارزیابی میزان کربن آلی کل در منابع آب

کربن آلی کل از منابع طبیعی و انسانزاد وارد آب می‌شود و میزان آن بستگی به نوع آب دارد که خود تحت تأثیر پارامترهای مختلف، از جمله دما، شوری، pH محلول، فعالیت میکروبی و پوشش گیاهی در اطراف آب است. به طور کلی، میزان کربن آلی کل، از کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر در آب‌های زیرزمینی و دریاها، ۱۰-۲ میلی‌گرم در لیتر، در آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها و تا ۱۰ گرم در لیتر در باتلاق‌ها و مرداب‌ها متغیر است. در آب‌های طبیعی، میزان کربن آلی کل، بین ۱۰۰۰۰-۰/۱ میلی‌گرم در لیتر متغیر (Visco et al. 2005). تعیین میزان کربن آلی کل در بیش از ۴۰۰ مورد از آب‌های زیرزمینی در ۸ کشور اتحادیه اروپا انجام شده و بررسی‌های انجام شده نشان داده که غلظت کربن آلی کل بین ۰/۱۸ تا ۵۸/۹ متغیر بوده و یک رابطه خطی بین کربن آلی مصرفی توسط باکتری‌ها (COD)، کربن آلی کل و کربن آلی محلول وجود دارد. همچنین کربن آلی طبیعی (NOM) به طور محلی در برخی از مناطق بکر و دور از دسترس انسان‌ها، در سفره‌های آب زیرزمینی بسیار بالاتر از حد طبیعی می‌باشد (Edmunds and Shand 2005).

۲-۶- ارزیابی حد مجاز کربن آلی کل در آب آشامیدنی

مقدار مجاز، نشان دهنده غلظتی از آلاینده است که خطر جدی برای سلامت انسان در طول دوره استفاده از آن ایجاد نمی‌کند. شناسایی محصولات جانبی گندزدایی و توجه به عوارض نامطلوب آن‌ها منجر به فعالیت‌های پژوهشی گسترده‌ای در اروپا و آمریکا، به منظور به حداقل رساندن این عوارض و خطر سرطان شده است. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)، سازمان بهداشت جهانی (WHO) و اتحادیه اروپا (EC) به وضع قوانینی برای تری‌هالومتان‌های موجود در آب پرداخته‌اند. جدول (۱-۲) مقادیر مجاز تری‌هالومتان‌ها را در آب شرب نشان می‌دهد. در سال ۱۹۷۹ سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا میزان ۱۰۰ میکروگرم در لیتر از تری‌هالومتان‌ها را به عنوان استاندارد

برای آب آشامیدنی در نظر گرفته است. همچنین میزان ۶۰ میکروگرم در لیتر برای مجموع پنج هالواستیک‌اسید و ۱۰ میکروگرم در لیتر برای برومات تعیین شده است. در آلمان مقدار مجاز برای کل تری‌هالومتان‌ها ۱۰ میکروگرم در لیتر می‌باشد (صبحی و همکاران ۱۳۹۳). اطلاعیه سازمان حفاظت محیط زیست امریکا نشان می‌دهد که اگر میزان کربن آلی کل بیشتر از ۴ میلی‌گرم در لیتر باشد، میزان تشکیل تری‌هالومتان‌ها از ۱۰۰ میکروگرم در لیتر بیشتر خواهد شد. همچنین در این اطلاعیه آمده است که تشکیل تری‌هالومتان‌ها در آب‌های با کربن آلی کل کمتر از ۲ میلی‌گرم در لیتر نیز رخ می‌دهد. اگر میزان کربن آلی کل در آب بیش از ۴ میلی‌گرم در لیتر باشد، نیاز به تصفیه خواهد داشت و اگر کربن آلی کل بین ۲ تا ۴ میلی‌گرم در لیتر باشد، ارزیابی دقیق‌تری نیاز است تا تشکیل تری‌هالومتان‌ها محرز شود.

جدول ۲-۱- حد مجاز محصولات فرعی گندزایی در آب شرب (صبحی و همکاران ۱۳۹۳)

حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (میکروگرم بر لیتر)	محصولات فرعی کلرزی	
	مثال	گروه‌های اصلی
۲۰۰	کلروفرم (CHCl ₃)	
۶۰	برومودی‌کلرومتان (CHBrCl ₂)	تری‌هالومتان‌ها (Trihalomethanes)
۱۰۰	برموفورم (CHBr ₃)	
۱۰۰	دی‌برموکلرومتان (CHBr ₂ Cl)	
۵۰	دی‌کلرواستیک‌اسید (Cl ₂ CHCOOH)	هالواستیک‌اسید (Haloacetic acid)
۱۰۰	تری‌کلرواستیک‌اسید (Cl ₃ CCOOH)	
۹۰	دی‌کلرواستونیتریل (Cl ₂ CHCN)	هالواستونیتریل (Haloacetonitriles)
۱۰	کلورال (CCl ₃ CHO, H ₂ O)	ترکیبات هالوکربنه (Halocarbonyl Compounds)

سازمان حفاظت محیط زیست امریکا حد مجاز کربن آلی کل در آب خام ورودی به تصفیه‌خانه‌های آب را معادل ۲ میلی‌گرم بر لیتر اعلام کرده است. این میزان در برخی کشورها تا ۴ میلی‌گرم در لیتر نیز گزارش شده است. بالا رفتن میزان کربن آلی کل در آب این کشورها نگران‌کننده است، چرا که ممکن است نشانگر احتمال نفوذ مواد آلی از منابع آلوده‌کننده دیگر، مانند نشت از مخازن ذخیره انواع سوخت‌ها، نفوذ ضایعات مایع و جامد صنعتی و یا شیرابه از نواحی دفن زباله و چاه‌های جذبی، آفت-کش‌ها و کودهای شیمیایی باشد (تویسرکانی و همکاران ۱۳۸۸).

۲-۷- ارزیابی اثرات زیست محیطی ترکیبات آلی

حضور مواد آلی طبیعی به هنگام کلرزنی آب، باعث تشکیل محصولات فرعی گندزدایی در آب می‌شود این ترکیبات شامل دو گروه اصلی تری‌هالومتان‌ها و هالواستیک‌اسیدها می‌باشند، محصولات فرعی خطر ابتلا به سرطان را افزایش داده و سبب ایجاد کم‌وزنی و نقص‌های مادرزادی در نوزادان می‌شوند (Richardson *et al.* 2007). میزان تولید محصولات فرعی گندزدایی در آب، به غلظت مواد آلی طبیعی در آب بستگی دارد. جزء آبدوست مواد آلی، پتانسیل بیشتری در تولید هالواستیک‌اسیدها و جزء آبگریز، پتانسیل بیشتری در تولید تری‌هالومتان‌ها دارند. مطالعاتی در ارتباط با وجود این ترکیبات و بروز سرطان‌ها، تأخیر در رشد، سقط زودرس و نقص‌های قلبی مادرزادی انجام گرفته است. تأثیرات بهداشتی ناشی از تماس با ترکیبات مختلف هالواستیک‌اسید متفاوت است. به دلیل نبود اطلاعات کافی در مورد منوکلرواستیک‌اسید و منوبرمواستیک‌اسید، این ترکیبات بعید به نظر می‌رسند که برای انسان سرطان‌زا باشند، البته آزمایشاتی در این مورد بر روی جوندگان صورت گرفته که منجر به تغییراتی در کبد، کلیه و تغییرات وزنی شده است. دی‌کلرواستیک‌اسید به عنوان یک عامل هپاتوکسیک در حیوانات شناخته شده است (محوئی و همکاران ۱۳۸۹).

حضور مواد آلی طبیعی، بر روی کیفیت آب (رنگ، مزه، بو)، تأثیر منفی می‌گذارد، باعث افزایش دوز مواد منعقدکننده و گندزداها می‌شود که به ترتیب سبب افزایش لجن و تشکیل محصولات مضر جانبی گندزدایی می‌شود، افزایش رشد بیولوژیکی در سیستم اختلاط را به همراه دارد و باعث افزایش سطح فلزات سنگین پیچیده و مواد آلی آلوده کننده‌ی جذب شده می‌شود (شیر محمد و ابطحی ۱۳۸۹).

بررسی‌های انجام شده توسط وی‌هن‌میر (Weyhenmeyer 2004) نشان می‌دهد که بین کربن آلی محلول و رنگ آب رابطه مستقیم وجود دارد و هنگامی که این دو در آب افزایش می‌یابد، هزینه تصفیه آب نیز بالا می‌رود. کربن آلی محلول سمی نیست اما ظرفیت اتصال به آلاینده‌های آلی را دارد و می‌تواند به انتقال آلاینده‌ها و ترکیبات سمی کمک کند و بر حلالیت، تحرک و زیست‌دسترس‌پذیری فلزات سنگین مانند جیوه، مس و سرب اثر می‌گذارد (Ledesma et al. 2012).

حضور ترکیبات آلی در آب، به تنهایی خطرناک نیست اما عوارض و پیامدهایی به همراه دارد. ترکیبات آلی سبب ایجاد رنگ، طعم و بوی نامطلوب در منابع آبی می‌شود که از نظر زیبایی شناختی برای مصرف کننده حائز اهمیت است. این ترکیبات، باعث رشد باکتری‌ها در سیستم تصفیه و توزیع آب می‌شود و با گرفتگی فیلترها در تصفیه‌خانه‌ها مشکلات زیادی در بهره‌برداری و استفاده از این منابع ایجاد می‌کنند. مواد آلی طبیعی تأثیر قابل توجهی در بسیاری از مراحل تصفیه آب، از جمله عملکرد فرایندهای واحد، ضرورت استفاده از مواد شیمیایی برای تصفیه آب و ثبات بیولوژیکی آب دارد، در نتیجه بر کیفیت آب آشامیدنی اثر می‌گذارد. تغییرات فصلی و روند افزایشی میزان مواد آلی طبیعی (NOM) در انتخاب، طراحی و بهره‌برداری از مراحل تصفیه اثر می‌گذارد و مشکلاتی را از نظر بهینه‌سازی تصفیه آب ایجاد می‌کند (Sillanpaa 2015).

مواد آلی محلول در آب، سبب افزایش حلالیت آلاینده‌های آلی آبگریز می‌شوند و تأثیر مهمی بر انتقال این آلاینده‌ها در آب‌های سطحی و زیرزمینی دارند (Yu et al. 2015).

۲-۸- برخی مطالعات انجام شده در ایران

مطالعاتی در مورد ترکیبات آلی در آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین آب آشامیدنی در داخل کشور انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

تعیین غلظت مواد آلی طبیعی و اجزاء هیدروفیلیک و هیدروفوبیک آن‌ها در منابع آب شرب تهران که عمدتاً از سه رودخانه کرج، جاجرود و لار تأمین می‌شود، توسط ززولی و همکاران (۱۳۸۷) انجام شد. نمونه‌برداری در سه ماه متوالی اردیبهشت، خرداد و تیر از منابع آب سطحی تهران صورت گرفت و نمونه‌ها از نظر pH، جذب اشعه‌ی فرا بنفش در طول موج ۲۵۴ نانومتر، هدایت الکتریکی و جذب ویژه‌ی اشعه‌ی فرا بنفش مورد آنالیز قرار گرفتند. استخراج اجزاء آب‌دوست و آب‌گریز مواد آلی طبیعی صورت گرفت و نتیجه این بررسی‌ها نشان داد که آب‌های مورد مطالعه، پتانسیل بالایی در تشکیل فرآورده‌های جانبی گندزدایی از جمله هالواستیک‌اسیدها و تری‌هالومتان‌ها دارند اما به دلیل این‌که نسبت اجزاء آب‌گریز کمی بیش از اجزاء آب‌دوست است، احتمال تشکیل تری‌هالومتان‌ها بیشتر می‌باشد. مقدار جذب ویژه‌ی اشعه‌ی فرابنفش بیانگر آن است که آب دارای مخلوطی از اجزاء هیدروفوبیک و هیدروفیلیک می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار تری‌هالومتان‌ها در آب تصفیه‌خانه‌های تهران نشان داد که بیشترین مقدار تری‌هالومتان‌ها در مدت اندازه‌گیری شده مربوط به اردیبهشت می‌باشد و احتمال بالا رفتن آن در این فصل به علت بالا رفتن غلظت مواد آلی طبیعی به علت وارونگی دمایی احتمالی در سد کرج (منبع تأمین آب تصفیه‌خانه) و همچنین شروع فصل گرما و رشد فزاینده مواد گیاهی می‌باشد.

تعیین غلظت کربن آلی کل در آب زیرزمینی تهران توسط تویسرکانی و همکاران (۱۳۸۸) انجام شد. در این مطالعه معلوم شد که میزان کربن آلی کل در همه چاه‌های نمونه‌برداری شده بالاتر از حد مجاز و در محدوده‌ی ۶/۵ تا ۱۲/۵ میلی‌گرم در لیتر متغیر می‌باشد. از آنجا که نیترات در آب‌های زیرزمینی فقط در مقادیر کم، طبیعی است و در بیشتر نمونه‌ها میزان نیترات بالا گزارش شده است، می‌توان

غلظت بالای کربن آلی کل و نیترات را به جز مواردی محدود، به علت نفوذ فاضلاب‌های خانگی و شهری از چاه‌های جذبی به آب زیرزمینی نسبت داد.

بررسی عوامل مؤثر در تولید هالواستیک‌اسید و اندازه‌گیری غلظت آن‌ها در آب خروجی تصفیه‌خانه‌های تهران توسط محوی و همکاران (۱۳۸۹) انجام شد و نتایج مطالعه نشان داد که غلظت کربن آلی در آب سطحی در فصل بهار ۴/۴۲-۳/۶ میلی‌گرم در لیتر و در تابستان ۲/۷۱-۱/۷۸ میلی‌گرم در لیتر و غلظت هالواستیک‌اسید در بهار ۵۵/۵۶-۴۱/۷ میلی‌گرم در لیتر و در تابستان ۴۳/۷۳-۳۴/۸۳ میلی‌گرم در لیتر است، بنابراین غلظت مواد آلی طبیعی، کل کربن آلی و هالواستیک‌اسیدها، در بهار نسبت به تابستان بیشتر است. در این بررسی نشان داده شده که میزان تولید هالواستیک‌اسیدها به میزان کربن آلی کل و مواد آلی طبیعی در آب بستگی دارد و غلظت هالواستیک‌اسید نسبت به حد مجاز EPA (۰/۶ میلی‌گرم در لیتر) کمتر است.

۲-۹- روش‌های حذف ترکیبات آلی از آب آشامیدنی

آب در طبیعت اغلب دارای ناخالصی‌هایی است که می‌تواند توسط عوامل طبیعی یا فرایندهای انسانی به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد شود. از جمله‌ی این ناخالصی‌ها، ترکیبات آلی زیان‌آوری است که منشاء طبیعی یا مصنوعی دارند، این ترکیبات علاوه بر ایجاد رنگ و بو، ممکن است باعث تجمع در بافت‌ها شده و برای سلامتی مضر باشند. از جمله نگرانی‌های حضور ترکیبات آلی در آب، واکنش آن‌ها با کلر مرحله گندزدایی در فرایند تصفیه آب است که منجر به تشکیل ترکیبات جانبی گندزدایی (DBP) می‌شود. یکی از روش‌هایی که برای کنترل ترکیبات آلی و در نتیجه کنترل ترکیبات جانبی گندزدایی به کار می‌رود استفاده از جاذب‌های مختلف برای این مواد است. کربن فعال پودری، جاذب مناسبی برای ترکیبات آلی است که در بسیاری از تصفیه‌خانه‌های مناطق مختلف دنیا به صورت

مقطعی و فصلی برای کنترل رنگ و بو و حذف ترکیبات آلی از آب استفاده می‌شود (امین و همکاران ۱۳۸۹).

بسیاری از روش‌های تصفیه عمومی و فعلی مرسوم در تصفیه آب را می‌توان برای حذف مواد آلی طبیعی نیز به کار برد. این روش‌ها شامل روش انعقاد، فیلتراسیون مستقیم، محلول شناور هوا، روش‌های مبتنی بر اکسیداسیون (ازون و فیلتراسیون، ازون و فیلتراسیون بیولوژیکی، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته)، روش‌های مبتنی بر جذب (کربن فعال، رزین) می‌باشد که می‌تواند به حذف و یا کاهش واکنش‌پذیری مواد آلی طبیعی کمک کند. البته باید در نظر داشت که اثربخشی و هزینه سیستم‌های تصفیه آب به شدت به تقاضای آب توسط جامعه و کیفیت منابع آب بستگی دارد. حضور ترکیبات غیر آلی، می‌تواند طراحی و بهره‌برداری از مراحل تصفیه آب را به طور قابل توجهی پیچیده کرده و در نتیجه باعث افزایش هزینه‌های جاری شود (Gora 2011). به طور کلی اگر نسبت کربن آلی محلول به کربن آلی کل کم باشد، بیانگر این است که میزان مواد آلی ذره‌ای بالاست و فرایندهای فیزیکی مانند رسوب و فیلتراسیون به حذف بخش زیادی از مواد آلی کمک می‌کند و اگر نسبت کربن آلی محلول به کربن آلی کل بالا باشد، نشان‌دهنده این است که بخش زیادی از مواد آلی، به صورت محلول است و بنابراین فرآیند انعقاد، جذب و فیلتراسیون غشایی به حذف بخش زیادی از مواد آلی کمک می‌کند (USEPA 1999).

۲-۱۰- جمع‌بندی تحقیقات پیشینیان درباره کربن آلی کل

در دهه‌های اخیر میزان کربن آلی در برخی منابع آبی به ویژه آب‌های سطحی افزایش یافته است. هرچند که منشأ اصلی مواد آلی در آب، ناشی از تجزیه بقایای گیاهی و جانوری است، اما تغییرات آب و هوایی، گرم شدن کره زمین و افزایش دفع زباله‌ها در برخی مناطق صنعتی و پرجمعیت، از عوامل مؤثر بر آلودگی آلی منابع آبی محسوب می‌شود.

کربن آلی موجود در آب، بیشتر به شکل محلول در آب دیده می‌شود که افزایش آن در دراز مدت بر کیفیت آب، زندگی جانداران در اکوسیستم‌های آبی و همچنین چرخه کربن جهانی تأثیر می‌گذارد. تغییرات فصلی مواد آلی طبیعی یکی از مشکلات اصلی فرایند گندزدایی آب آشامیدنی محسوب می‌شود، این تغییرات چالش‌هایی را در روند بهینه‌سازی فرایند حذف ترکیبات آلی ایجاد می‌کند، بنابراین برای مقابله با این چالش بزرگ، مطالعه و پایش تغییرات زمانی و مکانی مواد آلی در آب امری ضروری است.

فصل سوم: روش انجام کار

در این فصل روند انجام مطالعات صورت گرفته برای بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی و ارزیابی آلودگی آلی در منابع آب شرب شاهرود ارائه می‌گردد. به طور کلی مراحل صورت گرفته برای انجام این تحقیق به شرح زیر است:

❖ مطالعات کتابخانه‌ای و مروری بر مطالعات انجام شده مرتبط با موضوع و جمع‌آوری آمار و اطلاعات و داده‌های مرتبط با کیفیت منابع آب شرب شاهرود

❖ تهیه نقشه زمین‌شناسی پایه منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود در نرم‌افزار ArcGis 10.3

❖ بازدید صحرایی از منطقه مورد مطالعه و شناسایی و نمونه‌برداری از منابع آب شرب منطقه در دو نوبت اردیبهشت ماه و مهر ماه ۱۳۹۵

❖ مطالعات آزمایشگاهی شامل ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی از جمله هدایت الکتریکی و pH آب در محل نمونه‌برداری و اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و تعیین غلظت کربن آلی کل در آزمایشگاه

❖ بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی نمونه‌ها و تهیه نقشه‌های مختلف کیفی با استفاده از نرم‌افزار ArcGis 10.3

۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مربوط به منابع آب شرب شاهرود

اولین قدم در انجام در انجام یک پژوهش، جمع‌آوری اطلاعات مرتبط با آن می‌باشد. در شهر شاهرود تعداد ۲۲ حلقه چاه آب شرب وجود دارد که در طی دو فصل تر و خشک برداشت می‌شوند و به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آب شرب از آن‌ها استفاده شده است. همچنین برای تعیین مشخصات آب و هوایی منطقه (دما و بارش) از آمار ایستگاه هواشناسی شاهرود و سایر گزارشات موجود استفاده شده است.

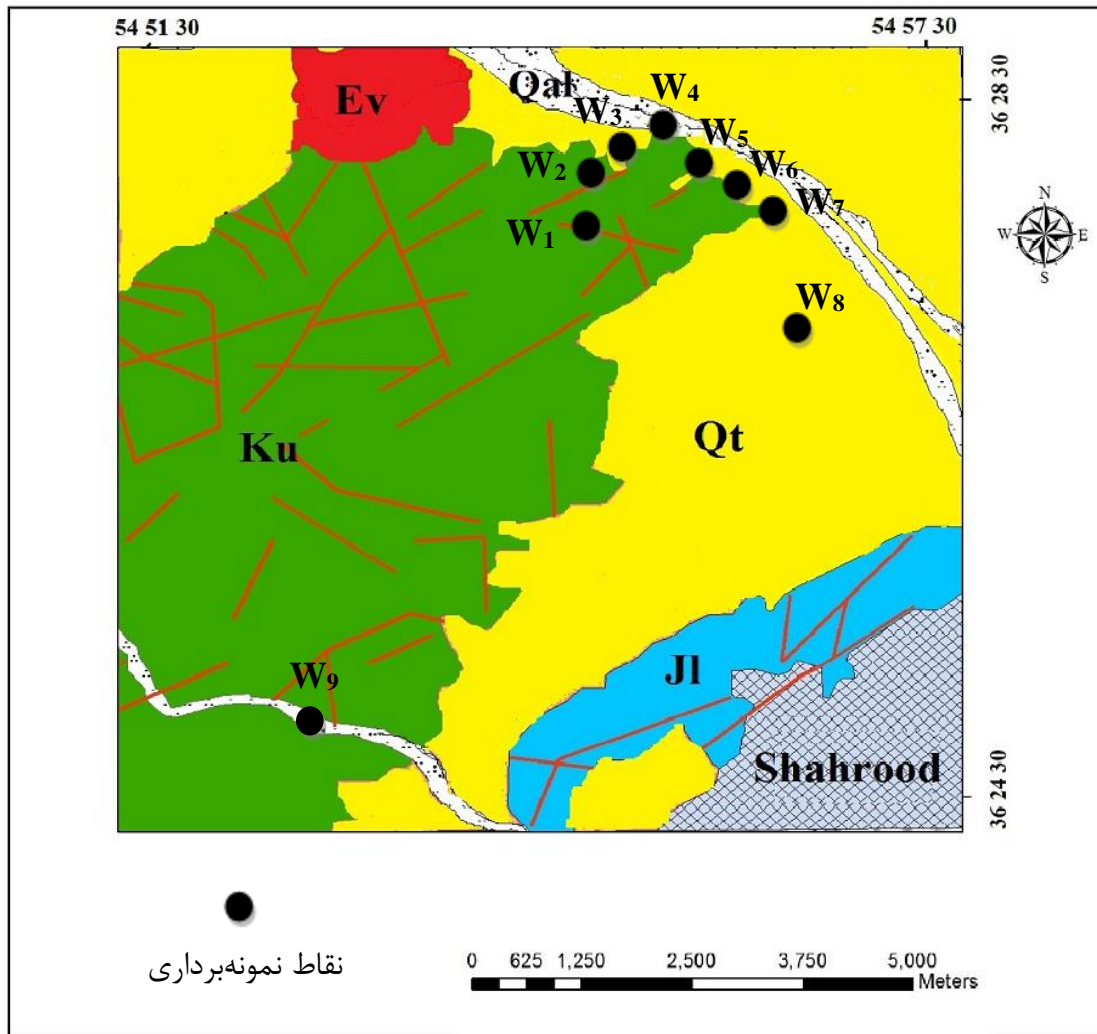
۳-۲- بررسی‌های زمین‌شناسی

به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده، استفاده گردید. سپس لایه‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی موجود در این نقشه که در محدوده مورد مطالعه قرار دارند، شناسایی و نقشه زمین‌شناسی دشت شاهرود در محیط ArcGis 10.3 تهیه گردید.

۳-۳- نمونه‌برداری از منابع آب شرب منطقه

برای انجام این تحقیق نقاط نمونه‌برداری در منطقه به گونه‌ای انتخاب شدند که پراکندگی مناسب داشته و به طور نسبی کل محدوده منطقه مورد مطالعه را پوشش دهند. با توجه به وسعت منطقه، از ۹ حلقه چاه مربوط به منابع تأمین آب شرب شهر شاهرود نمونه‌برداری به عمل آمد. نمونه‌ها در دو نوبت اردیبهشت ماه و مهر ماه ۱۳۹۵ جمع‌آوری شدند. برای نمونه‌برداری از بطری‌های ۲۵۰ میلی-لیتری شیشه‌ای و تیره رنگ (برای اندازه‌گیری کربن آلی کل) و بطری‌های پلی‌اتیلن ۵۰۰ میلی‌لیتری

برای اندازه‌گیری یون‌های اصلی) استفاده شد. به منظور به حداقل رساندن خطای آزمایش، نمونه‌ها تا زمان آنالیز در بسته‌بندی‌های تیره و در یخچال نگهداری شدند. شکل (۱-۳) موقعیت نقاط نمونه برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳- موقعیت نقاط نمونه‌برداری

۳-۴- اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی

به منظور بررسی کیفیت منابع آب شرب منطقه مورد مطالعه، پارامترهای هدایت الکتریکی، pH و دما

در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند و نمونه‌های برداشت شده برای اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی و تعیین کربن آلی کل به آزمایشگاه منتقل شدند.

۳-۴-۱- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و pH نمونه‌های آب

هدایت الکتریکی (EC) در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر مدل HI 8633 صورت گرفت. دقت این دستگاه یک میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. همچنین pH نمونه‌ها نیز در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری pH توسط pH متر مدل AZ 8601 صورت گرفت. دقت این دستگاه ۰/۰۱ واحد می‌باشد. شکل (۲-۳) دستگاه‌های اندازه‌گیری EC و pH را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳- دستگاه‌های اندازه‌گیری EC و pH (سمت راست، هدایت‌سنج الکتریکی، سمت چپ، pH متر)

۳-۴-۲- تعیین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در نمونه‌های آب

برای اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها (SO_4 , Cl , HCO_3) و کاتیون‌ها (K , Na , Ca , Mg)، نمونه‌های آب به آزمایشگاه زمین‌شناسی آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود برده شد. در آزمایشگاه غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم به روش نورسنجی شعله‌ای، غلظت یون‌های سولفات و کلر توسط توربیدیتی و غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. نحوه اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی به طور مختصر بیان می‌شود.

الف- اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم

در این روش با استفاده از حرارت ایجاد شده به وسیله شعله، اجزاء اتم‌هایی که از نمونه تبخیر شده‌اند برانگیخته و طیف نوری آنها در حرارت زیاد مورد بررسی قرار گرفت.

ب- اندازه‌گیری غلظت یون کلر

به ۲۵ سی‌سی از نمونه آب، چند قطره کرومات پتاسیم اضافه شد. از بورت قطره قطره محلول نیترات نقره ۴۰ N به آن اضافه شده و مرتباً تکان داده شد تا اولین رنگ قرمز آجری ظاهر گردید. میزان نیترات نقره مصرفی که معادل یون کلر برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر است یادداشت شد.

ج- اندازه‌گیری یون‌های کلسیم و منیزیم

برای اندازه‌گیری یون کلسیم به مقدار ۲۵ سی‌سی از نمونه آب، به اندازه یک قاشقک (اسپاتول) اندیکاتور مروکسید اضافه و رنگ قرمز ظاهر شد. به نمونه حدود ۵ سی‌سی محلول (KOH) دو نرمال

اضافه شد و سپس با (EDTA) تیتراژ شد تا رنگ، از قرمز به بنفش تغییر کرد. حجم (EDTA) مصرف شده که معادل غلظت یون کلسیم بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر است، یادداشت شد. برای اندازه‌گیری میزان منیزیم و کلسیم، به ۲۵ سی‌سی از نمونه آب، ۲ سی‌سی بافر تامپون و ۵ تا ۶ قطره اندیکاتور اریوکرم بلاک T اضافه شد و سپس به وسیله (EDTA) تیتراژ شد تا رنگ محلول از قرمز به آبی تبدیل شد. در این حالت میزان (EDTA) مصرف شده که معادل غلظت یون منیزیم و کلسیم است، یادداشت شد. در نهایت از تفاضل میزان منیزیم و کلسیم به دست آمده از کلسیم اندازه‌گیری شده، میزان غلظت منیزیم بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر به دست آمد.

د- اندازه‌گیری یون بی‌کربنات

به ۲۵ سی‌سی از نمونه آب، یک قطره متیل‌اورانژ اضافه شد و با اسیدسولفوریک 40 N تیتراژ شد تا رنگ متیل‌اورانژ از زرد به قرمز تبدیل شد (نارنجی). میزان اسید مصرف شده که معادل غلظت یون بی‌کربنات بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر است، یادداشت شد.

ه- اندازه‌گیری یون سولفات

یون سولفات بر اساس کدرسنجی به کمک دستگاه توربیدیتی‌متری تعیین شد. ابتدا یک سی‌سی از نمونه آب به دستگاه داده شد و دستگاه روی صفر کالیبره شد. سپس مقدار ۰/۸۷ گرم سولفات پتاسیم به آن اضافه شد و تکان داده شد تا کلوئیدهای بهتری تشکیل شود و دوباره به دستگاه داده شد و عدد مربوط به آن که معادل یون سولفات بر حسب میلی‌گرم در لیتر است یادداشت شد.

۳-۵- اندازه‌گیری کربن آلی کل

نمونه آب‌های جمع‌آوری شده به منظور آنالیز و تعیین میزان کربن آلی کل (TOC) به آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود برده شد. در آنجا ابتدا وسایل مورد نیاز با آب مقطر شسته شد. برای هر نمونه، ۰/۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۰/۱ مولار با دقت در ارلن ریخته شد، ۱۰۰ میلی-لیتر از نمونه آب با دقت به آن افزوده شد و سپس به دستگاه TOC متر مدل Multi N/C 3100 داده شد. در این دستگاه ابتدا عناصر معدنی توسط اسید و بر اثر حرارت بالا از آن جدا شده و سپس کل کربن آلی به کربن‌دی‌اکسید تبدیل شد. غلظت کربن‌دی‌اکسید دو بار توسط دستگاه خوانده شد و غلظت میانگین تعیین گردید. شکل ۳-۳- دستگاه اندازه‌گیری کربن آلی کل را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳- دستگاه اندازه‌گیری کربن آلی کل

۳-۶- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه

از داده‌های اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری و آزمایشگاه برای ترسیم نقشه‌های کیفی مانند نقشه‌های هدایت الکتریکی، pH و برخی پارامترهای محاسباتی و یون‌های اصلی استفاده شد. سپس با

استفاده از نرم افزار Arc GIS 10.3 به صورت رقومی درآمد. نمودارهای کیفی پایپر و استیف به منظور تعیین تیپ آب و بررسی روند هیدروژئوشیمیایی آب ترسیم شد. همچنین از نمودار شولر برای بررسی روند مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی استفاده شد. برای رسم نمودارهای مختلف جهت بررسی‌های مورد نیاز، از نرم افزارهای SPSS، Excel، AqQA استفاده شده است.

۳-۷- برآورد خطای آزمایش

با توجه به این که آب محلولی خنثی است، باید مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر برابر باشند. برای تعیین خطای اندازه‌گیری از معادله زیر استفاده می‌شود.

معادله (۳-۱)

$$\text{Error } \% = \left| \frac{\sum \text{Cat} - \sum \text{Ani}}{\frac{\sum \text{Cat} + \sum \text{Ani}}{2}} \right| \times 100$$

در این معادله، $\sum \text{Cat}$ مجموع کاتیون‌ها و $\sum \text{Ani}$ مجموع آنیون‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است که واحد کلیه کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئوشیمیایی منابع آب شرب شاهرود

۴-۱- مقدمه

به منظور بررسی و مطالعه ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب شرب شهر شاهرود، در اردیبهشت ماه و مهر ماه سال ۱۳۹۵ از ۹ حلقه چاه آب شرب شهر شاهرود نمونه‌برداری به عمل آمد. پارامترهای هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند و سپس نمونه‌ها جهت تعیین غلظت یون‌های اصلی و مقدار کربن آلی کل به آزمایشگاه آب و زیست‌محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل شدند.

۴-۲- بررسی پارامترهای کیفی نمونه‌های آب

در جدول (۴-۱)، مختصات جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری شده مورد مطالعه، هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب نمونه‌های مورد نظر ارائه شده است. همچنین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی بر حسب میلی‌گرم در لیتر در جدول (۴-۲) و غلظت یون‌های اصلی بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و خطای اندازه‌گیری برخی پارامترهای محاسباتی در جدول (۴-۳) و برخی پارامترهای محاسباتی نیز در جدول (۴-۴) ارائه شده است. در ابتدا به بررسی پارامترهای کیفی آب پرداخته می‌شود.

جدول ۴-۱- مقادیر هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت نمونه‌های مورد مطالعه

شماره نمونه	مختصات جغرافیایی		EC ($\mu\text{mhos/cm}$)		pH		درجه حرارت آب
	X	Y	اردیبهشت ۱۳۹۵	مهر ۱۳۹۵	اردیبهشت ۱۳۹۵	مهر ۱۳۹۵	(درجه سانتیگراد)
W ₁	۳۱۴۱۱۹	۴۰۳۷۶۶۰	۵۱۱	۴۴۲	۷/۸۷	۷/۵۰	۱۶
W ₂	۳۱۴۰۷۸	۴۰۳۸۱۳۹	۵۶۸	۵۰۵	۷/۸۰	۷/۵۳	۱۶
W ₃	۳۱۴۱۷۵	۴۰۳۸۷۰۴	۶۴۱	۵۸۲	۷/۷۸	۷/۵۵	۱۶
W ₄	۳۱۴۶۱۱	۴۰۳۸۶۷۴	۶۴۴	۶۴۰	۷/۷۶	۷/۴۶	۱۶
W ₅	۳۱۵۰۳۷	۴۰۳۸۴۸۲	۶۰۲	۵۶۵	۷/۸۰	۷/۴۶	۱۶
W ₆	۳۱۵۳۷۹	۴۰۳۸۴۴۶	۶۴۵	۶۱۴	۷/۷۵	۷/۴۴	۱۶
W ₇	۳۱۵۸۷۴	۴۰۳۸۳۴۱	۶۴۳	۶۲۴	۷/۸۲	۷/۵۴	۱۷
W ₈	۳۱۶۶۲۳	۴۰۳۶۳۳۶	۵۳۸	۵۰۷	۷/۸۷	۷/۵۳	۱۵
W ₉	۳۱۰۷۳۲	۴۰۳۱۷۵۸	۳۰۱	۲۹۹	۷/۹	۷/۸۱	۱۸

جدول ۴-۲ - غلظت یون‌های اصلی بر حسب میلی گرم بر لیتر

غلظت یون‌های اصلی (میلی گرم بر لیتر)							شماره نمونه
SO ₄	Cl	HCO ₃	K	Na	Mg	Ca	
۵۸	۶۰	۱۵۹	۱/۹	۳۶	۱۸	۴۶	W ₁
۶۲	۶۷	۱۷۱	۱/۹	۴۱	۲۲	۵۲	W ₂
۶۷	۸۲	۱۸۹	۱/۹	۵۱	۲۵	۵۶	W ₃
۷۷	۸۵	۲۰۷	۱/۹	۵۳	۲۶	۶۲	W ₄
۶۷	۸۲	۱۸۹	۱/۹	۵۱	۲۴	۵۶	W ₅
۶۷	۸۲	۱۸۹	۱/۹	۵۱	۲۴	۵۶	W ₆
۷۷	۸۲	۲۰۷	۲/۳	۵۱	۲۵	۵۸	W ₇
۳۸	۳۶	۱۲۲	۱/۲	۲۵	۱۲	۳۸	W ₈
۳۸	۳۶	۱۲۲	۱/۲	۲۵	۱۲	۳۸	W ₉
۶۱/۳	۶۷/۸	۱۷۲/۸	۱/۸	۴۳	۲۱	۵۱/۳	میانه
۱۴/۴	۲۰	۳۲/۷	۰/۴	۱۱/۲	۵/۶	۸/۷	انحراف معیار
۲۳	۳۰	۱۹	۲۱	۲۶	۲۷	۱۷	ضریب تغییرات (۰/۰)

جدول ۴-۳ - غلظت یون‌های اصلی بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر

درصد خطا	مجموع آنیون‌ها	مجموع کاتیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)							شماره نمونه
			Na	K	Mg	Ca	HCO ₃	SO ₄	Cl	
۰/۹۱	۵/۵	۵/۴۵	۱/۶	۰/۰۵	۱/۵	۲/۳	۲/۶	۱/۲	۱/۷	W ₁
۴	۶/۰	۶/۲۵	۱/۸	۰/۰۵	۱/۸	۲/۶	۲/۸	۱/۳	۱/۹	W ₂
۵	۶/۸	۷/۱۵	۲/۲	۰/۰۵	۲/۱	۲/۸	۳/۱	۱/۴	۲/۳	W ₃
۳/۳	۷/۴	۷/۶۵	۲/۳	۰/۰۵	۲/۲	۳/۱	۳/۴	۱/۶	۲/۴	W ₄
۳/۶	۶/۸	۷/۰۵	۲/۲	۰/۰۵	۲	۲/۸	۳/۱	۱/۴	۲/۳	W ₅
۳/۶	۶/۸	۷/۰۵	۲/۲	۰/۰۵	۲	۲/۸	۳/۱	۱/۴	۲/۳	W ₆
۰/۵۵	۷/۳	۷/۲۶	۲/۲	۰/۰۶	۲/۱	۲/۹	۳/۴	۱/۶	۲/۳	W ₇
۵/۸۷	۳/۸	۴/۰۳	۱/۱	۰/۰۳	۱	۱/۹	۲	۰/۸	۱	W ₈
۵/۸۷	۳/۸	۴/۰۳	۱/۱	۰/۰۳	۱	۱/۹	۲	۰/۸	۱	W ₉

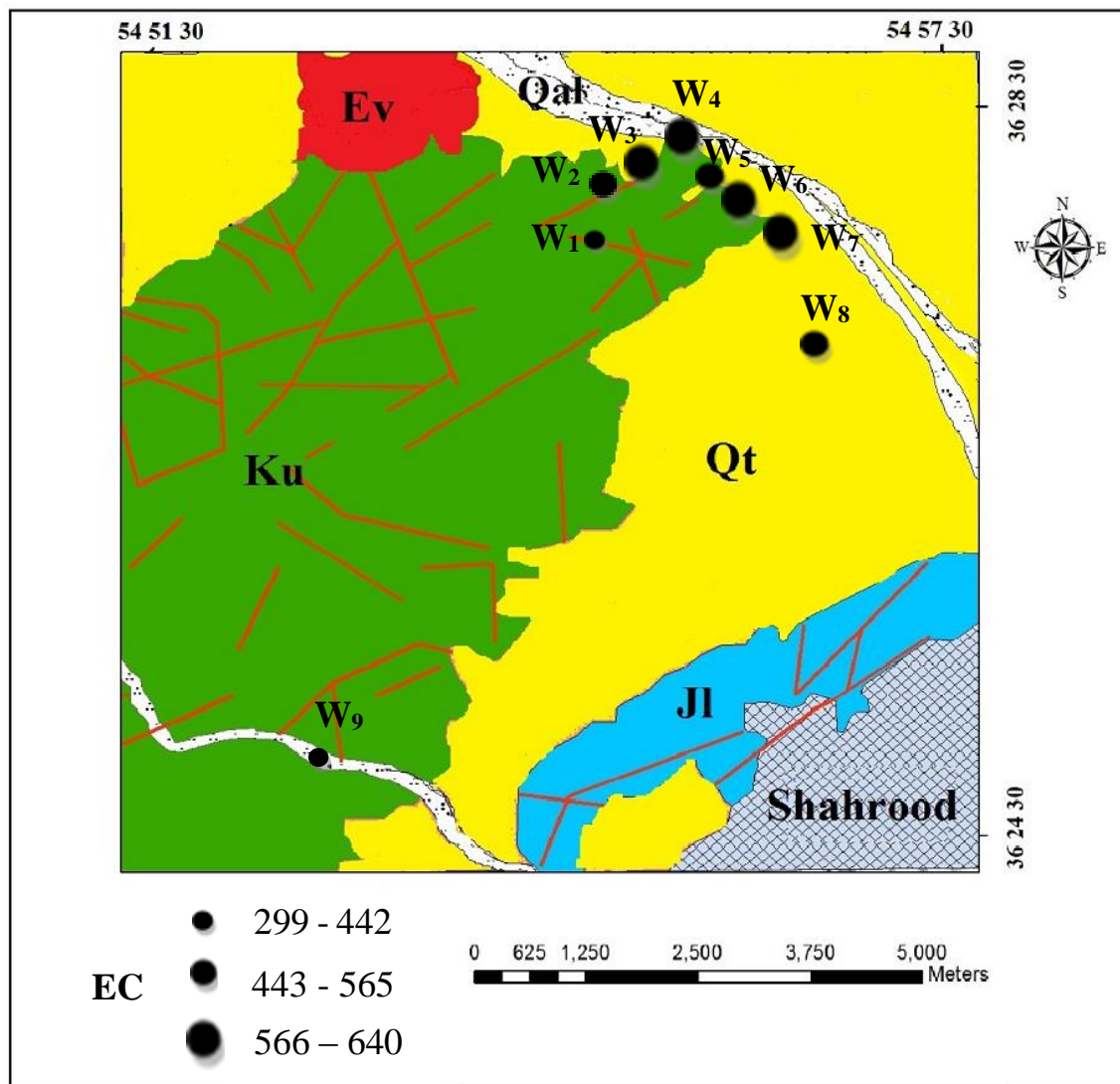
جدول ۴-۴- برخی پارامترهای محاسباتی در چاه‌های نمونه‌برداری (مهر ماه ۱۳۹۵)

درصد سدیم	$\frac{TDS (mg/l)}{EC (\mu mhos/cm)}$	TDS (mg/l)	قلیائیت (mg/l)	سختی (mg/l CaCO ₃)	شماره نمونه
۳۰/۳	۰/۷	۳۱۶	۱۵۹	۱۸۵	W ₁
۳۰	۰/۷	۳۴۹	۱۷۱	۲۱۹	W ₂
۳۲	۰/۷	۳۹۶	۱۸۹	۲۴۳	W ₃
۳۱	۰/۷	۴۳۰	۲۰۷	۲۶۳	W ₄
۳۲	۰/۷	۳۹۵	۱۸۹/۱۰	۲۳۸	W ₅
۳۲	۰/۶	۳۹۵	۱۸۹	۲۳۸	W ₆
۲۸	۰/۷	۴۱۹	۲۰۷	۲۴۸	W ₇
۲۸	۰/۴	۲۲۴	۱۲۲	۱۴۴	W ₈
۳۵/۳	۰/۷	۲۲۴	۱۲۲	۱۴۴	W ₉

۴-۲-۱- هدایت الکتریکی و کل جامدات حل شده

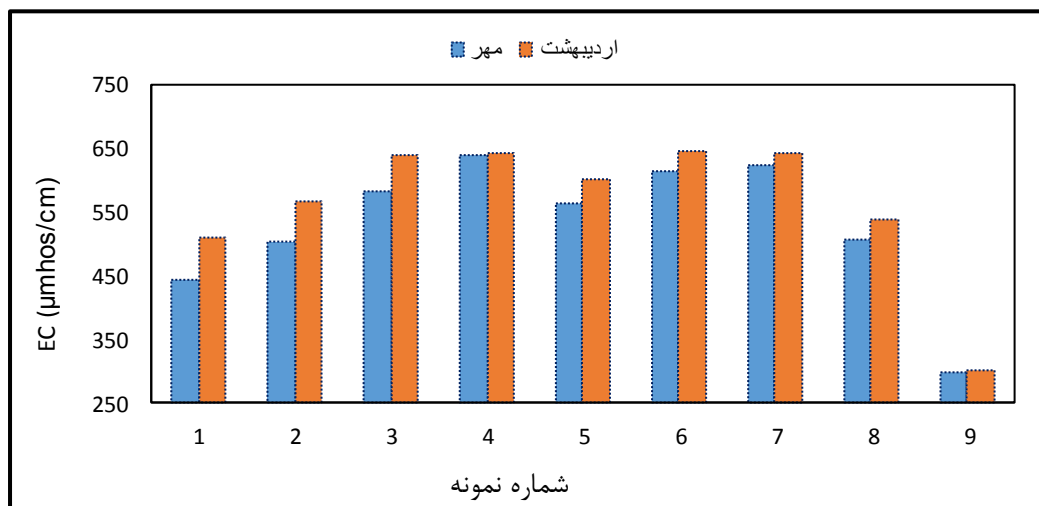
هدایت الکتریکی (EC) یکی از مهمترین پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب است. این پارامتر نشان دهنده میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در آب و بیانگر کیفیت هیدروشیمیایی آب می‌باشد

(Hounslow 1995). این پارامتر تابعی از نمک‌های محلول در آب می‌باشد و با کل جامدات حل شده در آب رابطه دارد. به همین منظور برای بررسی تغییرات هدایت الکتریکی و نمک‌های محلول در آب، نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی منطقه در مهرماه ۱۳۹۵ ترسیم گردیده و در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. با توجه به این شکل از چاه شماره ۱ تا چاه شماره ۴ افزایش تدریجی در مقدار هدایت الکتریکی آب مشاهده می‌شود که بیانگر افزایش مسافت طی شده توسط آب زیرزمینی می‌باشد. این وضعیت در مورد چاه‌های شماره ۵ تا ۷ نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۱- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه (مهر ۱۳۹۵)

مقادیر هدایت الکتریکی در ۹ حلقه چاه انتخابی، همزمان با نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده و در جدول (۱-۴) ارائه شده است. مقادیر هدایت الکتریکی در اردیبهشت ماه از ۳۰۱ تا ۶۱۴ میکروموس بر سانتی‌متر و در مهر ماه از ۲۰۹ تا ۵۹۲ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. سازمان بهداشت جهانی (WHO 2011) حد مجاز هدایت الکتریکی برای آب آشامیدنی را ۱۴۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر تعیین کرده است. بنابراین همه نمونه‌ها در محدوده مجاز برای شرب قرار دارند. شکل (۱-۴) تغییرات مکانی هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به منظور بررسی تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در منطقه نیز، نمودار ستونی هدایت الکتریکی در چاه‌های مورد مطالعه در دو نوبت اردیبهشت و مهر در شکل (۲-۴) ترسیم شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، هدایت الکتریکی تغییرات زمانی ناچیزی را نشان می‌دهد، بنابر این می‌توان چنین نتیجه گرفت که یون‌های اصلی نیز در دو نوبت نمونه‌برداری تغییرات چندانی نداشته باشد.

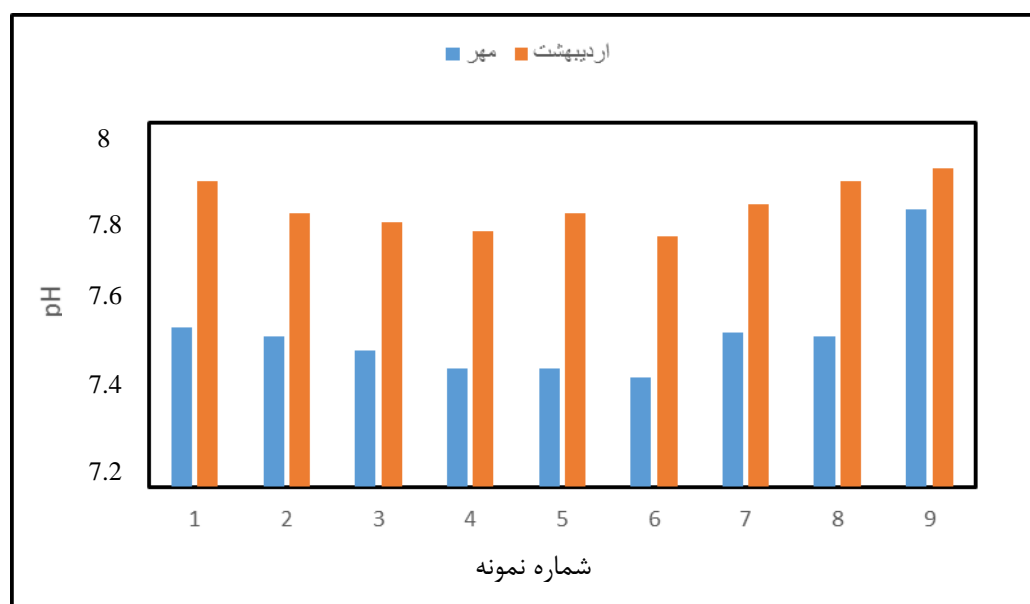


شکل ۲-۴- مقایسه تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی در اردیبهشت ماه و مهر ماه

۴-۲-۲- pH

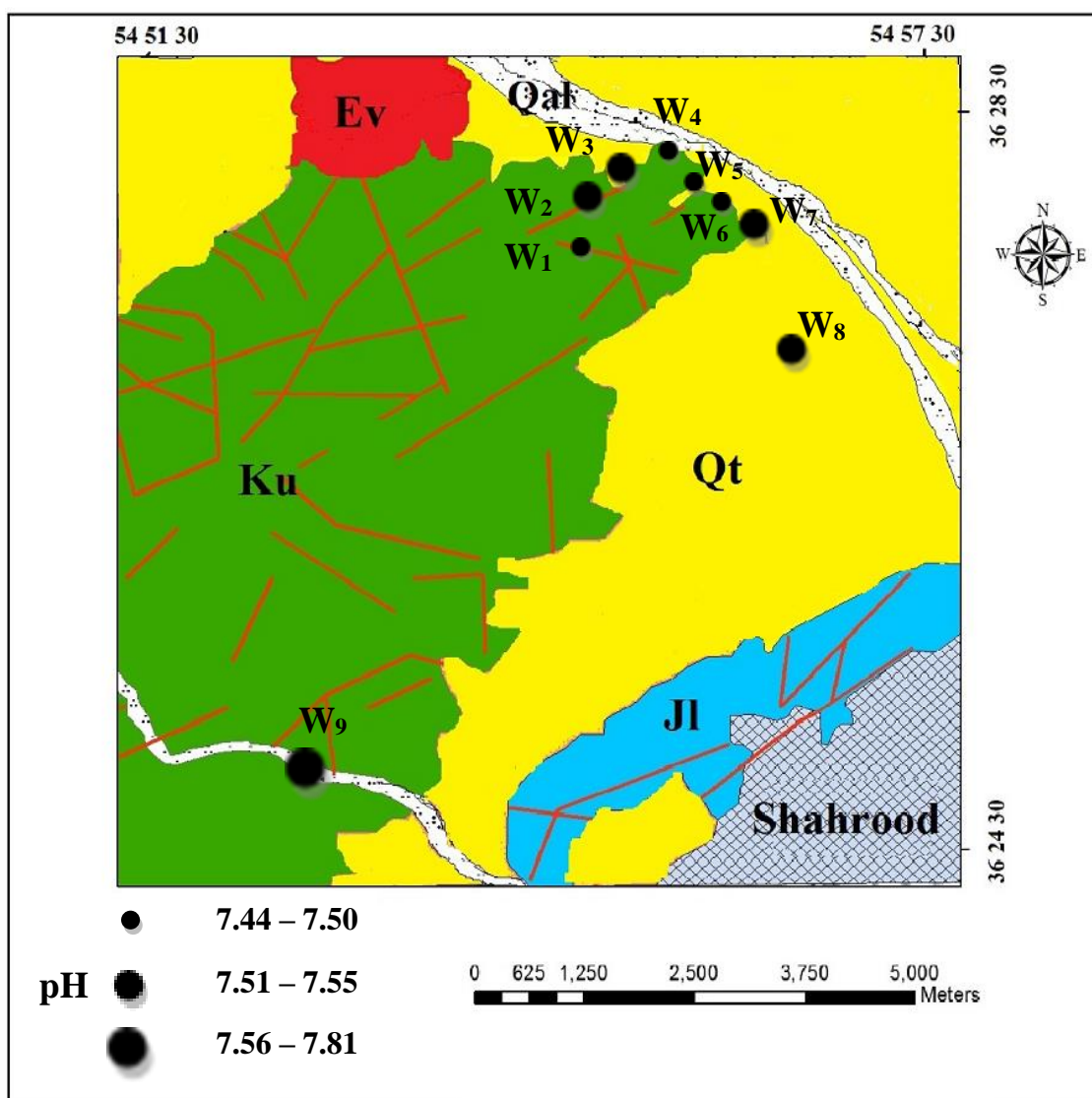
pH یا غلظت یون هیدروژن، اسیدی یا قلیایی بودن آب را نشان می‌دهد و یک پارامتر زیست‌محیطی است. در بیشتر آب‌های طبیعی، سامانه کربنات-کربنیک‌اسید، کنترل‌کننده اصلی pH است. بیشتر آب‌های طبیعی، بین ۴ و ۱۰ می‌باشد (مر و همکاران ۱۳۹۰).

مقادیر pH نمونه‌ها بلافاصله پس از نمونه‌برداری، در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج بدست آمده جدول (۴-۱)، مقادیر pH در اردیبهشت ماه از ۷/۷۵ تا ۷/۹۰ و در مهر ماه از ۷/۴۴ تا ۷/۸۱ متغیر است. بر این اساس pH نمونه‌های آب، در محدوده خنثی تا کمی قلیایی قرار می‌گیرند که ناشی از انحلال سازندهای کربناتی در منطقه می‌باشد. براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO 2011) محدوده مجاز pH در آب آشامیدنی برابر ۸/۵-۶/۵ می‌باشد. بنابراین همه نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده مجاز برای شرب قرار دارند. تغییرات مقادیر pH در دو نوبت اردیبهشت ماه و مهر ماه در شکل (۴-۳) نشان داده شده است. همچنین شکل (۴-۴) تغییرات pH آب‌های مورد مطالعه را بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد.

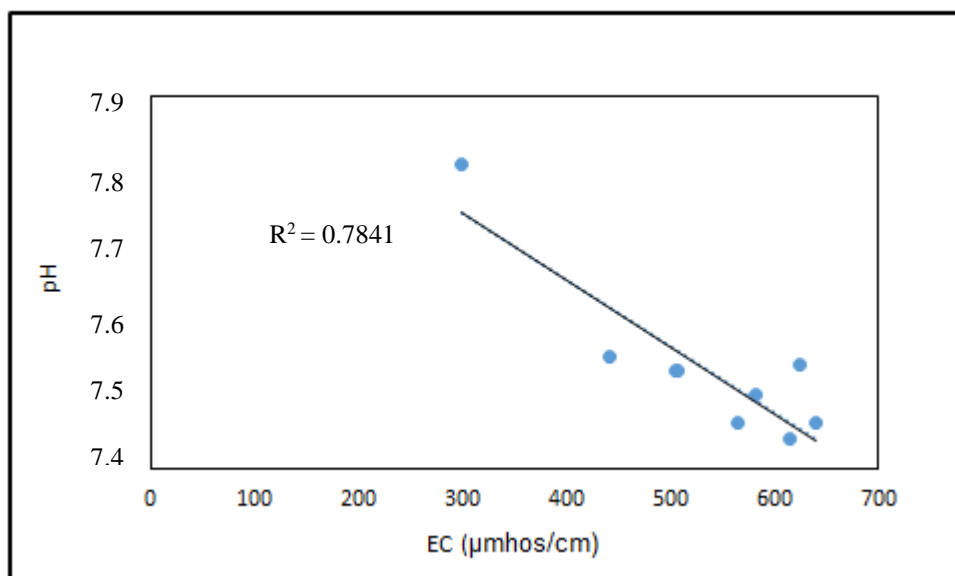


شکل ۴-۳- مقایسه مقادیر pH در اردیبهشت ماه و مهر ماه

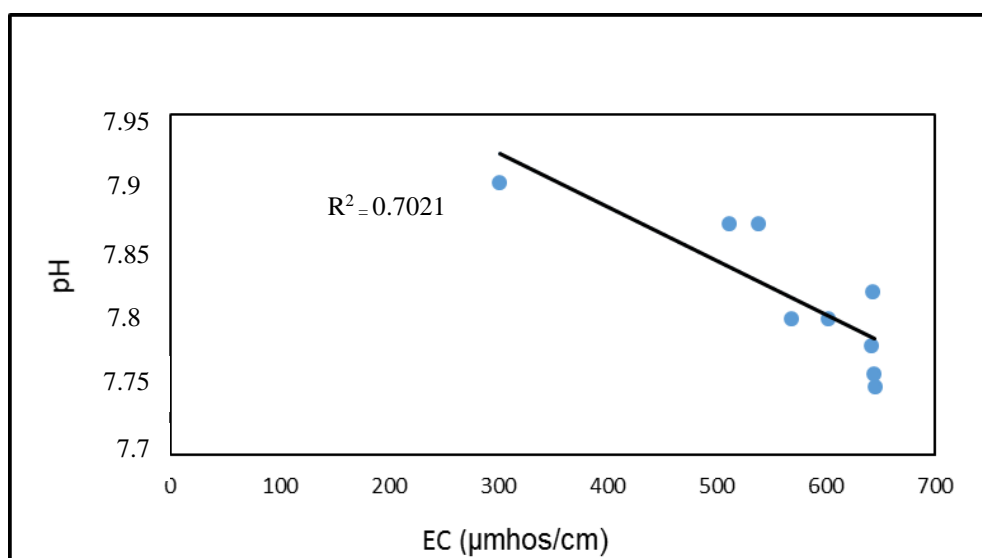
همان طور که در شکل (۴-۳) مشاهده می‌شود میزان pH اندازه‌گیری شده در مهر ماه کاهش ناچیزی نشان می‌دهد که احتمالاً ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌ها در فصل گرما می‌باشد. نکته قابل توجه وجود همبستگی بین pH و هدایت الکتریکی می‌باشد (شکل‌های ۴-۵ و ۴-۶). به این معنا که هر چه pH نمونه کمتر شود هدایت الکتریکی بیشتر می‌شود که دلیل آن انحلال بیشتر آب‌هایی است که قدرت اسیدی بیشتری دارند.



شکل ۴-۴ - تغییرات مکانی pH در ایستگاه‌های نمونه‌برداری (مهر ماه)



شکل ۴-۵- رابطه هدایت الکتریکی و pH در نمونه‌های مورد مطالعه (مهر ماه)



شکل ۴-۶- رابطه هدایت الکتریکی و pH در نمونه‌های مورد مطالعه (اردیبهشت ماه)

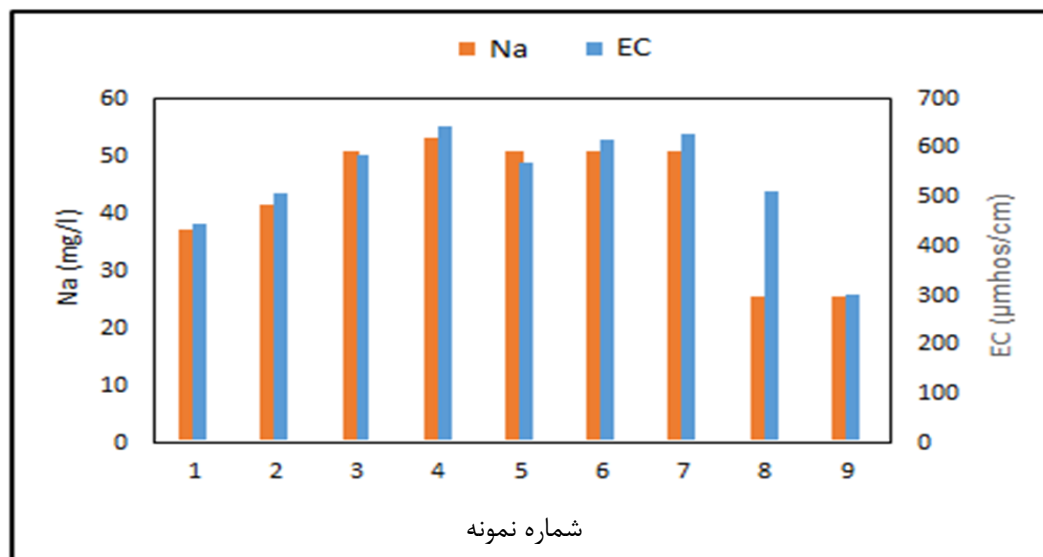
۴-۲-۳- غلظت یون‌های اصلی در منابع آب شرب شاهرود

غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در چاه‌های نمونه‌برداری شده منطقه اندازه‌گیری شده و در جدول

(۴-۲) نشان داده شده است.

الف - غلظت یون سدیم

سدیم از کاتیون‌های اصلی موجود در آب زیرزمینی است که میزان آن با درجه شوری آب رابطه مستقیمی دارد. شکل (۷-۴) نمودار تغییرات مکانی سدیم را در چاه‌های نمونه‌برداری منطقه نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار میزان سدیم در چاه‌های نمونه‌برداری از ۳۴/۵ تا ۷۱ میلی‌گرم برلیتر متغیر است که به ترتیب در چاه‌های شماره ۹ و ۴ مشاهده می‌شود. موسسه استاندارد ایران حداکثر حد مجاز سدیم در آب آشامیدنی را ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده است. بنابر این همه نمونه‌ها در محدوده مجاز برای شرب قرار دارند.

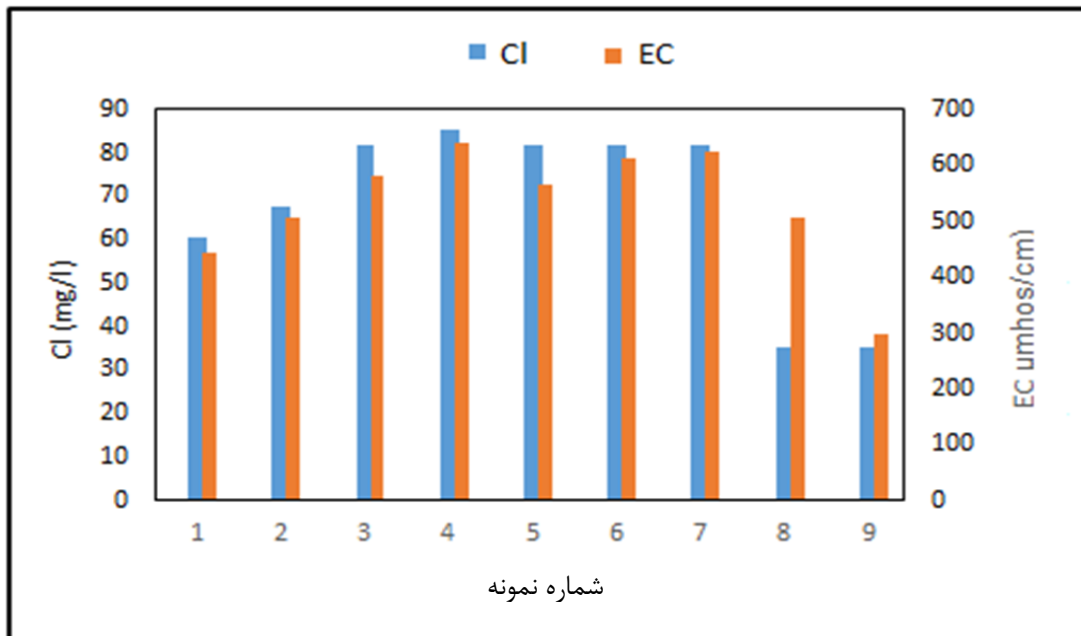


شکل ۷-۴- نمودار تغییرات مکانی غلظت سدیم در منطقه مورد مطالعه

ب - غلظت یون کلر

کلر از فراوان‌ترین آنیون‌های موجود در آب زیرزمینی می‌باشد. مقدار کلر از عوامل مهم تعیین کننده کیفیت آب بوده و افزایش آن سبب شوری آب می‌شود. یون کلر عمدتاً از انحلال کانی‌های منشأ می‌گیرد. شکل (۸-۴) نقشه تغییرات میزان کلر را در چاه‌های نمونه‌برداری نشان می‌دهد. با توجه به این شکل بیشترین و کمترین میزان یون کلر به ترتیب در چاه‌های شماره ۴ و ۹ مشاهده می‌شود.

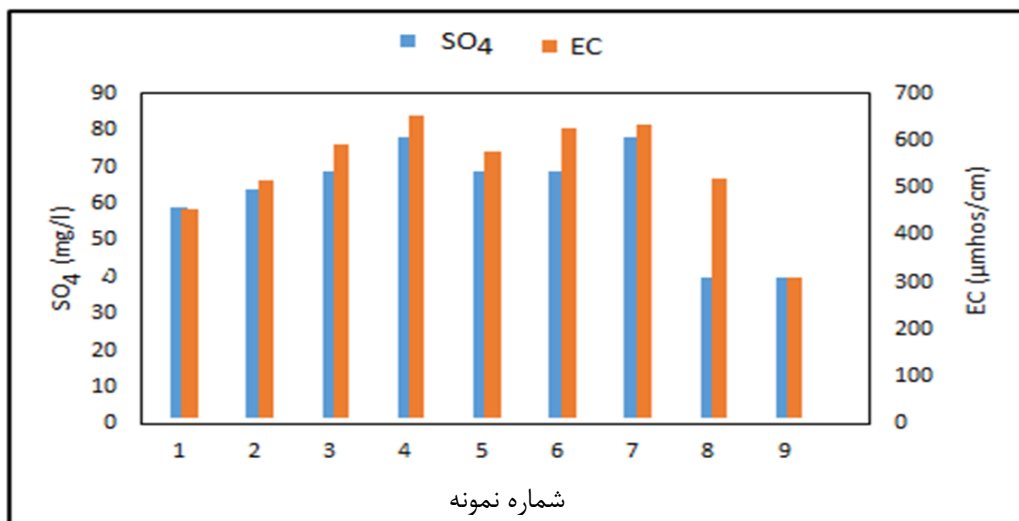
همچنین روند تغییرات غلظت یون کلر مانند یون سدیم می‌باشد که بیانگر منشاء یکسان این یون‌ها (انحلال هالیت) می‌باشد.



شکل ۴-۸- نمودار ستونی تغییرات یون کلر و هدایت الکتریکی (مهر ماه)

ج- سولفات

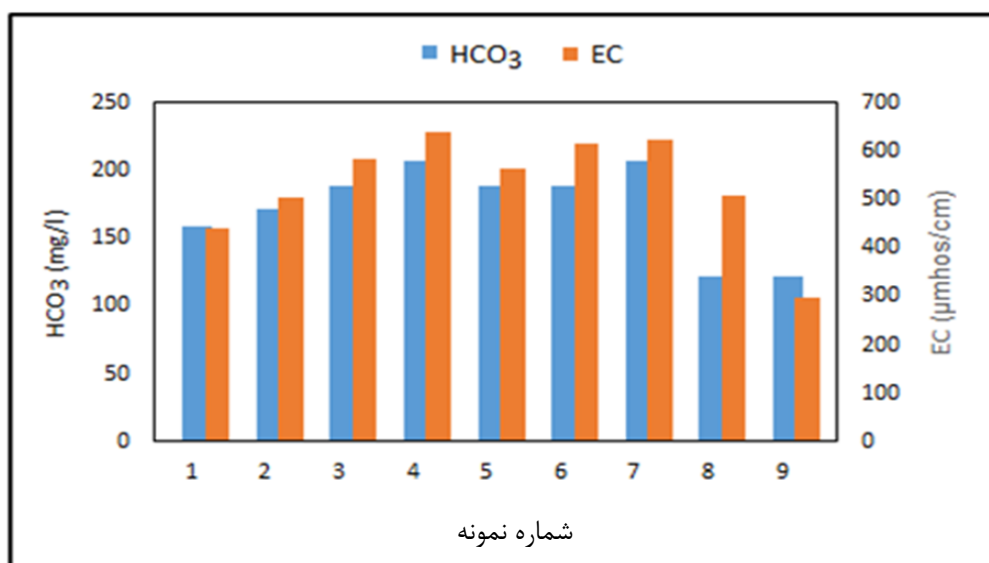
سولفات از آنیون‌های اصلی موجود در آب می‌باشد که تأثیر زیادی در افزایش هدایت الکتریکی دارد. سولفات از منابع مختلفی به آب‌های سطحی و زیرزمینی نفوذ می‌کند. منشاء این یون در آب‌های زیرزمینی می‌تواند ناشی از انحلال کانی‌های ژئوس و انیدریت و یا ورود فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی به آب‌های زیرزمینی باشد. با توجه به جدول (۴-۲) مقادیر یون سولفات بین ۳۸ تا ۷۷ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌کند. شکل (۴-۹) تغییرات مکانی میزان سولفات را در چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. روند مشابه تغییرات غلظت یون سولفات و کلسیم بیانگر منشاء یکسان این یون‌ها (احتمالاً " انحلال ژئوس) می‌باشد.



شکل ۴-۹- تغییرات مکانی غلظت یون سولفات در منطقه مورد مطالعه

د- تغییرات یون بی کربنات

یون بی کربنات زمانی که آب و کربن دی اکسید با سنگ های آهکی واکنش دهد تشکیل می شود. میزان یون بی کربنات در چاه های نمونه برداری بین ۱۵۹ میلی گرم بر لیتر تا ۲۰۷ میلی گرم بر لیتر متغیر است که به ترتیب در چاه های شماره ۹ و ۷ مشاهده می شود. شکل (۴-۱۰) تغییرات مکانی یون بی کربنات را در محدوده مورد مطالعه نشان می دهد. از منابع عمده بی کربنات در آب، کربن دی-اکسید موجود در جو، هوازدگی سیلیکات ها و انحلال کلسیت و دولومیت می باشد.



شکل ۴-۱۰- تغییرات مکانی غلظت یون بی کربنات در منطقه مورد مطالعه

ه- بررسی سختی آب

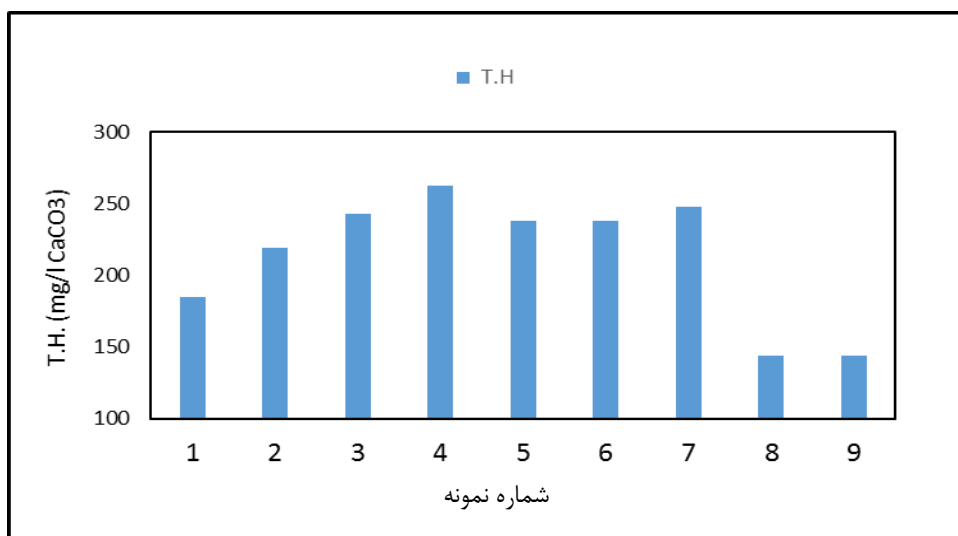
سختی آب بیان کننده میزان یون‌های کلسیم و منیزیم در آب است. مقدار سختی کل بر حسب میلی-گرم بر لیتر کربنات کلسیم از رابطه زیر به دست می‌آید (Arumugan et al. 2009):

$$\text{TH (mg/l as CaCO}_3\text{)} = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \text{ meq/l} \times 50 \quad \text{رابطه (۱-۴)}$$

استفاده از آب سخت برای شرب و صنعت مناسب نیست. آب سخت با صابون کف نمی‌کند و رسوباتی را در لوله‌ها بر جای می‌گذارد. از نظر سختی آب به چهار رده تقسیم می‌شود جدول (۴-۵). همچنین شکل (۴-۱۱) تغییرات مکانی میزان سختی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. سختی آب در منطقه مورد مطالعه بین ۱۳۹ تا ۲۵۲ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم متغیر است. بنابراین اغلب آب‌های مورد مطالعه در رده سخت قرار می‌گیرند.

جدول ۴-۵- طبقه‌بندی آب‌ها بر اساس سختی کل (Todd 2005)

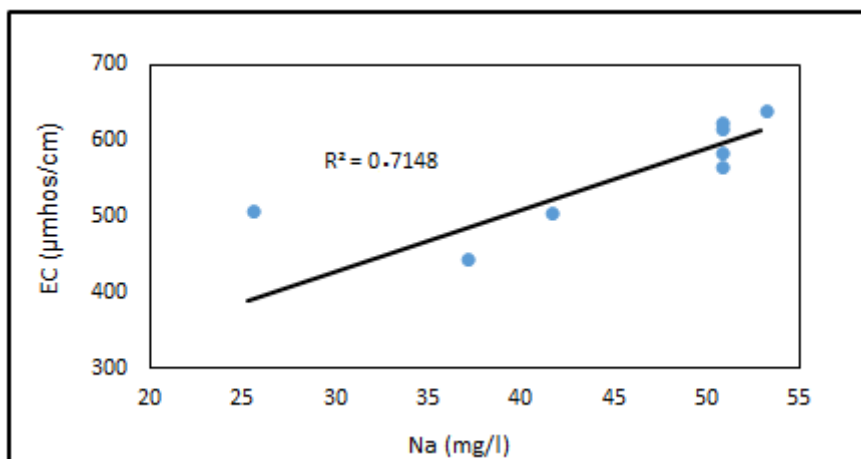
سختی کل (mg/l as CaCO ₃)	کیفیت آب
کمتر از ۷۵	آب نرم
۷۵ - ۱۵۰	آب نسبتاً سخت
۱۵۰ - ۳۰۰	آب سخت
بیشتر از ۳۰۰	آب خیلی سخت



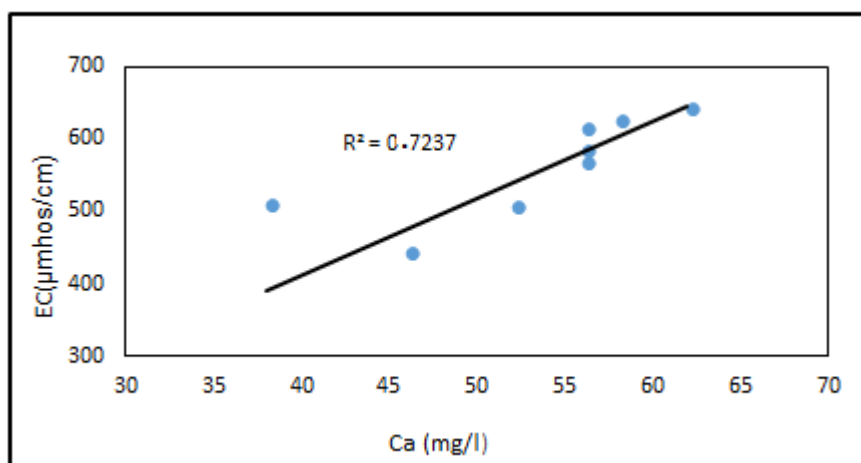
شکل ۴-۱۱- نمودار تغییرات سختی در منطقه مورد مطالعه

۴-۲-۴- بررسی رابطه هدایت الکتریکی با یون‌های اصلی

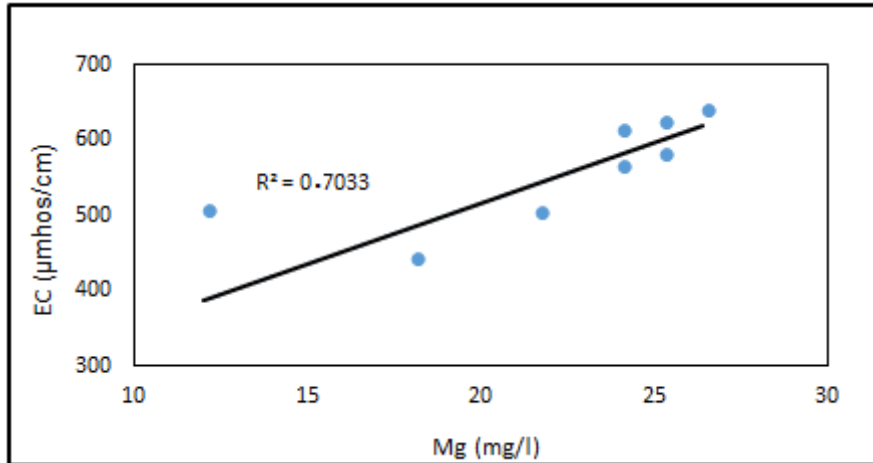
به منظور بررسی رابطه بین هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های اصلی نمودار رابطه خطی بین هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های اصلی ترسیم شده است (شکل‌های ۴-۱۲ تا ۴-۱۷). همان طور که مشاهده می‌شود رابطه مستقیمی بین هدایت الکتریکی با یون‌های اصلی وجود دارد. این وضعیت اغلب در محیط‌های کارستی (جاهایی که هدایت الکتریکی نسبتاً اندک است) دیده می‌شود.



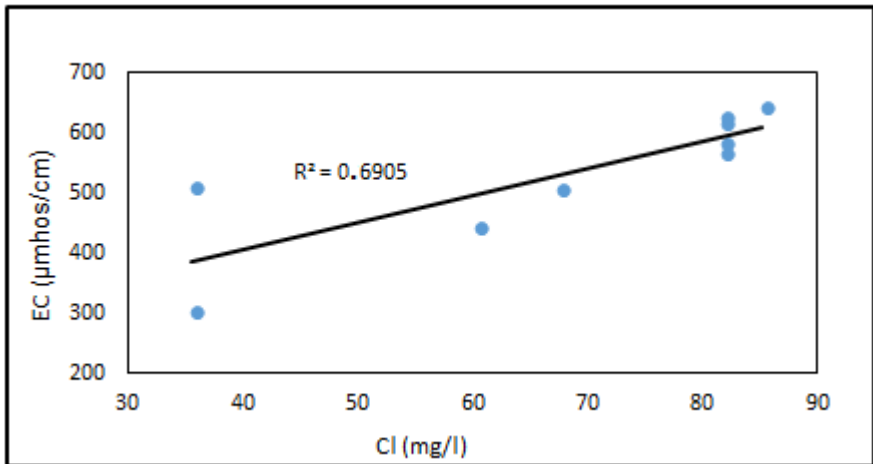
شکل ۴-۱۲- رابطه غلظت یون سدیم با هدایت الکتریکی



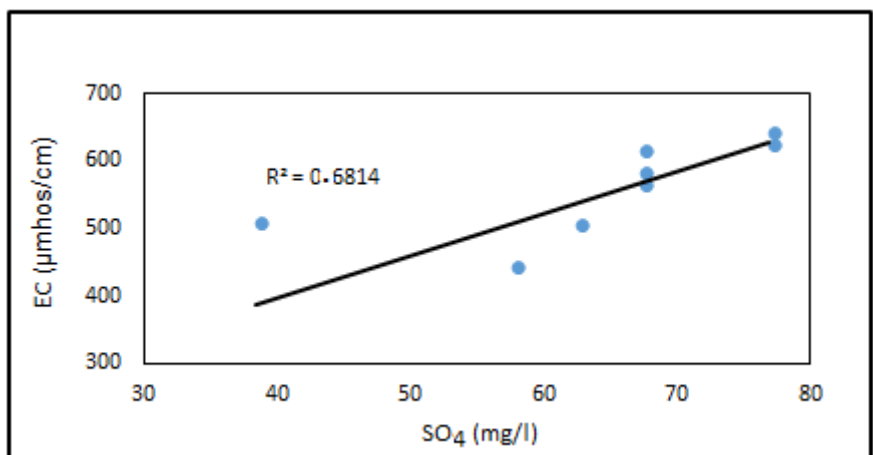
شکل ۴-۱۳- رابطه غلظت یون کلسیم با هدایت الکتریکی



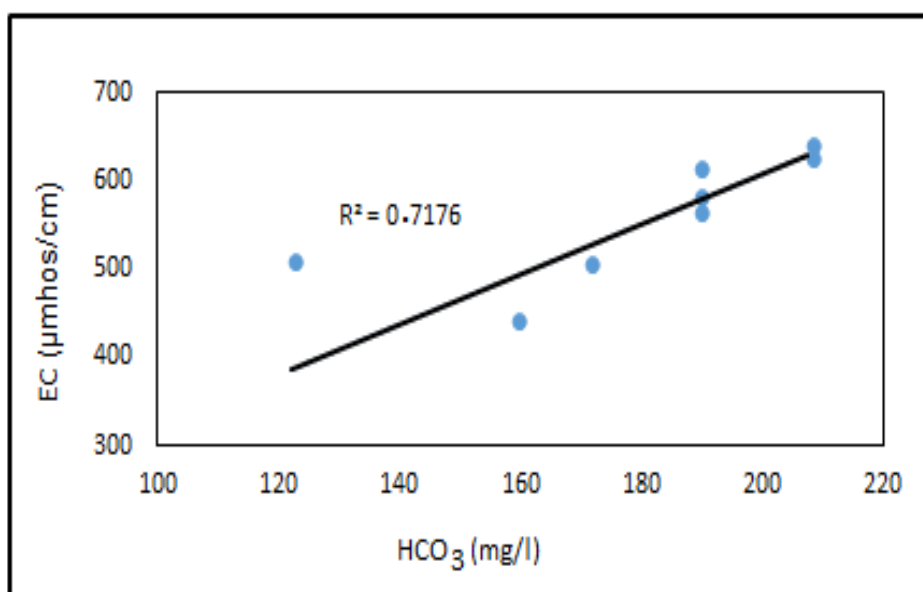
شکل ۴-۱۴- رابطه غلظت یون منیزیم با هدایت الکتریکی



شکل ۴-۱۵- رابطه غلظت یون کلر با هدایت الکتریکی



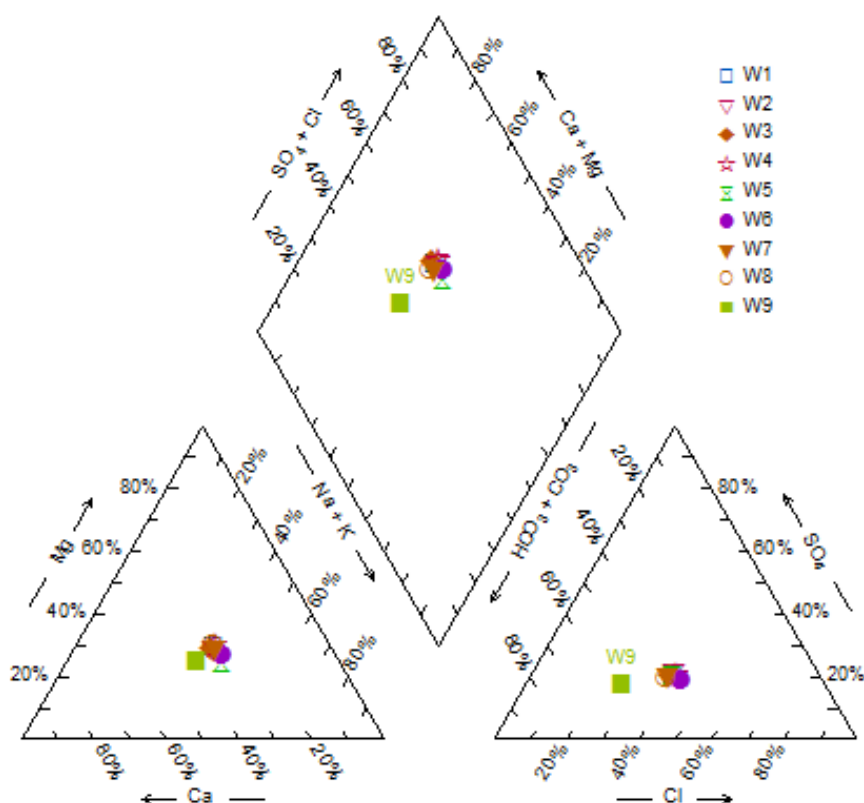
شکل ۴-۱۶- رابطه غلظت یون سولفات با هدایت الکتریکی



شکل ۴-۱۷- رابطه غلظت یون بی‌کربنات با هدایت الکتریکی

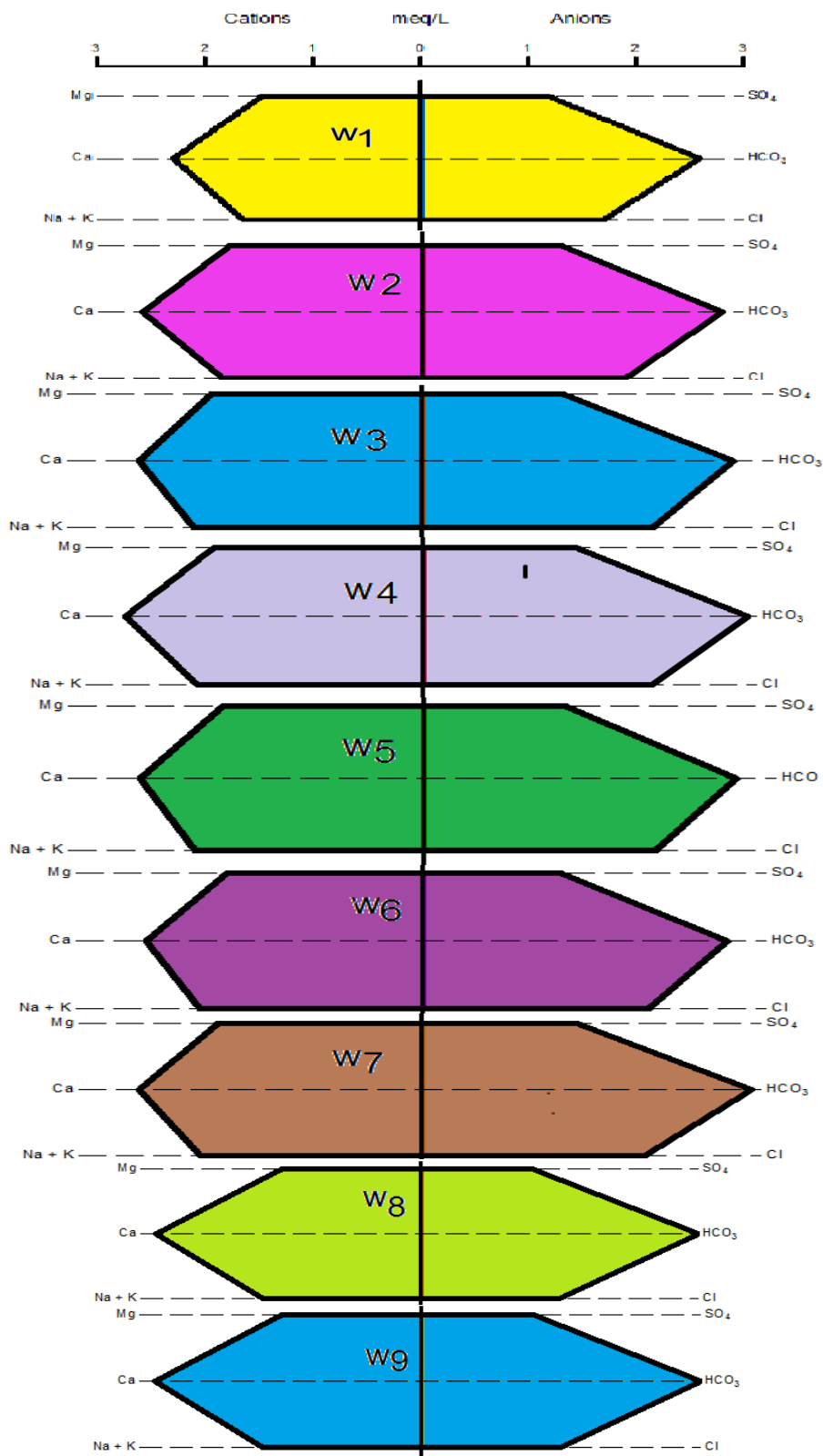
۴-۲-۵- تعیین تیپ آب‌های نمونه‌برداری شده‌ی منطقه

برای نشان دادن نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی آب، نمودارهای مختلفی وجود دارد. در بیشتر این نمودارها، آب زیرزمینی را محلولی شامل سه جزء آنیونی (سولفات، کلرید، بیکربنات+کربنات) و سه جزء کاتیونی (کلسیم، منیزیم و سدیم + پتاسیم) در نظر می‌گیرند (صداقت ۱۳۸۷). یکی از این نمودارها که برای تعیین ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی استفاده می‌شود، نمودار پایپر می‌باشد. این نمودار بر اساس توصیف میزان آنیون‌ها و کاتیون‌ها طبقه‌بندی می‌شود و تیپ زمین‌شناسی منطقه را تعیین می‌کند (Freeze and Cherry 1979). با توجه به نمودار پایپر نمونه‌های گرفته شده در منطقه (۴-۱۸)، مشاهده می‌شود که عناصر قلیایی خاکی بر عناصر قلیایی غلبه دارند و اسیدهای ضعیف نیز بر اسیدهای قوی غلبه دارند. همچنین قرارگیری تمام نقاط در کنار یکدیگر بیانگر یکسان بودن منشاء یون‌ها می‌باشد.



شکل ۴-۱۸- نمودار پایپر آب‌های مورد مطالعه

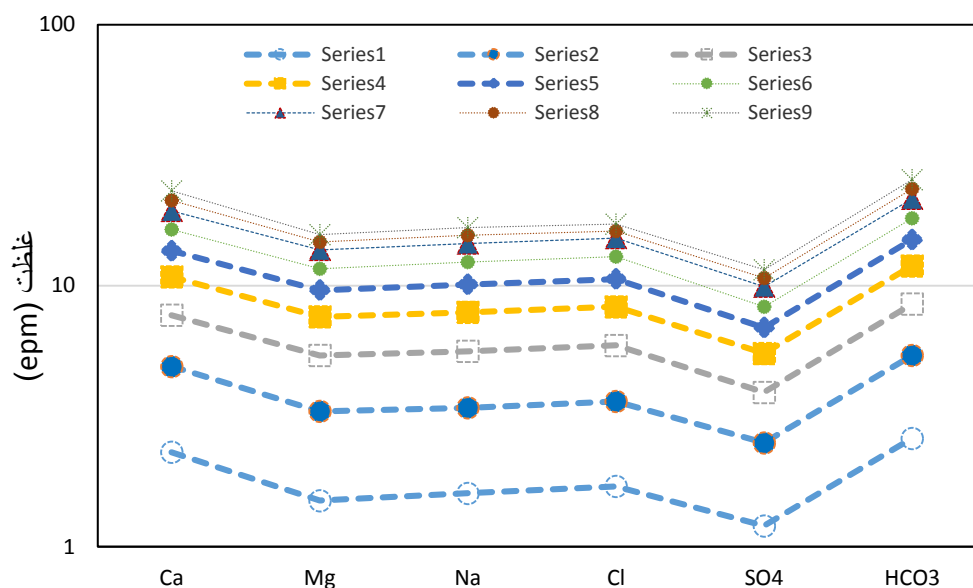
نمودار دیگری که برای تعیین تیپ آب زیرزمینی استفاده می‌شود، نمودار استیف می‌باشد. این نمودار برای مقایسه ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب با منشاء متفاوت کاربرد دارد و به وسیله آن می‌توان ترکیب شیمیایی غالب آب زیرزمینی را مشخص کرد. شکل (۴-۱۹) نمودار استیف نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود تیپ آب در همه چاه‌های مورد مطالعه بی‌کربناته - کلسیک می‌باشد و به نظر می‌رسد در چاه‌های شماره ۸ و ۹ سنگ‌های تشکیل‌دهنده آبخوان از درجه خلوص بیشتری برخوردار باشد. دلیل اصلی این شباهت زیاد هیدروژنولوزی بین نمونه‌ها به خاطر این است که کلیه آب‌ها مربوط به چاه‌هایی هستند که در سازند آهکی لار و کرتاسه بالایی حفر شده‌اند.



شکل ۴-۱۹- نمودار استیف آب‌های مورد مطالعه

۴-۲-۶- بررسی روند میزان یون‌های اصلی

به منظور بررسی روند میزان یون‌های اصلی آب و مقایسه تعداد زیادی نمونه آب از نمودار شولر استفاده می‌شود. این نمودار یک نمودار نیمه‌لگاریتمی است که محور افقی آن مقادیر یون‌های سولفات، بی‌کربنات، کلرید، منیزیم، کلسیم و سدیم برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. با توجه به این که محور قائم این نمودار لگاریتمی است، اگر خطی که غلظت دو یون را به هم وصل کرده با خطی که این دو یون را در نمونه دیگر متصل کرده موازی باشد، نشان دهنده آن است که نسبت این دو یون در هر دو نمونه مساوی است (Todd and Mays 2005). به عبارت ساده‌تر، موازی بودن روند خطوط بیانگر یکسان بودن منشاء آب‌ها می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه تمام نمونه‌ها از چاه‌های حفر شده در سازندهای آهکی برداشته شده‌اند و چنین رفتاری کاملاً منطقی می‌باشد. شکل (۴-۲۰) نمودار شولر چاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۰- نمودار شولر آب‌های مورد مطالعه

فصل پنجم: ارزیابی کربن آلی کل در منابع آب شرب شاهرود

۵-۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر در منابع آبی بسیاری از مناطق دنیا آلوده‌کننده‌های متعددی مشاهده می‌شود. از جمله‌ی این آلودگی‌ها، ترکیبات آلی زیان‌آوری است که منشاء طبیعی یا مصنوعی دارند، این ترکیبات علاوه بر ایجاد رنگ و بو، ممکن است باعث تجمع در بافت‌ها شده و برای سلامتی مضر باشند. از جمله نگرانی‌های حضور ترکیبات آلی در آب، واکنش آن‌ها با کلر مرحله گندزدایی در فرایند تصفیه آب است که منجر به تشکیل ترکیبات جانبی گندزدایی (DBP) می‌شود.

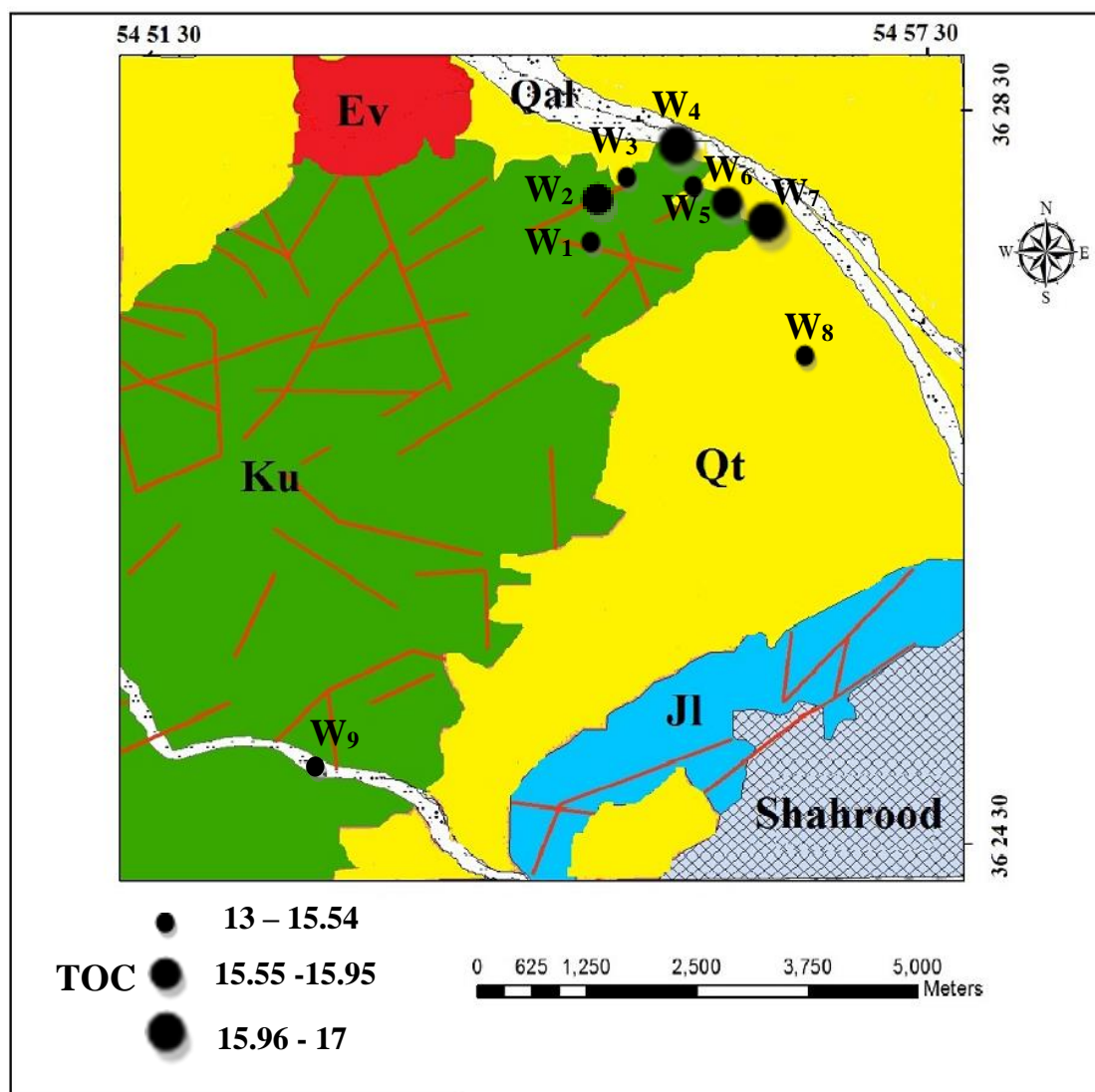
در این فصل ابتدا روند تغییرات مکانی و زمانی کربن آلی کل و رابطه این ترکیبات با هدایت الکتریکی و pH بررسی می‌شود و سپس عوامل احتمالی موثر بر آلودگی آلی در منابع آب شرب شاهرود مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۵-۲- بررسی روند تغییرات کربن آلی کل در چاه‌های نمونه‌برداری

میزان کربن آلی کل در ۹ حلقه چاه آب شرب در دو نوبت اردیبهشت ماه و مهر ماه اندازه‌گیری شده است. جدول (۵-۱) مقادیر کربن آلی کل را در دو نوبت اردیبهشت ماه و مهر ماه در چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. شکل (۵-۱) تغییرات مکانی کربن آلی کل را در آب‌های مورد مطالعه در نوبت مهر ماه نشان می‌دهد. همچنین شکل (۵-۲) مقایسه مقدار کربن آلی کل را در اردیبهشت و مهر در آب‌های نمونه‌برداری نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱- مقدار کربن آلی کل در آب‌های مورد مطالعه

شماره نمونه		W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉
کربن آلی کل (میلی‌گرم در لیتر)	اردیبهشت	۲۷/۹	۳۵	۲۷	۲۸/۶	۲۸	۲۸/۵	۲۷/۷	۲۷/۲	۲۰/۷
	مهر	۱۴	۱۵/۹۵	۱۳/۸	۱۶/۵۵	۱۵/۵	۱۵/۷	۱۷	۱۳/۳	۱۳



شکل ۵-۱- نقشه تغییرات مکانی کربن آلی کل آب‌های مورد مطالعه (مهر ماه)

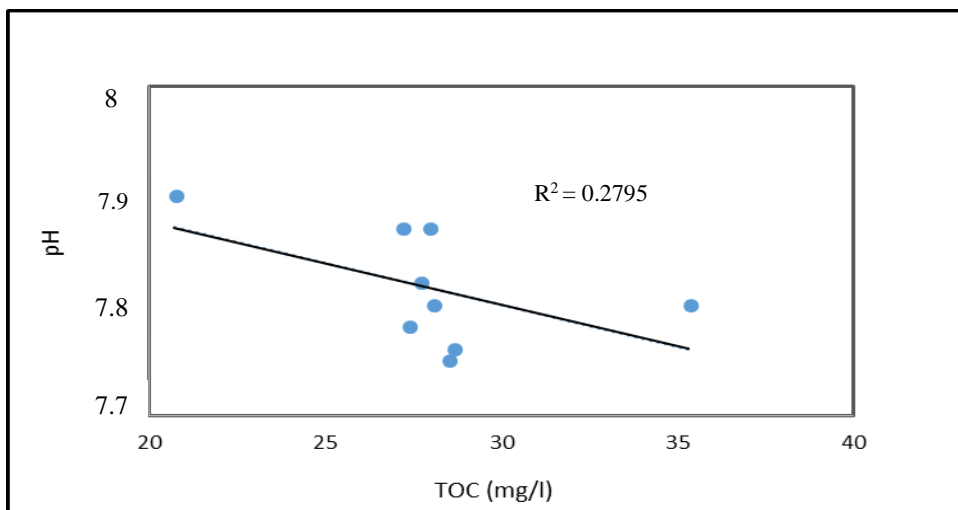
همان‌طور که در شکل (۲-۵) مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین میزان کربن آلی کل در اردیبهشت ماه به ترتیب در چاه‌های شماره ۲ و ۹ و در مهر ماه به ترتیب در چاه‌های شماره ۷ و ۹ مشاهده می‌شود. همچنین روند تغییرات (TOC) در هر دو نوبت، تا حدی یکسان است اما مقدار کربن آلی کل کاهش چشمگیری را در نوبت مهر ماه نشان می‌دهد. در آبخوان‌های کارستی جریان آب سرعت کمی دارد و تغذیه آبخوان‌های کارستی توسط بارش‌های زمستانه و بهاره می‌باشد که اثرات آن تا حدود مهر ماه به محدوده چاه‌های مورد مطالعه رسیده است.



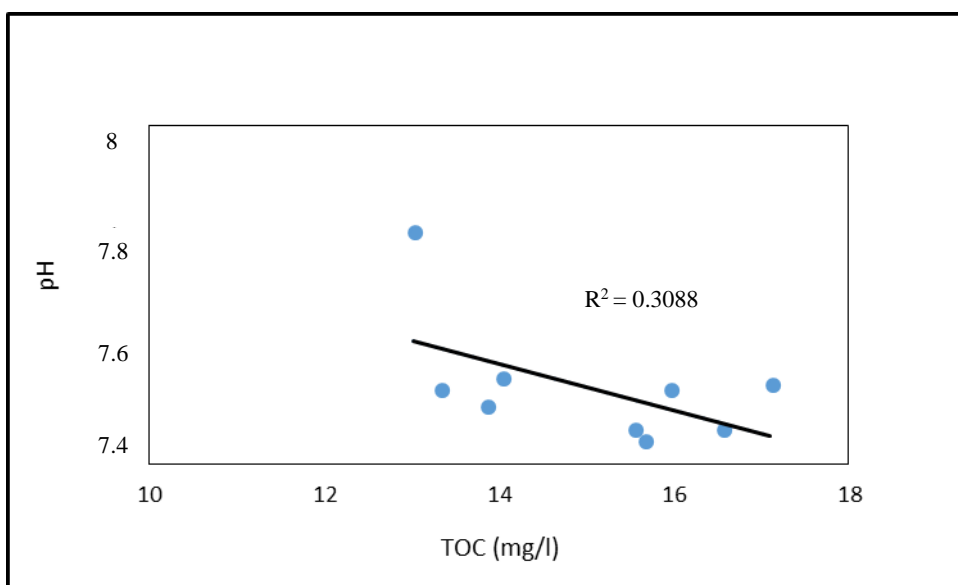
۲-۵- مقایسه مقدار کربن آلی کل در اردیبهشت ماه و مهر ماه

۳-۵- بررسی ارتباط کربن آلی کل با pH

به منظور بررسی رابطه کربن آلی کل و pH رابطه خطی کربن آلی کل و pH در دو نوبت اردیبهشت ماه (شکل ۳-۵) و مهر ماه (شکل ۴-۵) ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین کربن آلی کل و pH همبستگی معناداری وجود ندارد.



شکل ۵-۳- رابطه کربن آلی کل و pH (اردیبهشت ماه)

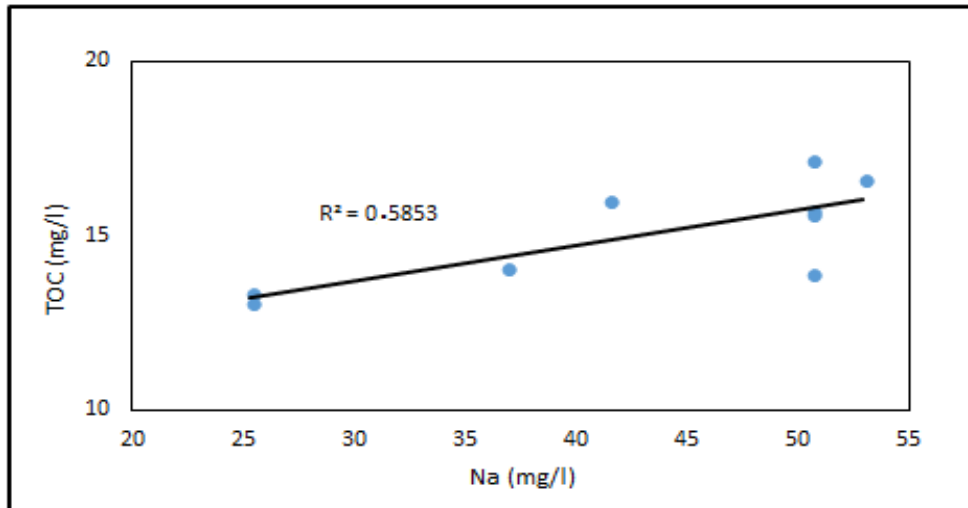


شکل ۵-۴- رابطه کربن آلی کل و pH (مهرماه)

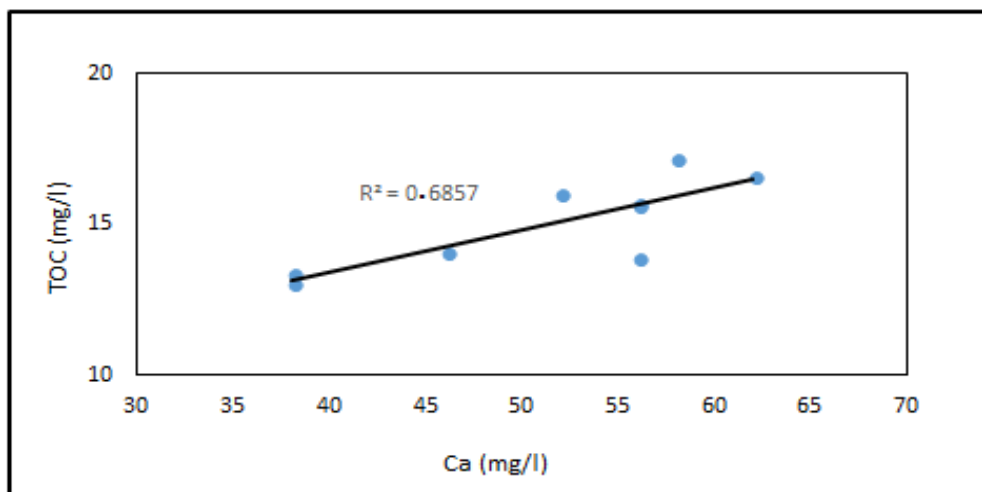
۵-۴- بررسی ارتباط کربن آلی کل با یون‌های اصلی

به منظور بررسی رابطه کربن آلی کل با یون‌های اصلی رابطه خطی این یون‌ها با مقدار کربن آلی کل

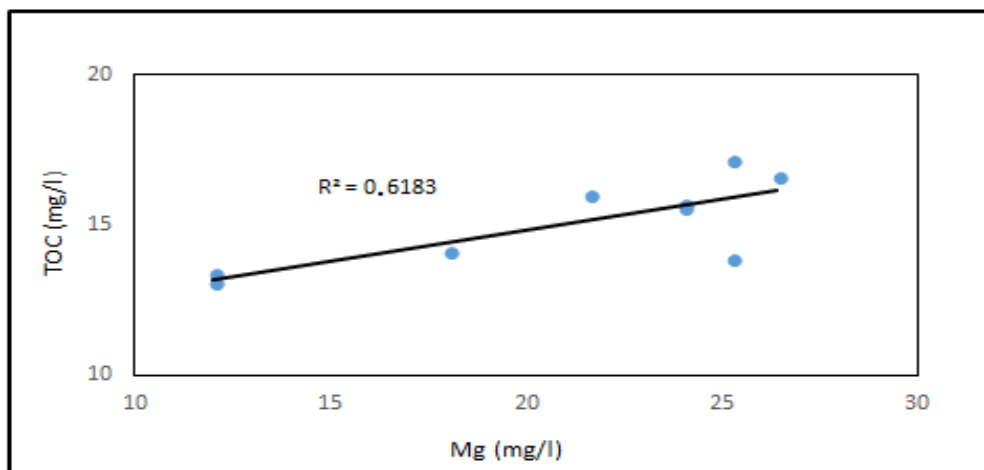
در نوبت مهر ماه ترسیم شده است (شکل‌های ۵-۵ تا ۵-۱۰).



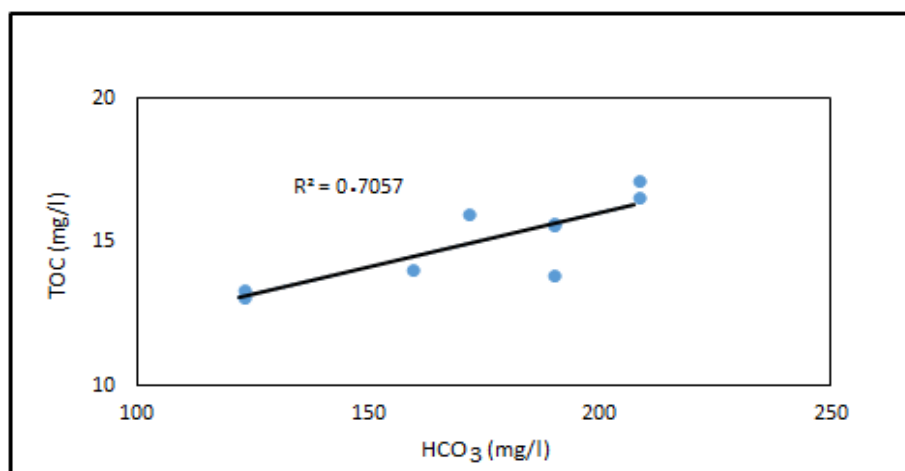
شکل ۵-۵- رابطه کربن آلی کل و یون سدیم



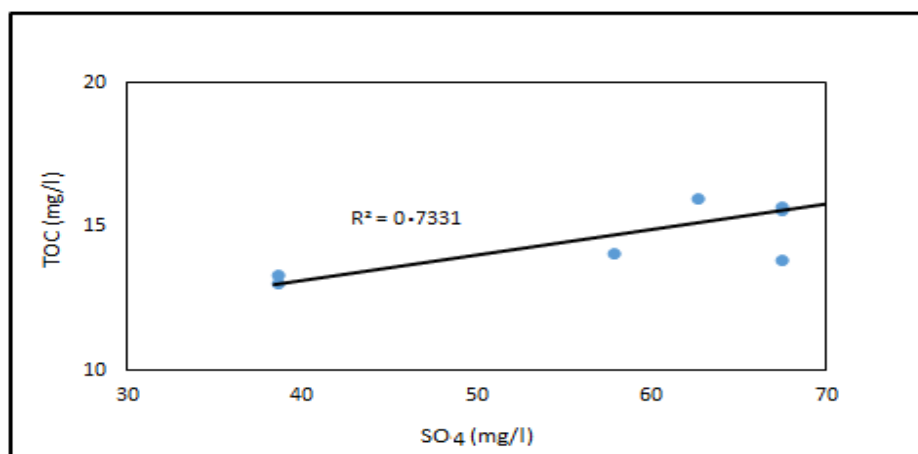
شکل ۵-۶- رابطه کربن آلی کل و یون کلسیم



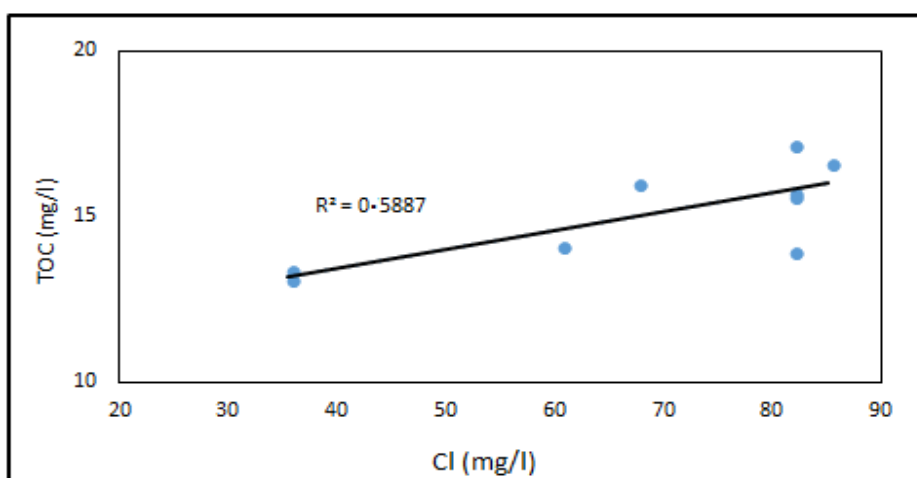
شکل ۵-۷- رابطه کربن آلی کل و یون منیزیم



شکل ۵-۸- رابطه کربن آلی کل با یون بی کربنات



شکل ۵-۹- رابطه کربن آلی کل با یون سولفات



شکل ۵-۱۰- رابطه کربن آلی کل با یون کلر

با توجه به شکل‌های (۵-۵) تا (۵-۱۰) بین کربن آلی کل و یون‌های اصلی تا حدودی رابطه مستقیم مشاهده می‌شود. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه یک آبخوان کارستی است و هیچ منبع آلاینده‌ای در منطقه وجود ندارد، دلیل همبستگی کربن آلی کل با یون‌های اصلی از این قرار است که منشاء کربن آلی کل در چاه‌های آب شرب منطقه همانند املاح اصلی آب، مربوط به مواد تشکیل‌دهنده آبخوان و سازندهای زمین‌شناسی منطقه می‌باشد.

۵-۵- رابطه کربن آلی کل با لیتولوژی

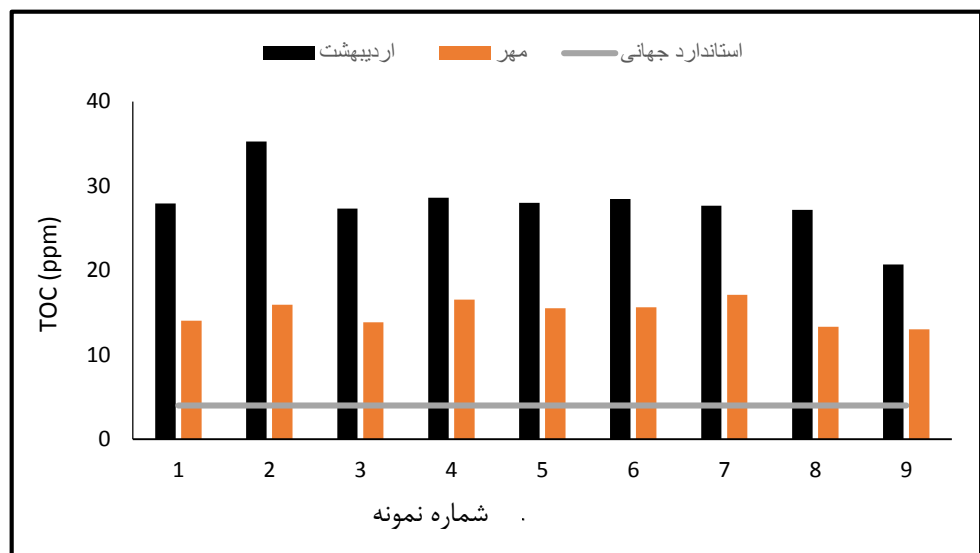
بر اساس مطالب مطرح شده در فصل (۲) یکی از عوامل موثر بر میزان کربن آلی کل در منابع آبی، تشکیلات زغال‌سنگی منطقه می‌باشد (Hope et al. 1997). در یک بریدگی مصنوعی در ارتفاعات مشرف به منطقه مورد مطالعه، شیل‌های زغالی مشاهده می‌شود که ناشی از حضور سازندهای زغالی شمشک در منطقه می‌باشد. بنابر این می‌توان چنین نتیجه گرفت که چاه‌های آب در منطقه مورد مطالعه در لایه‌های زغالدار حفر شده‌اند و حرکت آهسته آب زیرزمینی و عبور آن از لایه‌های زغالدار، سبب انحلال مواد آلی می‌شود. شکل (۵-۱۱) نمایی از شیل‌های زغالی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۱- نمایی از شیل‌های زغالدار سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه

۵-۶- مقایسه کربن آلی کل با استانداردهای جهانی

شکل (۵-۱۲) مقدار کربن آلی کل نمونه‌های مورد مطالعه را در دو نوبت اردیبهشت ماه و مهر ماه با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (USEPA)، مقایسه می‌کند. مقدار مجاز کربن آلی کل برای آب ورودی به تصفیه‌خانه‌های ورودی آب در استاندارد (USEPA, 1979)، ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. بنابراین غلظت کربن آلی کل در همه نمونه‌های مورد مطالعه بالاتر از مقدار مجاز تعیین شده در این استاندارد می‌باشد.



شکل ۵-۱۲- مقایسه غلظت کربن آلی کل با استاندارد (USEPA, 1979)

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶-۱- مقدمه

آب زیرزمینی تنها منبع تأمین آب شرب در منطقه می‌باشد. با توجه به افزایش آلاینده‌های آلی در منابع آبی در سال‌های اخیر، ارزیابی این ترکیبات در منطقه ضروری به نظر می‌رسد. به این منظور ویژگی‌های شیمیایی آب (pH, EC) و غلظت یون‌های اصلی و همچنین مقدار کربن آلی کل در ۹ حلقه چاه آب شرب شهر شاهرود تعیین گردید و نتایج حاصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این فصل مهمترین نتایج به دست آمده از این تحقیق به صورت خلاصه ارائه می‌گردد و سپس پیشنهادهایی برای مطالعات آینده در منطقه عنوان می‌گردد.

۶-۲- نتایج ارزیابی هیدروشیمی آب

۶-۲-۱- هدایت الکتریکی

در بررسی مقادیر هدایت الکتریکی چاه‌های مورد مطالعه، تغییرات مکانی در مقدار هدایت الکتریکی مشاهده می‌شود. این تغییرات مکانی ناشی از تفاوت مسافت طی شده توسط آب زیرزمینی و ناهمگنی در لیتولوژی سنگ‌های منطقه می‌باشد. مقادیر هدایت الکتریکی در اردیبهشت ماه از ۳۰۱ تا ۶۱۴ میکروموس بر سانتی‌متر و در مهر ماه از ۲۹۹ تا ۵۹۲ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. مقدار هدایت الکتریکی در دو نوبت اردیبهشت ماه و مهر ماه تغییرات ناچیزی نشان می‌دهد.

۶-۲-۲- pH

۱- مقادیر pH نمونه‌های آب در اردیبهشت ماه از ۷/۷۵ تا ۷/۹۰ و در مهر ماه از ۷/۴۴ تا ۷/۸۱ متغیر می‌باشد. بر این اساس pH نمونه‌های آب، در محدوده خنثی تا کمی قلیایی قرار می‌گیرند که ناشی از وجود سازندهای کربناتی در منطقه می‌باشد. براساس استاندارد (WHO 2011) محدوده مجاز pH در آب آشامیدنی برابر ۶/۵-۸/۵ می‌باشد. بنابراین همه نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده مجاز برای شرب قرار دارند.

۱- میزان pH اندازه‌گیری شده در مهر ماه نسبت به اردیبهشت ماه کاهش ناچیزی نشان می‌دهد که احتمالاً ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌ها در فصل گرما می‌باشد. همچنین روند تغییرات مکانی pH در هر دو نوبت نمونه‌برداری کم و بیش یکسان می‌باشد. نکته قابل توجه وجود رابطه معکوس بین pH و EC به ویژه در چاه شماره ۹ می‌باشد. به این معنا که هر چه pH نمونه کمتر شود EC بیشتر می‌شود که دلیل آن انحلال بیشتر آب‌هایی است که قدرت اسیدی بیشتری دارند.

۶-۲-۳- یون‌های اصلی

۱- با توجه به نمودار پایپر نمونه‌های گرفته شده در منطقه، مشاهده می‌شود که عناصر قلیایی خاکی بر عناصر قلیایی غلبه دارند و اسیدهای ضعیف نیز بر اسیدهای قوی غلبه دارند. همچنین قرارگیری تمام نقاط در کنار یکدیگر بیانگر یکسان بودن منشاء یون‌ها می‌باشد.

۲- بررسی نمودار استیف چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که تیپ آب در همه موارد بی‌کربناته - کلسیک می‌باشد و به نظر می‌رسد در بخش‌های غرب و جنوب غرب، سنگ‌های تشکیل‌دهنده آبخوان از درجه خلوص بیشتری برخوردار باشد.

۳- با توجه به نمودار شولر، موازی بودن روند خطوط بیانگر یکسان بودن منشاء آب‌ها می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه تمام چاه‌های آب در سازندهای آهکی حفر شده‌اند و به دلیل یکسان بودن نوع آبخوان، منشاء آب‌ها کم و بیش یکسان است.

۳-۶- نتایج ارزیابی کربن آلی کل در منابع آب شرب شاهرود

۱- مقادیر کربن آلی کل در نمونه‌های آب شرب شهر شاهرود در اردیبهشت ماه از ۲۰/۷ تا ۳۵/۳ میلی‌گرم بر لیتر و در مهر ماه از ۱۳ تا ۱۷ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشند.

۲- بیشترین و کمترین میزان کربن آلی کل در اردیبهشت ماه به ترتیب در چاه‌های شماره ۲ و ۹ و در مهر ماه به ترتیب در چاه‌های شماره ۷ و ۹ مشاهده می‌شود. همچنین روند تغییرات (TOC) در هر دو نوبت، تا حدودی یکسان است. مقادیر کربن آلی کل در نمونه‌های مهر ماه در مقایسه با نمونه‌های اردیبهشت ماه کاهش چشمگیری نشان می‌دهند. دلیل این مطلب احتمالاً "از این قرار است که در آبخوان‌های کارستی جریان آب سرعت کمی دارد و تغذیه آبخوان‌های کارستی توسط بارش‌های زمستانه و بهاره می‌باشد که اثرات آن تا حدود مهر ماه به محدوده چاه‌های مورد مطالعه رسیده و سبب رقیق‌سازی آب شده است.

۳- ارزیابی رابطه کربن آلی کل با یون‌های اصلی، تا حدی همبستگی بین کربن آلی کل و یون‌های اصلی را نشان می‌دهد و بیشترین همبستگی، با یون‌های کلسیم، بی‌کربنات و سولفات دیده می‌شود. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه یک آبخوان کارستی است و هیچ منبع آلاینده‌ای در منطقه وجود ندارد، دلیل همبستگی کربن آلی کل با یون‌های اصلی از این قرار است که منشاء کربن آلی کل در چاه‌های آب شرب منطقه همانند املاح اصلی آب، مربوط به مواد تشکیل‌دهنده آبخوان و سازندهای زمین‌شناسی منطقه می‌باشد.

۴- مقایسه کربن آلی کل با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست امریکا نشان می‌دهد که غلظت کربن آلی کل در همه نمونه‌های مورد مطالعه بالاتر از مقدار مجاز تعیین شده در استاندارد حفاظت محیط زیست امریکا (USEPA) می‌باشد.

۴-۶- پیشنهادها

به منظور استفاده بهتر و مطلوب‌تر از منابع آب شرب و تکمیل مطالعات در آینده، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود.

۱- با توجه به تولید محصولات فرعی ناشی از کلرزنی آب آشامیدنی حاوی کربن آلی کل و تأثیر آن بر سلامتی انسان، ارزیابی مقدار تری‌هالومتان‌ها و هالواستیک‌اسیدها در منابع آب شرب شاهرود توصیه می‌شود.

۲- با توجه به این که منشاء کربن آلی کل، لیتولوژی منطقه و سازندهای مجاور می‌باشد، ارزیابی فلزات سنگین در منابع آب شرب پیشنهاد می‌شود.

۳- اندازه‌گیری مقادیر کربن آلی کل در چشمه‌های کارستی موجود در کوه‌های تپال و مقایسه آن با مقادیر آن در چاه‌های آب شرب پیشنهاد می‌شود.

منابع فارسی

- امین، محمد مهدی. حاجیان، بهزاد. سعدانی، محسن. هادیان، رضا. بنیادی نژاد، غلامرضا. خدابخشی، عباس. (۱۳۸۹). "بررسی عملکرد کربن فعال پودری (PAC) در حذف ترکیبات آلی طبیعی (NOM) از آب آشامیدنی." (مجله سلامت و محیط). سوم، ۱۴۲-۱۳۵
- ایبای، ج. ن. (۱۳۸۳). **مبانی زمین‌شیمی زیست‌محیطی**. مر، ف. مدبری، س. فرقانی تهرانی، گ. اول، مرکز نشر دانشگاهی.
- تویسرکانی، زهرا. شایگان، جلال‌الدین. صادقی، علیرضا. (۱۳۸۸). "بررسی آلودگی آلی آب‌های زیرزمینی شهر تهران." **مجله علمی و پژوهشی شریف**، پنجاهم، ص ۹۰-۱۴۰
- تکدستان، افشین؛ ترابیان، علی؛ جعفرزاده، نعمت‌الله. (۱۳۸۵). "بررسی محصولات فرعی حاصل از گندزدایی (DBPs) سرطانزا در آب آشامیدنی و روشهای کنترل آن." **اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.**
- ززولی، محمدعلی. ناصری، سیمین. مصداقی‌نیا، علیرضا. (۱۳۸۷). "مطالعه خصوصیات اجزاء مواد آلی طبیعی در منابع سطحی آب تهران." (مجله سلامت و محیط)، اول، ۷-۱
- سازمان هواشناسی شهرستان شاهرود، (۱۳۹۱). "آرشیو گزارشات آماری سالانه ایستگاه‌های هواشناسی."
- شیرمحمد، صدیقه. ابطحی، مهرانوش. (۱۳۸۹). "اجزاء تشکیل دهنده مواد آلی طبیعی در آب آشامیدنی و اثرات بهداشتی آنها." **اولین همایش ملی دانشجویی مدیریت و فناوریهای نوین در علوم بهداشتی، سلامت و محیط زیست.**
- صبوچی، محمد. مولانی، فریاد. جعفری کنگ، عباس. مزرگی نژاد قوچانی، محمود. بغدادی، مجید. (۱۳۹۳). "بررسی جامع محصولات جانبی کلرزنی، عوارض آن‌ها برای سلامتی انسان و روش-

های حذف آن از آب شرب"، اولین کنفرانس ملی آلودگی‌های محیط زیست با محوریت زمین پاک، اردبیل، ایران.

- صداقت م. (۱۳۸۷)، "زمین و منابع آب (آب زیرزمینی)"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، ۲۸۷ ص.

- محوی، امیرحسین. راستکاری، نوشین. نبی‌زاده، رامین. نظم‌آرا، شاهرخ. ناصری، سیمین. قوچانی، محبوبه. (۱۳۸۹). "بررسی عوامل موثر در تولید هالواستیک اسیدها و اندازه‌گیری غلظت آن‌ها در آب خروجی تصفیه خانه‌های شهر تهران در نیمه اول سال ۱۳۸۹." (مجله سلامت و محیط)، سوم، ۳۶۴-۳۵۳

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود". سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.

منابع انگلیسی

-Aiken, George. "Organic matter in ground water." *US Geological Survey Artificial Recharge Workshop Proceedings*. 2005.

-Arumugam, K., and K. Elangovan. "Seasonal variation on the geochemical parameters and quality assessment of the groundwater in Tirupur region, Tamil Nadu, India." *International Journal of Engineering Research and Industrial Applications* 2.7 (2009): 419-446.

- Armstrong, A., Holden, J., Kay, P., Francis, B., Foulger, M., Gledhill, S., McDonald, A.T., and Walker, A. 2010. "The impact of drain-blocking on dissolved organic Carbon loss and discolorations of water." *Results from a national survey, Journal of Hydrology*. Vol. 381, pp. 112-120.

- Bayram, A., Onsoy, H., Akinci, G., (2011). "Variation of total organic carbon content along the stream Harsit, Eastern Black Sea Basin, Turkey." *Environ Monit Assess*. Vol. 182, pp. 85-95.

- Brooks, Emma. Freeman, Christopher. Gough, Rachel. Holliman, Peter.J. (2015)."

- Tracing dissolved organic carbon and trihalomethane formation potential between Source water and finished Drinking water at a lowland and an upland catchment." *Science of the Total Environment*. Vol. 537, pp. 203-212.
- Christensen, T.H., Kjeldsen, P., Bjerg, P.L. et.al. (2001). "Biogeochemistry of landfill Leachate plumes." *Applied Geochemistry*. Vol.16, pp. 629-718.
 - Clark, JM. Bottrell, SH. Evans, CD. Monteith, DT. Bartlett, R. Rose, R. et al. (2010). "The importance of the relationship between scale and process in understanding long-term DOC dynamics." *Sci Total Environ*. Vol. 408:27, pp. 68-75.
 - Chowdhury, S. and Champagne, P. (2008). "An investigation on parameters for modeling THMs formation." *Global NEST Journal*. Vol. 10 (1), pp. 80-91.
 - Edmunds, W.M., Shand, P., Hart, P., Ward, R.S. (2003). "The natural (baseline) quality of groundwater: a UK pilot study." *Science of the Total Environment*.vol. 310, pp. 25–35.
 - Department of Environment and Conservation Water Management Division (2011). "Study on Characteristics and Removal of Natural Organic Matter in Drinking Water Systems in Newfoundland and Labrador."
 - Evans, C.D., Monteith, D.T., Cooper, D.M. (2005). "Long-term increases in surface water dissolved organic carbon observation, possible causes and environmental impacts." *Environmental Pollution*. Vol. 137, pp. 55-71.
 - Fiedler, S., Holl, B.S., Freibauer, A., Stahr, K., Drosler, M., Schloter, M., Jungkunst, H.F. (2008). "Dissolved Organic Carbon (DOC) in relation to other water carbon fractions in drained and rewetted fens in southern Germany." *Biogeochemistry*. Vol. 5, pp. 1615-1623.
 - Freeze, R. A., and Cherry J. A. (1979). *Groundwater*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc, pp. 604.
 - Garvey, E.A. and Tobiasson, J.E. (2003). "Relationships between measures of NOM in Quabbin Watershed." *Journal AWWA*. 95(11), pp. 73-84.

- Gibert, Oriol. Lefevre, Benoit., Fernandez, Marc., Bernat, Xavie., Paraira, Miquel. (2013). "Fractionation and removal of dissolved organic carbon in a full- scale granular activated carbon filter used for drinking water production". *WATER RESEARCH*. vol. 47, pp. 2821-2829.
- Gibert, Oriol. Lefèvre, Benoit. Teulerc, Albert. Bernata, Xavier. Tobella, Joana. (2015). "Distribution of dissolved organic matter fractions along several stages of a drinking water treatment plant." *Journal of Water Process Engineering*. Vol. 6, pp. 64–71.
- Graves, D.J., Morecroft, M., Fitzgibbon, C., Lepitt, P., Owen, M., Phillips, S. (2013). "Natural England Review of Upland Evidence 2012 - the effects of managed burning on upland peatland biodiversity, carbon and water." *Nat Engl Evid Rev*. [Number 004].
- Goody, D.C., Clay, J.W., Bottrell, S.H. (2002). "Redox-driven changes in pore-water chemistry of the Chalk unsaturated zone beneath unlined cattle slurry lagoons." *Applied Geochemistry*.
- Holden, J., Shotbolt, L., Bonn, A., Burt, T.P., Chapman, P.J., Dougill, A.J. et al. (2007). "Environmental change in moorland landscapes." *Earth Sci Rev*. Vol. 82, pp. 75-100.
- Hope, D., Billett, M.F., Cresser, M.S., 1994. "A review of the export of carbon in river water: fluxes and processes." *Environ. Pollut*. Vol. 84 (3), pp. 301–324.
- Hounslow, A.W. (1995). "Water quality data analysis and interpretation." Lewis publishers, ckpress, LLC, pp. 378.
- Imai, A. (2002). "Accumulation of recalcitrant dissolved organic matter in lake water." *Aquabiology*. Vol. 140, pp. 203–208.
- Kalbitz, K., Solinger, S., Park, J.H., Michalzcic, B., Matzner, E., 2000. "Controls on the of dissolved organic matter in soils: a review." *Soil Sci*. Vol. 165, pp. 277–304.
- Kemer, M., Hohenberg, H., Ertl, S., Beckerman, M., Spitz, A. (2003). "Self-organization of dissolved organic matter to micelle-like micro particles in river water." *Nature*. vol. 422, pp. 150-153.
- Kohusova, K., Havel, L., Vlasak, P., Tonika, J. (2011). "Along-term survey of heavy metals and specific organic compounds in brofilms, sediments, and surface water in a

heavily affected river in the Czech Republic." *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 174, pp. 555-572.

-Lebreton, B., Beseres Pollack, J., Blomberg, B., Palmer, T.A., Adams, L, Guillou, G., Montagna, P.A. (2016). "Origin, composition and quality of suspended particulate organic matter in relation to freshwater inflow in a South Texas estuary." *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 170, pp. 70-82.

- Ledesma, Jose.L.J. Kohler, Stephan. Futter, Martyn.N. (2012). "Long-term dynamics dissolve organic carbon: Implications for drinking water supply." *Science of the Total Environment*. Vol. 432, pp. 1–11.

- Mathie, Amy M., and Nathan Wood. *Residential and service-population exposure to multiple natural hazards in the Mount Hood region of Clackamas County, Oregon*. No. 2013-1073. US Geological Survey, 2013.

-Ng, Mega. Kho, Ee Teng., Liu, Sanly. Lim, May. Amal, Rose. Amal. (2014). "Highly adsorptive and regenerative magnetic TiO₂ for natural organic matter (NOM) removal in water." *Chemical Engineering Journal*. Vol. 246, pp. 196–203.

- Ng, Mega. Liu, Salny. Chow, Christopher W.K., Drikas, Mary. Amal, Rose. Lim, May. (2013). "Understanding effects of water characteristics on natural organic matter treatability by PACl and a novel PACl-chitosan coagulants." *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 263, pp. 718– 725.

-Richardson, S.D., Plewa, M.J., Wagner, E.D., Schoeny, R., Demarini, D.M., 2007."Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water." *a review and roadmap for research. Mutat.* Vol. 636, pp.178-242.

- Ritson, J. P., Graham, N. J. D., Templwton, M. R., Clark. J. M., Gauth, R., Freeman, C. (2014). "The impact of climate change on the treatability of dissolved organic matter (DOM) in upland water supplies: A UK perspective." *Science of the Total Environment*. Vol. 473–474, pp. 714–730.

-Sillanpaa, Mika. (2015). "*Natural Organic Matter in water Characterization and Treatment Methods*." P. 1-15.

- Sindelar, Hugo. R., Brown, Mark. T. Boyer, Treavor. H. (2014). "Evaluating UV/H₂O₂, UV/ percarbonate, and UV/perborate for natural organic matter reduction from alternative water sources." *Chemosphere*. vol. 105, pp. 112–118.
- Tang, R., Clark, J. M., Bond, T., Graham, N., Hughes, D., Freeman, C. (2013). "Assessment of potential climate change impacts on peatland dissolved organic carbon release and drinking water treatment from laboratory experiments" *Environmental Pollution*. Vol. 173, pp. 270-277.
- Todd, D.K., and Mays, L. W. (2005). "**Groundwater Hydrology**." John Wiley and sons, Inc, New York, pp. 636.
- US EPA, Office of Water (1999). Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual, EPA 815-R-99-012.
- Visco, G., Campanella, L., Nobili, V. (2005). "Organic carbons and TOC in waters: an overview of the international norm for its measurements." *Micro chemical Journal*. Vol. 79, pp. 185– 191.
- WHO, (2011), "Guideline for drinking-water quality." World Health Organisation, 4rd. ed, pp. 564.
- Ying Hu, Hong. Du, Ye. Wu, Qian-Yuan. Zhao, Xin. Chen, Zhuo. (2016). "Differences in dissolved organic matter between reclaimed water source and drinking water source." *Science of the Total Environment*. Vol. 551–552, pp. 133–142.
- Yu, H., Qu, F., Sun, L., Liang, H., Han, Z., Chang, H., Shao, S., Li, G., (2015). "Relationship between soluble microbial products (SMP) and effluent organic matter (EfOM); characterized by fluorescence excitation emission matrix coupled with parallel factor analysis." *Chemosphere*. vol. 121, pp.101–109.

Abstract

In recent decades, with increasing population growth and development of industrial and agricultural activities, Groundwater and surface water contamination has increased dramatically. Some of these pollutants are organic compounds from natural and artificial sources which enter to surface water and groundwater. The presence of these compounds in drinking water during chlorination produces substances that damage to human health. This study aimed to assess the Total Organic Carbon (TOC), in drinking water resources of Shahrood city. Study area includes part of the mountain Tepal that is located in the west of the Shahrood city. To evaluate the values of Total Organic Carbon (TOC), water samples from 9 drinking walls of Shahrood city were collected in May and October 2016. For all samples, electrical conductivity and pH values were measured in situ. Measurements show that the electrical conductivity values ranges from 301 to 614 $\mu\text{mhos/cm}$ in May and from 209 to 592 $\mu\text{mhos/cm}$ in October. PH values ranges from 7.75 to 7.90 in May and from 7.44 to 7.81 in October. The values electrical conductivity and pH for all samples is within the allowable range of drinking water. The concentration of Total Organic Carbon (TOC) was measured by TOC meter model Multi N/C 3100 at Water and Environment Laboratory in Shahrood University of Hydrology. The values of Total Organic Carbon compared to the standard USEPA show that the concentration of Total Organic Carbon in at samples are above the limit value specified in the USEPA standard. The Total Organic Carbon content declined in samples related to October compared to May. High concentrations of total organic carbon in water samples in the study area presumably is related to the existence of coal deposits in shales and marls of Shemshak formation. In addition, the low concentration of Total Organic Carbon in the October relative to May, related to the effects dillution recharged water to the karst aquifer and water aquifer. Lower values of electrical conductivity in October confirms the above subject.

Keywords: drinking water, water pollution, Total Organic Carbon, Shahrood



Shahrood University Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Environmental Geology

**Assessment the Total Organic Carbon in drinking water
resources of Shahrood city**

By: Shahrbanoo Arab

Supervisors: Dr. Gholamhosein Karami

May 2017