

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین
پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی

ارزیابی آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت دامغان

نگارنده: مولود رحیمی

استاد راهنما:

دکتر رحیم باقری

بهمن ۱۳۹۵

تقديم به:

آنان که به انتخاب خویش در حل مشکلات آب

این مرز و بوم جان و تن فرسودند...

تشکر و قدردانی

سپاس بی پایان به بارگاه ذات احدیت باری تعالی که انسان را آفرید و به او قدرت بیان و توانمندی تفکر آموخت تا دیوارهای بلند جهالت را با پتک‌های گران اندیشه فروریزد...

اکنون که با عنایت حضرت حق کار تدوین و نگارش این تحقیق به اتمام رسیده بر خود لازم می‌دانم از کلیه عزیزانی که مرا در این راه یاری نمودند تشکر نمایم:

از استاد با کمالات و شایسته، جناب آقای دکتر رحیم باقری که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند.

از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاور بی چشم‌داشت برای من بوده‌اند.

خواهر و برادرانم همراهان همیشگی و پشتوانه‌های زندگی‌ام!

دوست عزیزم خانم معصومه جعفری که در طول این سالهای سخت، همدم و همراه من بود، هم‌چنین آقای امیر سلیمانی و به‌ویژه سرکار خانم زیبا عربی جوانمرد که در طی مدت تحصیل با ایشان نهایت کمک و همیاری را در حق اینجانب نمودند.

در پایان از ریاست محترم دانشکده علوم زمین، جناب آقای دکتر امیدی و کارکنان محترم دانشکده به خاطر مساعدتهایشان کمال تشکر دارم. از اساتید گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود آقایان دکتر غلامحسین کریمی، دکتر افشین قشلاقی، دکتر هادی جعفری و سرکار خانم دکتر فرقانی به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌اشان در طول دوره تحصیلی، نهایت قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

مولود رحیمی

بهمن ۱۳۹۵

چکیده

آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، که متوسط بارندگی آن کمتر از یک سوم میانگین بارندگی کره زمین است برای تأمین مصارف مختلف از اهمیت زیادی برخوردارند. با این وجود آب‌های زیرزمینی در معرض خطر آلودگی به انواع آلاینده‌ها هستند. نیتрат به عنوان یکی از شاخص‌های شیمیایی آلودگی آب از دیرباز مورد توجه بوده است. منبع عمده ورود نیترات به آب‌های زیرزمینی فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و خانگی است. با توجه به اینکه عمده نیاز آبی شهر دامغان از منابع زیرزمینی تأمین می‌گردد، هدف از انجام مطالعه حاضر بررسی وضعیت هیدروشیمیایی و توزیع مکانی نیترات در آب‌های زیرزمینی این دشت می‌باشد. بدین منظور از ۳۹ حلقه چاه در تیر ماه سال ۱۳۹۵ نمونه‌برداری انجام شد. پارامترهای EC و pH در محل، و غلظت یون‌های اصلی در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. دشت دامغان عمدتاً از سمت غرب منطقه تغذیه شده و در نهایت به کویر حاج علی قلی در شرق تخلیه می‌گردد. مقداری تغذیه نیز از سمت شمال دشت صورت می‌گیرد. مقدار هدایت الکتریکی در جهت جریان آب زیرزمینی از سمت منطقه تغذیه در غرب به سمت شرق افزایش یافته است اما آنومالی‌های موجود در نقشه هدایت الکتریکی ناشی از نفوذ شورابه‌ی کفه‌های نمکی در شمال شرق و رسوبات تبخیری شمال دشت به سمت آبخوان است. تیپ آب در مناطق تغذیه بیشتر بی‌کربناته تا کلروره بوده که به سمت مرکز دشت بیشتر از نوع کلروسدیک و Ca-Mg-Cl شده است، اما در بخش شمالی دشت تیپ آب به علت انحلال سازندهای تبخیری سولفاته می‌باشد. با توجه به غلظت یون نیترات در ۳۲ حلقه چاه اندازه‌گیری شده کمترین مقدار آن ۲/۶ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین مقدار ۷۱/۸ میلی‌گرم در لیتر در مرکز شهر مشاهده شد. بیشترین آلودگی مربوط به مناطق مسکونی شهری بود که عامل اصلی آن کم بودن عمق آب در این مناطق، نشت فاضلاب خانگی به آب‌های زیرزمینی و به مقدار کمتری فعالیت‌های کشاورزی است.

کلمات کلیدی: یون نیترات، هیدروژئوشیمی، نفوذ آب شور، دشت دامغان

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- بیان مسئله و اهداف مطالعه ۲
- ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۳
- ۱-۳- آب و هوای منطقه مورد مطالعه ۴
- ۱-۴- ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه ۶
- ۱-۴-۱- واحدهای مقاوم ۶
- ۱-۴-۲- واحدهای نیمه مقاوم ۷
- ۱-۵- رسوبات منفصل کواترنری ۷
- ۱-۶- هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه ۸
- ۱-۷- زمین شناسی منطقه ۹
- ۱-۷-۱- چینه شناسی منطقه ۹
- ۱-۷-۱-۱- نهشته‌های پالئوزوئیک ۱۱
- ۱-۷-۱-۲- نهشته‌های مزوزوئیک ۱۵
- ۱-۷-۱-۳- نهشته‌های سنوزوئیک ۱۷
- ۱-۷-۱-۴- نهشته‌های کواترنری ۱۹
- ۱-۷-۲- تکتونیک ناحیه ای ۲۱
- ۱-۷-۲-۱- گسل‌ها ۲۲
- ۱-۷-۲-۲- چین خوردگی‌ها ۲۳

۲۴ درزه‌ها ۳-۲-۷-۱

فصل دوم : مروری بر تحقیقات گذشته

۲۶ مقدمه

۲۶ ۱-۲- عوامل موثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی

۲۷ ۱-۱-۲- لیتولوژی

۲۷ ۲-۱-۲- اقلیم

۲۸ ۳-۱-۲- سرعت آب زیرزمینی

۲۸ ۴-۱-۲- نفوذ آب شور

۲۹ ۵-۱-۲- پساب‌های شهری و صنعتی، کشاورزی و افزایش بهره برداری

۲۹ ۲-۲- مروری بر مطالعات پیشین انجام شده در ایران و جهان در خصوص کیفیت منابع آب

۳۳ ۲-۲- مروری بر چرخه نیتروژن

۳۵ ۳-۲- منابع نیترات در آب‌های سطحی و زیرزمینی

۳۵ ۱-۳-۲- منابع طبیعی

۳۵ ۲-۳-۲- منابع انسانزاد

۳۶ ۱-۲-۳-۲- منابع کشاورزی

۳۶ ۲-۲-۳-۲- منابع شهری

۳۷ ۳-۲-۳-۲- منابع صنعتی

۳۷ ۴-۲-۳-۲- فضولات حیوانی

۳۸ ۵-۲- غلظت نیترات و کاربری اراضی

۳۹ ۴-۲- آبشویی نیترات

- ۳۹ اثرات زیانبار بر سلامتی ۶-۲
- ۴۰ بررسی استانداردهای ملی و بین المللی کیفیت آب برای کنترل نیترات ۷-۲
- ۴۱ مروری بر پژوهش‌های پیشین انجام شده در ایران و جهان ۸-۲

فصل سوم : روش انجام کار

- ۴۶ مقدمه ۴۶
- ۴۶ ۱-۳- جمع آوری آمار و اطلاعات مربوط به آبخوان دشت دامغان ۴۶
- ۴۶ ۲-۳- تهیه نقشه زمین شناسی منطقه ۴۶
- ۴۷ ۳-۳- بازدید صحرایی و نمونه برداری از آب چاه‌های انتخابی در منطقه ۴۷
- ۴۹ ۴-۳- اندازه گیری pH و هدایت الکتریکی در محل نمونه برداری ۴۹
- ۵۰ ۵-۳- پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایشگاه ۵۰
- ۵۰ ۶-۳- تهیه نقشه‌های هم پتانسیل آبخوان دشت دامغان ۵۰
- ۵۱ ۷-۳- تهیه نقشه‌های کیفی با استفاده از نرم افزارهای GIS ۵۱

فصل چهارم : ارزیابی هیدروشیمیایی و آلودگی یون نیترات

- ۵۴ مقدمه ۵۴
- ۵۴ ۱-۴- بررسی هیدروژئولوژی آبخوان دشت دامغان ۵۴
- ۵۵ ۱-۱-۴- بررسی نقشه هم پتانسیل منطقه مورد مطالعه ۵۵
- ۵۹ ۲-۱-۴- ارزیابی میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت دامغان ۵۹
- ۶۱ ۲-۴- هیدروژئوشیمی آبخوان دشت دامغان ۶۱
- ۶۴ ۱-۲-۴- ارزیابی مقادیر هدایت الکتریکی در دشت دامغان ۶۴
- ۶۹ ۲-۲-۴- ارزیابی مقادیر pH آب زیرزمینی دشت دامغان ۶۹

- ۴-۲-۳- بررسی غلظت یون‌های اصلی در دشت دامغان ۷۰
- ۴-۲-۳-۱- ارزیابی غلظت یون کلر ۷۱
- ۴-۲-۳-۲- ارزیابی غلظت یون سولفات ۷۱
- ۴-۲-۳-۳- ارزیابی غلظت یون سدیم ۷۳
- ۴-۲-۳-۴- ارزیابی غلظت یون کلسیم ۷۴
- ۴-۲-۳-۵- ارزیابی غلظت یون منیزیم ۷۵
- ۴-۲-۴- نمودار ستونی یون‌های اصلی در دشت دامغان ۷۵
- ۴-۲-۵- بررسی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در دشت دامغان ۷۷
- ۴-۲-۶- بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی ۷۹
- ۴-۲-۷- بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر کشاورزی ۸۲
- ۴-۲-۸- بررسی شاخص‌های اشباع کانی‌ها در دشت دامغان ۸۳
- ۴-۲-۹- نمودارهای ترکیبی هیدروژئوشیمیایی دشت دامغان ۸۵
- ۴-۳- بررسی تغییرات غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت دامغان ۹۰
- ۴-۳-۱- بررسی غلظت نیترات با هدایت الکتریکی ۹۴
- ۴-۳-۲- بررسی غلظت نیترات با pH ۹۸

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- ۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۲
- ۵-۲- پیشنهادها ۱۰۴
- منابع ۱۰۵

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه..... ۳
- شکل ۱-۲) نمودار امپروترمیک منطقه مورد مطالعه..... ۵
- شکل ۱-۳) نمایی سه بعدی از ژئومورفولوژی دشت دامغان..... ۷
- شکل ۱-۴) نقشه زمین شناسی دشت دامغان..... ۱۰
- شکل ۱-۲) چرخه نیتروژن در طبیعت..... ۳۴
- شکل ۱-۳) موقعیت آبخوان در محیط Google Earth..... ۴۷
- شکل ۲-۳) موقعیت نقاط نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت دامغان..... ۴۸
- شکل ۳-۳) نمونه‌برداری از چاه‌های منطقه مورد مطالعه..... ۴۸
- شکل ۳-۴) اندازه‌گیری EC و pH در محل نمونه‌برداری..... ۴۹
- شکل ۳-۵) آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه..... ۵۰
- شکل ۳-۶) اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه نوری شعله‌ای ۵۱
- شکل ۳-۷) اندازه‌گیری غلظت یون سولفات با استفاده از دستگاه کدورت سنج..... ۵۱
- شکل ۱-۴) موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری در دشت دامغان..... ۵۵
- شکل ۲-۴) موقعیت پیزومترها و نقشه هم‌پتانسیل دشت دامغان در فروردین ۱۳۹۴..... ۵۸
- شکل ۳-۴) موقعیت چاه‌های بهره‌برداری واقع در دشت دامغان..... ۵۹
- شکل ۴-۴) میزان افت سطح آب در پیزومترهای موجود در دشت..... ۶۰
- شکل ۴-۵) نقشه تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در دشت دامغان در سال ۱۳۹۵..... ۶۴
- شکل ۴-۶) تغییرات EC از منطقه تغذیه بخش غربی به سمت منطقه تخلیه شرقی..... ۶۵

- شکل ۴-۷) تغییرات EC از بخش شمالی به سمت جنوب..... ۶۶
- شکل ۴-۸) تغییرات EC از بخش شمال شرق به جنوب..... ۶۷
- شکل ۴-۹) نمودار رابطه یون‌های مختلف در مقابل هدایت الکتریکی در دشت دامغان..... ۶۸
- شکل ۴-۱۰) مقادیر pH نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان..... ۷۰
- شکل ۴-۱۱) نقشه کلر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان..... ۷۲
- شکل ۴-۱۲) نقشه سولفات نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان..... ۷۲
- شکل ۴-۱۳) غلظت یون سدیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان..... ۷۳
- شکل ۴-۱۴) غلظت یون کلسیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان..... ۷۴
- شکل ۴-۱۵) غلظت یون منیزیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان..... ۷۵
- شکل ۴-۱۶) نمودار ستونی غلظت یون‌های اصلی در منابع آب دشت دامغان..... ۷۶
- شکل ۴-۱۷) نمودار $(Ca+Mg)-(Na+K)$ در مقابل $(SO_4+Cl)-(HCO_3+CO_3)$ ۷۷
- شکل ۴-۱۸) نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان..... ۷۸
- شکل ۴-۱۹) گروه بندی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان بر نمودار پایپر..... ۷۸
- شکل ۴-۲۰) گروه بندی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان بر نمودار شولر..... ۷۹
- شکل ۴-۲۱) نمودار شولر نمونه‌های آب گروه ۱ در دشت دامغان..... ۸۰
- شکل ۴-۲۲) نمودار شولر نمونه‌های آب گروه ۲ در دشت دامغان..... ۸۰
- شکل ۴-۲۳) نمودار شولر نمونه‌های آب گروه ۳ در دشت دامغان..... ۸۱
- شکل ۴-۲۴) نمودار شولر نمونه‌های آب گروه ۴ در دشت دامغان..... ۸۱
- شکل ۴-۲۵) نمودار ویلکاکس مربوط به منابع آب زیرزمینی دشت دامغان..... ۸۲
- شکل ۴-۲۶) مقادیر شاخص‌های اشباع منابع آب دشت دامغان..... ۸۳

- شکل ۴-۲۷) نمودار نسبت سدیم به کلر در مقابل کلر ۸۶
- شکل ۴-۲۸) نمودار کلسیم در مقابل سولفات ۸۶
- شکل ۴-۲۹) نمودار منیزیم در مقابل سولفات ۸۷
- شکل ۴-۳۰) نمودار کلسیم در مقابل بی‌کربنات ۸۷
- شکل ۴-۳۱) نمودار مجموع کلسیم- منیزیم در مقابل بی‌کربنات ۸۸
- شکل ۴-۳۲) نمودار مجموع کلسیم- منیزیم در مقابل مجموع سولفات- بی‌کربنات ۸۸
- شکل ۴-۳۳) نمودار $(Ca+Mg)/(SO_4+HCO_3)$ در مقابل Na/Cl ۸۹
- شکل ۴-۳۴) موقعیت نقاط نمونه‌برداری جهت آنالیز نیتрат در دشت دامغان ۹۰
- شکل ۴-۳۵) نمودار ستونی غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت دامغان ۹۱
- شکل ۴-۳۶) تغییرات غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت دامغان ۹۲
- شکل ۴-۳۷) نقشه هم‌عمق آب‌های زیرزمینی دشت دامغان ۹۳
- شکل ۴-۳۸) نمودار (NO_3+Cl/HCO_3) در مقابل EC ۹۴
- شکل ۴-۳۹) تغییرات غلظت یون نیترات در برابر هدایت الکتریکی ۹۵
- شکل ۴-۴۰) نمودار غلظت نیترات با یون‌های مختلف در مناطق مسکونی ۹۶
- شکل ۴-۴۱) نمودار غلظت نیترات با یون‌های مختلف در مناطق کشاورزی ۹۷
- شکل ۴-۴۲) تغییرات غلظت یون نیترات در مقابل pH منابع آب زیرزمینی ۹۸
- شکل ۴-۴۳) نمودار نیترات در مقابل هدایت الکتریکی در دشتهای مختلف ۹۹
- شکل ۴-۴۴) نمودار غلظت نیترات در مقابل pH در دشتهای مختلف ۱۰۰

فهرست جدول‌ها

- جدول (۱-۱) میانگین بارندگی و درجه حرارت منطقه مورد مطالعه..... ۴
- جدول (۲-۱) طبقه بندی اقلیم بر اساس ضریب دمارتن..... ۶
- جدول (۱-۲) استانداردهای مختلف غلظت نیترات در آب آشامیدنی..... ۴۰
- جدول (۱-۴) مختصات و ارتفاع سطح ایستابی پیزومترها در فروردین ۱۳۹۴ بر حسب متر..... ۵۷
- جدول (۲-۴) نتایج آنالیز کیفی منابع آب زیرزمینی دشت دامغان در تیرماه سال ۱۳۹۵..... ۶۲
- جدول (۳-۴) مقادیر pH اندازه‌گیری شده در چاه‌های نمونه‌برداری دشت دامغان..... ۶۹
- جدول (۴-۴) مقادیر شاخص‌های اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان..... ۸۴

فصل اول:

مقدمه

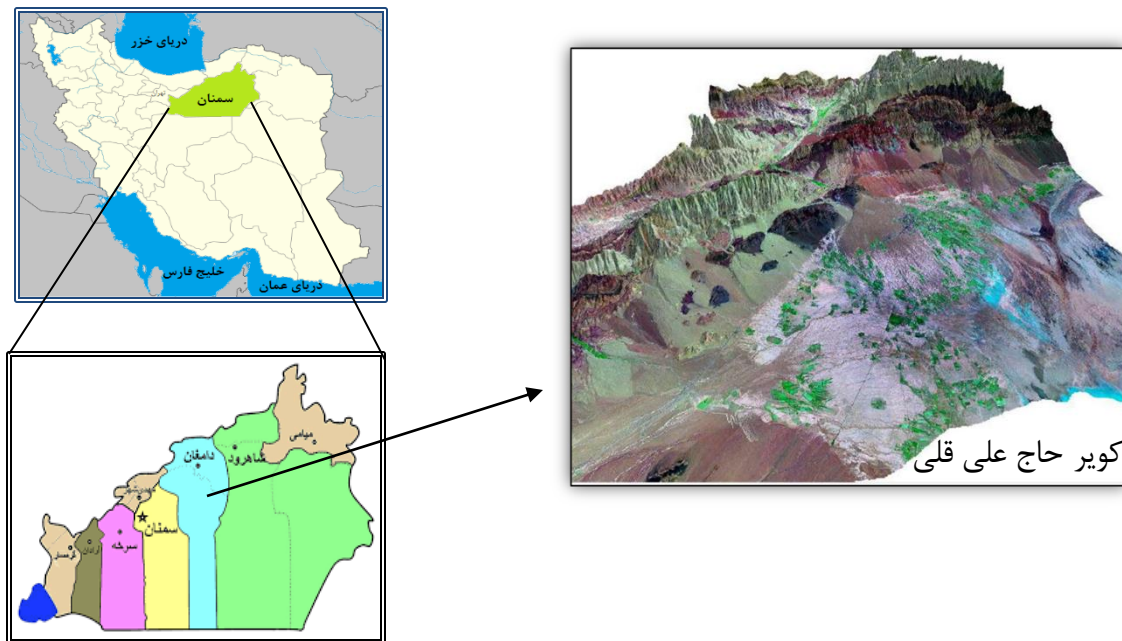
۱- بیان مسئله و اهداف مطالعه

آب‌های زیرزمینی در بیشتر نواحی جهان به ویژه اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که فاقد آب‌های سطحی مناسب و کافی می‌باشند اغلب تنها راه تأمین آب برای مصارف مختلف به حساب می‌آیند. در یک قرن اخیر افزایش رشد جمعیت و توسعه دامنه‌ی فعالیت‌های انسان و نیز استفاده بی‌رویه از منابع آب سبب شده که در بسیاری از مناطق جهان شرایط بحرانی کمی و کیفی بروز نماید. از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آب زیرزمینی یون نیترات است که با توجه به انحلال پذیری بالا، حذف آن از آب آشامیدنی بسیار پرهزینه است. نیترات علاوه بر چرخه طبیعی ازت، در اثر ورود فاضلاب انسانی، مواد زائد شهری و صنعتی و نیز فعالیت‌های کشاورزی وارد منابع آب و خاک شده و اثرات نامطلوبی بر سلامت گیاه، انسان و دام بر جای می‌گذارد، لذا شناسایی منابع آلودگی آب‌ها و عوامل آلوده کننده ضروری است. شهرستان دامغان به دلیل قرارگرفتن در ناحیه خشک و نیمه‌خشک ایران تقریباً فاقد هرگونه منابع آب سطحی است، لذا عمده نیاز آبی آن از منابع آب زیرزمینی و از طریق چاه‌ها، قنوت و چشمه‌ها تأمین می‌گردد. در سال‌های اخیر توسعه شهری و کشاورزی و به دنبال آن افزایش میزان مصرف آب به همراه خشکسالی‌های پی در پی و کاهش تغذیه آبخوان، این شهرستان را از نظر منابع آبی با مشکلات زیادی روبرو کرده است. آبخوان دشت دامغان تحت تأثیر آلاینده‌هایی مانند پساب کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و صنعتی قرار دارد. این منابع می‌توانند یون نیترات را به آب‌های زیرزمینی وارد کنند. لذا اهداف انجام تحقیق حاضر بررسی غلظت یون نیترات در منابع آب منطقه، بررسی روند تغییرات مکانی آنها و رابطه آن با سایر پارامترهای هیدروژئولوژیکی و در نهایت مطالعه کیفی منابع آب دشت دامغان است.

۲-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهر دامغان در امتداد محور ارتباطی تهران- مشهد و در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شرق سمنان و ۶۰ کیلومتری غرب شاهرود قرار گرفته است. مساحت محدوده جغرافیایی این شهرستان حدود ۱۳۰۰۰ کیلومتر بوده و دربرگیرنده‌ی سه دشت دامغان، کویر حاج علی قلی (کویر چاه جم) و دشت یزدان آباد (سرکویر) می‌باشد. دشت دامغان با مساحتی حدود ۱۳۷۳ کیلومترمربع، در شمال پهنه جغرافیایی این شهرستان و در دامنه‌ی جنوب شرقی سلسله جبال البرز مرکزی واقع شده است. این دشت از سمت جنوب به کویر حاج علی قلی محدود می‌گردد و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا حدود ۱۱۷۰ متر می‌باشد. دشت دامغان در زمره‌ی نواحی حاصلخیز استان سمنان بوده و اغلب تجمعات انسانی این شهرستان در قالب شهرها و روستاهای بزرگ در این دشت متمرکز گردیده‌اند (امیرحسینی، ۱۳۹۳).

شکل (۱-۱) موقعیت محدوده‌ی مطالعاتی دشت دامغان را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

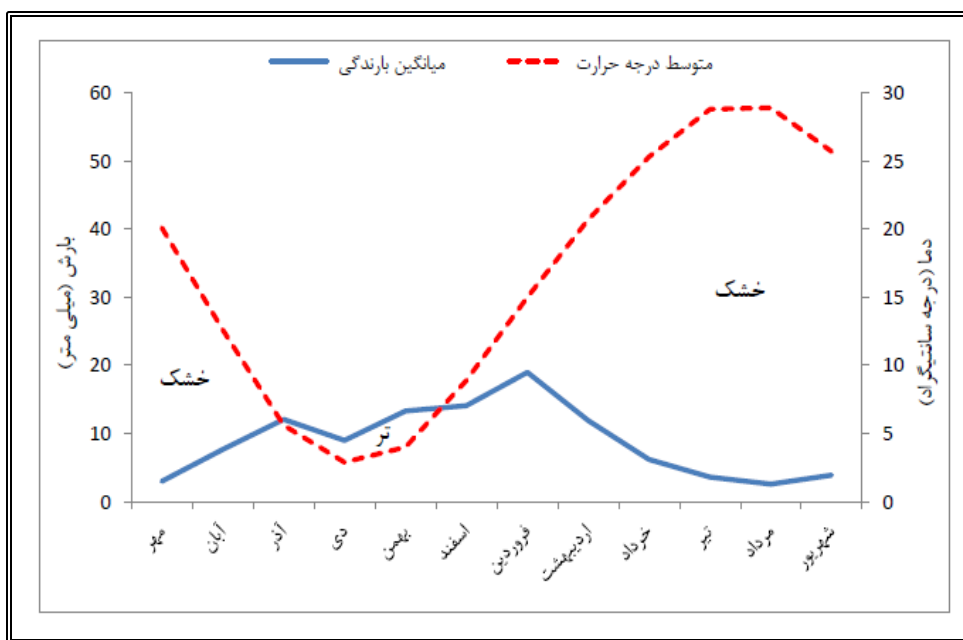
۱-۳ آب و هوای منطقه مورد مطالعه

دشت دامغان به دلیل قرار گرفتن در ناحیه خشک و نیمه خشک ایران دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک می‌باشد. بارش کم، وزش باد شدید و اختلاف زیاد دمای شب و روز از خصوصیات اقلیمی بارز این دشت است. هم‌چنین آب و هوای این منطقه بسیار متغیر بوده به گونه‌ای که نواحی کوهستانی شمالی و ارتفاعات آب و هوای معتدل و حدود کناره‌های کویر گرم است. بیشترین میزان بارندگی ۱۹ میلی‌متر در فروردین ماه و بیشینه دما در مرداد ماه ۲۸/۹ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. کمترین مقدار بارش نیز در فصل تابستان و حداقل میزان دما در دی ماه با متوسط ۲/۹ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی سالانه در دشت دامغان حدود ۱۰۷ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (اداره هواشناسی شهرستان دامغان، ۱۳۹۲). جدول (۱-۱) میانگین دما و بارش منطقه مورد مطالعه را برای ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱: میانگین بارندگی و درجه حرارت منطقه مورد مطالعه (اداره هواشناسی شهرستان دامغان، ۱۳۹۲)

ماه	میانگین دما (سانتی‌گراد)	میانگین بارش (میلی‌متر)
فروردین	۱۵/۰	۱۹/۰
اردیبهشت	۲۰/۷	۱۱/۹
خرداد	۲۵/۳	۶/۲
تیر	۲۸/۸	۳/۶
مرداد	۲۸/۹	۲/۶
شهریور	۲۵/۷	۳/۹
مهر	۲۰/۱	۳/۰
آبان	۱۲/۶	۷/۷
آذر	۵/۶	۱۲/۱
دی	۲/۹	۹/۰
بهمن	۴/۰	۱۳/۳
اسفند	۸/۹	۱۴/۱
میانگین سالانه	۱۶/۵	۱۰۶/۴

شکل (۱-۲) نمودار امبروترمیک منطقه را نشان می‌دهد. زمانی که میانگین بارش بالاتر از دما است، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک اتفاق می‌افتد. لذا نقطه تلاقی منحنی میانگین دما و بارش جدا کننده فصل تر و خشک می‌باشد. با توجه به این نمودار فصل تر منطقه تقریباً از اواسط ماه آذر تا اوایل اسفند بوده و بقیه سال فصل خشک می‌باشد. اگرچه بیشینه بارندگی در ماه فروردین هر سال است اما به دلیل بالا بودن دما، این ماه جز فصل خشک محسوب می‌شود.



شکل ۱-۲: نمودار امبروترمیک منطقه مورد مطالعه

جهت تعیین اقلیم منطقه از روش دمارتن استفاده شد. دمارتن با توجه به میانگین دما و بارش سالانه ضریبی به نام ضریب خشکی ارائه کرده است که مقدار آن با توجه به جدول (۱-۲) اقلیم منطقه را مشخص می‌کند. ضریب خشکی دمارتن با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

در این معادله P میانگین بارش سالانه بر حسب میلی‌متر، T میانگین دمای سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد است. مقدار I (ضریب خشکی) محاسبه شده از فرمول بالا ۴ می‌باشد که با توجه به جدول (۲-۱) بیانگر اقلیم خشک منطقه است.

جدول ۲-۱: طبقه بندی اقلیم بر اساس ضریب دمارتن

اقلیم	ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	< 10
نیمه‌خشک	$10/0 - 19/9$
مدیترانه‌ای	$20/0 - 23/9$
نیمه‌مرطوب	$24/0 - 27/9$
مرطوب	$28/0 - 39/4$
بسیار مرطوب	> 35

۴-۱ ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژی به دو واحد مجزا تقسیم می‌شود. یکی ناحیه کوهستانی واقع در شمال دشت و دیگری قسمت هموار که عمدتاً از آبرفت‌های عهد حاضر در قالب مخروط افکنه‌ها و دشت‌های سیلابی پوشیده شده است و بخش عمده منطقه را دربرمی‌گیرد. این تفاوت مورفولوژی بخش‌های شمالی و جنوبی را می‌توان به زمین ساخت خاص منطقه نسبت داد. به این ترتیب که بر اثر عملکرد گسل شمال دامغان بخش جنوبی گسل در تمام منطقه فروافتاده (دشت دامغان) و بخش شمالی آن به صورت ارتفاعات نمایان شده است (آقنابتی ۱۳۸۳). سه نوع مورفولوژی را می‌توان در ارتفاعات شمالی دشت دامغان تشخیص داد:

۱-۴-۱ واحدهای مقاوم

این واحدها عموماً از سنگ‌های آهکی و دولومیتی ضخیم لایه، آذرین و بخش‌هایی از ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومرای ضخیم لایه تشکیل شده است. این واحد، مورفولوژی خشن و ناهموار دارد و از طریق دیوارهای

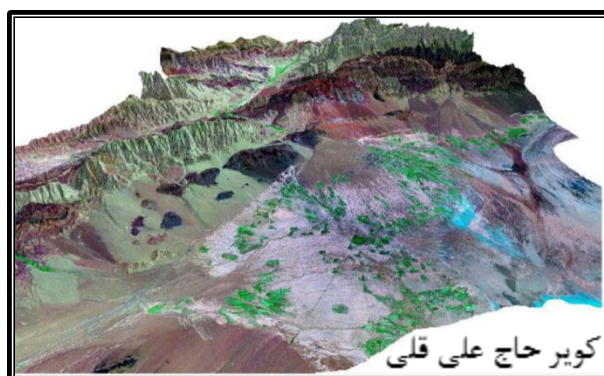
بلند و دره‌های V شکل مشخص می‌شود. وجود سازندهای آهکی مقاوم مانند سازند لار و زیارت با درز و شکاف‌های عمیق سبب جذب رطوبت و تغذیه مناسب آبخوان شده است.

۱-۴-۲ واحدهای نیمه مقاوم

این مورفولوژی شامل واحدهای سنگی با مقاومت کم تا متوسط مانند شیل، مارن، سیلتستون، توف و بعضاً کنگلومراها و لایه‌های آهک مارنی است. این واحدها تشکیل خط القعرها را می‌دهند و در تأمین بار رسوبی و تشکیل مخروط افکنه‌ها نقش عمده‌ای دارند.

۱-۴-۳ رسوبات منفصل کواترنری

این رسوبات کف دره‌ها و آبراهه‌ها را می‌پوشانند و در بستر رودخانه‌ها تشکیل پادگانه‌های آبرفتی را می‌دهند. وجود این رسوبات درشت دانه با تراوایی زیاد و هدایت هیدرولیکی قائم، به تغذیه مناسب آبخوان کمک می‌کند. دشت دامغان شیبی ملایم به سمت جنوب دارد و آبراهه‌های منطقه که از ارتفاعات شمالی سرچشمه می‌گیرند پس از ورود به دشت آبرفتی از ضلع جنوبی منطقه به کویر دامغان هدایت می‌شوند. مرتفع‌ترین نقطه این دشت در کوه کرکسی با ارتفاع ۳۷۰۰ متر و پست‌ترین نقطه آن در حاشیه شمالی کویر حاج علی قلی به ارتفاع ۱۰۵۸ متر از سطح دریا است. شکل (۱-۳) نمایی کلی از ژئومورفولوژی منطقه را نشان می‌دهد (امیرحسینی، ۱۳۹۳).



شکل ۱-۳: نمایی سه بعدی از ژئومورفولوژی دشت دامغان

۱-۵ هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه

در مناطق گرم و خشک درجه حرارت بالا، تبخیر شدید و متوسط بارندگی سالانه کمتر از ۱۶۰ میلی‌متر است (علیزاده، ۱۳۹۱). در این مناطق بارندگی میل به متمرکز شدن در چند بارش شدید دارد که طی آنها بخش عمده‌ی بارش سالانه صورت می‌گیرد. به همین دلیل در این مناطق آب‌های سطحی به مدت طولانی نمی‌تواند وجود داشته باشد و رودخانه‌های دائمی نیز وجود ندارند. با توجه به قرارگیری دشت دامغان در بخش خشک و نیمه‌خشک کشور و با متوسط بارش سالانه ۱۰۷ میلی‌متر، این دشت نیز فاقد منابع آب سطحی می‌باشد، لذا تقریباً تمام نیاز آبی دشت دامغان از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. سالانه حجم آبی معادل ۱۵۳ میلیون مترمکعب توسط ۴ رشته قنات، ۸ چشمه و ۹۴۷ حلقه چاه تخلیه می‌شود. از نظر نوع مصرف، بیشترین حجم مصرف آب این دشت در بخش کشاورزی و به میزان ۱۳۹/۱۳ میلیون مترمکعب در سال است. هم‌چنین حجم کل آب مصرفی در این دشت که به مصرف شرب و بهداشت می‌رسد برابر با ۱۱/۴۸ میلیون متر مکعب در سال و برای مصارف صنعتی نیز برابر با ۲/۴۹ میلیون متر مکعب در سال است. دشت دامغان از نظر ساختمانی یک چاله تکتونیکی است و گسل‌هایی در ارتفاعات مجاور آن شناسایی شده‌اند که در ایجاد وضعیت هیدروژئولوژیکی دشت نقش بسزایی ایفا می‌کنند. مهم‌ترین تأثیر آنها جابجایی رسوبات دانه ریز و دانه درشت و تشکیل آبخوان‌های آزاد، معلق و تحت فشار است. آبخوان آزاد در قسمت‌های شمالی دشت که رسوبات درشت دانه سیلابی ته نشین شده‌اند از پتانسیل بهتری برخوردار است اما در قسمت‌های میانی دشت به دلیل عملکرد گسل‌ها و فرآیندهای رسوبگذاری ترکیبی از رسوبات دانه ریز و دانه درشت بوده و قابلیت انتقال آن کاهش می‌یابد. ضخامت لایه‌های نفوذناپذیر رسی در اعماق، بیشتر شده و تناوب این رسوبات دانه ریز با رسوبات دانه درشت سبب تشکیل آبخوان تحت فشار شده است (امیرحسینی، ۱۳۹۳).

بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون‌های پمپاژ و بررسی‌های ژئوفیزیکی، در مناطق تغذیه دشت در ورودی‌های جنوب غرب و شمال دشت که رسوبات درشت دانه و مخروط افکنه‌ای می‌باشند میزان قابلیت انتقال آبخوان بیشتر است و تا ۱۲۰۰ مترمربع در روز می‌رسد. از این مناطق به طرف قسمت‌های

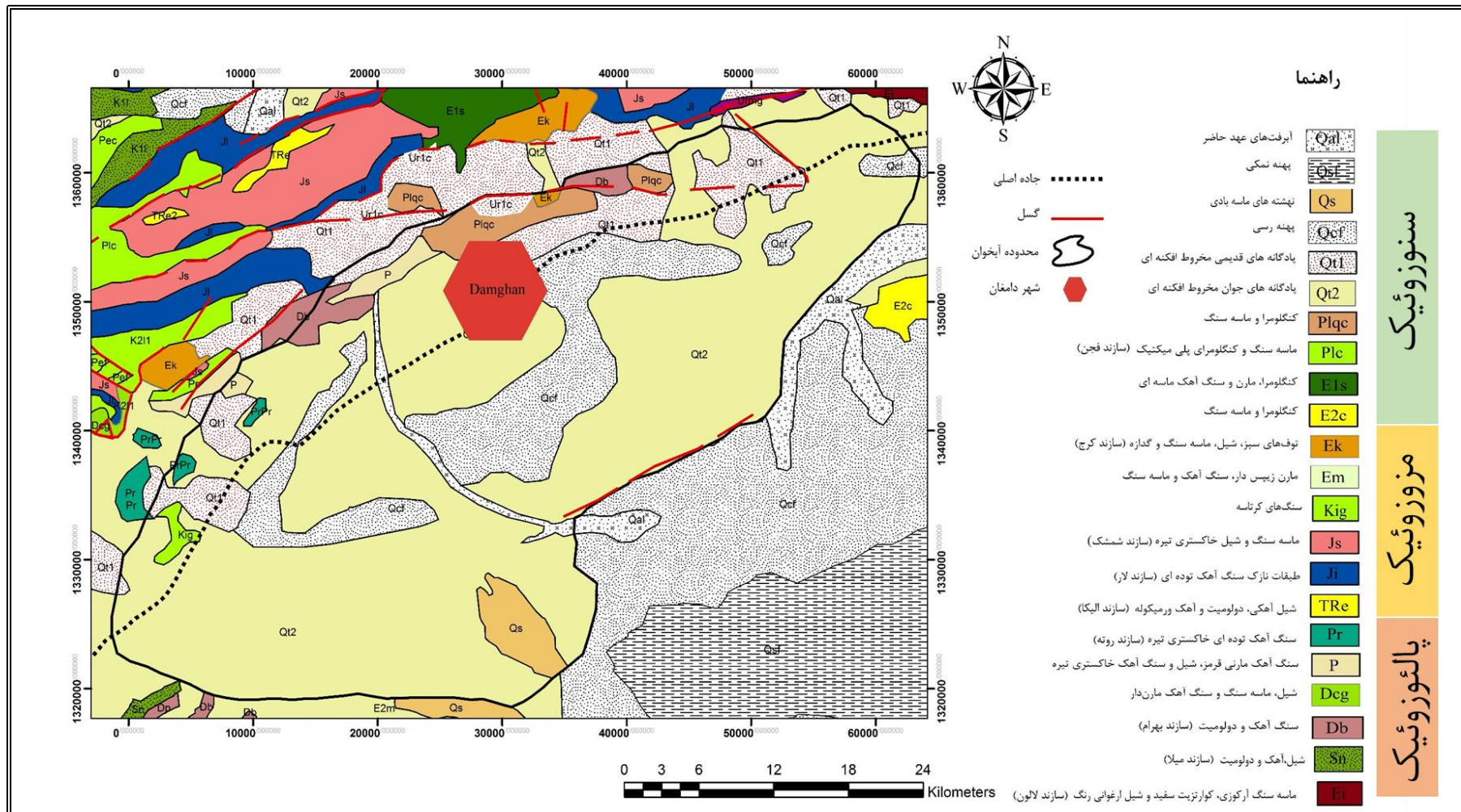
میانی دشت با افزایش رسوبات ریزدانه میزان قابلیت انتقال کاهش می‌یابد. این موضوع بیانگر آن است که وسعت زیادی از منطقه دارای قابلیت انتقال ضعیفی می‌باشد. میزان آبدهی چاه‌های بهره برداری در قسمت میانی دشت نیز این موضوع را تأیید می‌کند. به طوری که میزان آبدهی بیشتر چاه‌های حفر شده در قسمت میانی دشت حداکثر تا ۱۴ لیتر بر ثانیه است. میزان آبدهی در حاشیه‌های جنوبی دشت که بر میزان رسوبات دانه ریز افزوده می‌شود تا ۱۰ لیتر بر ثانیه کاهش می‌یابد. جنس سنگ کف این دشت رسی بوده و بیشترین عمق آن در شمال شرق دشت دامغان در مجاورت روستای مهماندوست و به مقدار ۳۲۰ متر محاسبه شده است. حداقل عمق سنگ کف نیز در حاشیه جنوب شرقی دشت و به مقدار ۱۴۰ متر می‌باشد (مهندسین مشاور طرح آبریز ۱۳۸۸).

۱-۶ زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات واحدهای ساختمانی ایران (اشتوکلین، ۱۹۶۸) عمدتاً در شرقی ترین بخش زون البرز مرکزی و تا حدودی نیز در ایران مرکزی قرار می‌گیرد. زمین شناسی محدوده مورد مطالعه را می‌توان به دو بخش زمین شناسی ارتفاعات و دشت تقسیم نمود.

۱-۶-۱ چینه شناسی منطقه

واحدهای رسوبی متنوعی از زمان کامبرین زیرین تا کواترنری در منطقه مورد مطالعه گسترش دارند. شکل (۱-۴) نقشه زمین شناسی منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت سازندهای اطراف دشت در برقراری رابطه هیدرولیکی با آبرفت در این قسمت به بررسی این سازندها پرداخته شده است (آقابات، ۱۳۸۳).



شکل ۱-۴: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰: (شاهرود و دامغان)

۱-۶-۱- نهشته‌های پالئوزوئیک

سازندهای این دوران عمدتاً از شیل، ماسه‌سنگ و سیلتستون تشکیل شده‌اند. بخشی از سازندهای این دوران نیز از آهک‌های نازک لایه تا متوسط لایه تشکیل شده که به دلیل تراکم زیاد این آهک‌ها، خردشدگی کم و محدودیت قابلیت انحلال آنها تجمع آب در آنها ناچیز بوده و استعداد ایجاد آبخوان را ندارند. سازندهای این دوران عبارتند از :

سازند سلطانیه: این سازند از طبقات آهکی، شیل و دولومیت متبلور حاوی نودول‌های چرتی و استروماتولیت تشکیل شده است. قدیمی ترین چینه‌های منطقه دامغان متعلق به این سازند و به سن کامبرین پیشین هستند که در ناحیه تویه دروار در امتداد جاده دامغان- چشمه علی و در میلاکوه رخنمون دارند.

سازند باروت: این سازند به سن کامبرین پیشین بوده و به لحاظ سنگ‌شناسی شامل شیل‌های رسی و ماسه‌ای بوده که درون لایه‌هایی از دولومیت و سنگ آهک دارد (اشتوکلین و همکاران، ۱۹۶۴). مساحت رخنمون این سازند در محدوده مورد مطالعه حدود ۹/۸ کیلومتر مربع می‌باشد و با توجه به جنس آن از لحاظ هیدروژئولوژی اهمیت چندانی ندارد.

سازند زاگون: سازند آواری زاگون شامل شیل، ماسه سنگ‌های آرکوزی و سیلتستون با رنگ قرمز تا بنفش است. این سازند به سن کامبرین پیشین بوده و در منطقه تویه‌دروار رخنمون دارد. مساحت رخنمون این سازند در محدوده مورد مطالعه حدود ۱۹/۶ کیلومتر مربع می‌باشد و با توجه به جنس آن اهمیت چندانی از نظر هیدروژئولوژی ندارد.

سازند لالون: این سازند در شمال دامغان از سه واحد سنگی به شرح زیر تشکیل شده است:

۱. ماسه‌سنگ‌های آرکوزی با سیمان سیلیسی در پایین که دارای ساختارهای فیزیکی مانند لایه بندی متقاطع و ترک گلی می‌باشند.

۲. شیل ارغوانی رنگ میانی که ضخامت این واحد سنگی از ۳۰ تا ۷۰ متر در منطقه متغیر است.

۳. ماسه سنگ‌های کوارتزیتی سفیدرنگ فوقانی که ضخامت آن در شمال دامغان به دلیل گسلیدگی قاعده این سازند از ۲۰ تا ۵۰ متر در تغییر است. این واحد همراه با سازند میلا و لالون در میلاکوه در ناحیه نصرت‌آباد کاملترین رخنمون کامبرین منطقه را تشکیل می‌دهد. این سازند بیانگر شرایط اکسیدان و محیط کم عمق است و در محدوده مورد مطالعه ۴۹/۷ کیلومتر رخنمون دارد. این سازند از نفوذپذیری کمی برخوردار است و اهمیت چندانی از لحاظ هیدروژئولوژی ندارد.

سازند میلا: سنگ‌های دولومیتی، آهکی و ماسه‌سنگی با ضخامت حدود ۵۸۵ متر سنگ‌شناسی اصلی این سازند را تشکیل می‌دهند. برش الگوی این سازند در دامنه‌های جنوبی میلاکوه واقع در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهر دامغان و ۲۵ کیلومتری شمال غربی روستای قوشه قرار دارد. این سازند که بر روی کوارتزیت رأسی سازند لالون قرار گرفته به پنج بخش تقسیم شده که به ترتیب عبارتند از:

بخش ۱: دولومیت همراه با درون لایه‌هایی از شیل زرد رنگ به ضخامت ۱۸۹ متر

بخش ۲: سنگ آهک با درون لایه مارنی حاوی آثار فسیلی تریلوبیت و بازوپایان به ضخامت ۸۹ متر

بخش ۳: آهک بلورین با آثار گلوکونیت و با فسیل تریلوبیت و بازوپایان به ضخامت ۸۲ متر

بخش ۴: ماسه سنگ، آهک و سیلتستون با ضخامت ۹۶ متر حاوی آثار فسیلی تریلوبیت و بازوپایان

بخش ۵: شیل و ماسه‌سنگ‌های بدون فسیل به ضخامت ۱۲۶ متر

این سازند دارای سن کامبرین میانی- اردوئین زیرین بوده و در محدوده مطالعاتی دارای وسعت ۱۱/۷ کیلومترمربع می‌باشد. این سازند با توجه به جنس آن از لحاظ هیدروژئولوژی اهمیت چندانی ندارد و به علت عدم تراوایی بعضاً نقش سنگ کف را در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی ایفا می‌کند.

سازند خوش بیلاق: سنگ آهک، شیل، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و سیلتستون لیتولوژی این سازند در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. سازند خوش بیلاق سن دونین میانی تا دونین پسین داشته و در پایین و بالا به ترتیب توسط سازند پادها و مبارک محدود می‌گردد. این سازند با مساحت ۳/۳ کیلومترمربع در شمال غرب دامغان رخنمون دارد و به لحاظ هیدروژئولوژی اهمیت چندانی ندارد.

نهشته‌های دونین - کربنیفر زیرین :

با توجه به نقش گسل بنیادی عطاری به عنوان مرز جداکننده دو پهنه ساختاری- رسوبی البرز و ایران مرکزی (آقنابتی، ۱۳۸۵) سازندهای این دوره در دو ناحیه شمال و جنوب گسل عطاری بررسی شده است.

سازندهای واقع در شمال گسل عطاری:

سازند جیرود: این سازند دارای سن دونین بالایی بوده و در برش الگو به چهار عضو A, B, C و D تقسیم می‌شود. این سازند در بخش زیرین شامل رسوبات آواری ماسه‌سنگی، شیلی، سنگ آهک ماسه‌ای همراه با یک افق فسفات‌ه و در بخش بالایی شامل سنگ آهک‌های سیاه رنگ همراه با شیل‌های مارنی می‌باشد (درویش زاده ۱۳۸۳). رخنمون این سازند در منطقه مورد مطالعه ۱۳۹/۸ کیلومتر مربع است و دارای فسیل‌های فراوان گیاهی و بازوپایان می‌باشد.

سازند مبارک: این سازند شامل آهک‌های فسیل دار، تیره رنگ، نازک تا ضخیم لایه است که درون لایه‌های شیلی نیز دارد. سن این سازند کربنیفر پیشین است و در برش معدن بالاست (شمال غرب دامغان) به ضخامت حدود ۱۱۵ متر و همچنین در برش کوه لبنسار (شمال دامغان) به ضخامت حدود ۴۹۱ متر وجود دارد و دارای تنوع رخساره‌ای و فسیلی بسیار جالبی می‌باشد.

سازندهای واقع در جنوب گسل عطاری:

سازند پادها: سن سازند پادها به دونین پیشین نسبت داده می‌شود. در محدوده مورد مطالعه این سازند با لیتولوژی ماسه سنگ‌های آرکوزی با میان لایه‌های نازکی از دولومیت زرد و شیل میکادار مشخص می‌شود. رخنمون آن در محدوده موردنظر در حاشیه شمالی دشت با روند غربی- شرقی و حدود ۱۳ کیلومتر مربع است (مهندسین مشاور طرح آبریز ۱۳۸۸).

سازند سیب زار: این واحد سنگ چینه‌ای مربوط به دونین میانی بوده و به طور هم شیب توسط آهک بهرام پوشیده می‌شود و خود بر روی سازند پادها قرار می‌گیرد. رخنمون آن در منطقه حدود ۲۵/۴

کیلومتر مربع است. این سازند در محدوده مطالعاتی شامل بیش از ۹۰ متر دولومیت زردرنگ نازک لایه است که گاهی حاوی باندهای چرتی نیز می‌باشد.

سازند بهرام: سن این سازند بر اساس محتوی فسیلی به اواخر دونین میانی و دونین پسین منسوب شده است. در محدوده مطالعاتی سازند بهرام شامل تناوبی از آهک و دولومیت لایه‌ای با ضخامت حدود ۲۵۰ متر است. این سازند به دلیل عملکرد فرآیندهای هوازگی و تکتونیکی و نیز لیتولوژی مناسب آن آبخوان کارستی را در منطقه ایجاد نموده به طوری که منبع تغذیه بعضی از چشمه‌های منطقه نظیر چشمه کلاغ آشیان و چشمه آب رندان آهک‌های این سازند می‌باشد. سازند بهرام در منطقه با مساحت ۲۲/۹ کیلومتر مربع گسترش دارد (مهندسین مشاور طرح آبریز ۱۳۸۸).

سازند دورود: این سازند حاصل نخستین چرخه رسوبگذاری پرمین البرز است. سنگ‌شناسی اصلی سازند دورود شامل شیل، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون و آهک‌های فسیل دار است و سن آن با توجه به محتوی فسیلی در بخش آهکی پرمین پیشین در نظر گرفته است. این سازند در منطقه مطالعاتی دامغان شامل کوارتزیت، شیل و ماسه‌سنگ می‌باشد و در کوه چهارلت به صورت دگرشیب بر روی سازندهای هم عرض جیروود با ضخامت حدود ۹۵ متر و با مساحت ۲۹/۸ کیلومتر مربع رخنمون دارد.

سازند روته: این سازند حاصل رسوبگذاری سیکل دوم رسوبی پرمین البرز است. سنگ‌شناسی اصلی این سازند شامل سنگ آهک تیره (با منشأ زیستی) و ضخیم تا متوسط لایه است که در بعضی مناطق لایه‌های مارنی نازک لایه نیز دیده می‌شود. آهک روته معمولاً صخره ساز بوده و با ناپیوستگی هم شیب بین دو سازند دورود در پایین و سازند الیکا در بالا قرار می‌گیرد (شعبانیان، ۱۳۹۱). سن سازند روته پرمین میانی-پسین تعیین شده است. در محدوده مورد مطالعه این سازند شامل آهک‌های سفید بلوری و خاکستری و به وسعت حدود ۱۱/۸ کیلومتر مربع است.

۱-۶-۱- نهشته‌های مزوزوئیک

در دوران مزوزوئیک شرایط برای رسوبگذاری آهک در اکثر نقاط ایران فراهم بوده است. به طوری که تمام منابع آب کارستی منطقه مورد مطالعه به این دوران زمین‌شناسی مربوط می‌شود. سازندهای الیکا، لار، آهک‌های کرتاسه بالایی و کرتاسه زیرین از جمله سازندهای کارستی این دوران است که ارتفاعات منطقه را تشکیل می‌دهند و از نظر پتانسیل تأمین آب حائز اهمیت هستند. این سازندها باعث به وجود آمدن چشمه‌های متعددی در حاشیه شمالی منطقه شده‌اند. به عنوان مثال چشمه علی نمونه‌ای از این چشمه‌هاست که قرارگیری آهک‌های کارستی لار بر روی سازندهای دلیچای و شمشک و عملکرد گسل منطقه موجب رخنمون این چشمه در سطح زمین شده است.

سازند الیکا: سن سازند الیکا تریاس پیشین تا میانی بوده و بین دو سازند نسن در پایین و سازند شمشک در بالا قرار می‌گیرد. این سازند در منطقه مورد مطالعه متشکل از آهک‌های توده‌ای ورمیکوله است که به سمت بالا به آهک‌های دولومیتی ضخیم لایه و دولومیت تغییر می‌کند. سازند الیکا در منطقه دارای وسعتی حدود ۱۱۸ کیلومترمربع می‌باشد و از نظر مورفولوژی ایجاد ستیغ‌هایی در محدوده مطالعاتی نموده است. این سازند با توجه به جنس رسوبات آن که شامل آهک و دولومیت توده‌ای می‌باشد نقش بسزایی در تشکیل آبخوان‌های کارستی در منطقه ایفا می‌کند.

سازند شمشک: سازند شمشک با سن رتو- لیااس در محدوده مورد مطالعه از چهار بخش تشکیل شده است:

(۱) بخش ماسه‌سنگ زیرین با ضخامت بیش از ۵۰۰ متر که فاقد زغال است.

(۲) بخش زغال دار زیرین همراه با شیل به ضخامت حدود ۱۱۰۰ متر

(۳) بخش ماسه سنگی بالایی

(۴) بخش ماسه سنگ سبز، شیل و سیلتستون زغال دار بالایی

این نوع لیتولوژی نقش سنگ کف را برای سازندهای آبدار منطقه ایفا می‌کند. این سازند پراکندگی

وسیعی در منطقه مورد مطالعه دارد و حدود $421/6$ کیلومترمربع را دربرمی‌گیرد. سازند شمشک در تمام نواحی شمالی منطقه به همراه سازندهای کرتاسه فوقانی و به خصوص سازند لار بوده و گسترش اصلی آن در نواحی طزره و کوه لالان بیشتر می‌باشد.

سازند دلیچای: این سازند با سن ژوراسیک میانی بر روی نهشته‌های گروه شمشک قرار گرفته و توسط سازند لار پوشیده می‌شود. سنگ‌شناسی سازند دلیچای شامل آهک‌های مارنی و ماسه‌ای نازک لایه، با لایه بندی منظم و با میان لایه‌هایی از شیل مارنی است و دارای آمونیت‌های فراوان می‌باشد. این سازند در منطقه با مساحت $43/7$ کیلومترمربع رخنمون دارد و با توجه به جنس رسوبات آن که نفوذناپذیراند به عنوان سنگ کف برای سازندهای آبدار جوانتر از خود محسوب می‌گردد. اغلب چشمه‌های موجود در محدوده مطالعاتی در محل برخورد سازندهای آبدار لار و آهک‌های کرتاسه با سازندهای فوق ظاهر شده‌اند که از آن جمله می‌توان چشمه علی دامغان را نام برد (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۸).

سازند لار: این سازند با سن ژوراسیک پسین روی سازند دلیچای و زیر آهک‌های کرتاسه زیرین قرار می‌گیرد. سازند آهکی لار صخره ساز بوده و بلندترین ارتفاعات منطقه دامغان را تشکیل می‌دهد و شامل دو بخش است. بخش زیرین که مشتمل بر ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر لایه‌های آهکی با باندهای چرتی فراوان است و بخش بالایی که از حدود ۵۵۰ متر آهک‌های ضخیم لایه سفید- خاکستری صخره ساز با مقدار کمی چرت تشکیل شده است. این سازند در ارتفاعات شمال دامغان با مساحت $414/2$ کیلومترمربع گسترش دارد و به دلیل خردشدگی فراوان، انحلال آهک‌ها و وجود درز و شکاف‌های توسعه یافته و نیز دریافت نزولات جوی بیشتر بالاترین درجه کارستی شدن را در بین سازندهای منطقه دارد و غنی ترین منابع آب زیرزمینی را در نواحی کوهستانی منطقه تشکیل می‌دهد. آهک‌های مذکور به همراه تکتونیک محلی نقش بسزایی در ایجاد چشمه‌ها نظیر چشمه علی، چشمه قلقل، چشمه نصرت آباد و چشمه‌های منطقه دیباج دامغان ایفا می‌کند به گونه‌ای که بخش قابل توجهی از آب مصرفی

دامغان و تغذیه سفره آب زیرزمینی آن از طریق آب چشمه علی تأمین می‌گردد (مهندسین مشاور طرح آبریز ۱۳۸۸).

سازندهای واقع در جنوب گسل عطاری:

در کوه تک اورس و قارقارو لایه‌های آهکی تیره رنگی دیده می‌شود که شامل آهک و آهک دولومیتی است. این آهک‌ها دارای درز و شکاف‌های فراوان، مناظر لانه کبوتری و غارهای وسیع انحلالی در خود بوده و به عنوان منبع آب زیرزمینی کارستی در منطقه به شمار می‌آیند. احتمالاً امتداد آهک‌های کرتاسه پایینی در غرب امیرآباد در زیر رسوبات دشت سبب تشکیل لایه‌های آب دار درز و شکاف دار در این منطقه شده است (مهندسین مشاور طرح آبریز ۱۳۸۸).

سازندهای واقع در شمال گسل عطاری:

سازند تیزکوه: سن این سازند آپسین تا آلبین است و در منطقه مورد مطالعه از سنگ آهک‌های ضخیم لایه و توده‌ای تشکیل شده که حاوی فسیل‌های دو کفه‌ای رودیست و روزنبر اربیتولینا است. سازند تیزکوه به طور هم شیب بر روی سازند لار قرار گرفته و خود با یک دگرشیبی زاویه دار در زیر طبقات رسوبی قرمز رنگ سازند فجن قرار دارد. عواملی نظیر درجه خلوص بالای آهک‌های مذکور، دریافت نزولات جوی بیشتر به دلیل ستیغ ساز بودن و نیز برودت هوا در نتیجهی داشتن ارتفاع زیاد، همگی سبب انحلال و جذب بیشتر گاز کربنیک در آب‌های نفوذی در این سازند شده و در آخر به کمک نیروهای تکتونیکی موجب توسعه درز و شکاف‌ها و به دنبال آن ذخیره آب در این سازند شده است (مهندسین مشاور طرح آبریز ۱۳۸۸).

۱-۶-۱-۳ نهشته‌های سنوزوئیک

رسوبات این دوران اغلب شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ، مارن ژپیس دار، هالیت، توف و توف‌های آندزیتی و کمی آهک مارنی می‌باشد که با توجه به جنس آنها اهمیتی از لحاظ هیدروژئولوژی ندارند. این رسوبات سبب افزایش املاح و شوری آب‌های منطقه می‌گردند.

سازند فجن: این سازند از نهشته‌های دریایی پالئوسن در منطقه دامغان می‌باشد و لیتولوژی آن شامل کنگلومرا با منشأهای مختلف، ماسه‌سنگ قرمز رنگ و مارن است، هر چند گدازه‌های آتشفشانی و آگلومرا نیز از فجن گزارش شده است. این سازند با دگرشیبی زاویه دار بر روی آهک‌های سازند تیزکوه قرار گرفته و به طور هم شیب توسط سازند زیارت پوشیده می‌شود. سازند فجن در غرب و شمال غرب دامغان ۴۲/۱ کیلومترمربع رخنمون دارد که به علت سیمانی شدن و نداشتن درز و شکاف به لحاظ هیدروژئولوژی فاقد اهمیت می‌باشد.

سازند زیارت: این سازند دارای سن ائوسن میانی است و به طور هم شیب بر روی سازند فجن قرار گرفته و در بالا توسط توفهای کرج پوشیده می‌شود. سازند زیارت در محدوده مورد مطالعه از آهک نومولیتی ماسه‌ای، شیل و مارن به ضخامت بیشتر از ۱۵۰ متر تشکیل شده و حدود ۸/۱ کیلومترمربع رخنمون دارد. عملکرد فرآیندهای انحلالی در آهک‌های این سازند در برخی مناطق تشکیل آبخوان کارستی را داده است. چشمه قلقل نیز از حد فاصل سازندهای لار و زیارت سرچشمه می‌گیرد و احتمالاً از نظر کیفی تحت تأثیر هر دو سازند می‌باشد (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۸).

سازند کرج: این سازند دارای سن ائوسن میانی است و با ناپیوستگی فرسایشی روی سازند شمشک قرار گرفته و خود توسط طبقات قرمز رنگ نئوزن پوشیده می‌شود. سازند کرج در منطقه مورد مطالعه شامل توفهای سبز، شیل توفی، ماسه‌سنگ و گدازه است که در طول جاده‌ی دامغان - دیباج ضخامت زیادی داشته و وسعت آن حدود ۱۸۷/۱ کیلومترمربع است. این سازند مهمترین سازند غیر کربناته تراوا در منطقه بوده که تحت عملکرد سیستم گسل‌های موجود به صورت موزائیکی شکسته شده است. این شکستگی‌ها اغلب از گسترش سطحی و عمقی برخوردارند و موجب تراوایی نسبتاً خوب این توفها شده است (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۸).

سازند سرخ میوسن: سن این سازند الیگوسن - میوسن می‌باشد و در محدوده‌ی مطالعاتی شامل مارن سرخ تا سبز زیتونی است که در غرب دامغان و نیز در جاده دامغان - شاهرود به صورت تپه‌های ممتدی مشاهده می‌شوند. به علت ناتراوا بودن این سازند نقش سنگ کف را در مناطق کوهپایه‌ای ایفا می‌کند.

سازند هزاردره: این سازند به سن پلیو- پلئیسوسن بوده و در منطقه دامغان از حدود ۱۰۰ متر کنگلومرا با سیمان سست و قلوه سنگ‌های گرد شده‌ی دارای لایه بندی و شیب حداکثر ۱۰ درجه تشکیل شده و در تپه‌های جنوب منطقه دیباج و شمال شرق دامغان رخنمون دارد (قرائتی ۱۳۹۰). این سازند به لحاظ هیدروژئولوژی فاقد اهمیت است.

۱-۶-۱-۴ نهشته‌های کواترنری

در اوایل این دوران فاز کوهزایی پاسادنین رخ داد که موجب چین خوردگی سازندهای قدیمی تر و تکامل مورفولوژی فلات ایران شده است. نهشته‌های این دوران بخش وسیعی از کوهپایه‌ها و نیز کف دره‌ها را می‌پوشاند و در بستر رودخانه‌ها تشکیل پادگانه‌های آبرفتی را می‌دهند (آقاناتی، ۱۳۸۳). وجود این رسوبات درشت دانه با تراوایی زیاد و هدایت هیدرولیکی قائم در ابتدای دشت و نیز بالا بودن میزان نزولات جوی در منطقه به تغذیه مناسب آبخوان کمک می‌کند. رسوبات مخروط افکنه‌ای از سمت ارتفاعات به طرف دشت دانه ریزتر می‌گردند. این رسوبات ابتدا با شیب تند و سپس شیب ملایم به دشت‌های آبرفتی کواترنری منتهی می‌شوند و کل دشت دامغان را می‌پوشانند. این رسوبات در مناطقی که دانه‌بندی مناسبی دارند و میزان بارش زیاد باشد و یا در ارتباط هیدرولیکی با سازندهای آبدار تراوای مجاور باشند می‌توانند آبدهی مناسبی داشته باشند (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۸). رسوبات دشت دامغان بر مبنای لیتولوژی، چینه شناسی و ژئومورفولوژی در دسته‌های زیر تقسیم بندی می‌شود:

نهشته‌های آبرفتی: گسترش این رسوبات بیشتر در حاشیه‌های دشت و کف مسیل‌ها می‌باشد و اندازه ذرات آنها به طرف شمال افزایش می‌یابد. به دلیل پایین رفتن سطح اساس فرسایش (چاله دامغان) در طول زمان و ایجاد پادگانه‌های آبرفتی و تغییر رژیم سیلابی این نهشته‌ها را به سه واحد چینه شناسی به شرح زیر تفکیک می‌شوند:

واحد Q_{t1} : ضخامت این واحد در دره تویه- دروار حدود ۲۵ متر بوده و به عنوان مرتفع ترین پهنه رسوبی نواحی پدیمنتی منطقه شناخته می شود. ذرات آن فاقد جورشدگی و اندازه آنها در حد قلوه سنگ می باشد و سیمان آن بسیار ضعیف است.

واحد Q_{t2} : این واحد بر روی Q_{t1} قرار دارد و اندازه ذرات آن از Q_{t1} کوچکتر است. واحد Q_{t2} از پادگانه ها و بادبزن های آبرفتی جدیدتر نظیر بادبزن آبرفتی دامغان تشکیل شده است.

واحد Q_{a1} : این واحد آبرفت های عهد حاضر را شامل می شود و به سه بخش تقسیم می شود :

- (۱) بخش عمده این واحد رسوبات کف کانال مسیل ها و رودخانه ها می باشد.
- (۲) آبرفت های دانه درشت با گردشگی خوب که پراکندگی کمی دارند.
- (۳) بادبزن های آبرفتی در حال تشکیل که از آن جمله می توان بادبزن آبرفتی غرب امیرآباد را نام برد. این رسوبات از نظر رسوب شناسی نابالغ هستند و جورشدگی ضعیف دارند. با دور شدن از منشأ این رسوبات به طور بین انگشتی به رخساره های رسی و پلایایی تبدیل می شوند.

نهشته های سیلابی ریزدانه Q_{sc}

این نهشته ها تقریباً کل منطقه مورد مطالعه را پوشانده و شامل رس ماسه ای، ماسه رسی و رس هستند که گاهی دارای میان لایه های دانه درشت تر نیز می باشند. این رسوبات حاصل رسوبگذاری مواد ریزدانه سیلاب ها بعد از نقطه تقاطع بادبزن های آبرفتی هستند از این رو ضخامت زیادی دارند. پیدایش این رسوبات مرهون شیب ملایم جلگه ها و کاهش سرعت جریان آب است. تغییر در شرایط رسوبگذاری و تناوب آن در طول زمان سبب تشکیل لایه های با تراوایی متفاوت شده و آبخوان های آزاد و محصور را در دشت دامغان تشکیل داده است. گاهی وجود عدسی های رسی در این رسوبات تشکیل سفره های معلق را نیز می دهد.

نهشته های بادرفتی:

این رسوبات در منطقه به دو صورت مختلف وجود دارند:

رسوبات سریر: این رسوبات ضخامت ناچیز دارند و شامل دانه‌های ریگ و ماسه درشت با جورشدگی بد یا متوسط می‌باشند که دشت‌های ریگی منطقه را تشکیل می‌دهند.

رسوبات ماسه بادی: این رسوبات گردشدگی خوب دارند و تشکیل تپه‌های ماسه‌ای را می‌دهند. جنس آنها از ماسه ریز و به رنگ قهوه‌ای کمرنگ می‌باشند. این تپه‌ها برجستگی‌های مخروط مانندی را در غرب چاله دامغان به وجود می‌آورند و تا شرق روستاهای علیان، صلح آباد، کبوترخان و سلطانیه ادامه دارند (مهندسین مشاور طرح آبریز ۱۳۸۸).

نهشته‌های پلایایی (Q^{mf} و Q^{sf}):

این رسوبات به دلیل زهکشی و تبخیر آب‌های زیرزمینی کم عمق این منطقه و آب‌های سطحی جمع شده در آن به وجود آمده و عبارتند از:

پهنه‌های گلی: این نهشته‌ها با واحد Q^{mf} مشخص شده و اغلب از رس شوری که بر اثر زهکشی آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی نمناک است و معمولاً دارای ترک‌های گلی است تشکیل شده‌اند. **پهنه‌های نمکی:** این رسوبات با واحد Q^{sf} مشخص شده و از هالیت و سایر تبخیری‌ها تشکیل شده‌اند. لازم به ذکر است که مرز این دو واحد رسوبی تدریجی می‌باشد. بدین ترتیب که از حاشیه پلایا به سمت مرکز، به تعداد لکه‌های سفید نمکی بر روی پهنه‌های گلی افزوده می‌شود تا اینکه در مرکز پلایا، تشکیل پهنه‌های نمکی را می‌دهد.

۱-۶-۲ تکتونیک ناحیه‌ای

دشت دامغان در غربی‌ترین بخش زون ساختاری البرز شرقی و در دامنه جنوبی این رشته کوه واقع شده است، لذا عمده ساختارهای تکتونیکی این منطقه روندهای البرز شرقی (NE-SW) را دنبال می‌کنند. این منطقه از صفحات متعددی که روی هم رانده شده‌اند، به وجود آمده است. شواهد دال بر راندگی از شمال به جنوب می‌باشد. وجود گسل‌های جوان کواترنر نیز مؤید فعالیت جاری نیروهای

زمین ساختی در منطقه است. چشمه‌های منطقه غالباً روندی مشابه با روند کلی گسل‌ها و چین خوردگی‌ها دارند که نشان می‌دهد اغلب چشمه‌ها از عملکرد نیروهای تکتونیکی در سازندهای سخت به وجود آمده‌اند. در برخی مناطق ارتباط هیدرولیکی آبخوان سازند سخت و دشت توسط گسل‌ها قطع شده و مانند یک سد هیدرولیکی، سبب تغییر تراز آب زیرزمینی در دو طرف خود شده است (مهندسین مشاور طرح آبریز ۱۳۸۸).

۱-۶-۲-۱ گسل‌ها

دشت دامغان از نظر ساختمانی یک چاله تکتونیکی با روند شمال شرقی- جنوب غربی است و گسل‌های زیادی را شامل می‌شود که نقش مهمی در زمین ساخت منطقه و هم‌چنین در وضعیت هیدروژئولوژیکی دشت مورد مطالعه دارند. این گسل‌ها عبارتند از:

گسل عطاری: این گسل با روند شمال شرق- جنوب غرب در ۲۵ کیلومتری جنوب جاده تهران- مشهد بین دشت‌های سمنان و ناحیه قوشه توسعه دارد. حد غربی این گسل احتمالاً در دشت آهوان- قوشه با زاویه‌ای به گسل سمنان می‌پیوندد و امتداد شرقی آن در محدوده دشت دامغان یک سیستم گسلی را تشکیل می‌دهد که در زیر رسوبات این دشت پنهان می‌شود و احتمالاً به گسل میامی در ۱۰۰ کیلومتری شرق آن ختم می‌شود. به اعتقاد علوی نایینی (۱۹۷۲) این گسل حداقل از دوره کامبرین دارای فعالیت بوده است. نامبرده گسل عطاری را مرز جداکننده دو پهنه زمین ساختاری البرز و ایران مرکزی در نظر می‌گیرد (شعبانیان ۱۳۹۱).

سیستم گسل طزره: این سیستم گسلی روندی شرقی- غربی دارد و مهم‌ترین گسل آن، گسل طزره است که از نوع تراستی با شیب به سمت شمال می‌باشد. طول این گسل حدود ۶۰ کیلومتر است.

گسل صبور (دامغان): این گسل در شمال دامغان دارای روند شرقی- غربی بوده و منطبق بر گسل عطاری است. گسل صبور از نوع راندگی بوده و اثر آن در جاده دامغان- چشمه علی در دره‌ی رودبار به

صورت کنتاکت کنگلومرای پلیو- پلیستوسن با سازند کرج قابل مشاهده است و در طول شرقی آن سازند شمشک در مجاورت کنگلومرای نئوژن قرار می‌گیرد.

گسل شمال دامغان: این گسل روند شرقی- غربی دارد و از ۱۰ کیلومتری شمال شهر دامغان می‌گذرد و به دلیل اینکه نهشته‌های کواترنری را قطع می‌نماید معرف یک گسل کواترنری است. این گسل دقیقاً در مرز بین دشت و ارتفاعات عمل کرده و مؤید فعالیت امروزه‌ی نیروهای تکتونیکی در منطقه است. طول این گسل حدود ۱۰۰ کیلومتر برآورد می‌شود و از دو بخش شرقی و غربی تشکیل شده است. بخش شرقی (از شمال دامغان تا دهمل) از نوع گسل عادی به طول ۵۳ کیلومتر و بخش غربی (از شمال دامغان تا گردنه آهوان) از نوع گسل راندگی با شیب به سمت جنوب می‌باشد (بربریان و همکاران، ۱۳۷۵). این گسل تقریباً در ۴ کیلومتری جنوب گسل صبور قرار دارد و به سمت شرق در زیر آبرفت‌های جوان جنوب غربی شاهرود پوشیده می‌شود. در اثر عملکرد گسل شمال دامغان مجموعه‌ای از رسوبات دانه ریز به صورت سدی هیدرولیکی در مجاورت رسوبات دانه درشت تر مخروط افکنه‌ای قرار گرفته‌اند و باعث قطع شدن ارتباط هیدرولیکی این نواحی با نواحی بالادست و تغییر ناگهانی تراز آب زیرزمینی در دو سمت این گسل شده‌اند. این مسئله سبب کاهش میزان قابلیت انتقال در قسمت‌های میانی دشت شده و در نتیجه میزان تغذیه آب زیرزمینی از بالادست و متعاقباً توان آبدهی آبخوان را کاهش داده است (مهندسین مشاور طرح آبریز ۱۳۸۸).

گسل چشمه علی: این گسل دارای روند شمال شرقی- جنوب غربی بوده و سازندهای لار (تراوا) و شمشک (ناتراوا) را در کنار هم قرار داده است و موجب شده تا چشمه علی با دبی بالایی ظهور یابد.

۱-۶-۲-۲ چین خوردگی‌ها

چین خوردگی‌های موجود در منطقه، عموماً دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشند و نقش مؤثری در ایجاد آبخوان‌های کارستی منطقه داشته‌اند. اهمیت چین خوردگی‌ها در ایجاد آبخوان

کارستی و پیشرفت کارست شدگی، به دلیل ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌های در فاز چین خوردگی و افزایش تخلخل ثانویه و نیز هدایت آب‌های کارستی در مسیرهای جریان موازی با محور چین می‌باشد.

۱-۶-۲-۳ درزه‌ها

در محدوده مطالعاتی دامغان درزه‌ها و شکستگی‌ها غالباً روند شمال شرقی- جنوب غربی دارند (مهندسین مشاور کوبان کاو ۱۳۸۳). این درز و شکاف‌ها همراه با گسل‌ها و ناپیوستگی‌ها از عوامل اصلی گذر آب‌های سطحی به عمق و تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی می‌باشند.

فصل دوم :

مروری بر تحقیقات گذشته

مقدمه

در حال حاضر آلودگی آب‌های زیرزمینی در اکثر آبخوان‌های کشور به صورت یک مسئله حاد مشاهده می‌گردد. به طور کلی توسعه و رشد روزافزون صنعت و کشاورزی و افزایش جمعیت از یک طرف و تاثیر عموماً نامطلوب این توسعه بر روی محیط زیست باعث گردیده که در دهه اخیر توجه زیادی به آلودگی محیط زیست خصوصاً منابع آب معطوف گردد. کیفیت آب نشان دهنده وضعیت پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن می‌باشد. یکی از شاخص‌های مهم برای نشان دادن کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی میزان نیترات موجود در آن است. آلودگی آب‌های زیرزمینی با نیترات یک مسئله دائمی است و شناسایی منابع آن اولین گام برای کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی است (Kim et al, 2015). از نظر علمی نیترات محصول نهایی تثبیت هوازی ترکیبات نیتروژن دار و به عنوان پایدارترین ترکیب اکسیژن دار آنها محسوب می‌شود و از طریق تجزیه و فساد پسماندهای انسانی و حیوانی، تولیدات صنعتی و رواناب حاصل از کشاورزی وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (مرجانی، ۱۳۸۵). نیترات پس از ورود به منابع آب و خاک اثرات نامطلوبی بر سلامت گیاه، دام و انسان بر جای می‌گذارد. به علت تعدد منشأ و همچنین پیچیدگی چرخه نیتروژن شناخت منبع این نوع آلودگی از اهمیت بالایی برخوردار است (Keeney, 1989; Pawar, 1995). با توجه به رابطه نزدیک غلظت نیترات با پارامترهای هیدروشیمیایی، در مطالعات بررسی غلظت و آلودگی نیترات مطالعات هیدروشیمیایی و کیفی نیز لازم و ضروری است.

۱-۲ عوامل موثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی

یکی از موضوعات مهم در مطالعات زیست محیطی بررسی کیفیت آب است. امروزه مشخص شده است که کیفیت منابع آب زیرزمینی به اندازه کمیت آن اهمیت دارد زیرا عمده فعالیت‌های آب‌شناسی در جهت تأمین آب برای مصارف کشاورزی، شرب و یا صنعت می‌باشد که هرکدام بسته به اهداف مورد نظر می‌بایست دارای ویژگی‌های کیفی و معیاری مشخص باشند (Todd, 2005). کیفیت آب زیرزمینی در

یک منطقه تا حد زیادی توسط فرآیندهای طبیعی (لیتولوژی، اقلیم، سرعت آب زیرزمینی، کیفیت آب‌های تغذیه‌ای، برهم‌کنش آب با خاک و سنگ و تعامل با سایر آبخوان‌ها) و فعالیت‌های انسانی (کشاورزی، صنعت و افزایش بهره‌برداری از منابع آب) تعیین می‌شود (Jiang et al, 2009). این عوامل با یکدیگر و در بعضی موارد به تنهایی به عنوان عامل اصلی تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی عمل می‌کنند. میزان اثر هر یک از این عوامل بسته به شرایط آبخوان می‌تواند بسیار متفاوت باشد.

۲-۱-۱ لیتولوژی

آب زیرزمینی همواره به مقدار کم یا زیاد حاوی نمک‌های محلول است که عمدتاً از انحلال سنگ‌ها منشأ می‌گیرد. انواع و غلظت این نمک‌ها به سنگ‌ها و موادی که آب زیرزمینی با آنها در تماس است، سرعت حرکت آب، مسافتی که طی کرده و به منشأ آن بستگی دارد. آب‌های زیرزمینی موجود در سنگ‌های آذرین و سنگ‌های دگرگونی متبلور، به علت قابلیت انحلال نسبتاً کم این سنگ‌ها حاوی مواد محلول خیلی کمی هستند. سنگ‌های رسوبی خیلی بیشتر از سنگ‌های آذرین انحلال پذیرند و به علاوه گسترش بیشتری در سطح زمین دارند. سنگ‌های تبخیری مثل هالیت و ژپس انحلال پذیری زیادی دارند و موجب بالا بردن شوری آب‌های زیرزمینی می‌شوند (صداقت ۱۳۹۰).

۲-۱-۲ اقلیم

تغییر اقلیم تأثیر قابل توجهی بر منابع آب زیرزمینی و سطحی دارد زیرا تغییرات آب و هوایی می‌تواند اثرات زیادی بر چرخه آب از طریق بارش، تبخیر و تعرق و رطوبت خاک داشته باشد. با توجه به اینکه اثر تغییرات اقلیمی بر منابع آب‌های زیرزمینی در مقایسه با آب‌های سطحی غیر مستقیم و آهسته تر می‌باشد پایش وضعیت این منابع و حفظ پایداری آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. پدیده تغییر اقلیم در سال‌های اخیر منجر به تغییرات قابل توجهی در عناصر هواشناسی و در نتیجه وضعیت منابع سطحی و زیرزمینی در نقاط مختلف شده است. کاهش بارندگی تغذیه آبخوان‌ها را با مشکل مواجه ساخته و باعث افت تراز آب می‌گردد که این مورد با کاهش شدید کیفیت آب همراه خواهد بود. با توجه

به اینکه منابع زیرزمینی به عنوان یک منبع ارزشمند تأمین آب بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک هستند این مسئله باعث وارد شدن فشار و افت قابل توجه منابع زیرزمینی شده است.

۲-۱-۳ سرعت آب زیرزمینی

ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان نظیر ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، عمق سطح ایستابی، نوع و عمق آبخوان می‌باشد. این خصوصیات با تأثیر بر روی سرعت جریان آب زیرزمینی و زمان ماندگاری آب در آبخوان، روند واکنش آب-سنگ و در نتیجه کیفیت آب زیرزمینی را کنترل می‌کنند (Todd, 2005).

۲-۱-۴ نفوذ آب شور

نفوذ آب شور یکی از گسترده‌ترین و مهم‌ترین فرآیندهایی است که منجر به کاهش کیفیت آب در سطوح پایین‌تر از استانداردهای آب شرب و آبیاری می‌گردد. آب زیرزمینی ضمن عبور از منافذ خاک‌ها، مواد قابل حل ناشی از هوازدگی خاک را به خود می‌افزاید. آب‌های مازاد آبیاری که به داخل زمین نفوذ می‌کنند ممکن است مقادیر قابل توجهی از نمک‌ها را وارد آب زیرزمینی کنند. غلظت نمک در آب‌هایی که از منطقه ریشه گیاهان عبور می‌کنند معمولاً چندین برابر آبی است که برای آبیاری به کار می‌رود. این افزایش بیشتر مربوط به فرآیند تبخیر و تعرق است که باعث افزایش غلظت نمک‌ها در آب می‌شود. به علاوه مواد قابل حل موجود در خاک، کودها و جذب انتخابی نمک‌ها توسط گیاهان نیز در تغییر غلظت نمک‌ها در آب‌های نفوذی مؤثرند. این مشکل به دلیل رشد جمعیت، تمرکز ۷۰ درصد از جمعیت جهان در مناطق دشت ساحلی و بهره برداری آب از سفره‌های ساحلی تشدید می‌شود. وقتی یک آبخوان روی لایه ای از آب شور قرار می‌گیرد و از چاهی که به قسمت شیرین آبخوان نفوذ کرده است پمپاژ شود، به طور محلی فصل مشترک درزیر چاه بالا می‌آید. این پدیده را بالا آمدگی آب شور می‌گویند (صداقت، ۱۳۹۰).

۲-۱-۵ پساب‌های شهری و صنعتی، کشاورزی و افزایش بهره برداری

عوامل انسانزاد شامل مواردی همچون رشد جمعیت و توسعه شهری، پساب‌های صنعتی و خانگی، کشاورزی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان سبب افت منابع آب زیرزمینی و پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی مانند کاهش کیفیت آب شده است. با اینکه بسیاری از مواد شیمیایی به صورت طبیعی در آب وجود دارند اما غلظت‌های بالا باعث آلودگی آب می‌شوند (El- Sayed and Salem, 2015).

۲-۲ مروری بر مطالعات پیشین انجام شده در ایران و جهان در خصوص کیفیت منابع آب

کلانتریان و کرمی (۱۳۸۸) با هدف بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی سفره آب زیرزمینی منطقه تنکابن نشان دادند که با وجود پتانسیل آلودگی زیادی که در منطقه وجود دارد از جمله گسترش زمین‌های کشاورزی، بالا بودن سطح آب زیرزمینی، دانه درشت بودن رسوبات و قرارگیری سفره آب زیرزمینی در کنار دریای مازندران آلوده نیست، علت آن بارش زیاد و نرخ تغذیه سالانه بالا به سفره آب زیرزمینی می‌باشد و از سوی دیگر به علت دانه درشت بودن رسوبات پوشاننده زمان ماندگاری آب در آبخوان کوتاه است در نتیجه غلظت عناصر محلول در آب زیاد نمی‌باشد.

کامجو و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعات خود به منظور بررسی آماری کیفیت آب زیرزمینی دشت سمنان نمونه‌ها را به ۳ گروه از لحاظ کیفی تقسیم بندی کردند. با توجه به آنالیز خوشه‌ای انجام شده بر روی نمونه‌ها و نحوه توزیع آنها در دشت می‌توان اینگونه دریافت که نمونه‌های خوشه ۳ در نواحی شمالی دشت که عمدتاً دارای آب با کیفیت مناسب و از لحاظ زمین‌شناسی دارای آهک‌های لار و سنگ‌های دوران دوم می‌باشد تمرکز یافته‌اند. شاخه‌های ۱ و ۲ دارای تمرکز در قسمت مرکزی و جنوبی دشت می‌باشند که این قسمت از لحاظ زمین‌شناسی مربوط به دوران سوم و عمدتاً حاوی رسوبات تبخیری گچ و نمک می‌باشد. این قسمت از دشت دارای آب با کیفیت متوسط تا نامناسب می‌باشد.

گلپایگانی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای با هدف تشخیص تأثیر فعالیت‌های طبیعی و انسانی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت گرگان به بررسی پارامترهای اصلی هیدروشیمیایی این منابع پرداختند، نتایج نشان داد در بعضی مناطق مرکزی و شمال شرق و جنوب غرب دشت روند کیفی آب به سمت شوری و سولفات‌شدن می‌باشد که حاکی از فاضلاب خانگی و صنعتی حاوی نمک و سولفات می‌باشد.

کارآموز و همکاران (۱۳۹۰) اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان را مورد بررسی قرار دادند. برای رسیدن به این هدف ابتدا متغیرهای هواشناسی دما و بارش به کمک مدل آماری GCM شبیه سازی شده است. از اطلاعات ریزمقیاس شده جهت تعیین مقادیر تغذیه و تخلیه آبخوان استفاده می‌شود. برای بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در مقاطع مختلف، مدل هیدرولیکی آبخوان در محیط نرم افزار PMWIN توسعه داده شد. نتایج مطالعه حاکی از سیر نزولی حجم آبخوان با توجه به تغییرات اقلیمی و اثرات آن بر منابع می‌باشد.

طی مطالعات انجام شده به منظور بررسی نفوذ جبهه آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان‌های مجاور موقعیت خطوط تراز و به منظور تحلیل تبادلات آبی با دریاچه، تغییرات شوری آبخوان‌ها در دو دوره زمانی بررسی شد. آبخوان‌های بررسی شده از لحاظ شدت افزایش شوری در سه گروه بحرانی، در آستانه وضعیت بحرانی و نرمال دسته بندی شد. همچنین نتایج نشان داد آبخوان‌های شرق دریاچه نسبت به آبخوان‌های غربی وضعیت بحرانی تری دارند و در برابر تخریب آسیب پذیرترند. به دلیل بهره برداری زیاد، افزایش سطح زیر کشت و به دنبال آن حفر چاه‌های متعدد، در این منطقه این آبخوان‌ها در معرض هجوم آب شور قرار گرفته اند (جعفری و افتخاری، ۱۳۹۲).

روچی و همکاران (۱۳۹۲) برای بررسی شناسایی عوامل و منابع شوری و نیز ارزیابی فرآیندهای تأثیرگذار بر خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت الباجی در خوزستان با استفاده از نتایج سنجش شیمیایی نمونه‌های آب و نمودارهای گرافیکی نشان دادند که عوامل متعددی از جمله شرایط حوضه رسوبگذاری مواد سازنده آبخوان، واکنش آب با مواد آبرفتی دشت، تبخیر از آب زیرزمینی، آب برگشتی کشاورزی و

تغذیه از رودخانه کرخه کیفیت آب زیرزمینی دشت را کنترل می‌کنند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که از میان عوامل ذکر شده در بالا عامل اصلی شرایط محیط رسوبگذاری در یک حوضه بسته همراه با تبخیر زیاد می‌باشد که سبب افزایش غلظت یون کلرید و سدیم همزمان با تشکیل لایه آبدار گردیده است.

اسدی نیا (۱۳۹۳) به منظور بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی آبخوان دشت فومنات با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی ۴۴ نمونه آب زیرزمینی نشان داد که تیپ اغلب نمونه‌های آب بی‌کربناته کلسیک و بی‌کربناته منیزیک می‌باشد. علت غالب بودن بی‌کربنات‌ها تغذیه وسیع دشت به وسیله آهک‌های حاشیه دشت و انحلال سنگ‌های کربناته، فاصله کم مناطق تغذیه و تخلیه و درصد بالای نفوذ بارندگی در سطح دشت می‌باشد و حضور کلسیم در مقادیر بالا متأثر از انحلال کلسیت و ژپس می‌باشد.

در مطالعه‌ای به منظور بررسی تغییرات ۲۰ ساله سطح و شیمی آب زیرزمینی آبخوان دشت دامغان از آمار و اطلاعات ۳۷ پیزومتر و ۴۳ حلقه چاه بهره‌برداری واقع در دشت استفاده شد. نتایج نشان داد که سطح ایستابی طی این مدت پیوسته دارای روندی نزولی بوده است. بیشترین میزان افت در حاشیه شمال شرقی، مرکز و جنوب غربی دشت رخ داده است که علت آن بهره‌برداری بی‌رویه و کاهش بارندگی بوده است. حداقل میزان افت نیز در دامنه مخروط افکنه شمال دشت در مسیر ورودی رودخانه چشمه علی به دشت دامغان مشاهده شد. همچنین بررسی داده‌های شیمی آب نشان داد که طی این مدت میزان هدایت الکتریکی و مجموع یون‌های اصلی به ترتیب ۲۳ و ۲۵ درصد افزایش یافته، مقدار pH نیز حدود ۷ درصد کاهش داشته است. افزایش بیش از ۵۰ درصد هدایت الکتریکی در خروجی دشت دامغان و در نتیجه‌ی نفوذ شورابه‌های حاصل از کویر چاه جم به درون آبخوان روی داده است. نواحی دارای افزایش اندک هدایت الکتریکی نیز عمدتاً در منطقه تغذیه نیمه غربی دشت واقع گردیده‌اند (امیرحسینی، ۱۳۹۳).

در تحقیقی با استفاده از روش تحلیل عاملی به منظور شناسایی عوامل طبیعی و انسانزاد مؤثر بر آب زیرزمینی در سیستم رودخانه‌ای Nandong چین از ۴۲ چشمه نمونه‌برداری انجام شد، نتایج تغییرات ترکیب شیمیایی زیادی را در سراسر حوضه مورد مطالعه نشان داد، افزایش غلظت کلر، نیترات و سولفات به فعالیت‌های انسانی مانند کوددهی، تخلیه فاضلاب و دفع زباله در منطقه مربوط بود. مقادیر زیاد یون‌های کلسیم، بی‌کربنات و منیزیم نیز به تعامل آب-سنگ در سنگ‌های آهکی و دولومیتی منطقه نسبت داده می‌شود (Jiang et al, 2009).

نوحه گر و همکاران (Nohegar et al, 2011) در مطالعه خود به بررسی وضعیت هیدروشیمیایی و کیفیت آبخوان دشت میناب پرداختند. با مطالعه عناصر شیمیایی و با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی به این نتیجه رسیدند که در دشت میناب به دلیل نزدیکی به دریا و اثر حل و فصل مواد زمین‌شناسی EC آب زیرزمینی افزایش قابل توجهی را در شمال و جنوب شرقی دشت نشان می‌دهد.

یکی از اهداف اصلی تحقیق راجش و همکاران (Rajesh et al, 2011) در هند بررسی فرآیندهای تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی بود، که طی این تحقیق فرایند تبخیر از سطح چاه‌های منطقه مورد مطالعه به عنوان عامل اصلی کاهش کیفیت این آبخوان در نظر گرفته شد، آنها با رسم نمودارهای غلظت یون کلر-سدیم و کلسیم - بی‌کربنات منطقه و مقایسه آن با خط تبخیر نمونه آب زیرزمینی که دارای کمترین غلظت یونی هست، نشان دادند که تبخیر از چاه‌های منطقه که سطح آب در آنها بالا می‌باشد از عوامل اصلی اثرگذار بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در این منطقه می‌باشد.

بررسی هیدروشیمی آب سطحی رود نیل و آب‌های زیرزمینی منطقه صنعتی جنوب غرب قاهره نشان داد که آب سطحی در دسته خوب تا عالی قرار دارد اما آب‌های زیرزمینی به منظور هر گونه استفاده‌ای مناسب نیستند، علت آلودگی این منابع افزایش پساب کشاورزی، صنعتی و خانگی است که به خاطر حضور برخی از صنایع بزرگ ملی مانند آهن و فولاد، سیمان، خودروسازی، صنعت زغال سنگ و همچنین کارخانه‌های تولید آجر قرمز است (El- Sayed and Salem, 2015).

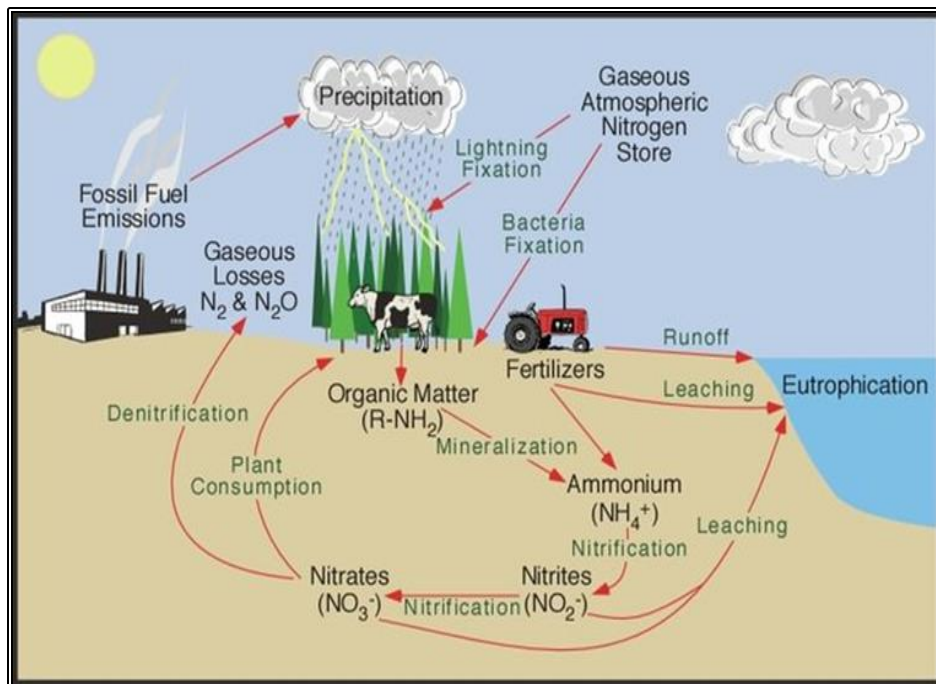
در مطالعه‌ای با هدف ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در مناطق روستایی شمال مالاوی از گمانه‌ها نمونه‌برداری انجام شد و پارامترهای pH، EC، کدورت، دما، نیترات، سولفات، فلوراید، کلسیم، منیزیم و روی مورد بررسی قرار گرفتند. مطابق با استانداردهای WHO برای اکثر پارامترها هیچ اختلاف معناداری مشاهده نشد. برخی از سایت‌ها آب بسیار سخت داشتند که احتمالاً به علت کانه‌زایی تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی است. نتایج آنالیزهای کیفی آب همبستگی مثبت بین هدایت الکتریکی آب با میزان منیزیم، کلسیم و آهن نشان داد. مقدار متوسط pH نیز از ۷/۵۸-۶/۸۴ در تمام نقاط نمونه‌برداری متغیر بود که این تغییرات به عوامل زمین‌شناسی در منطقه نسبت داده می‌شود. همبستگی بالایی بین کدورت آب و آهن، کلسیم و سولفات مشاهده شد. میانگین غلظت نیترات در منطقه ۱۰/۹۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود که به کودهای معدنی و فضولات حیوانی و هم‌چنین نزدیکی به چاه‌های فاضلاب نسبت داده می‌شود (Chidya et al, 2016).

دوایس و همکاران (Devic et al, 2016) به منظور بررسی تغییرات مکانی در کیفیت آب زیرزمینی در ۱۰ منطقه نماینده در صربستان پارامترهای اصلی کیفی آب و فلزات سنگین را اندازه‌گیری کردند، آنالیزها آلودگی شدید به منگنز، آرسنیک، نیکل، سرب و نیترات را مشخص کردند. منشأ آلودگی از منابع پراکنده نقطه‌ای (پساب شهری و صنعتی) و منابع انتشاری مانند فعالیت‌های کشاورزی بوده است. غلظت بالای سدیم نیز در اکثر نمونه‌ها نشان دهنده‌ی تعامل قوی بین آب و آبخوان مربوط به تبادل کاتیونی مستقیم بین آب زیرزمینی و ذرات رس مواد آبخوان و یا آلودگی از فاضلاب و مخازن سپتیک است.

۲-۳ مروری بر چرخه نیتروژن

نیتروژن یک عنصر ضروری برای موجودات است که نقش مهمی در وضعیت زیست‌محیطی سیستم‌های آبی دارد. غلظت بالای نیتروژن در آب آشامیدنی برای سلامت انسان مضر است (Yue et al, 2015). چرخه نیتروژن نشان دهنده یکی از مهم‌ترین چرخه‌های غذایی موجود در اکوسیستم‌هاست، که در

شکل (۱-۲) نشان داده شده است. گیاهان تنها می‌توانند نیتروژن را به شکل‌های یون آمونیوم، یون نیترات و به ندرت به صورت آمینواسیدها دریافت کنند. حیوانات نیتروژن آنها را برای متابولیسم بدن، رشد و تولید مثل دریافت می‌کنند. این نیتروژن آلی زمانی که وارد چرخه بیوژئوشیمیایی می‌شود از طریق تجزیه شیمیایی که توسط انواع باکتری‌ها و قارچ‌ها انجام می‌شود به یون آمونیوم تبدیل می‌شود. یون آمونیوم بار مولکولی مثبت دارد و به طور معمول توسط کلوئیدهای منفی خاک نگهداشته می‌شود (فرآیند تثبیت). آمونیوم توسط تبادل کاتیونی از کلوئیدها رها می‌شود. زمانی که آمونیوم آزاد شد توسط نوع خاصی از باکتری‌های اتوتروف به نیتريت تبدیل می‌شود، نوع دیگری از باکتری‌ها (متعلق به جنس Nitro bacter) نیتريت را به نیترات تبدیل می‌کنند. هر دو این فرآیندها شامل اکسیداسیون شیمیایی و در مجموع نیتریفیکاسیون نامیده می‌شوند. برخلاف آمونیوم نیترات بار منفی دارد و توسط کلوئیدهای خاک جذب نمی‌شود. به همین دلیل نیترات در خاک بسیار متحرک است و به راحتی آبشویی می‌شود. مقداری از این نیترات شسته شده از طریق سیستم هیدرولوژیکی جریان می‌یابد تا زمانی که به اقیانوس‌ها برسد که می‌تواند توسط فرآیند دنیتریفیکاسیون به جو برگردد (Pidwirny, 2011).



شکل ۱-۲: چرخه نیتروژن در طبیعت (Pidwirny, 2011)

۴-۲ منابع نیترات در آب‌های سطحی و زیرزمینی

آلودگی آب زیرزمینی با نیترات به خصوص در مناطق با زمین‌های کشاورزی فشرده یک مشکل پایدار است و شناسایی منابع آن اولین گام برای کاهش آلودگی نیترات آب‌های زیرزمینی است. نیترات در آب زیرزمینی می‌تواند منشأ طبیعی یا انسانزاد داشته باشد. مقدار غلظت طبیعی نیترات در محیط‌های طبیعی از ۱-۳ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نمی‌کند (Kim et al, 2015). از آنجا که پاکسازی منابع آلوده با هزینه‌های زیاد مربوط به یک سری از واکنش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای کاهش غلظت نیترات همراه است، بنابراین تشخیص منابع آلودگی برای کنترل و مدیریت آلودگی نیترات ضرورت دارد (Zhang et al, 2014).

۱-۴-۲ منابع طبیعی

منابع طبیعی نیترات شامل تثبیت نیتروژن آلی توسط باکتری‌ها، سازندهای زمین‌شناسی حاوی نیترات، کانه‌زایی نیتروژن فعال خاک، فضولات و بقایای حیوانی و گیاهی، بارش، تثبیت نیتروژن جوی و انحلال رسوبات تبخیری و خاک‌های غنی از نیترات است (Power and Schepers, 1989).

۲-۴-۲ منابع انسانزاد

غلظت‌های بالای نیترات از منابع انسانی در اواسط قرن بیستم عمدتاً به فعالیت‌های کشاورزی نسبت داده می‌شود با این حال نهشته‌های جوی، ترشح از مخازن سپتیک و نشت فاضلاب، استفاده از لجن فاضلاب در آبیاری، استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، لندفیل‌ها، توسعه شهری، باطله‌های صنعتی و فضولات حیوانی همگی می‌توانند در بار آلاینده شرکت کنند. معمولاً غلظت‌های نیترات بیش از آستانه قراردادی ۳ میلی‌گرم در آب زیرزمینی نشان دهنده منشأ انسانزاد آلودگی است (Power and Schepers, 1989 ; Zapata et al, 2014).

۲-۴-۲-۱ منابع کشاورزی

مطالعات زیادی نشان داده‌اند که در مناطق توسعه یافته کشاورزی آلودگی نیترات در سفره‌های آب زیرزمینی آنها وجود دارد که علت اصلی آن استفاده از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و استفاده از لجن فاضلاب برای آبیاری می‌باشد. به علاوه تخمین زده شد که از غلظت کل نیترات ورودی به منابع آب از زمین‌های کشاورزی ۲۰ درصد از کود، ۱۵ درصد کودهای آلی و ۶۵ درصد از کانه‌زایی ماده آلی خاک است (Zhang et al, 1996; Fabro et al, 2015; Kim et al, 2015).

۲-۴-۲-۲ منابع شهری

با توجه به تعدد منشأ ازت در مناطق شهری مقادیر بالای غلظت نیترات در آبخوان‌های شهری دور از انتظار نیست. منابع نیتروژن در محیط زیست شهری مخلوطی از منابع نقطه‌ای مانند لندفیل‌ها، منابع چند نقطه‌ای مانند چاه‌های فاضلاب و منابع انتشاری مانند رسوب جوی می‌باشد (Wakida and Lerner, 2005). افزایش توسعه شهری سبب افزایش مواد زائد، افزایش تعداد مخازن دفع فاضلاب و توسعه صنعت می‌شود که این موارد منجر به افزایش آلودگی نیترات در آب زیرزمینی می‌شوند (Bolger and Stevens, 1999). قطع درختان نیز می‌تواند باعث بهم خوردن چرخه نیتروژن شود که اغلب منجر به آزاد شدن مقدار قابل توجهی نیترات به آب‌های زیرزمینی می‌شود (طباطبائی و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین تمرکز بیشتر جمعیت و ورود فاضلاب‌های خانگی دلیل اصلی افزایش یون نیترات در منطقه شهری می‌باشد (کلاتگی و همکاران، ۱۳۹۳). در هلند مشخص شده که سهم نسبی منابع شبکه شهری، صنعتی و کشاورزی به غلظت نیترات در آب رودخانه ۴۰ درصد از پساب فاضلاب شهری و بقیه از منابع شبکه‌های صنعتی و کشاورزی است. دفع زباله به عنوان یک نگرانی عمده نه تنها برای حفظ سلامت بلکه همچنین برای حفاظت از محیط زیست شناخته شده است. شیرابه محل‌های دفن زباله حاوی مقدار زیادی نیتروژن، ترکیبات آلی و فلزات سنگین هستند. در لندفیل‌ها به دلیل شرایط بی‌هوایی نیتروژن موجود عموماً به شکل آمونیوم می‌باشد. در ایالات متحده سالانه حدود ۱۵ تن نیتروژن

در ضایعات دفع می‌شود. حدود ۴۰ درصد از این مواد زائد از حیوانات، ۳۰ درصد از باقی‌مانده‌های محصولات و ۲۰ تا ۲۵ درصد از زباله‌های شهری هستند (Power and Schepers, 1989).

۲-۴-۲-۳ منابع صنعتی

صنعت در حال حاضر یکی دیگر از منابع بالقوه نیتروژن در آب‌های زیرزمینی است. در فرآیندهای مانند صنایع پلاستیکی و فلزی، مواد خام برای صنایع نساجی و صنایع دارویی از ترکیبات نیتروژن استفاده می‌شود. ترکیبات نیتروژن مورد استفاده در صنعت اغلب به شکل آمونیاک، نیتریک اسید، اوره، نیترات و آمونیوم می‌باشد. آلودگی به نیترات ممکن است در نتیجه دفع یا استفاده این ترکیبات ایجاد شود. هم‌چنین صنایع نظامی تولید و تخریب مواد منفجره، سوخت و آتش بازی می‌تواند منبع بالقوه آلودگی به خصوص آلودگی نیترات باشد (Wakida and Lerner, 2005). علاوه بر این پسماندهای حاوی نیترات در بسیاری از فرآیندهای صنعتی مانند کاغذسازی و مهمات‌سازی تولید می‌شوند. سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند نفت و گاز در نیروگاه‌ها و ماشین‌ها و همه موتورهای با احتراق درون سوز به ایجاد اسید نیتریک و آمونیاک می‌انجامد که هوا را آلوده می‌کند. این مواد ممکن است به صورت باران‌های اسیدی به زمین بازگردند و باعث آلودگی سطح زمین هم شوند.

۲-۴-۲-۴ فضولات حیوانی

در حومه شهرهای کشورهای در حال توسعه نگهداری برخی حیوانات برای مصرف یا تجارت رایج است. مدفوع و ادرار تولید شده توسط این حیوانات یک منبع بالقوه آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی منطقه است. در آبخوان شهری بیرمنگام تولید کود اسب بین ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ تن در سال تخمین زده شده است. آلودگی شدید محلی از نیتروژن نزدیک به اصطبل‌های اسب ظاهر شده است. بنابراین فضولات حیوانات نیز یکی از منابع غلظت نیترات بالا در آب‌های زیرزمینی به ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد (Wakida and Lerner, 2005).

۲-۴-۲-۵ غلظت نیترات و کاربری اراضی

مطالعات زیادی ارتباط بین رده‌های کاربری زمین و غلظت بلند مدت نیترات در آب زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. در نواحی شهری نشت فاضلاب عامل اصلی در آلودگی آب‌های زیرزمینی بوده است. مشکل آلودگی آب زیرزمینی در شهرهای واقع بر سفره‌های آبرفتی شدیدتر است. در مناطق شهری کشتارگاه‌ها، قبرستان‌های قدیمی و محل‌های قبلی دفن زباله از جمله مناطق شدیداً آلوده هستند. لی و همکاران (۲۰۰۳) به نقل از آبادچی و همکاران (۱۳۹۳) در ارزیابی غلظت نیترات با استفاده از GIS به این نتیجه رسیدند که اراضی با کاربری فضای سبز و کشاورزی بیشترین تأثیر را در افزایش غلظت نیترات در فصول کم بارش و اراضی با کاربری تجاری و مسکونی نیز باعث افزایش غلظت نیترات در فصل بارش شده است. آلودگی نیترات از منابع کشاورزی یکی از نگرانی‌های اصلی در مدیریت آب‌های زیرزمینی است. آب‌های زیرزمینی در حوضه Haean کره توسط نیترات ناشی از فعالیت‌های کشاورزی همراه با استفاده گسترده مقادیر زیادی کودهای آلی و غیرآلی آلوده شده است. توزیع مکانی و زمانی نیترات در آب‌های زیرزمینی کم عمق تنوع گسترده‌ای را مطابق با کاربری زمین، کودهای به کار رفته و ناهمگنی آبخوان نشان می‌دهد. غلظت‌های نیترات در آب زیرزمینی در زمین‌های کشاورزی از شالیزارها و جنگل‌ها بالاتر است (Kim et al, 2015). به طور کلی زراعت دانسیته توده خاک و نرخ تبخیر را افزایش می‌دهد که هر دو کسری از حجم روزه‌های خاک پر شده با آب را کاهش می‌دهند و این امر سبب افزایش نرخ کانه‌زایی و نیتریفیکاسیون منابع آلی نیتروژن در این خاک می‌شود. بسیاری از شرکت‌های بزرگ فرآورده‌های لبنی، مرغداری‌ها و پرواربندی‌ها در مناطق مساعد جغرافیایی نزدیک به بازار متمرکز شده‌اند. در این محل‌ها فعالیت کشاورزی کم است بنابراین زمین‌های کشاورزی که برای دفن ضایعات حیوانی استفاده می‌شود محدود است. در نتیجه زمین در دسترس برای دورریزی ضایعات استفاده شده و مقادیر قابل توجهی نیترات را به منابع آب سطحی و زیرزمینی وارد می‌کند (Power and Schepers, 1989).

۲-۵ آبشویی نیترات

با توجه به انحلال پذیری زیاد ترکیبات نیتراتی این مواد همراه آب به اعماق خاک منتقل شده و معمولاً از دسترس ریشه گیاه خارج می‌شود. در مکان‌هایی که سطح آب زیرزمینی بالا است نیترات‌ها همراه با آب‌های فرورو وارد آبخوان می‌شوند. ولی در مناطق خشک و نیمه‌خشک که سطح آب زیرزمینی در آنها پایین است نیترات‌ها در اعماق نیمرخ خاک تجمع یافته و به مرور زمان از بین می‌روند. حرکت نیترات در خاک بستگی به میزان آب عبوری و غلظت نیترات‌ها در آب دارد (محصلی و روحیان، ۱۳۹۱).

۲-۶ اثرات زیانبار بر سلامتی

نیترات در دو منبع اصلی آب و غذا آشکار می‌گردد و به خودی سمی نیست بلکه فقط زمانی که در بدن انسان به نیتريت تبدیل می‌شود یک مسئله جدی است. نیترات تولید شده توسط فعالیت بیوشیمیایی میکروارگانیسم‌ها به سهولت وارد هیدروسفر می‌شود. انحلال پذیری بالای نیترات در آب و احتباس کم آن توسط ذرات خاک سبب می‌شود به طور عمده وارد آب‌های زیرزمینی شود. نیترات از طریق آشامیدن آب‌های زیرزمینی وارد بدن انسان شده و باعث اختلالات زیادی از جمله سرطان معده، گواتر، ناهنجاری‌های تولد و فشارخون بالا می‌شود (Majumdar and Gupta, 2000). آب حاوی سطوح نیترات بالاتر از ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر برای مصرف انسان توصیه نمی‌شود. غلظت‌های بیش از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات در آب آشامیدنی ممکن است سبب سندرم کودکان آبی (متهموگلوبینمیا) و عامل بروز برخی از انواع سرطان باشد (Kim et al, 2015). مصرف نیترات هیچ عوارض کوتاه مدت آشکاری در بزرگسالان ندارد. کودکان در معرض نیترات بیش از حد در رژیم غذایی خود رشد بدنی کمتر و رفلکس کندتر دارند. ترکیبات نیتروژن به طور آزادانه در بدن حیوان توزیع می‌گردند و در ادرار و شیر حیوانات وجود دارد و این برای کودکانی که از شیر مادر یا شیر گاوها تغذیه می‌کنند مخاطره‌آمیز است. در آمریکا متوسط دریافت روزانه نیترات در حدود ۱۰۰ میلی‌گرم است که ۸۰ درصد آن از سبزی‌ها و کمتر از ۱۰ درصد آن از راه آب وارد بدن می‌شود. در ژاپن ورود نیترات بالاتر است و برای هر فرد به طور میانگین

روزانه ۳۰۰ میلی گرم است. نیترات‌ها پس از بلعیده شدن به سرعت در بخش بالایی معده- روده جذب می‌گردند سپس وارد جریان خون شده و از طریق ادرار، تعرق و غده بزاقی در حفره دهانی دفع می‌شوند، در حالی که میکروارگانیزم‌ها بخشی از نیترات را به نیتريت کاهش می‌دهند که از طریق جریان بزاق به معده برمی‌گردد.

۲-۷ بررسی استانداردهای ملی و بین‌المللی کیفیت آب برای کنترل نیترات

جدول (۱-۲) استانداردهای مختلف غلظت نیترات در آب آشامیدنی را نشان می‌دهد. ماکزیمم مقدار مجاز نیترات برای منابع آب آشامیدنی در استاندارد سازمان بهداشت محیط ایالات متحده (USEPA) و سازمان بهداشت جهانی (WHO)، ۵۰ میلی گرم در لیتر تعیین شده است.

جدول ۱-۲ استانداردهای مختلف غلظت نیترات در آب آشامیدنی

استاندارد	حداکثر غلظت مجاز نیترات در آب (mg/l)
استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۳۹۵)	۵۰ (بر اساس غلظت نیترات)
استاندارد کیفیت آب آشامیدنی سازمان برنامه و بودجه-وزارت نیرو-ایران (۱۳۷۱)	۴۵ (بر اساس غلظت نیترات)
سازمان بهداشت جهانی (WHO)، (2008)	۵۰ (بر اساس غلظت نیترات)
سازمان بهداشت ایالات متحده (EPA)، (1998)	۵۰ (بر اساس غلظت نیترات) یا ۱۰ (بر اساس غلظت نیتروژن)
اژانس محیط زیست اروپا (EEA)، (1961)	۵۰ (بر اساس غلظت نیترات)

۲-۸ مروری بر پژوهش های پیشین انجام شده در ایران و جهان در زمینه آلودگی نیترات

در بین جوامع امروزی که به نحوی درگیر آلودگی های زیست محیطی می باشند کمتر کشوری را می توان یافت که بخشی از منابع آب سطحی و زیرزمینی آن به یون نیترات آلوده نباشد. لذا مطالعات زیادی در مورد آلودگی نیترات در منابع آبی در ایران و جهان صورت گرفته که برخی از آنها در زیر اشاره می شود: ایمانی و همکاران (۱۳۸۸) به منظور بررسی آلودگی نیترات و منشأیابی آن در آب های زیرزمینی منطقه شهریار از ۳۰ حلقه چاه در مناطق مختلف صنعتی، شهری و کشاورزی در ۵ مرحله نمونه برداری کردند. دامنه تغییرات میانگین غلظت نیترات در چاه های مختلف از $2/9$ تا $66/2$ mg/l بود. بیشترین آلودگی مربوط به منابع آب موجود در اراضی کشاورزی غرب منطقه شهریار بود. آب های زیرزمینی مناطق شهری و صنعتی از نظر آلودگی به نیترات در رتبه های بعدی قرار داشتند. منشأ اصلی آلودگی نیترات در آب های زیرزمینی منطقه شهریار استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی نیتروژن دار بود.

لاله زاری و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه ای به بررسی تغییرات پهنه بندی نیترات طی یک سال در آبخوان دشت شهرکرد پرداختند. نتایج نشان داد که در اثر حلالیت بالای کودهای نیتراتی و شسته شدن آن در اثر آبیاری، آب های زیرزمینی منطقه آلوده به نیترات شده اند.

بررسی آلودگی نیترات در آبخوان آبرفتی فارسان - جونقان نشان می دهد که اطراف شهر فارسان و روستاهای پردنجان و گوجان نسبت به سایر نقاط دشت آلودگی بیشتر است و غلظت آن بیش از حد استاندارد می باشد. این می تواند ناشی از فعالیت های غیر اصولی کشاورزی، پساب حاصل از آن و فاضلاب های خانگی باشد (افروزی و محمدزاده، ۱۳۹۱).

در ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی دشت شاهرود به یون نیترات مشخص شد که آلودگی در این دشت در مناطق شهری تحت تأثیر فاضلاب های شهری و خانگی بوده و در مناطق کشاورزی به دلیل ریزدانه بودن رسوبات، فعالیت های کشاورزی تأثیر چندانی بر غلظت نیترات آب های زیرزمینی نداشته است (کلاتگی، ۱۳۹۳).

پاور و شپرز (Power and Schepers, 1989) مشکل آلودگی نیترات آب زیرزمینی آمریکای شمالی را بررسی کردند، مناطق اولیه کشاورزی شمال آمریکا برای یک دوره زمانی کوتاه (۲۰۰-۷۰ سال) تحت کشت قرار داشتند. در طول این دوره بسیاری از دشت‌ها و جنگل‌ها توسط زمین‌های زراعی و مراتع جایگزین شدند و سیستم تک محصولی جایگزین سیستم‌های کشت متنوع شد، به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک میلیون‌ها هکتار برای آبیاری توسعه یافتند. سرمایه‌گذاری احشام و دامداری‌ها اغلب شدت یافته و به مناطق خاصی محدود شده است. این تغییرات جدی در سیستم‌های تولید محصول کشاورزی در شمال آمریکا بر محیط زیست و به طور خاص بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیر داشته است. ورودی سالیانه نیتروژن تحت پوشش گیاهی محلی به طور معمول ده‌ها کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شده اما در حال حاضر ورودی نیتروژن چند صد کیلوگرم در هکتار رایج است. در نتیجه مقادیر قابل توجهی از این ورودی در نهایت به آب زیرزمینی مهاجرت می‌کند. منابع نیترات در این مطالعه بارش، منشأ زمین‌شناسی، کشت و زرع و کوددهی، ضایعات حیوانی و کانه‌زایی نیتروژن آلی خاک معرفی شده‌اند.

جهانگیر و همکاران (Jahangir et al, 2012) به منظور بررسی اثر محیط هیدروژئوشیمیایی (آبخوان) بر وقوع نیترات در آب زیرزمینی منطقه کشاورزی در ایرلند از منابع آب به صورت ماهانه نمونه‌برداری انجام دادند. پیژومترها در سه عمق مختلف نصب شده بود. میانگین نیترات آب زیرزمینی حدود mg/l $0.7-14.6$ با محل و عمق آب زیرزمینی ارتباط معنی‌داری داشته است. حضور نیترات در آب زیرزمینی رابطه معکوس با کربن آلی حل شده (DOC) و متان و رابطه مستقیم با پتانسیل ردکس (Eh) و هدایت هیدرولیکی (k) دارد. کاهش نیترات در $Eh < 150$ mV رخ داد. نتایج هیدرووشیمیایی در چند چاه نشان داد که شیوه‌های آبیاری با فاضلاب با اضافه کردن مقدار زیادی DOC سبب فرآیند دنیتریفیکاسیون و کاهش غلظت نیترات شده است.

ژانگ و همکاران (Zhang et al, 2014) در مطالعه‌ای با هدف تعیین منابع اصلی نیتрат و تغییر و تحولات آن در شمال دشت چین که بزرگترین دشت ابرفتی چین و تأمین کننده اصلی گندم و ذرت کشور است، از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دو فصل خشک و تر نمونه‌برداری به عمل آوردند. حدود ۴۶/۷٪ نمونه‌های آب سطحی و ۱۰٪ نمونه‌های آب زیرزمینی غلظت نیترات بیش از استاندارد WHO (سازمان بهداشت جهانی) داشتند. روی هم رفته بیشترین غلظت نیترات در آب سطحی در ماه می (خشک) و در آب زیرزمینی در ژوئن (مرطوب) نشان می‌دهد که مصرف کود، بارش و آبیاری به شدت غلظت نیترات را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نتایج آنالیزهای ایزوتوپی نشان می‌دهد که منابع اصلی نیترات در آب سطحی نشت فاضلاب و نیتریفیکاسیون کودها هستند. در مقابل، برای آب زیرزمینی منبع آلودگی در فصل خشک معدنی شدن نیتروژن آلی خاک و فاضلاب می‌باشد.

فابرو و همکاران (Fabro et al, 2015) در تحقیقی غلظت و توزیع مکانی نیترات در آبخوان کارستی مریدا در مکزیک را با استفاده از تکنیک‌های آماری و زمین آماری مورد بررسی قرار دادند. ۱۷۷ نمونه آب زیرزمینی از چهار سیستم تأمین آب شهر مریدا جمع آوری شده بود. غلظت نیترات در نمونه‌ها بین ۱۵/۵۱ تا ۷۰/۶۱ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود، همبستگی مثبت معنادار ($p < 0/05$) بین نیترات و کلرید، سولفات و پتاسیم مشخص شد که پتانسیل آلودگی از فاضلاب خانگی و فعالیت‌های کشاورزی را نشان می‌دهد.

کیم و همکاران (Kim et al, 2015) برای تعیین سهم منابع مختلف در آلودگی به نیترات از سه منطقه زراعی روستایی در کره جنوبی از منابع آب نمونه‌برداری کردند. توزیع مکانی و زمانی نیترات در آب‌های زیرزمینی کم عمق تنوع گسترده‌ای را مطابق با کاربری زمین، چرخه کودهای به کار رفته و ناهمگنی آبخوان نشان می‌دهد. مدل Bayesian برای برآورد سهم سه منبع انسانی: کودهای شیمیایی، کود کمپوست و کود دوغابی استفاده شد. نتایج نشان داد که کود کمپوست به طور قابل توجهی آلودگی

نیترات را افزایش می‌دهد. بر اساس نتایج این مطالعه مشکل اصلی آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه غلظت بالای نیترات در آبخوان‌های تحت مناطق با کشاورزی گسترده بود.

در مطالعه‌ای با هدف بررسی اثر کوددهی بر ترکیب کلی و هیدروشیمی آب زیرزمینی از چهار زون مشخص در کاتالونیا (شمال شرق اسپانیا) که شامل پنج نوع آبخوان مختلف است نمونه‌برداری شد. آنالیزهای ایزوتوپی و هیدروشیمی نمونه‌های آب نشان داد که استفاده زیاد از کودهای شیمیایی باعث آلودگی به نیترات و هم‌چنین افزایش غلظت یون‌های اصلی حل شده کلر، سولفات، سدیم و پتاسیم شده است (Mencio et al, 2016).

فصل سوم :

روش انجام کار

مقدمه

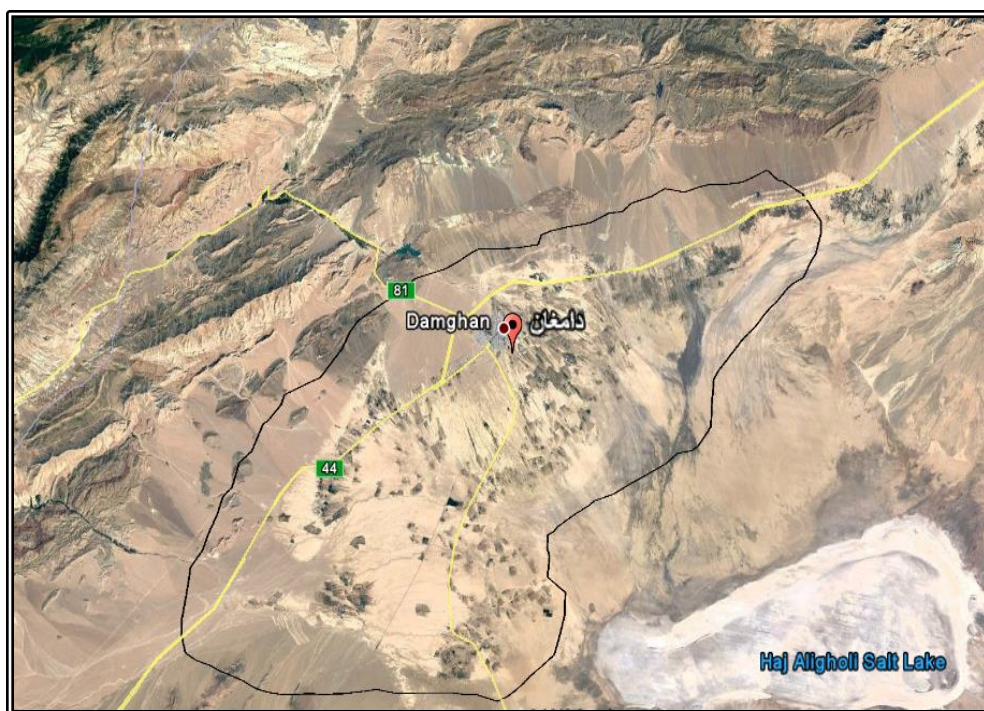
در این فصل کارهای صحرایی و آزمایشگاهی که برای بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی و ارزیابی غلظت یون نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت دامغان انجام شده است به طور مختصر بیان می‌شود.

۳-۱ جمع آوری آمار و اطلاعات مربوط به آبخوان دامغان

اولین گام در مطالعه یک آبخوان جمع آوری اطلاعات مرتبط با آن است. در دشت دامغان تعداد ۶۴ چاه پیزومتری وجود دارد. ۹۴۷ حلقه چاه در محدوده‌ی دشت دامغان برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی بهره‌برداری می‌گردند. برای تعیین مشخصات آب و هوایی منطقه (شامل بارندگی، درجه حرارت و تبخیر) از آمار ایستگاه‌های هواشناسی دامغان و سایر گزارشات موجود استفاده گردید. مختصات UTM چاه‌های نمونه‌برداری شده نیز توسط دستگاه GPS ثبت گردید. در این مطالعه از آمار و اطلاعات تعداد ۴۵ پیزومتر که به طور مناسب در دشت پراکنده شده و اطلاعات آنها کامل می‌باشد استفاده گردید. به منظور ارزیابی پارامترهای کیفی دشت نیز از ۳۹ حلقه چاه نمونه‌برداری و آنالیز صورت گرفته است.

۳-۲ تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه

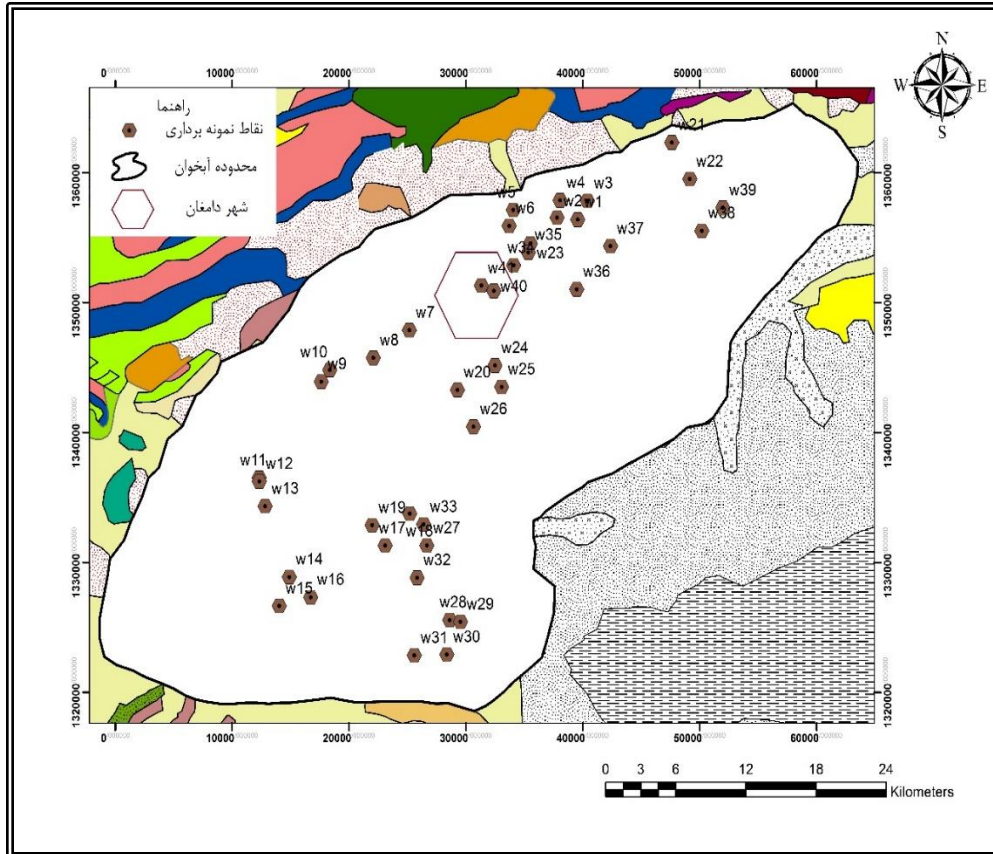
به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی دشت دامغان از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ دامغان و شاهرود که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده استفاده گردید. سپس ساختارهای زمین‌شناسی موجود در این نقشه‌ها که در محدوده‌ی مطالعاتی قرار دارند شناسایی شده و نقشه زمین‌شناسی دشت دامغان در محیط ArcGIS تهیه گردید. شکل (۳-۱) موقعیت آبخوان را در محیط Google Earth نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱: موقعیت آبخوان بر روی تصویر Google Earth

۳-۳ بازدید صحرائی و نمونه‌برداری از آب چاه‌های انتخابی در منطقه

برای انجام این تحقیق، نقاط نمونه‌گیری در آبخوان به گونه‌ای انتخاب شدند که توزیع مناسبی با توجه به اهمیت نقاط (مجاورت زمین‌های کشاورزی، روستاها، دامداری‌ها و کارخانه‌ها) داشته و کل محدوده آبخوان را پوشش دهد. با توجه به وسعت منطقه تعداد ۳۹ نمونه آب زیرزمینی برداشت گردید. شکل (۳-۲) نقاط نمونه‌برداری از آبخوان را نشان می‌دهد. نمونه‌برداری در یک مرحله و طی ۳ روز در تیر ماه سال ۱۳۹۵ انجام گرفت. مختصات چاه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS ثبت شد. برای نمونه‌برداری جهت آنالیز شیمیایی بطری‌های ۵۰۰ میلی لیتری مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که در هنگام نمونه‌برداری ظرف مربوطه سه بار با آب چاه موردنظر شستشو داده شد. شکل (۳-۳) نمونه‌برداری از چاه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲: موقعیت نقاط نمونه برداری از منابع آب زیرزمینی دشت دامغان



شکل ۳-۳: نمونه برداری از چاه‌های منطقه مورد مطالعه

۳-۴ اندازه گیری pH و هدایت الکتریکی در محل نمونه برداری

پارامترهایی که در محل نمونه برداری اندازه گیری شد شامل دما، هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) می باشد که طریقه اندازه گیری آنها به طور مختصر ارائه می شود. برای اندازه گیری هدایت الکتریکی نمونه های آب در محل نمونه برداری از دستگاه هدایت سنج دیجیتال صحرائی ساخت کارخانه HANA استفاده شد. دقت این دستگاه برای اندازه گیری مقادیر EC کمتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر، برابر با ۱ میکروموس بر سانتی متر و برای مقادیر بالاتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر برابر با ۱۰ میکروموس بر سانتی متر است. پس از اندازه گیری هدایت الکتریکی و ثبت مختصات جغرافیایی آنها نقشه هدایت الکتریکی به صورت دستی ترسیم و سپس با استفاده از نرم افزار ArcGis رقومی شد. مقدار pH نمونه های آب در محل نمونه برداری توسط دستگاه pH متر دیجیتالی ساخت کارخانه AZ اندازه گیری شد و دقت اندازه گیری شده برای pH، ۰/۰۱ واحد است. شکل (۳-۴) اندازه گیری pH و EC در محل نمونه برداری را نشان می دهد.



شکل ۳-۴: اندازه گیری EC و pH در محل نمونه برداری

۳-۵ پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب در آزمایشگاه آب و زیست‌محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری شد، به این ترتیب که یون‌های کلر، بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم توسط روش تیتراسیون، یون سولفات توسط روش کدورت‌سنجی و یون سدیم به روش شعله‌سنجی اندازه‌گیری شدند (شکل‌های ۳-۵، ۳-۶ و ۳-۷). غلظت یون نیترات نیز در آزمایشگاه خاک‌شناسی دامغان اندازه‌گیری شد. پارامترهای شاخص اشیاع، درصد خطای آزمایش و نسبت بین یون‌های مختلف با استفاده از نرم افزارهای PHREEQC، Excel و Chemistry تعیین شدند.



شکل ۳-۵: آنالیز یون‌های اصلی نمونه‌ها در آزمایشگاه

۳-۶ تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل آبخوان دشت دامغان

برای تعیین جهت عمومی حرکت آب زیرزمینی در منطقه و بررسی مناطق تغذیه و تخلیه نقشه هم‌پتانسیل سطح ایستابی برای فروردین ۱۳۹۴ ابتدا به صورت دستی رسم و سپس با استفاده از نرم افزار ArcGis رقومی شده و تهیه گردید.



شکل ۳-۶: اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه نوری شعله‌ای



شکل ۳-۷: اندازه‌گیری غلظت یون سولفات با استفاده از دستگاه کدورت سنج

۳-۷ تهیه نقشه‌های کیفی با استفاده از نرم‌افزارهای GIS

برای تهیه نقشه‌های کیفی مورد نیاز در این تحقیق از نرم‌افزارهای مختلف GIS استفاده شد. هم‌چنین نمودارهای شولر، ویلکاکس و پایپر با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و Diagram ترسیم شده است. لازم به ذکر است که ایستگاه‌های نمونه‌گیری و هم‌چنین سایر منابع آلاینده واقع در منطقه، با استفاده از مختصات ثبت شده توسط GPS بر روی نقشه تهیه شده توسط نرم‌افزارهای مرتبط مشخص گردید و در نهایت نقشه‌های مختلف ترسیم شد.

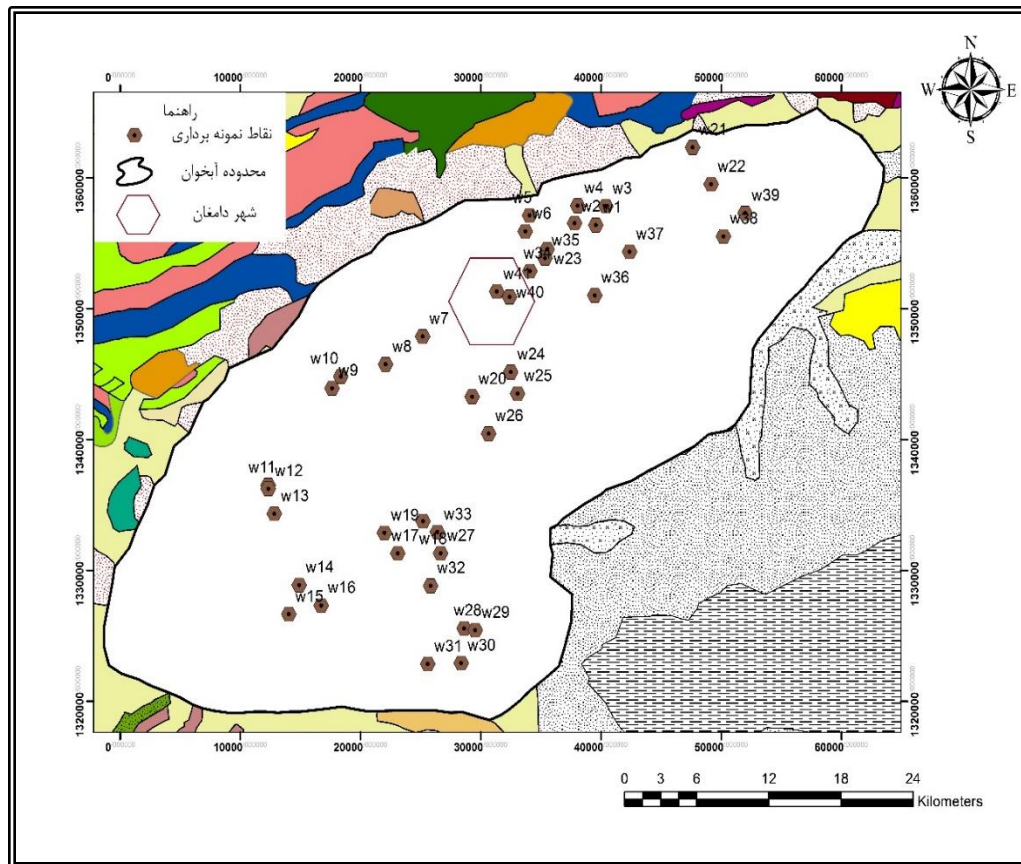
فصل چهارم :
ارزیابی هیدروشیمیایی و
آلودگی نیترات

مقدمه

آبخوان دشت دامغان با وسعتی حدود 1373 Km^2 به صورت کشیده و با جهت شمال شرق جنوب غرب در جنوب سد دامغان قرار گرفته است. این دشت از سمت جنوب به کویر حاج علی قلی و از سمت شمال با ارتفاعات رشته کوه البرز محدود می‌شود. در شمال دشت عمدتاً سازندهای آهکی و کربناته رخنمون دارند. ارتباط آبخوان با سازندهای مختلف اطراف باعث شده کیفیت آب زیرزمینی دشت در نقاط مختلف متغیر باشد. با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی در این دشت نقش اساسی جهت تأمین مصارف شرب و کشاورزی دارند، در سال‌های اخیر برداشت زیاد از این منابع باعث گردیده میزان افت سطح آب زیرزمینی زیاد و به دنبال آن کیفیت آب دشت کاهش یابد. هم‌چنین به دلیل وجود کفه‌های نمکی و سازندهای تبخیری در اطراف دشت به خصوص در شرق و جنوب غرب کیفیت آب در این مناطق تحت تأثیر نفوذ آب شور قرار گرفته است. علاوه بر اثر عوامل طبیعی در کاهش کیفیت آب دشت گسترش فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای مختلف شیمیایی نیز می‌تواند کیفیت آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار دهد. بدین منظور با توجه به اهمیت آب زیرزمینی در این منطقه بررسی کیفیت آن از نظر شیمیایی و وجود نیترات حائز اهمیت می‌باشد. در مطالعه حاضر تعداد ۳۹ نمونه آب جهت آنالیز هیدروشیمیایی از نقاط مختلف دشت برداشت شد که موقعیت آنها در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.

۴-۱ هیدروژئولوژی آبخوان دشت دامغان

در این بخش با استفاده از نقشه‌های هم‌پتانسیل و زون‌بندی دشت بر اساس افت به بررسی هیدروژئولوژیکی دشت دامغان پرداخته شده است.



شکل ۴-۱: موقعیت چاه‌های نمونه برداری در دشت دامغان

۴-۱-۱ بررسی نقشه هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه

نقشه‌های هم‌پتانسیل سطح ایستابی به منظور تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، مناطق تغذیه و تخلیه آبخوان، شیب هیدرولیکی و هم‌چنین بررسی وضعیت تبادل آب زیرزمینی با منابع آب سطحی و ارتباط آبخوان با سازندهای زمین‌شناسی ترسیم می‌گردد. تشخیص وجود گسل‌ها و تغییرات تراوایی سفره آب زیرزمینی نیز از کاربردهای نقشه‌های هم‌پتانسیل می‌باشد. به منظور رسم نقشه هم‌پتانسیل دشت دامغان از داده‌های سطح آب ۴۵ پیزومتر واقع در دشت برای فروردین سال ۹۴ استفاده شد. مختصات و ارتفاع سطح ایستابی پیزومترها در جدول (۴-۱) ارائه شده است.

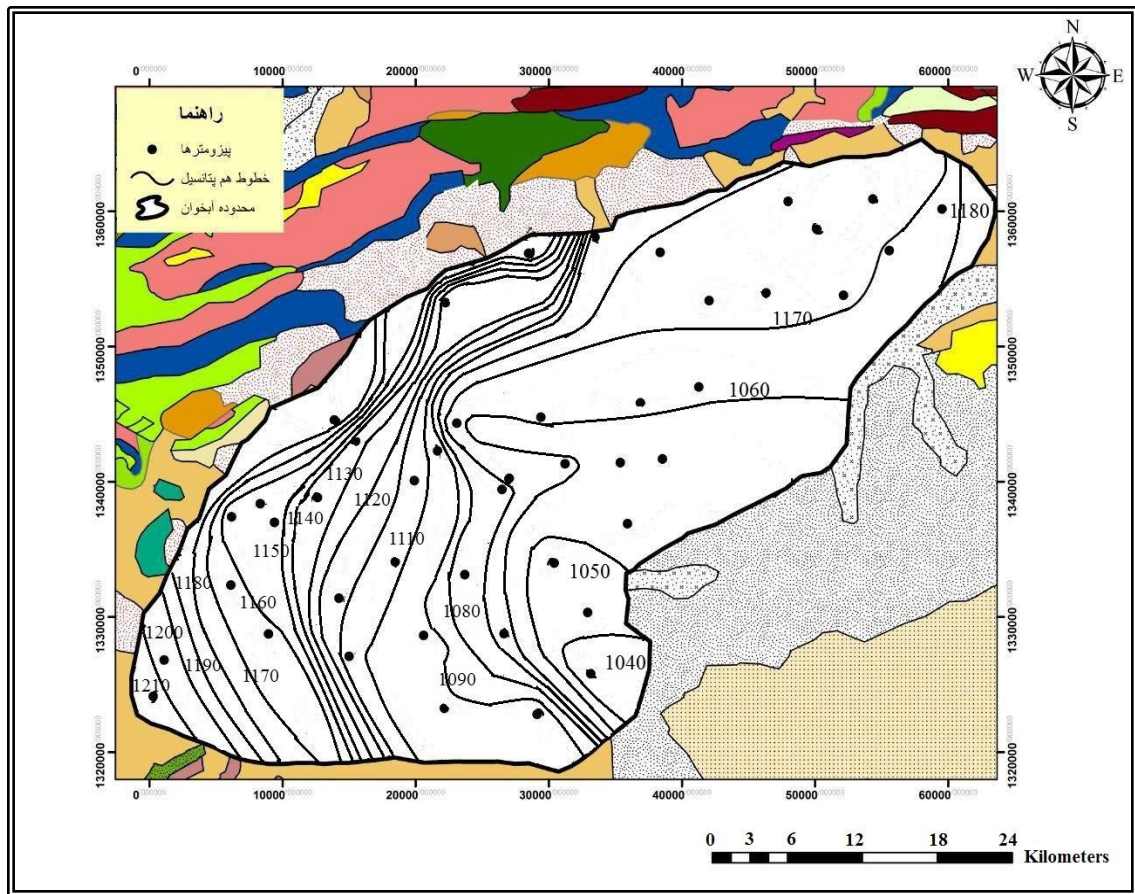
با توجه به نقشه جهت جریان آب زیرزمینی شکل (۴-۲) دشت دامغان از طرف غرب و شمال غرب، شمال و حتی شمال شرق آن در حال تغذیه و از طرف شرق و جنوب شرق در حال تخلیه است. شیب

توپوگرافی دشت روند شرقی- غربی را نشان می‌دهد که تقریباً با جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی همسو می‌باشد. گرادیان هیدرولیکی دشت در محل‌های تغذیه دارای شیب زیادی می‌باشد به طوری که بیشترین شیب در بخش‌های غربی و کمترین آن در بخش‌های شرقی وجود دارد. از سمت شمال دشت یک جبهه آب ورودی وجود دارد که سبب تغذیه آبخوان شده است اما مقدار آن در مقایسه با سایر نواحی کم است. در بخش‌های مرکزی دشت خطوط هم‌پتانسیل حالت انحنا پیدا کرده و به شکل نیم‌دایره درآمده که علت آن تمرکز بیشتر چاه‌های پمپاژ و برداشت زیادتر در این مناطق است. احتمالاً در آینده با برداشت زیادتر این خطوط حالت دایره‌مانند پیدا کرده و باعث تغییر در جهت جریان آب زیرزمینی می‌شود. این تغییر الگوی جهت جریان موجب تغییر و تخریب کیفیت منابع آب زیرزمینی در این بخش شده است. بنابراین به طور خلاصه مناطق تغذیه عمده در بخش غربی و منطقه تخلیه در بخش شرقی به سمت کویر حاج علی قلی است.

فصل چهارم: ارزیابی هیدروشیمیایی و آلودگی نیترات

جدول ۴-۱: مختصات و ارتفاع سطح ایستابی پیزومترها در فروردین ۱۳۹۴ (امور منابع آب شهرستان دامغان، ۱۳۹۴)

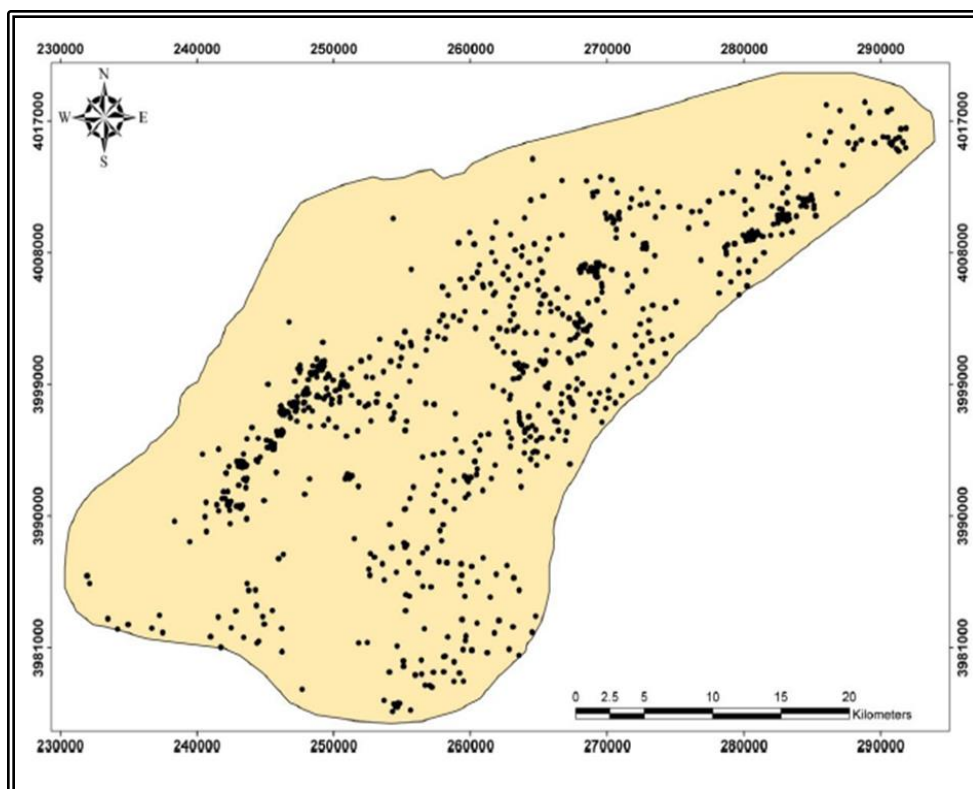
ارتفاع سطح آب (متر)	UTM Y	UTM X	نام محل	علامت اختصاری
1203.26	3982297	230525	اکتشافی شماره ۲ قوشه	P1
1165.75	3987680	235697	غرب ابزارمهدی	P2
1157.09	3992724	235907	۸ کیلومتری غرب صیدآباد	P3
1151.17	3993628	238090	شمال قوشه به صیدآباد	P4
1165.7	3983980	238420	جاده امروان به قوشه	P5
1153.95	3992220	239120	شمال غرب امیر آباد*	P6
1137.51	3993955	242404	صید آباد	P7
1112.02	3986456	243792	امروان به امیر آباد	P8
1188.67	3999650	243848	حاجی آباد فیخار	P9
1100.53	3982137	244413	امروان	P10
1135.10	3998041	245398	بخش آباد	P11
1100.36	3989019	248093	خرم آباد	P12
1104.71	3994979	249717	ابراهیم آباد	P13
1096.88	3983509	250064	جاده شریفیه	P14
1091.92	3997133	251519	قاسم آباد ذوالفقاری	P15
1090.32	3978079	251456	جاده علیان به امروان	P16
1129.90	4008070	252463	جاده چشمه علی	P17
1060.83	3999136	253032	شرق قاسم آباد	P18
1074.94	3987912	253286	کشکو	P19
1060.02	3983456	256107	سلطانیه	P20
1078.00	3994125	256279	حسن آبادو	P21
1094.64	3977421	258407	فخر آباد	P22
1166.06	4011522	258801	آب پخش جدید	P23
1060.28	3999380	259362	جاده باقر آباد	P24
1048.02	3988570	260026	شمال شریف آباد	P25
1061.64	3995879	261070	شرق نظام آباد	P26
1041.96	3984838	262433	مجید آباد	P27
1038.07	3980303	262520	مسیح آباد	P28
1089.15	4012554	263838	شمال غرب ابوالبق	P29
1050.88	3995843	265217	بها آباد*	P30
1052.02	3991303	265624	جنوب عبدیا	P31
1061.02	4000212	266872	جنوب شرقی شمس آباد	P32
1051.96	3996019	268393	شرق عبدیا	P33
1061.18	4001249	271287	موسی آباد	P34
1082.19	4007618	272255	حسین آباد حاج علی نقی	P35
1080.44	4008049	276555	شمال غرب جعفرآباد	P36
1037.24	4012633	280507	مهماندوست	P37
1067.31	4007700	282359	جنوب حمزه خان	P38
1046.51	4014746	284778	شمال غرب تعیم آباد*	P39
1074.42	4010900	285891	ایستگاه زرین	P40
1079.51	4013852	289952	جنوب شرقی قادرآباد	P41
1211.17	3979632	229605	جاده معدن قوشه	P42
1066.08	3994928	256849	حسن آبادو جدید	P43
1072.97	4011300	268693	غرب بق(طاق جدید)	P44
1058.21	4014770	278410	شمالغرب مهماندوست	P45



شکل ۴-۲: موقعیت پیزومترها و نقشه هم پتانسیل دشت دامغان برای فروردین ماه ۱۳۹۴

با توجه به تمرکز زیاد چاه‌ها در بخش‌های شرقی (شکل ۴-۳) گرادیان هیدرولیکی در این مناطق کم است که دلیل آن می‌تواند برداشت کمتر از این چاه‌ها باشد. زیرا مقدار شوری آب زیرزمینی در این مناطق افزایش یافته است که به علت آن در ادامه پرداخته می‌شود.

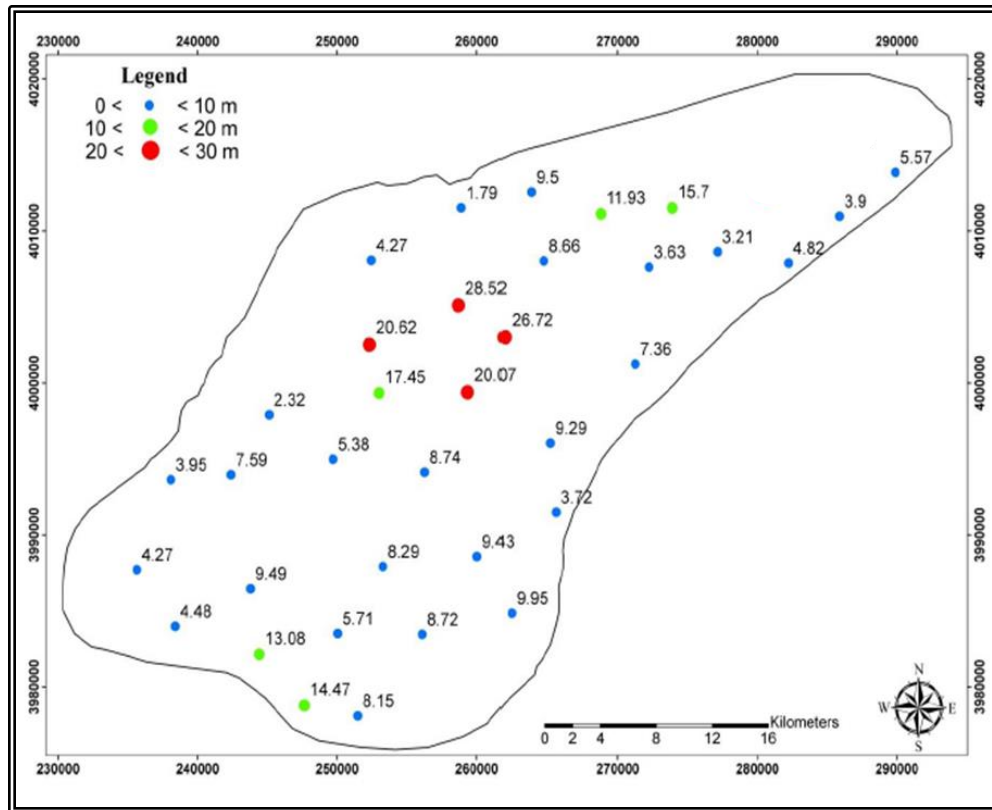
در زون تغذیه بخش شمالی و شمال شرقی دشت تمرکز چاه‌ها کمتر است و گرادیان هیدرولیکی کمتر می‌باشد که باعث بالا بودن شوری آب در این بخش است. بنابراین مقدار ورودی در بخش شمال و شمال شرق خیلی کم می‌باشد. به دلیل عملکرد گسل شمال دشت دامغان، رسوبات دانه ریز به عنوان سدی در مقابل رسوبات دانه درشت تر عمل کرده و احتمالاً باعث قطع ارتباط با آهک‌های بخش شمال شده است که نتیجه آن کاهش مقدار تغذیه به آبخوان در این بخش است. البته میزان شوری در این بخش بالا بوده که باعث کاهش برداشت نیز شده است.



شکل ۴-۳: موقعیت چاه‌های بهره‌برداری واقع در دشت دامغان

۴-۱-۲ ارزیابی میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت دامغان

نوسانات سطح ایستابی در اثر تنش‌های وارده به سیستم آب زیرزمینی صورت می‌گیرد و نشان دهنده میزان اثر منابع تغذیه و تخلیه بر سیستم آب زیرزمینی می‌باشد. در مواردی که میزان تغذیه و تخلیه از آبخوان در تعادل نباشند، نتیجه این عدم تعادل در افزایش یا کاهش ذخیره آبخوان منعکس می‌شود. شکل (۴-۴) میزان افت سطح آب زیرزمینی را طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۲ در هر یک از پیزومترهای انتخابی واقع در دشت دامغان نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴: میزان افت سطح آب در پیزومترهای موجود در دشت طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۲ (امیرحسینی، ۱۳۹۳)

با توجه به شکل میزان افت تراز آب زیرزمینی در پیزومترهای موجود در دشت دامغان از ۱/۷۹ تا ۳۰/۲۸ متر متغیر است. به طوری که ۴ پیزومتر دارای افت بین ۲۰ تا ۳۰ متر، ۵ پیزومتر دارای افتی بین ۱۰ تا ۲۰ متر و ۲۶ پیزومتر نیز دارای افتی کمتر از ۱۰ متر است. بیشترین میزان افت آب زیرزمینی (بالاتر از ۱۰ متر) در مرکز دشت (غرب شهر دامغان) و حاشیه‌های جنوب غربی دشت دیده می‌شود که علت اصلی افت بالای آب در این مناطق برداشت زیاد از سفره آب زیرزمینی می‌باشد. هم‌چنین افت کم سطح آب زیرزمینی در چند پیزومتر به دلیل تغذیه بالای آبخوان از سوی ارتفاعات آهکی شمالی منطقه می‌باشد. حداقل میزان افت آب زیرزمینی (کمتر از ۱۰ متر) نیز در حاشیه ارتفاعات شمال غربی و شمالی دشت و نیز در منطقه تخلیه در حواشی جنوبی دشت مشاهده می‌شود. علت این امر می‌تواند قرار گرفتن این پیزومترها در منطقه تغذیه باشد که بالتبع باعث کاهش افت سطح آب در آنها می‌شود

و در بخش خروجی دشت نیز به دلیل افزایش شوری و هم‌چنین کاهش برداشت میزان افت کمتر بوده است. در این مناطق زمین‌های کشاورزی کمی نیز وجود دارد.

۲-۴ هیدروژئوشیمی آبخوان دشت دامغان

مطالعات مربوط به هیدروژئوشیمی آبخوان‌ها معمولاً جهت شناخت تغییرات املاح آب زیرزمینی در طی مسیر حرکت، تعیین محل تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی و هم‌چنین بررسی اثرات زمین‌شناسی منطقه بر کیفیت آب‌های زیرزمینی انجام می‌گردد. به منظور بررسی خصوصیات کیفی آبخوان پارامترهای دما، اسیدیته و هدایت الکتریکی در محل نمونه‌برداری و مقدار یون‌های اصلی در آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌گردند. هم‌چنین نقشه‌ها و نمودارهای هیدروژئوشیمیایی شامل نقشه هدایت الکتریکی، نقشه یون‌های اصلی (مانند کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و بی‌کربنات)، نقشه‌های شاخص‌های اشباع (مانند کلسیت، دولومیت و هالیت) و نمودارهای ترکیبی بر اساس نتایج هیدروژئوشیمی حاصل از چاه‌های انتخابی تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. علاوه بر این، نمودارهای متنوع دیگری نیز برای ارزیابی وضعیت هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که مهم‌ترین آنها شامل نمودار پایپر، استیف، شولر و ویلکاکس می‌باشند. به منظور بررسی هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت دامغان در تیر ماه ۱۳۹۵ از ۳۹ حلقه چاه انتخابی در منطقه مورد نظر نمونه‌برداری به عمل آمد. اندازه‌گیری پارامترهای ذکرشده، آنالیز و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها تحت شرایط استاندارد در آزمایشگاه آب و زیست‌محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود صورت گرفت. جدول (۲-۴) نتایج آنالیزهای به دست آمده از چاه‌های مذکور را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲: نتایج آنالیز کیفی منابع آب زیرزمینی دشت دامغان در تیرماه سال ۱۳۹۵

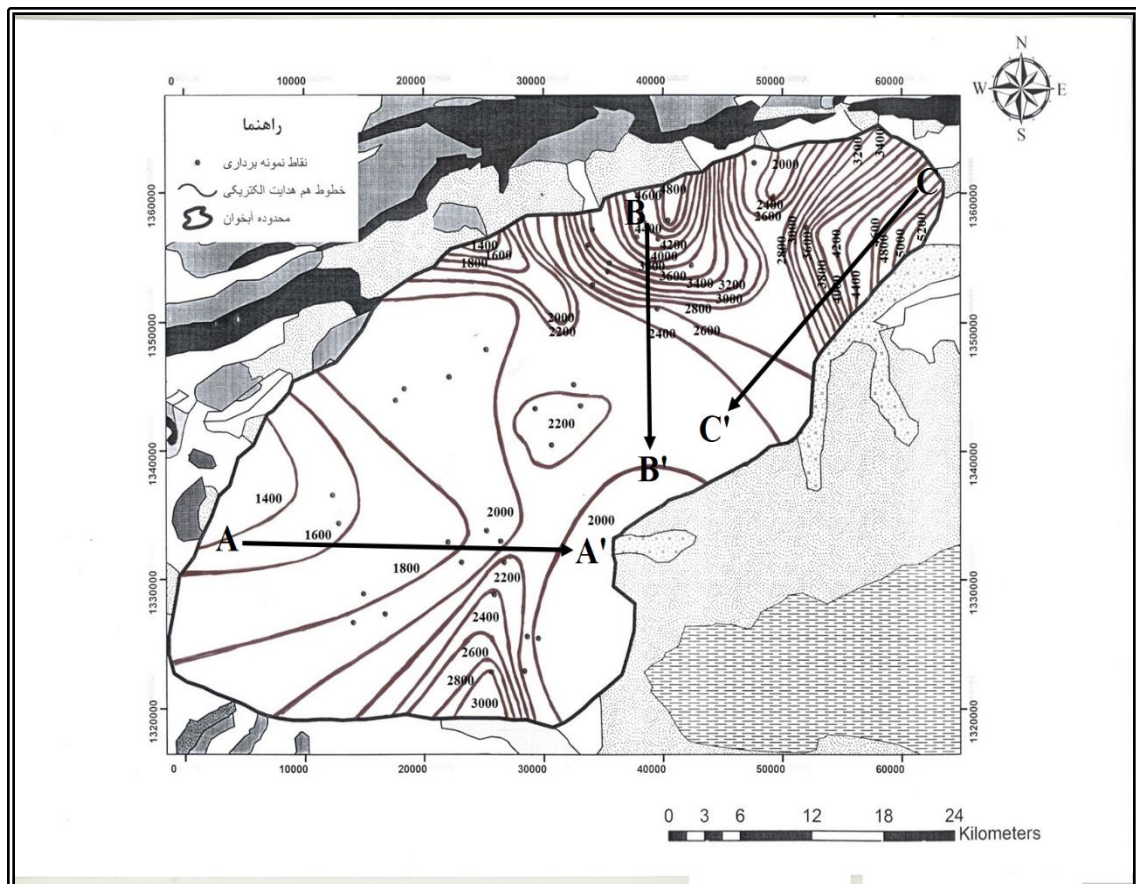
درصد خطا	جمع آنیون‌ها	غلظت آنیون‌ها (epm)			جمع کاتیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها (epm)				EC ($\mu\text{mohs/cm}$)	مختصات		نمونه
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		utm _x	utm _y	
7.13	35.10	8.90	10.00	16.20	30.43	10.70	6.20	13.23	0.30	4130	269855	4010697	W1
10.05	35.55	7.40	6.10	22.05	29.06	11.70	7.70	9.47	0.19	3570	268097	4010901	W2
4.60	63.61	14.00	15.30	34.31	58.02	20.00	16.00	21.47	0.55	6570	270730	4012117	W3
8.95	57.50	13.00	15.00	29.50	48.05	13.00	15.00	19.52	0.53	6090	268385	4012224	W4
6.18	46.78	10.80	26.90	9.08	41.33	10.40	11.60	19.00	0.33	4280	264373	4011604	W5
5.65	13.20	3.90	6.30	3.00	14.78	3.50	5.70	5.45	0.13	1300	263981	4010401	W6
1.79	22.09	4.90	14.20	2.99	22.89	5.20	5.50	12.00	0.19	1910	255192	4002634	W7
4.13	21.18	5.20	12.50	3.48	19.50	5.00	5.30	9.00	0.20	1943	252043	4000599	W8
2.02	18.89	5.80	10.30	2.79	18.14	5.00	5.50	7.45	0.19	2270	247530	3998911	W9
6.20	13.70	3.60	7.50	2.60	15.51	5.10	5.60	4.65	0.16	1700	248295	3999787	W10
2.50	15.81	3.60	8.60	3.61	15.04	2.90	5.60	6.44	0.10	1447	242000	3991674	W11
0.71	16.23	4.20	9.80	2.23	16.00	2.90	3.50	9.50	0.10	1607	242000	3991396	W12
1.15	16.78	3.90	9.10	3.78	16.40	2.90	4.00	9.40	0.10	1476	242445	3989475	W13
1.68	17.45	3.50	10.00	3.95	18.05	2.70	4.50	10.75	0.10	1640	244347	3983950	W14
4.01	23.64	3.20	14.70	5.74	25.61	5.10	8.40	12.00	0.11	2130	243410	3981761	W15
7.71	17.86	3.50	10.30	4.06	20.84	6.00	7.00	7.74	0.10	1806	246118	3982335	W16
0.09	18.64	3.60	9.80	5.24	18.61	3.10	5.40	10.00	0.11	1832	252611	3986125	W17
1.60	21.64	3.40	12.80	5.44	20.96	3.90	5.30	11.63	0.13	1870	254783	3988520	W18
2.44	18.45	3.10	12.10	3.25	19.37	3.30	6.20	9.75	0.12	1650	251545	3987725	W19
2.97	21.74	4.60	14.30	2.84	23.07	4.70	7.80	10.42	0.15	2180	259161	3997912	W20

ادامه جدول ۲-۴

درصد خطا	جمع آنیون‌ها	غلظت آنیون‌ها (epm)			جمع کاتیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها (epm)				EC ($\mu\text{mohs/cm}$)	مختصات		نمونه
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		utm _x	utm _y	
0.36	40.24	5.70	7.80	26.74	40.53	17.10	15.90	7.35	0.18	2430	278081	4016380	W21
1.23	35.28	6.40	7.40	21.48	36.16	12.80	16.20	6.96	0.20	2320	279540	4013521	W22
1.49	56.80	5.60	28.00	23.20	55.13	12.70	24.30	17.96	0.17	3600	265748	4008970	W23
2.21	22.94	6.40	13.60	2.94	23.98	4.10	10.40	9.36	0.12	2410	262443	399992	W24
3.25	19.88	4.70	12.30	2.88	18.00	3.20	5.10	10.22	0.11	1870	262953	3998032	W25
2.80	24.11	4.80	16.60	2.71	25.50	4.70	10.80	9.85	0.15	2280	260462	3995043	W26
2.86	24.02	2.90	15.80	5.32	25.43	3.70	11.80	9.79	0.14	2270	256176	3986017	W27
0.45	17.01	3.70	11.90	1.41	17.16	3.10	4.50	9.46	0.10	1700	257951	3980238	W28
1.39	22.19	4.10	12.50	5.59	21.58	3.50	8.50	9.48	0.10	1710	258875	3980066	W29
7.44	21.50	3.80	12.70	5.00	24.96	3.30	13.70	7.86	0.10	2000	257635	3977582	W30
2.54	30.94	3.70	20.20	7.04	32.55	5.20	12.80	14.43	0.12	3040	254847	3977608	W31
0.67	23.34	3.50	15.70	4.14	23.03	3.10	8.40	11.41	0.12	2410	255272	3983556	W32
2.91	22.05	3.70	11.50	6.85	23.37	3.80	10.20	9.24	0.13	1890	255947	3987659	W33
3.23	20.13	3.00	13.30	3.83	21.48	4.70	5.80	10.85	0.13	1790	264268	4007348	W34
4.18	41.90	4.70	20.00	17.20	38.54	12.20	13.80	12.35	0.19	3420	265562	4008302	W35
3.81	31.98	6.80	18.30	6.88	34.52	7.20	12.30	14.89	0.13	2530	269609	4005337	W36
9.26	57.01	13.90	13.00	30.11	47.34	18.40	13.60	15.03	0.31	4790	272606	4008579	W37
0.55	37.75	7.30	11.00	19.45	38.17	12.50	14.50	10.96	0.21	2710	280435	4009511	W38
0.35	58.05	11.50	18.75	27.80	58.46	21.80	18.70	17.70	0.26	4500	282287	4011233	W39

۴-۲-۱ ارزیابی مقادیر هدایت الکتریکی در دشت دامغان

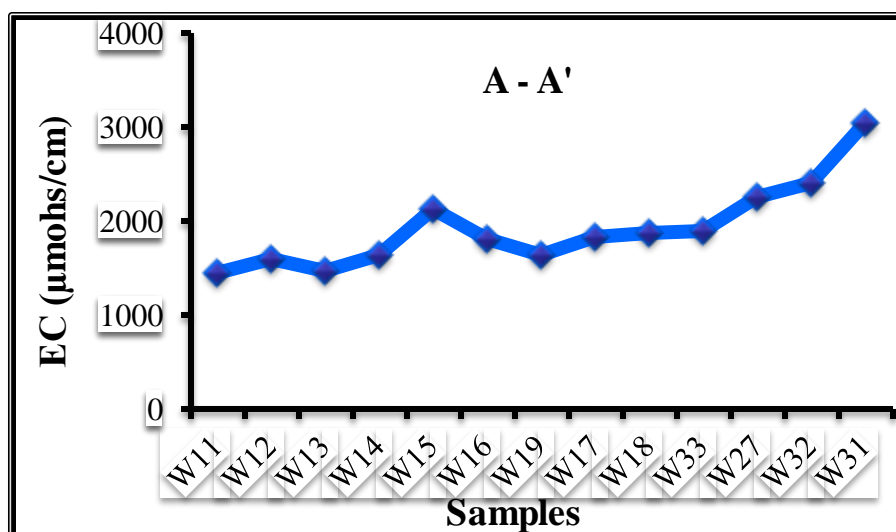
هدایت الکتریکی آب یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی است که به دلیل رابطه مستقیم آن با کل مواد جامد حل شده در آب از مهم‌ترین خصوصیات شیمیایی آب به شمار می‌رود. عوامل بسیاری بر روی مقادیر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تأثیرگذار می‌باشند که از جمله آن می‌توان به لیتولوژی آبخوان، زمان ماندگاری آب در آبخوان، سرعت حرکت آب زیرزمینی، میزان بارش‌های جوی، میزان برداشت از آبخوان، ورود فاضلاب‌ها و رواناب‌های کشاورزی، شهری و صنعتی و نفوذ آب شور به آبخوان اشاره نمود. به منظور بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در محدوده مورد مطالعه نقشه هدایت الکتریکی در تیر ماه سال ۱۳۹۵ با استفاده از نتایج مندرج در جدول (۴-۲) ترسیم گردید (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵: نقشه تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در آب زیرزمینی دشت دامغان

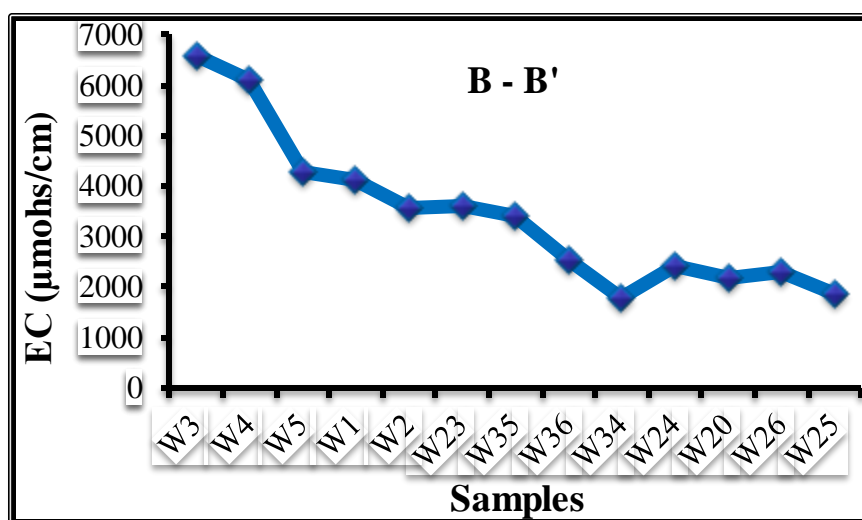
بررسی روند عمومی خطوط هم مقدار هدایت الکتریکی در نقشه نشان دهنده افزایش شوری در جهت جریان آب زیرزمینی می‌باشد. به طوری که میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از غرب آبخوان به سمت شرق، جنوب شرقی و جنوب آن افزایش یافته است. این امر تحت تأثیر جریان‌های تغذیه‌ای شمال و شرق، حل شدن بیشتر املاح در نتیجه افزایش طول مسیر جریان و زمان ماندگاری آب و اثرات رواناب‌های برگشتی از زمین‌های کشاورزی می‌باشد. همان طور که در نقشه مشاهده می‌شود افزایش مقادیر EC در همه نقاط از روند یکسانی برخوردار نیست و در بعضی مناطق افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد. تغییرات مقادیر EC در بخش‌های شمال و شمال شرقی به سمت خروجی به صورت چندین پروفیل طولی EC در جهت جریان در اشکال (۴-۶)، (۴-۷) و (۴-۸) ارائه شده است.

شکل (۴-۶) تغییرات هدایت الکتریکی از منطقه تغذیه بخش غربی به سمت بخش خروجی در شرق را نشان می‌دهد که در نقشه (۴-۵) به صورت مسیر A-A' نشان داده شده است. از منطقه تغذیه و در جهت جریان آب زیرزمینی مقدار هدایت الکتریکی از ۱۶۰۰ به حدود ۳۰۰۰ $\mu\text{mhos/cm}$ افزایش یافته است.



شکل ۴-۶: تغییرات EC از منطقه تغذیه بخش غربی به سمت منطقه تخلیه در بخش شرقی

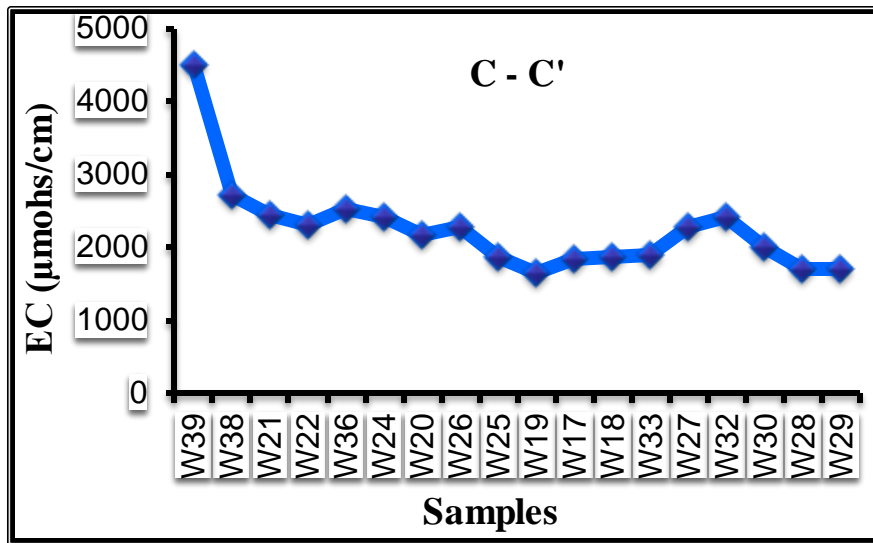
بیشترین میزان EC آب زیرزمینی در چاه‌های واقع در حواشی شمال و شمال شرق دشت مشاهده می‌شود که احتمالاً مقادیر زیاد هدایت الکتریکی در این منطقه ناشی از هجوم شورابه‌های کویر مجاور به سمت آبخوان می‌باشد که در نتیجه برداشت از آبخوان در این ناحیه رخ داده است. دلیل دیگر تخریب کیفیت آب زیرزمینی در این مناطق آبخوان می‌تواند گسترش رسوبات رسی و رس‌های ماسه‌ای در این ناحیه باشد. این مسئله سبب افزایش زمان ماندگاری آب در رسوبات شده و در نتیجه آن شوری آب زیرزمینی بالا رفته است. مناطق با هدایت الکتریکی کم عمدتاً در نیمه غربی دشت واقع شده‌اند، تغذیه مناسب آبخوان از ارتفاعات آهکی شمالی منطقه و به خصوص ورودی از رودخانه‌های چشمه‌علی و توبه دروار سبب کاهش مقدار شوری در این قسمت از دشت شده‌اند (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷: نمودار تغییرات EC از بخش شمالی به سمت جنوب

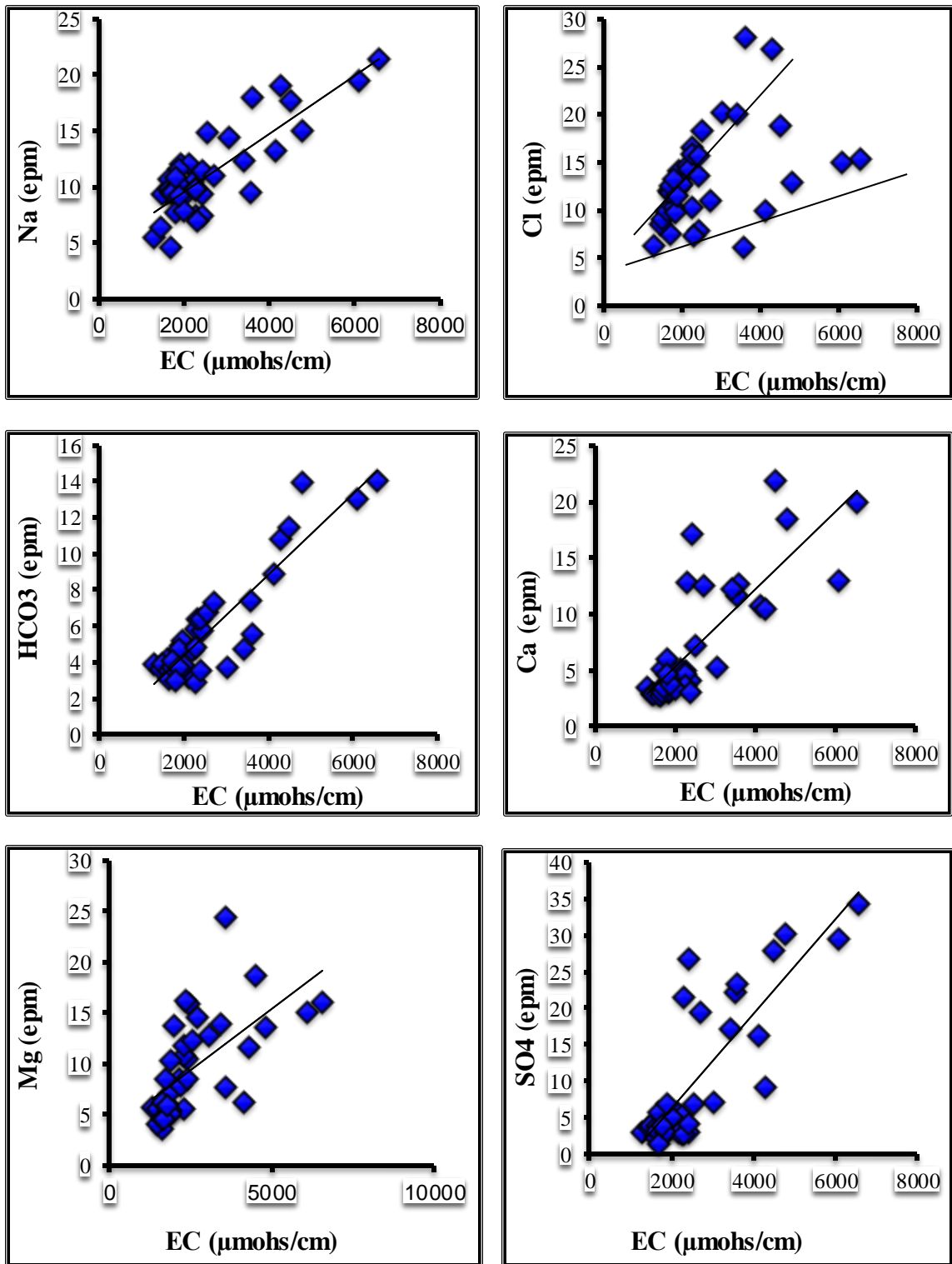
با توجه به شکل (۴-۸) مقدار EC در جهت جریان روند کاهشی داشته و این امر نشانگر زیاد بودن مقدار EC در مناطق تغذیه می‌باشد، که می‌تواند به دلیل هجوم آب شور از طرفین به سمت آبخوان و انحلال سازندهای نمکی در اطراف این دشت باشد، به طوری که در بخش شمال شرقی بیشترین مقدار EC مشاهده شد، بنابراین برداشت زیاد آب در این مناطق باعث افت سطح آب زیرزمینی، هجوم آب شور و

برهم خوردن روند طبیعی تغییرات EC شده است. در کل می توان نتیجه گرفت دشت دامغان از طرف بخش های شمال و شمال شرقی تحت تأثیر هجوم آب شور قرار گرفته و از روند جریان آب زیرزمینی پیروی نمی کند. این امر به مرور زمان باعث کاهش کیفیت آب دشت جهت مصارف مختلف و در نتیجه کاهش برداشت شده است.



شکل ۴-۸: نمودار تغییرات EC از بخش شمالی شرقی به سمت جنوب

در شکل (۴-۹) به منظور تعیین ارتباط هدایت الکتریکی با یون های مختلف، نمودار غلظت یون های کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و بی کربنات در مقابل هدایت الکتریکی ترسیم شده است. با توجه به شکل، یون های سدیم، کلر و بی کربنات تقریباً رابطه مستقیمی با هدایت الکتریکی نشان می دهند اما سایر یون ها پراکندگی بیشتری به خصوص در مقادیر EC بالاتر دارند. این مسئله نشان می دهد که عامل اصلی افزایش EC در این منطقه تبخیر نمی باشد، زیرا در اثر تبخیر غلظت تمامی یون ها افزایش می یابد. بنابراین عامل اصلی افزایش شوری در منطقه می تواند انحلال سازندهای تبخیری ژپس و نمک باشد. روند تغییرات یون کلر با EC تقریباً از دو مسیر پیروی می کند که احتمالاً دلیل آن نفوذ آب شور از دو بخش شمالی و شمال شرقی و نیز افزایش در جهت جریان باشد.



شکل ۴-۹: نمودار رابطه یون‌های مختلف در مقابل هدایت الکتریکی در دشت دامغان

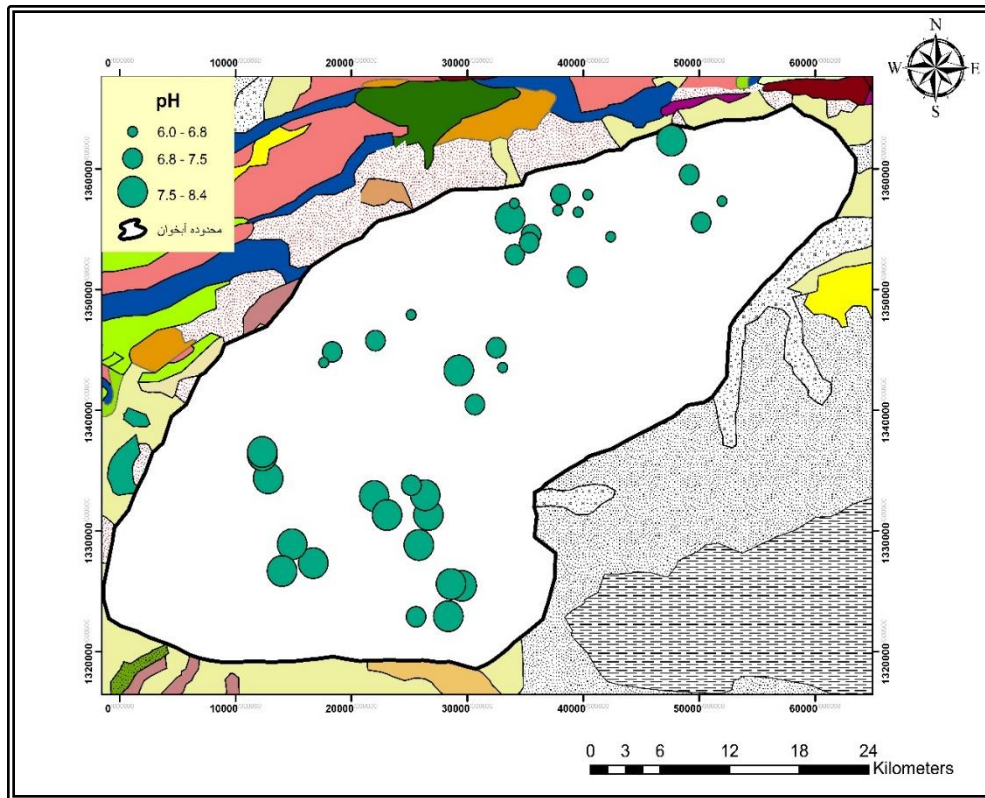
۴-۲-۲ ارزیابی مقدار pH آب زیرزمینی دشت دامغان

این پارامتر نشان دهنده مقدار یون هیدروژن موجود در آب است که می‌تواند انحلال مواد و فعالیت‌های بیولوژیکی آن را تحت تأثیر قرار دهد به همین دلیل لازم است در آنالیزهای کیفی به منظور طبقه بندی آب‌ها تعیین شود. آب‌های طبیعی معمولاً دارای pH بین ۶ تا ۹ هستند و این میزان تحت تأثیر عواملی همچون میزان دی اکسید کربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات و هم‌چنین درجه حرارت آب است (Hounslow, 1995). به طوری که با افزایش دما و دی اکسید کربن محلول در آب، pH کاهش و با افزایش میزان یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب، pH افزایش می‌یابد. مقدار این پارامتر در چاه‌های انتخابی در محدوده مورد مطالعه در محل اندازه‌گیری شده و نتایج در جدول (۳-۴) درج شده است. مقدار pH در دشت دامغان از ۶ تا ۸/۵ متغیر است. کمترین مقدار pH در بخش‌های تغذیه اندازه‌گیری شده است و در جهت جریان آب زیرزمینی مقدار pH افزایش یافته به طوری که بیشترین آن در زون تخلیه در بخش شرقی مشاهده می‌گردد. علت آن می‌تواند کاهش مقدار CO₂ در مسیر جریان از بالادست به سمت زون تخلیه باشد.

جدول ۳-۴: مقادیر pH اندازه‌گیری شده در چاه‌های نمونه برداری شده از دشت دامغان

pH	UTMY	UTMX	شماره چاه	pH	UTMY	UTMX	شماره چاه
7.6	4016380	278081	W21	6.7	4010697	269855	W1
7.0	4013521	279540	W22	6.8	4010901	268097	W2
7.4	4008970	265748	W23	6.4	4012117	270730	W3
7.5	3999692	262443	W24	7.4	4012224	268385	W4
6.0	3998032	262953	W25	6.4	4011604	264373	W5
7.5	3995043	260462	W26	8.4	4010401	263981	W6
7.8	3986017	256176	W27	6.0	4002634	255192	W7
7.7	3980238	257951	W28	7.4	4000599	252043	W8
7.9	3980066	258875	W29	6.7	3998911	247530	W9
7.7	3977582	257635	W30	7.3	3999787	248295	W10
7.2	3977608	254847	W31	7.7	3991674	242000	W11
7.7	3983556	255272	W32	7.8	3991396	242000	W12
7.6	3987659	255947	W33	7.9	3989475	242445	W13
7.4	4007348	264268	W34	7.8	3983950	244347	W14
7.3	4008302	265562	W35	7.8	3981761	243410	W15
7.3	4005337	269609	W36	7.9	3982335	246118	W16
6.7	4008579	272606	W37	7.9	3986125	252611	W17
7.0	4009511	280435	W38	7.2	3988520	254783	W18
6.5	4011233	282287	W39	8.1	3987725	251545	W19
				7.8	3997912	259161	W20

شکل (۴-۱۰) مقادیر pH چاه‌های انتخابی در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اکثر نمونه‌ها دارای pH قلیایی هستند.



شکل ۴-۱۰: مقادیر pH نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان

۴-۲-۳ بررسی غلظت یون‌های اصلی در منابع آب دشت دامغان

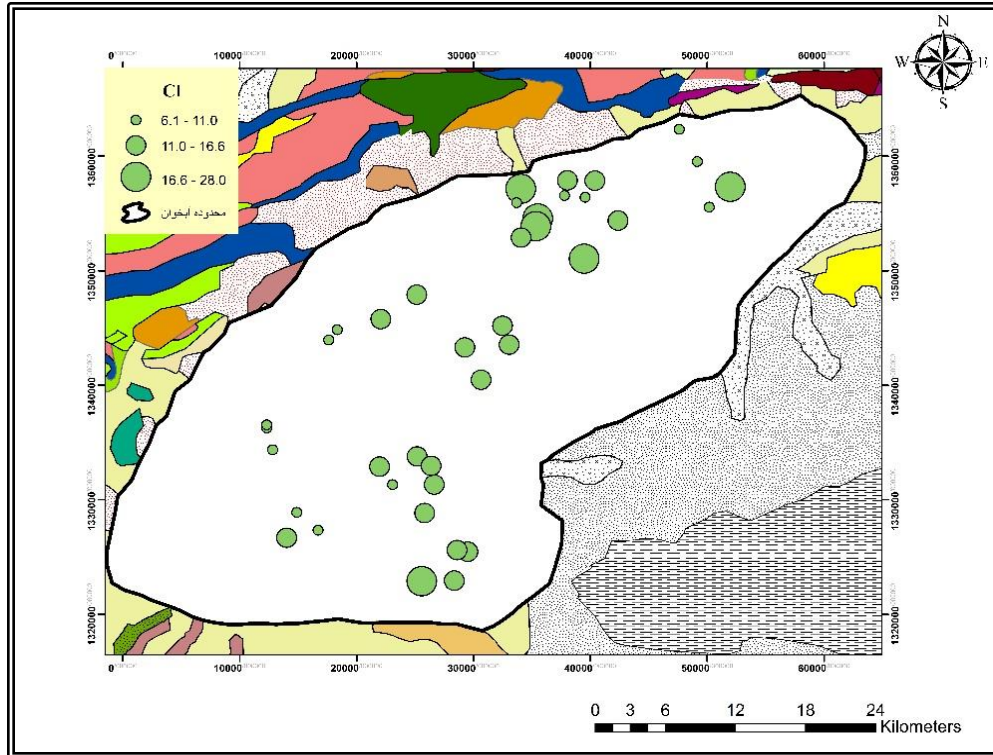
از مهم‌ترین کاتیون‌های موجود در آب می‌توان به کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+) و پتاسیم (K^+) اشاره کرد. آنیون‌های اصلی موجود در آب‌های طبیعی نیز شامل بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلر (Cl^-)، سولفات (SO_4^{2-}) و نترات (NO_3^-) می‌باشند که بی‌کربنات مهم‌ترین آنها است. یون‌های مختلف با توجه به خصوصاتی که دارند به تفسیر هیدروژئوشیمی آبخوان کمک می‌کنند. از این رو مطالعه و بررسی آنها برای شناخت تغییرات شیمی آب‌های زیرزمینی لازم است. در این بخش تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۲-۳-۱ غلظت یون کلر

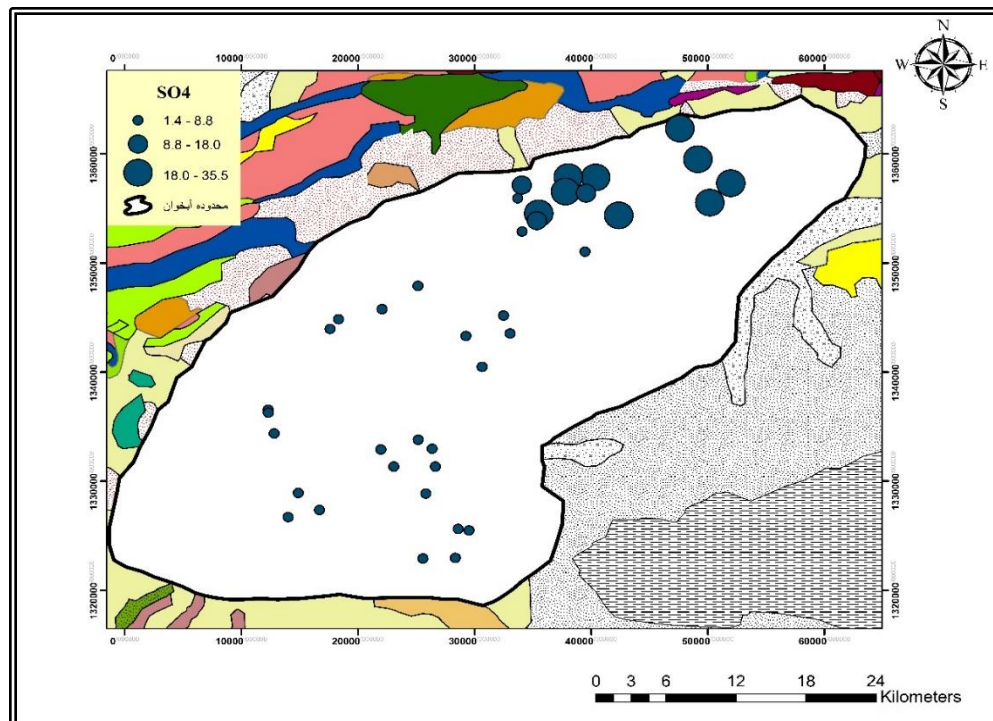
یون کلر به عنوان عامل تعیین کننده میزان شوری آب است. زیرا بیشترین اثر را در افزایش هدایت الکتریکی دارد. در اکثر موارد، منشأ یون کلر در آبهای زیرزمینی انحلال تبخیریها و کفههای نمکی و یا نفوذ شورابهها به آبخوانها است. مقدار این آنیون از بین ۶ تا ۲۸ میلی‌اکی‌والان در لیتر متغیر است. در ارتباط با منشأ کلر در دشت دامغان با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و قرارگیری در حاشیه کویر، عامل احتمالی افزایش این یون انحلال رسوبات نمکی و گچی سازند کرج واقع در شمال دشت است. شکل (۴-۱۱) نقشه تغییرات یون کلر در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین مقدار کلر مربوط به غرب آبخوان است و در جهت حرکت آب زیرزمینی غلظت این یون افزایش می‌یابد. با مقایسه نقشه‌های کلر و هدایت الکتریکی مشاهده می‌شود که روند عمومی آنها با هم همخوانی دارد. بیشترین غلظت کلر در بخش‌های شمالی و شمال شرقی مشاهده می‌شود که علت آن می‌تواند نفوذ جبهه‌های آب شور در این مناطق باشد.

۴-۲-۳-۲ غلظت یون سولفات

سولفات یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در افزایش هدایت الکتریکی است، اما تأثیر آن از یون کلر کمتر است. منبع ورود این یون در آب‌های طبیعی انحلال ترکیبات سولفات مانند ژئوپس یا انیدریت می‌باشد. شکل (۴-۱۲) نقشه تغییرات سولفات را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که در نقشه مشاهده می‌شود بیشترین غلظت سولفات در شمال دشت دیده می‌شود که علت آن انحلال سازندهای تبخیری ژئوپس و انیدریت (سازند کرج) در آب‌های زیرزمینی منطقه است. غلظت این آنیون از حدود ۰/۰۲ در بخش‌های غربی و جنوبی تا ۳/۳۴ میلی‌اکی‌والان در لیتر در شمال منطقه متغیر است. تغییرات غلظت این آنیون نیز تا حدودی با تغییرات هدایت الکتریکی مطابقت دارد.



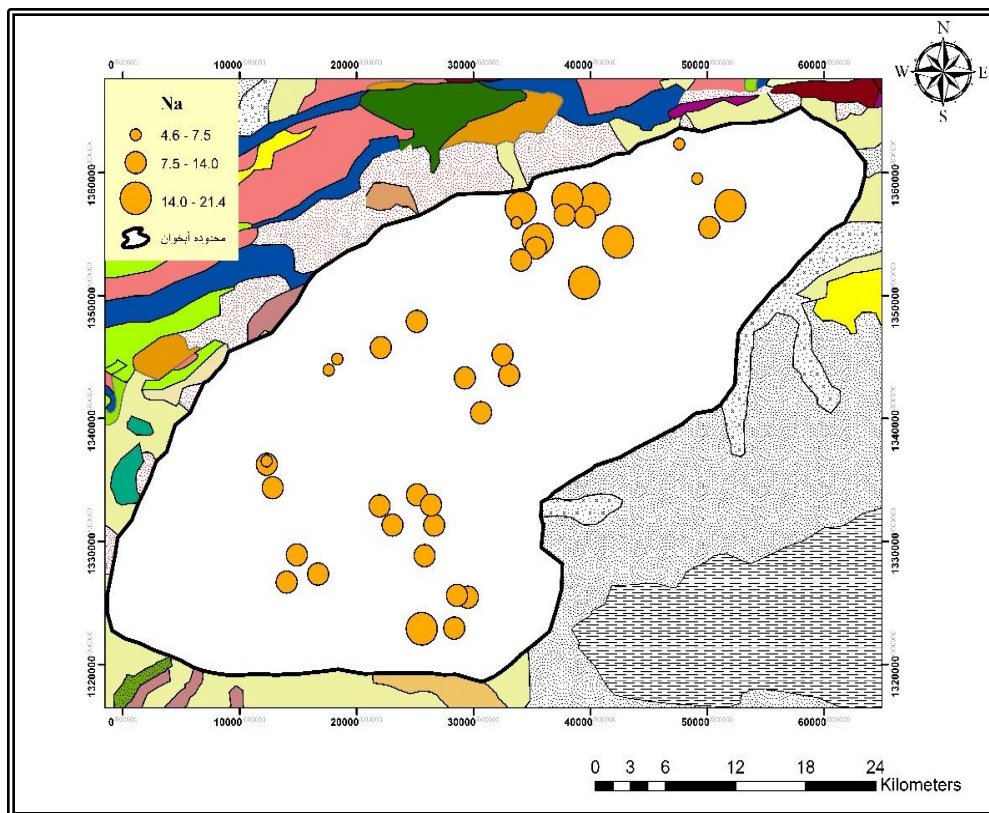
شکل ۴-۱۱: نقشه پراکندگی غلظت کلر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان



شکل ۴-۱۲: نقشه پراکندگی غلظت سولفات نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان

۳-۲-۳-۴ غلظت یون سدیم

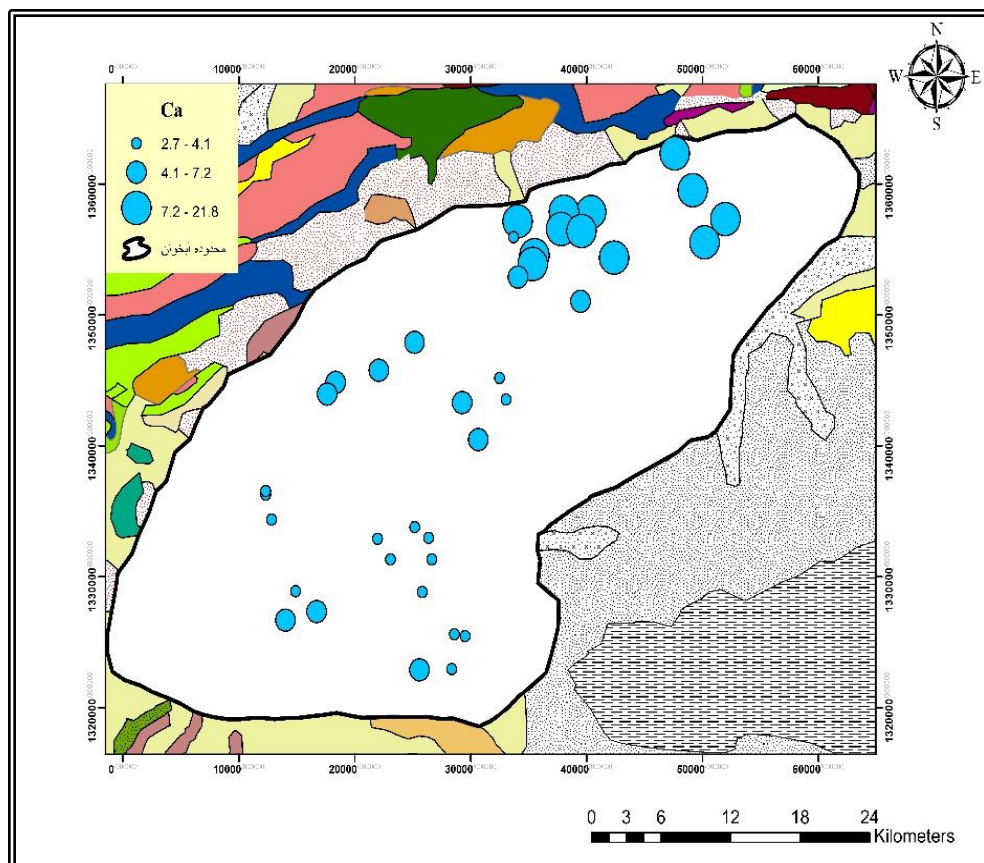
سدیم از مهم‌ترین کاتیون‌های موجود در آب‌های زیرزمینی بوده که با میزان شوری آب رابطه مستقیم دارد. منشأ اصلی سدیم در آب‌های زیرزمینی را می‌توان هوازدگی، تبادل کاتیونی، انحلال هالیت و به میزان کمتری انحلال فلدسپات‌ها دانست. نقشه غلظت این یون در شکل (۴-۱۳) ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار سدیم از حدود ۴/۳۵ در بخش‌های جنوبی و غربی تا ۲۱/۴۷ میلی‌اکی‌والان در لیتر در شمال دشت متغیر است. بنابراین غلظت این کاتیون نیز با هدایت الکتریکی مطابقت دارد. گسترش نهشته‌های تبخیری در بخش شمال شرقی و انحلال آنها می‌تواند منبع تأمین کننده یون سدیم در آب‌های زیرزمینی این منطقه باشد.



شکل ۴-۱۳: نقشه پراکندگی غلظت یون سدیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان

۴-۲-۳-۴ غلظت یون کلسیم

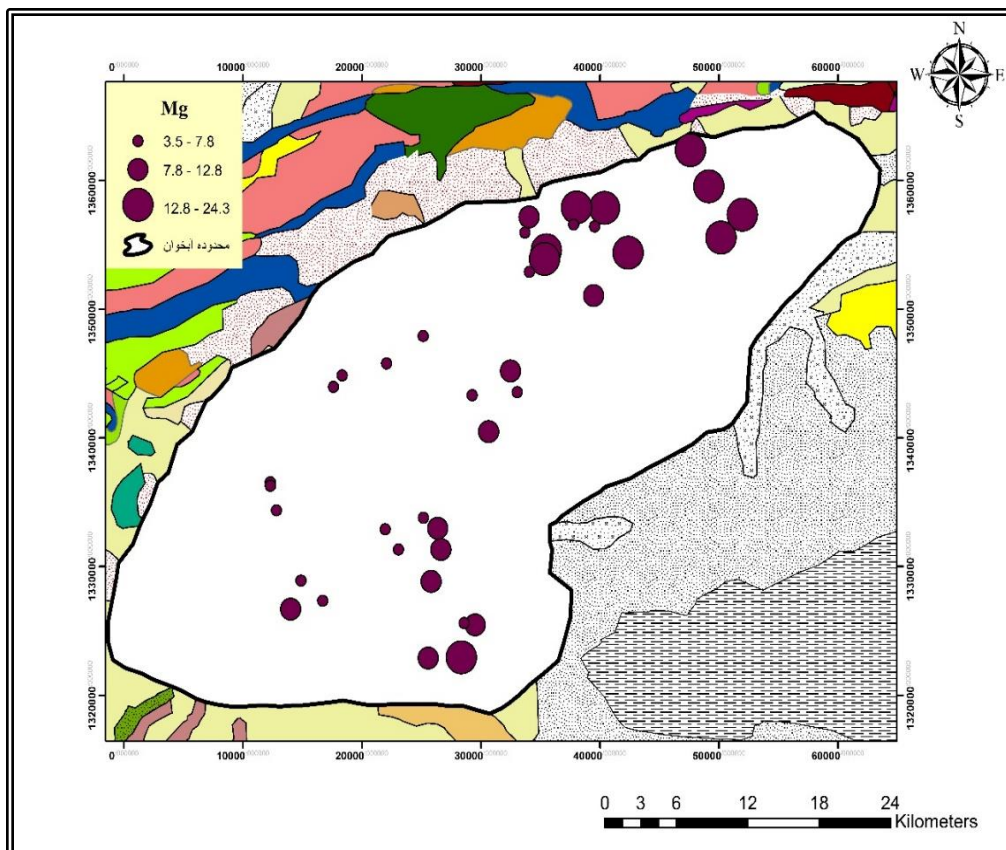
کلسیم یکی از کاتیون‌های مهم در منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شود. منشأ این یون در آب‌ها عموماً به انحلال ژپس، آهک، دولومیت و یا تبادل کاتیونی نسبت داده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۴-۱۴) ملاحظه می‌شود غلظت یون کلسیم از ۲/۷۰ تا ۲۱/۸۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر تغییر می‌کند. بیشترین غلظت آن در بخش شمالی دشت مشاهده می‌شود که علت آن را می‌توان به انحلال سازندهای تبخیری نسبت داد. این تغییرات با نقشه پراکندگی سولفات همخوانی دارد که احتمالاً بیانگر انحلال ژپس در این محدوده می‌باشد. انحلال سازندهای کربناته نیز ممکن است در این منطقه رخ داده باشد زیرا مقدار بی‌کربنات نیز در زون شمالی بیشتر است.



شکل ۴-۱۴: نقشه پراکندگی غلظت یون کلسیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان

۴-۲-۳-۵ غلظت یون منیزیم

شکل (۴-۱۵) نقشه پراکندگی غلظت یون منیزیم در دشت دامغان را نشان می‌دهد. الگوی پراکندگی یون منیزیم مشابه با کلسیم می‌باشد با این تفاوت که در زون تخلیه مقدار منیزیم بیشتر از کلسیم است. منشأ منیزیم می‌تواند انحلال لایه های تبخیری، تبادل کاتیونی با سدیم و فرآیند تبخیر باشد.

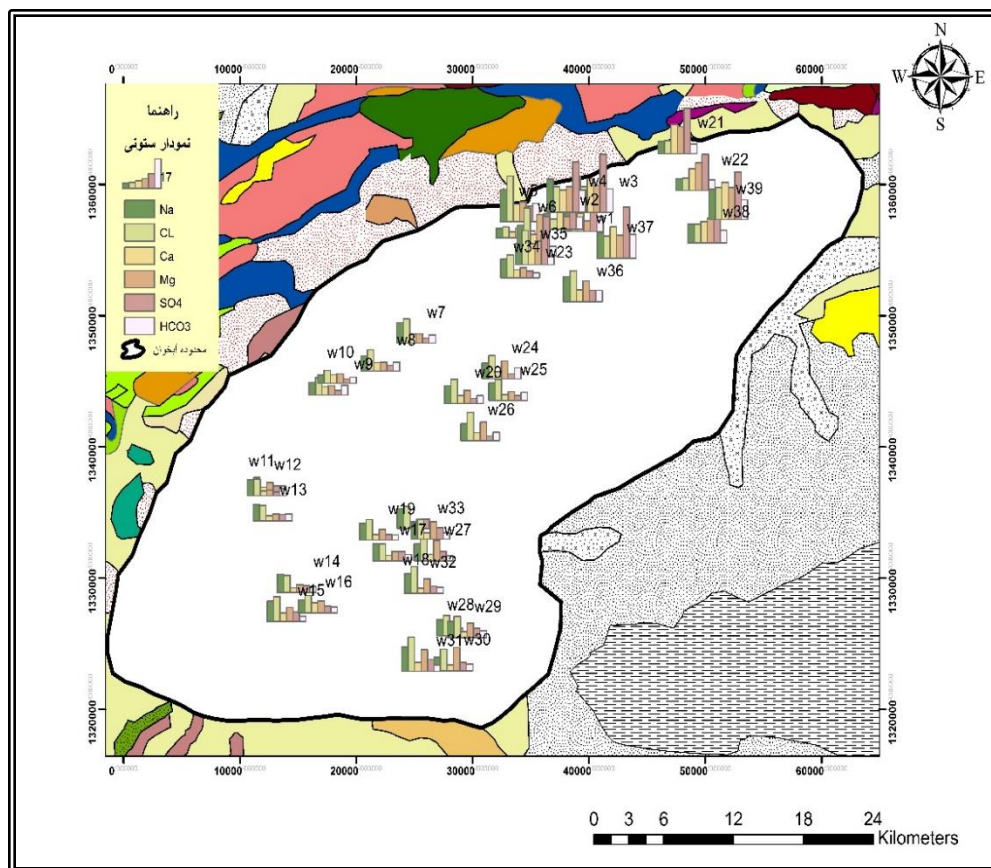


شکل ۴-۱۵: غلظت یون منیزیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان

۴-۲-۴ نمودار ستونی یون‌های اصلی در منابع آب دشت دامغان

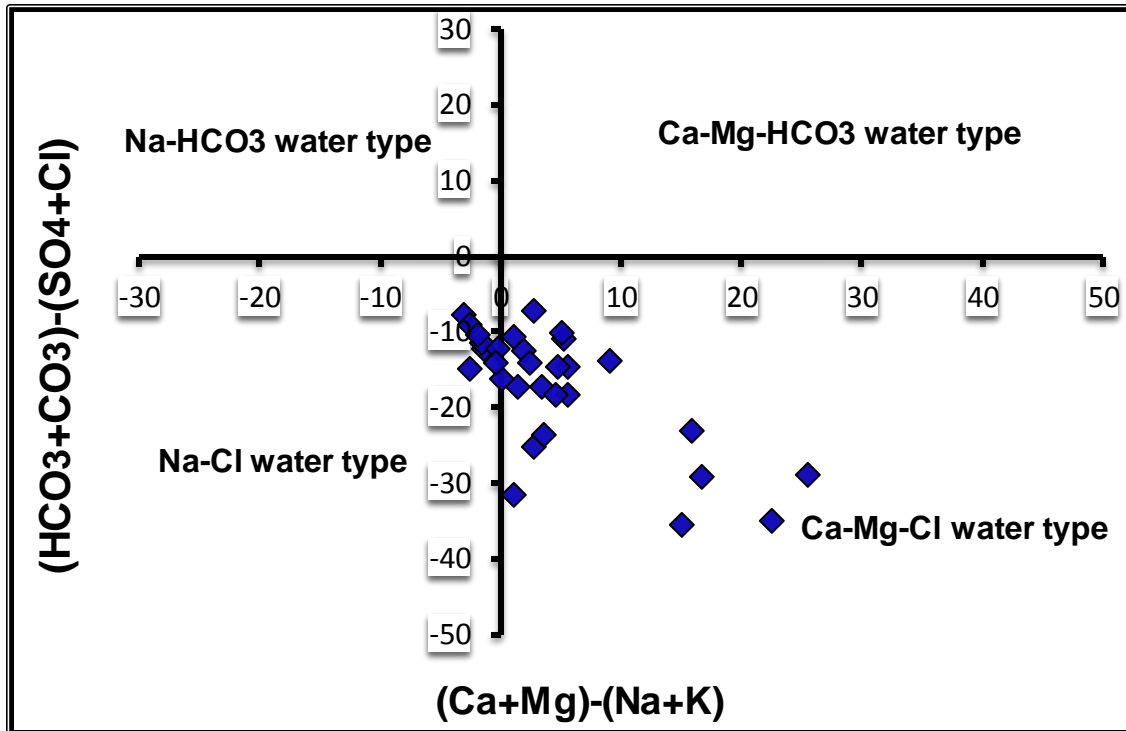
برای تشخیص و مقایسه سریع رخساره‌های هیدروشیمیایی و هم‌چنین تشخیص سریع یون‌های غالب در نقاط مختلف آبخوان می‌توان از نمودارهای ستونی استفاده کرد. به همین منظور نمودارهای ستونی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان ترسیم شد (۴-۱۶). همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود غلظت یون‌ها در بخش شمالی بیشتر از بخش‌های جنوبی و به خصوص غربی است. یون‌های غالب در شمال

دشت شامل بی‌کربنات، سولفات و بعد از آن کلسیم است که منشأ آنها می‌تواند انحلال نهشته‌های تبخیری باشد. در بخش‌های جنوبی و مرکزی دشت یون‌های کلر، سدیم و بعد از آن منیزیم غالب می‌باشند. در بخش شمال دشت در برخی نقاط کلر و سدیم یون‌های غالب می‌باشند. بدین ترتیب تیپ آب در زون‌های تغذیه غربی و مرکز دشت، بیشتر Na-Cl و Ca-Mg-Cl می‌باشد، اما در بخش شمال شرقی دشت به دلیل انحلال سازندهای تبخیری تیپ آب بیشتر سولفات بوده و به سمت شمال دشت تیپ آب کلروره می‌شود.



شکل ۴-۱۶: نمودار ستونی غلظت یون‌های اصلی در منابع آب دشت دامغان

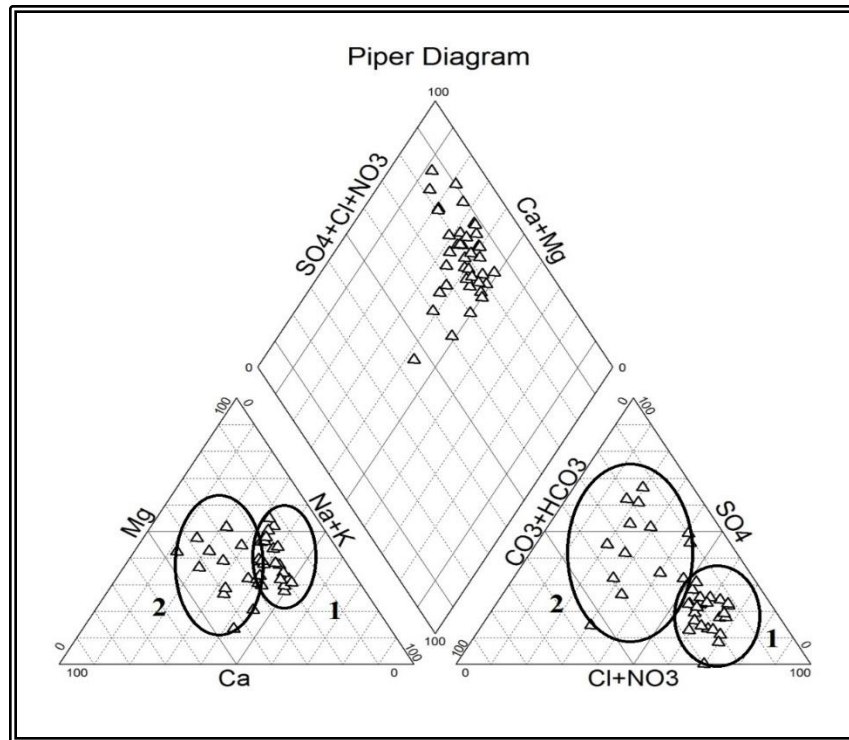
بر اساس نمودار (Ca+ Mg) - (Na+ K) در مقابل (HCO₃+ CO₃) - (SO₄+ Cl) در شکل (۴-۱۷) تیپ غالب نمونه‌های آب دشت دامغان Na- Cl و Ca- Mg- Cl است.



شکل ۴-۱۷: نمودار (Ca+ Mg) - (Na+ K) در مقابل (HCO₃+ CO₃) - (SO₄+ Cl)

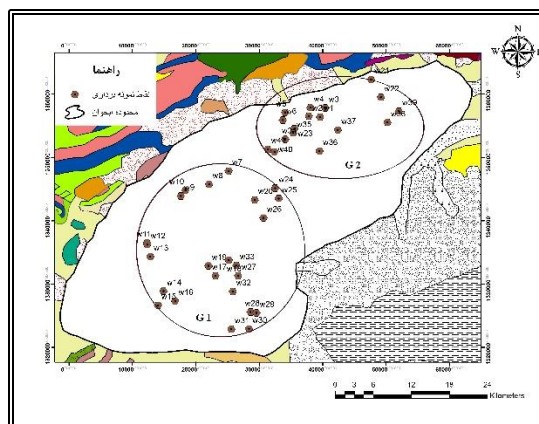
۴-۲-۵ بررسی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در منابع آب زیرزمینی دشت دامغان

نمودار پایپر یکی از نمودارهای رایج جهت بررسی هیدروژئوشیمی آبخوان‌ها می‌باشد. در این نمودار تیپ آب بر اساس غلظت آنیون‌ها و رخساره آب بر اساس اولویت غلظت کاتیون‌ها تعیین می‌گردد. با استفاده از نمودار پایپر علاوه بر تعیین تیپ و رخساره آب، می‌توان مسیر تکامل ژئوشیمیایی آبخوان را ارزیابی کرد و وقوع فرآیندهای انحلال و ته نشینی، اختلاط آب‌ها و تبادل یونی را نیز پیش بینی نمود. شکل (۴-۱۸) نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار پایپر، تمامی منابع آب دشت دامغان دارای شوری متوسط تا زیاد می‌باشند، به طوری که در این منابع



شکل ۴-۱۸: نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان

یون‌های قلیائی خاکی و اسیدهای قوی غالب می‌باشد. بنابراین در این دشت منابع آب دارای سختی دائم هستند. با توجه به مثلث کاتیون‌ها و آنیون‌ها منابع آب دشت به دو گروه اصلی قابل تفکیک می‌باشند که در شکل (۴-۱۹) مشخص شده‌اند.

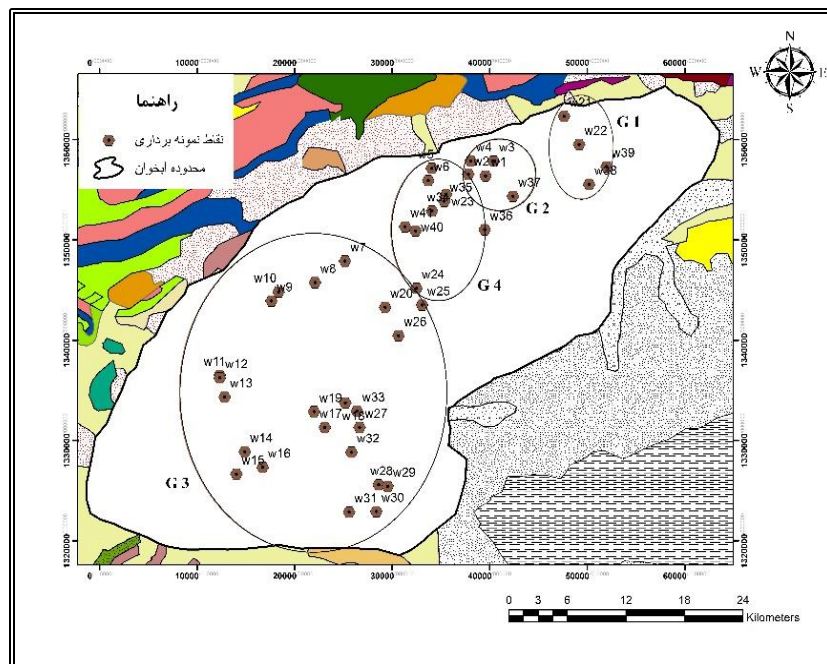


شکل ۴-۱۹: گروه بندی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان بر نمودار پایپر

گروه اول که غلظت تمام یون‌ها در آنها نزدیک به یکدیگر است و گروه دیگر پراکندگی نشان می‌دهند. در گروه اول غلظت یون‌های کلر، سدیم و منیزیم غالب بوده و در گروه دوم غلظت کلسیم، سولفات و تا حدی بی‌کربنات غالب است. با توجه به دیاگرام لوزی مانند تمام نمونه‌ها از یک روند تبعیت می‌کنند که بیشتر مربوط به نفوذ آب شور می‌باشد. اما تا حد کمی روند اختلاط نیز در آنها مشاهده می‌شود. افزایش غلظت کلسیم می‌تواند به دلیل انحلال ژیپس و یا فرآیند تبادل کاتیونی باشد.

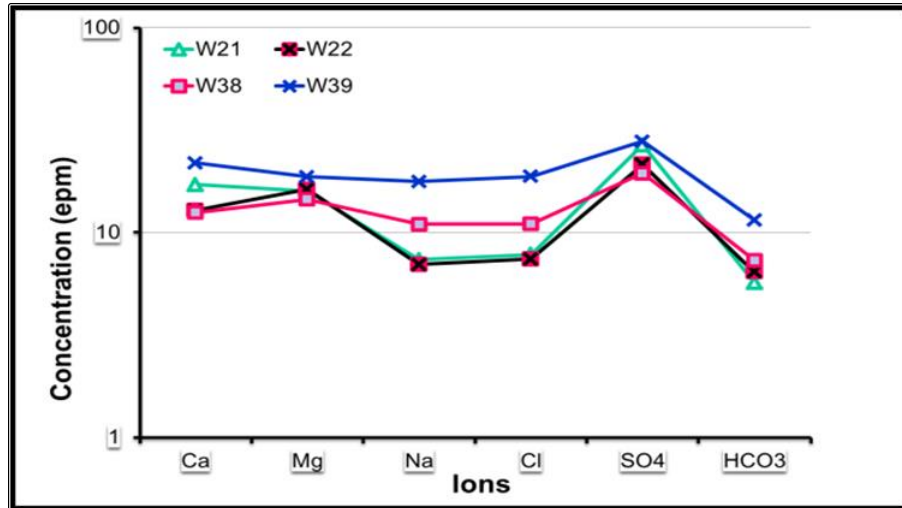
۴-۲-۶ بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی

به منظور تعیین منشأ یون‌ها می‌توان از روند تغییرات یون‌های اصلی (نمودار شولر) استفاده کرد. در نمودار نیمه لگاریتمی شولر غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، کلر و بی‌کربنات روی محور عمودی بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر با مقیاس لگاریتمی درج شده است. در این نمودار اگر خطوطی که مقادیر یون‌ها را به هم وصل می‌کنند موازی باشند می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌ها منشأ یکسان دارند. با توجه به روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی، منابع آب دشت دامغان به چهار گروه مجزا تفکیک شده‌اند که موقعیت آنها در منطقه مورد مطالعه در شکل (۴-۲۰) مشاهده می‌شود.



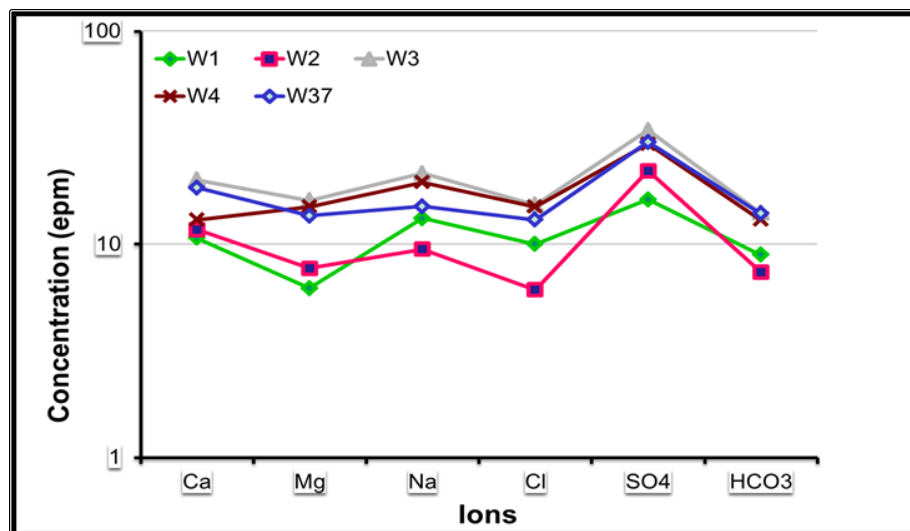
شکل ۴-۲۰ گروه بندی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان بر نمودار شولر

نمونه‌های منطقه تغذیه در بخش شمال شرقی دارای روند یکسان بوده و در این نمونه‌ها بیشتر یون‌های کلسیم، منیزیم و سولفات غالب می‌باشند (شکل ۴-۲۱).



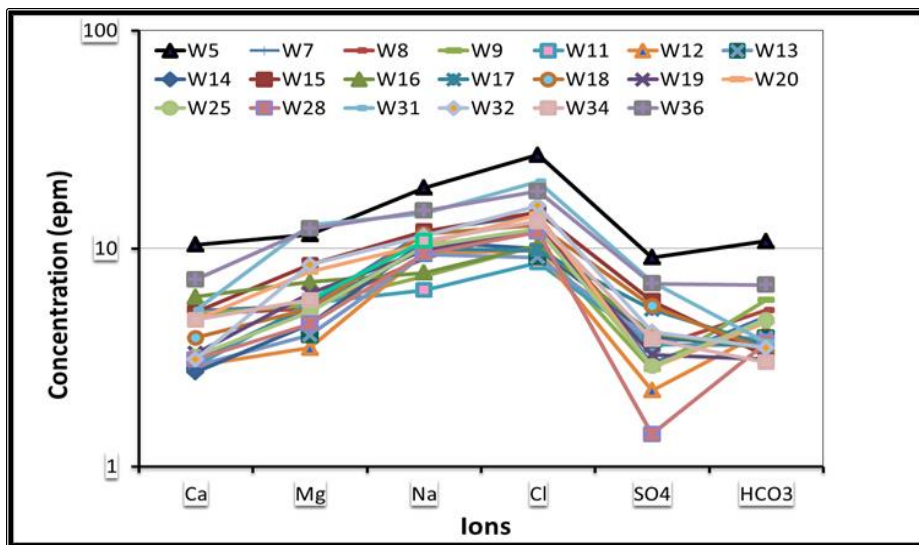
شکل ۴-۲۱: نمودار شولر نمونه‌های آب گروه ۱ در دشت دامغان

با حرکت به سمت بخش شمالی، غلظت یون سدیم نیز علاوه بر یون‌های دیگر افزایش می‌یابد که این امر در اثر انحلال نمک و یا تبادل کاتیونی در این بخش می‌باشد (شکل ۴-۲۲).

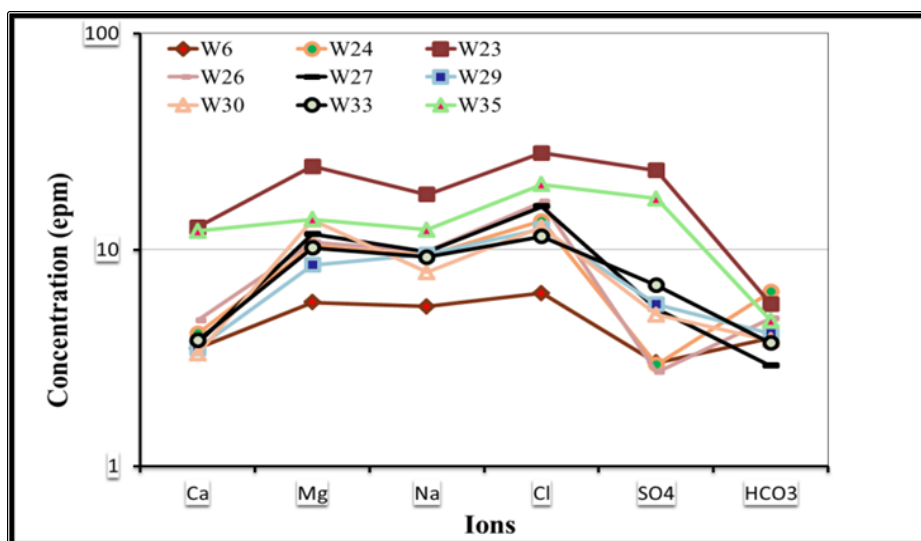


شکل ۴-۲۲: نمودار شولر نمونه‌های آب گروه ۲ در دشت دامغان

در سایر نقاط دشت در منطقه تغذیه در بخش غربی و بخش‌های مرکزی و زون تخلیه روندها تقریباً یکسان بوده و یون‌های سدیم، کلر و در برخی نقاط متمایل به شمال یون‌های منیزیم و کلر غالب می‌باشند. بنابراین تیپ آب در این بخش‌ها عمدتاً $Cl-Mg$ و یا $Cl-Na$ می‌باشد (شکل ۴-۲۳) و (۴-۲۴).



شکل ۴-۲۳: نمودار شولر نمونه‌های آب گروه ۳ در دشت دامغان



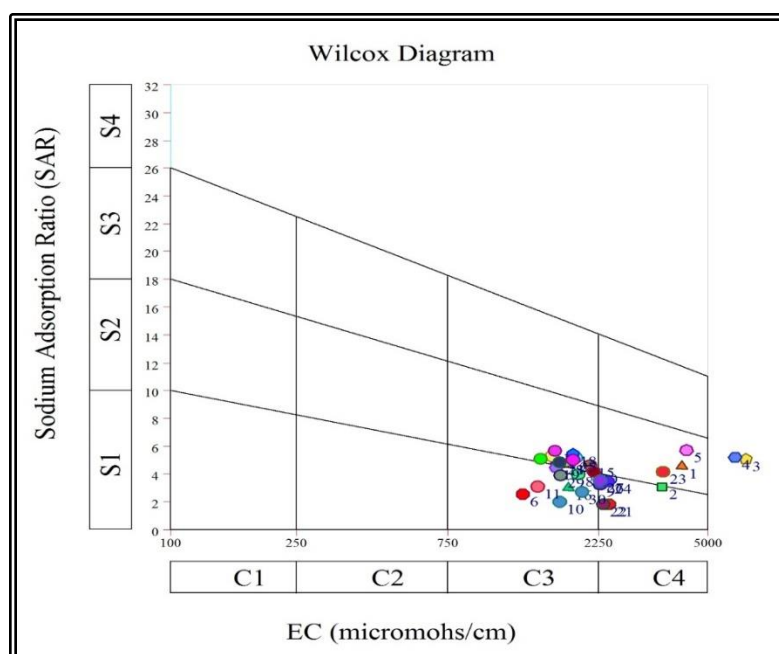
شکل ۴-۲۴: نمودار شولر نمونه‌های آب گروه ۴ در دشت دامغان

۷-۲-۴ بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر کشاورزی

به منظور ارزیابی کیفی آب برای مصارف کشاورزی از نمودار ویلکاکس استفاده می‌شود. این نمودار بر اساس دو پارامتر EC و SAR رسم می‌شود که در آن EC به عنوان خطر شوری و SAR (نسبت جذب سدیم) به عنوان خطر قلیائیت در نظر گرفته می‌شود که مقدار آن طبق فرمول زیر محاسبه شده است:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

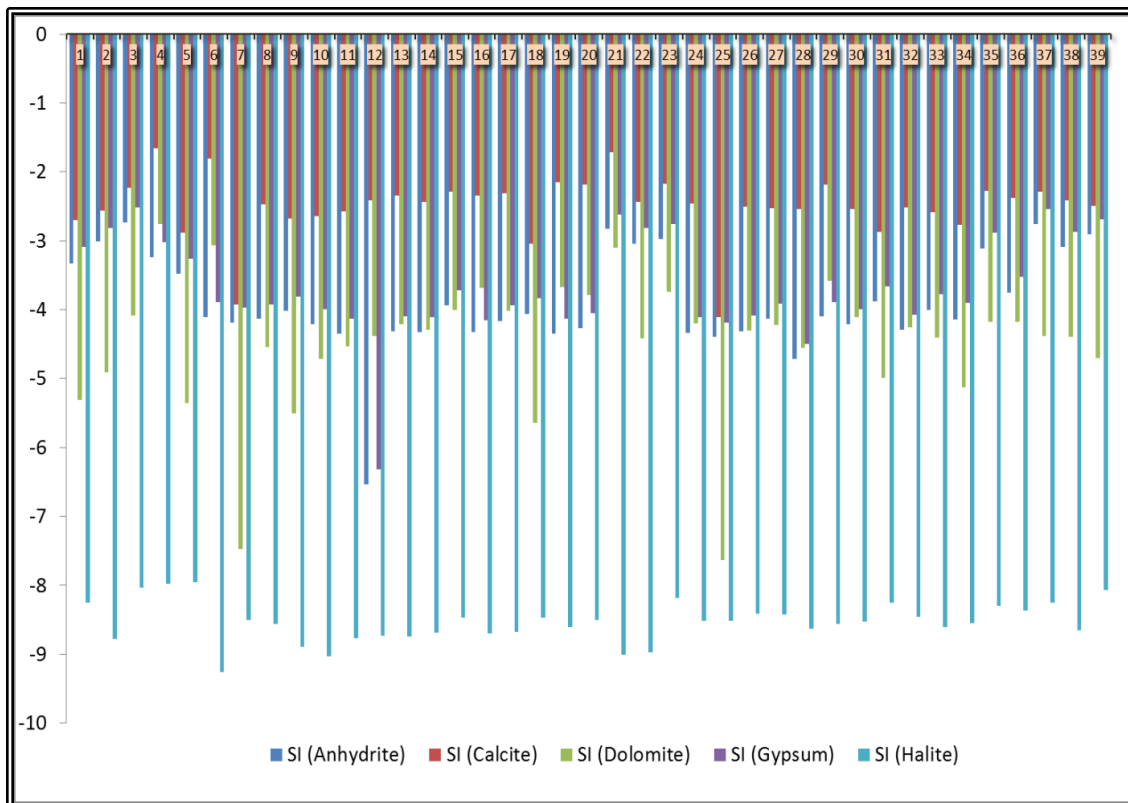
بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس آب‌های خیلی خوب دارای EC کمتر از ۲۵۰ میکرومویس بر سانتی‌متر بوده و در گروه C1S1 قرار می‌گیرند، آب‌های خوب در رده C1S2، C2S1 و C2S2، آب‌های متوسط در رده C3S3، C1S3، C2S3، C3S2 و C3S1 قرار گرفته و سایر آب‌ها نامناسب هستند. همان گونه که در شکل (۴-۲۵) مشهود است اغلب نمونه‌های دشت دامغان در کلاس C3S1 و در رده آب‌های با کیفیت متوسط از نظر کشاورزی قرار گرفته‌اند. هم‌چنین تعداد قابل توجهی از نمونه‌ها در رده C4S1 و تعداد کمی نیز در گروه C4S2 در تقسیم‌بندی آب‌های با کیفیت نامناسب قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۲۵: نمودار ویلکاکس مربوط به منابع آب زیرزمینی دشت دامغان

۸-۲-۴ بررسی شاخص‌های اشباع کانی‌ها در دشت دامغان

یکی دیگر از روش‌های بررسی دقیق تأثیر لیتولوژی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی محاسبه شاخص اشباع برای کانی‌های مختلف می‌باشد. اگر شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به یک کانی مثبت باشد بیانگر این است که کانی مورد نظر نمی‌تواند در آب زیرزمینی حل شود و رسوب می‌کند اما در صورتی که شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به یک کانی منفی باشد بدین معنی است که آب نسبت به آن کانی تحت اشباع است و می‌تواند همچنان آن کانی را در خود حل کند. شاخص اشباع هر یک از نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نسبت به کانی‌های ژیپس، انیدریت، هالیت، کلسیت و دولومیت با استفاده از نرم افزار PHREEQC محاسبه و نتایج در جدول (۴-۴) و شکل (۴-۲۶) ارائه شده است.



شکل ۴-۲۶: مقادیر شاخص‌های اشباع منابع آب زیرزمینی دشت دامغان

با توجه به جدول ملاحظه می‌شود شاخص اشباع تمام نمونه‌ها نسبت به کانی‌های ژیپس، انیدریت، کلسیت، دولومیت و هالیت منفی می‌باشد که بیانگر این است که آب‌های زیرزمینی این منطقه نسبت به این کانی‌ها تحت اشباع هستند و کانی‌های مذکور در حال انحلال در آب زیرزمینی می‌باشند. کمترین میزان شاخص اشباع مربوط به کانی هالیت و بیشترین آن مربوط به کانی کلسیت می‌باشد.

جدول ۴-۴: مقادیر شاخص‌های اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان

Sample	SI (Anhydrite)	SI (Calcite)	SI (Dolomite)	SI (Gypsum)	SI (Halite)
W1	-3.33	-2.7	-5.31	-3.09	-8.25
W2	-3.01	-2.56	-4.91	-2.81	-8.78
W3	-2.74	-2.23	-4.09	-2.52	-8.03
W4	-3.24	-1.66	-2.76	-3.02	-7.98
W5	-3.48	-2.88	-5.36	-3.26	-7.96
W6	-4.11	-1.81	-3.07	-3.89	-9.26
W7	-4.19	-3.92	-7.47	-3.97	-8.51
W8	-4.13	-2.47	-4.54	-3.92	-8.56
W9	-4.02	-2.68	-5.5	-3.81	-8.89
W10	-4.21	-2.64	-4.72	-3.99	-9.03
W11	-4.35	-2.58	-4.53	-4.13	-8.77
W12	-6.53	-2.41	-4.38	-6.32	-8.73
W13	-4.31	-2.35	-4.21	-4.1	-8.75
W14	-4.33	-2.44	-4.29	-4.11	-8.69
W15	-3.94	-2.29	-4	-3.72	-8.47
W16	-4.33	-2.35	-3.69	-4.15	-8.7
W17	-4.16	-2.31	-4.02	-3.94	-8.68
W18	-4.06	-3.04	-5.64	-3.83	-8.47
W19	-4.35	-2.15	-3.67	-4.13	-8.61
W20	-4.27	-2.19	-3.79	-4.05	-8.5
W21	-2.83	-1.72	-3.1	-2.62	-9.01
W22	-3.04	-2.44	-4.42	-2.82	-8.97
W23	-2.98	-2.17	-3.74	-2.76	-8.18
W24	-4.34	-2.46	-4.2	-4.11	-8.52
W25	-4.4	-4.11	-7.64	-4.19	-8.52
W26	-4.32	-2.5	-4.3	-4.09	-8.41
W27	-4.13	-2.53	-4.22	-3.91	-8.43
W28	-4.72	-2.54	-4.56	-4.5	-8.63
W29	-4.1	-2.18	-3.58	-3.89	-8.56
W30	-4.21	-2.54	-4.11	-3.99	-8.53
W31	-3.88	-2.87	-4.99	-3.66	-8.25
W32	-4.29	-2.52	-4.26	-4.07	-8.46
W33	-4	-2.59	-4.41	-3.78	-8.61
W34	-4.14	-2.77	-5.13	-3.9	-8.55
W35	-3.11	-2.28	-4.18	-2.88	-8.3
W36	-3.75	-2.38	-4.18	-3.52	-8.37
W37	-2.76	-2.29	-4.38	-2.54	-8.25
W38	-3.09	-2.41	-4.4	-2.87	-8.65
W39	-2.91	-2.49	-4.7	-2.69	-8.07

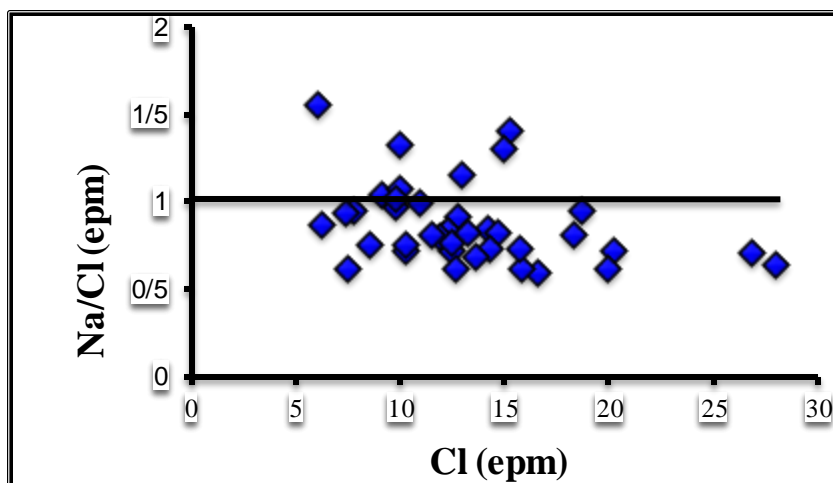
۴-۲-۹ نمودارهای ترکیبی هیدروژن‌شیمیایی دشت دامغان

در این بخش فرآیندهای حاکم بر تکامل ژئوشیمیایی دشت و همچنین منشأ کلر و سولفات بررسی می‌شود. این فرآیندها شامل تبادل کاتیونی، انحلال تبخیری‌ها و نفوذ آب شور می‌باشند که به وسیله نسبت‌های یونی مختلف بررسی می‌شوند.

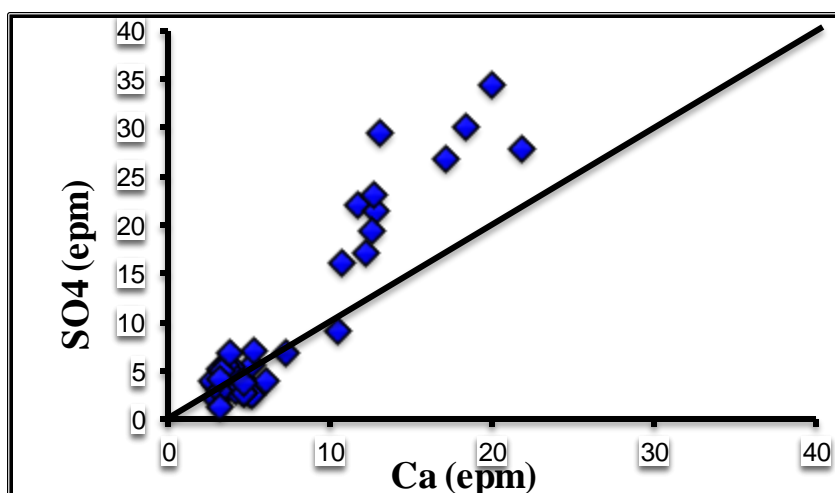
الف- نمودار سدیم به کلر - کلر

در شکل (۴-۲۷) نمودار غلظت سدیم به کلر در مقابل کلر ترسیم شده است، اگر نسبت کلر به سدیم یک باشد انحلال نمک می‌تواند منشأ کلر باشد که با یک خط مستقیم در شکل نشان داده شده است. نسبت Na/Cl در نمونه‌های دشت دامغان اکثراً کمتر از یک و تعدادی نیز بالاتر و یا برابر می‌باشند. با افزایش شوری این نسبت کمتر از یک شده است. اگر انحلال نمک منشأ شوری باشد، بایستی داده‌ها نزدیک خط انحلال قرار می‌گرفتند. انحراف از این خط نشانگر این است که مقدار سدیم در نمونه‌ها کمتر و یا بیشتر شده است. این می‌تواند به دلیل فرآیند تبادل کاتیونی با کلسیم و منیزیم در منطقه باشد. در شوری‌های بالاتر مقدار Na/Cl خیلی کمتر از یک شده است که با توجه به نقشه تغییرات کلر مشاهده می‌شود که مقدار کلر در بخش‌های شمال و شمال شرقی دشت زیادتر می‌باشد. بنابراین در این مناطق کمترین مقدار نسبت Na/Cl مشاهده شده است. با توجه به اینکه مقدار سدیم کمتر شده است انتظار می‌رود مقدار کلسیم و منیزیم در طول فرآیند تبادل کاتیونی افزایش یافته باشد که این با نقشه پراکندگی کلسیم و منیزیم منطبق است. کاهش سدیم و افزایش کلسیم و منیزیم در جبهه آب شور در اثر پیشروی و نفوذ آب شور به سمت آب شیرین رخ می‌دهد.

انحلال ژیپس نیز می‌تواند عامل شوری و افزایش کلسیم و سولفات در دشت باشد. شکل (۴-۲۸) رابطه مولی کلسیم در مقابل سولفات را نشان می‌دهد. در مقادیر سولفات کم تقریباً رابطه خطی نشان می‌دهد اما در شوری بیشتر این رابطه از خط انحلال ژیپس فاصله می‌گیرد که نشانگر این است که تنها انحلال ژیپس صورت نگرفته و عوامل دیگری همچون تبادل کاتیونی نیز در غلظت کلسیم نقش داشته‌اند.

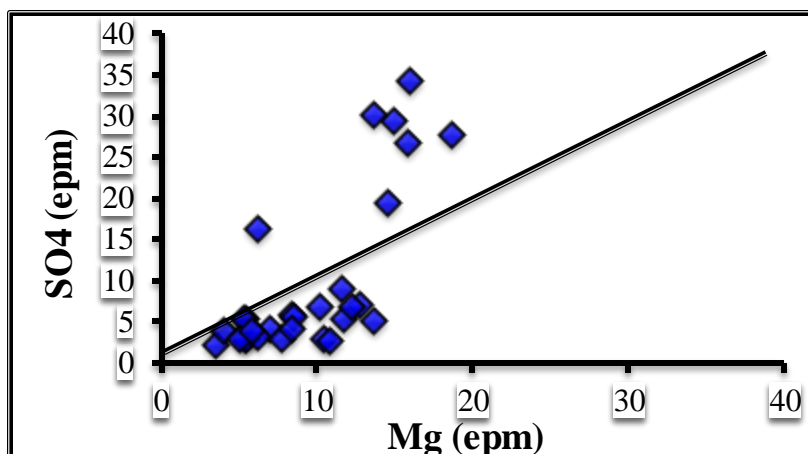


شکل ۴-۲۷: نمودار نسبت سدیم به کلر در مقابل کلر



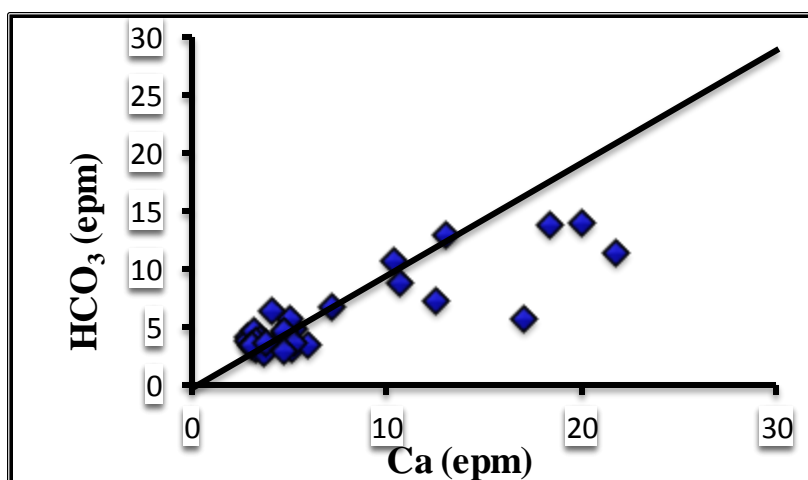
شکل ۴-۲۸: نمودار کلسیم در مقابل سولفات

شکل (۴-۲۹) رابطه منبسط با سولفات را نشان می‌دهد که تقریباً رفتاری مشابه کلسیم نشان می‌دهد. بنابراین از عوامل دیگر افزایش کلسیم در منطقه می‌توان انحلال کلسیت و دولومیت را نام برد.

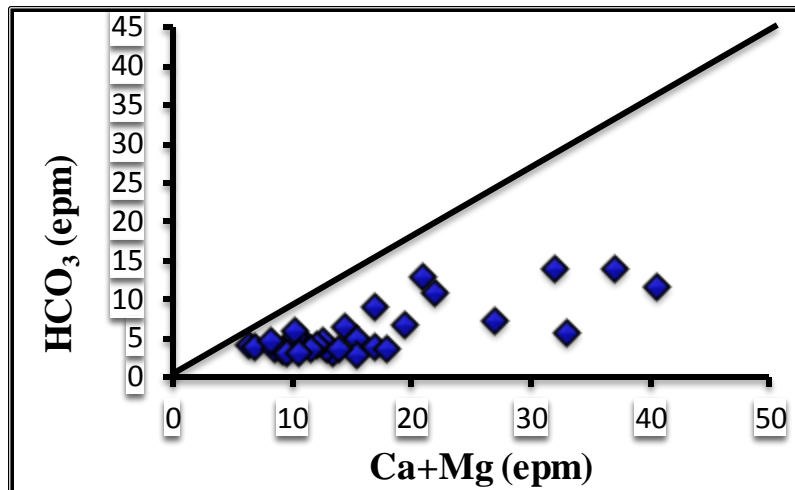


شکل ۴-۲۹: نمودار منیزیم در مقابل سولفات

شکل های (۴-۳۰) و (۴-۳۱) رابطه کلسیم با بی کربنات و کلسیم+ منیزیم با بی کربنات را نشان می دهند. با توجه به این اشکال منشأ کلسیم نیز به تنهایی نمی تواند در اثر انحلال کربنات ها باشد، زیرا از خط انحلال فاصله گرفته اند، اما روند افزایشی را نشان می دهند. بیشترین انحلال کربنات ها در زون شمال و شمال شرقی صورت گرفته است. عامل مهم دیگر افزایش و تغییر غلظت یون ها به خصوص سدیم، کلسیم و منیزیم می تواند تبادل کاتیونی باشد.

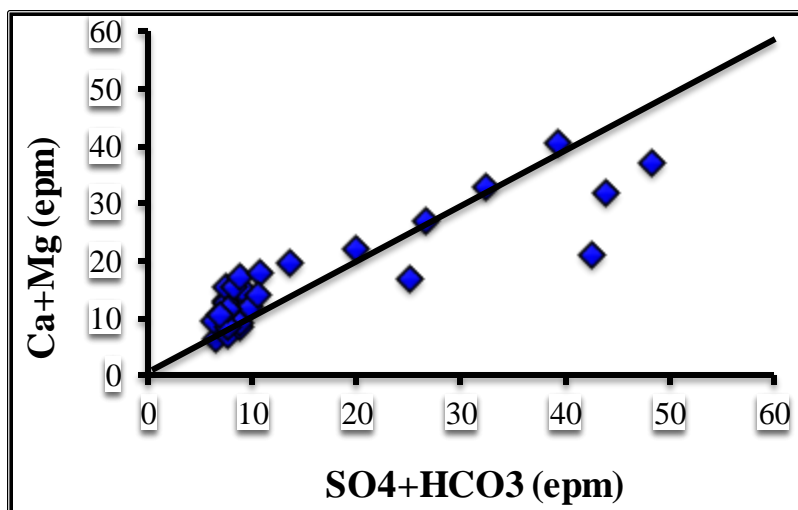


شکل ۴-۳۰: نمودار کلسیم در مقابل بی کربنات



شکل ۴-۳۱: نمودار مجموع کلسیم- منیزیم در مقابل بی کربنات

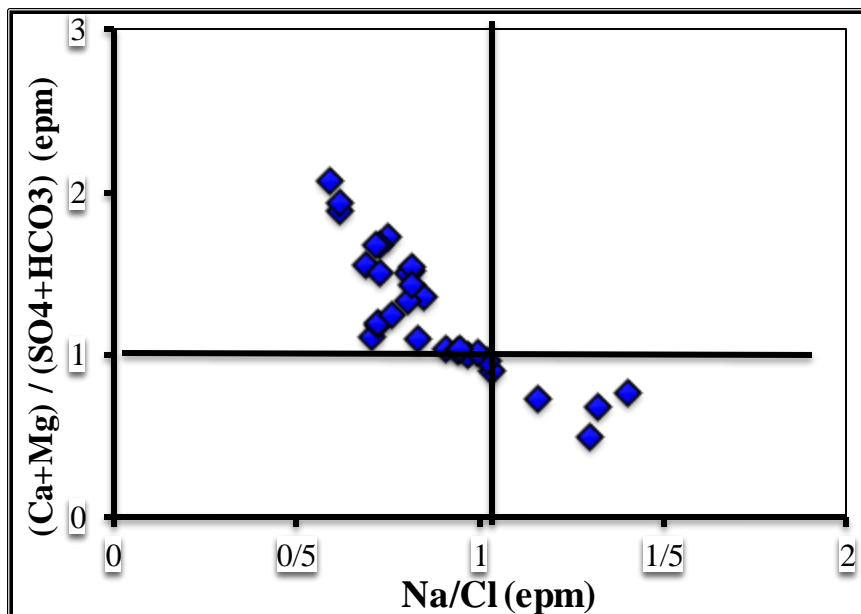
شکل (۴-۳۲) رابطه مولی $Ca+Mg$ در مقابل SO_4+HCO_3 را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل اگر انحلال کلسیت و ژیپس تنها عامل و منشأ یون‌ها باشند بایستی نمونه‌ها روی خط مستقیم با زاویه ۴۵ درجه قرار می‌گرفتند. هر نوع انحراف از خط نشانگر عملکرد فرآیند دیگری غیر از انحلال در منطقه می‌باشد که مهم‌ترین عامل تبادل کاتیونی می‌باشد.



شکل ۴-۳۲: نمودار مجموع کلسیم- منیزیم در مقابل مجموع سولفات- بی کربنات

با توجه به شکل اکثر نمونه‌های دشت دامغان از خط انحلال فاصله گرفته‌اند که نشان دهنده عملکرد فرآیند تبادل کاتیونی در منطقه می‌باشد. تبادل کاتیونی می‌تواند مستقیم و یا معکوس صورت گیرد. در اثر تبادل کاتیونی مستقیم، سدیم از رسوبات وارد آب شده و غلظت آن افزایش می‌یابد، اما کلسیم و یا منیزیم رسوب کرده و غلظت آنها در آب کم می‌شود. بنابراین نمونه‌هایی که در زیر خط انحلال قرار گرفته‌اند نشانگر رخداد تبادل کاتیونی مستقیم می‌باشد، اما نمونه‌هایی که در بالای خط قرار گرفته‌اند می‌تواند در اثر هجوم جبهه آب شور اتفاق بیفتد که در اثر آن سدیم رسوب و کلسیم و منیزیم آزاد می‌شود.

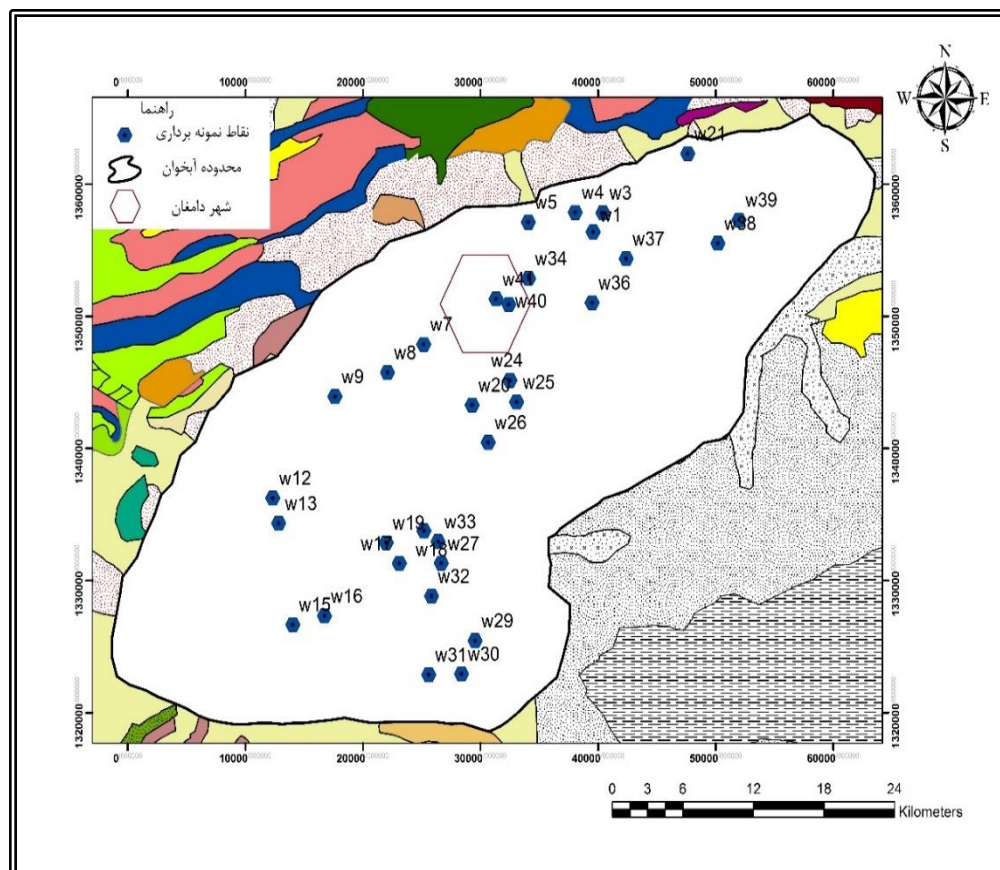
شکل (۴-۳۳) رابطه $(Ca+Mg)/(SO_4+HCO_3)$ در مقابل Na/Cl را نشان می‌دهد. در اثر پدیده تبادل یونی مستقیم نسبت Na/Cl بیشتر از یک و اگر معکوس باشد این نسبت کمتر از یک می‌شود. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در هر دو زون تبادل مستقیم و غیر مستقیم قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۳۳: نمودار $(Ca+Mg)/(SO_4+HCO_3)$ در مقابل Na/Cl

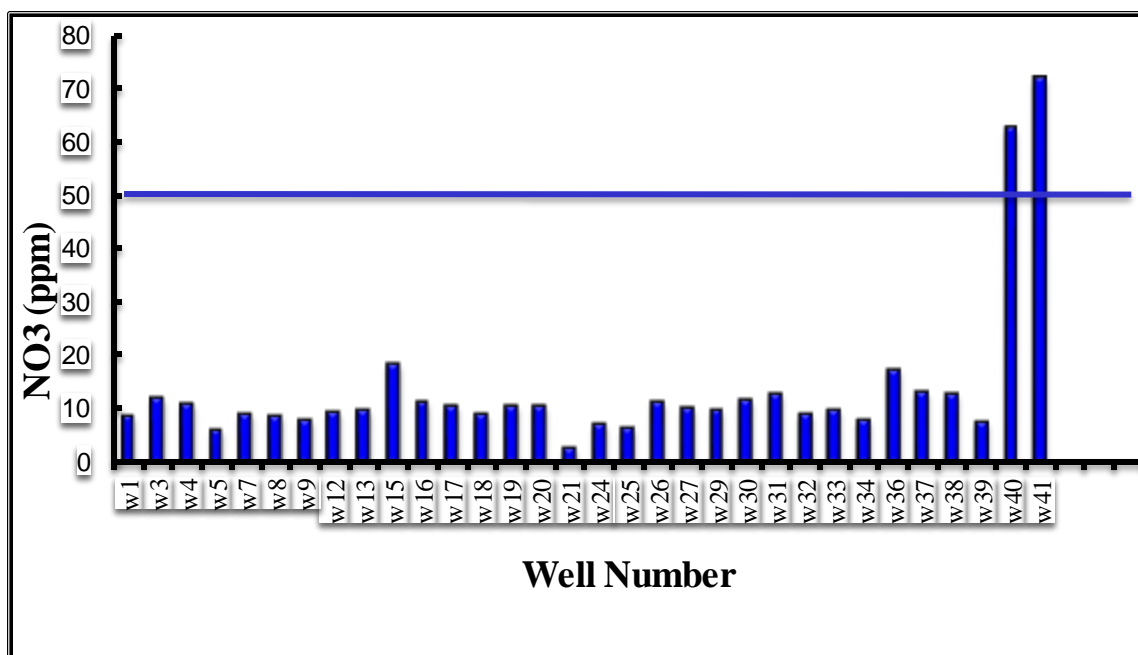
۳-۴ بررسی تغییرات غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت دامغان

آنیون نیترات از طریق کودهای نیتروژن دار و فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به خاک اضافه می‌شود و به علت عدم جذب توسط ذرات خاک قابلیت جابجایی زیادی در پروفیل خاک داشته، و می‌تواند وارد آب‌های زیرزمینی شده و موجب آلودگی آنها شود. به منظور ارزیابی غلظت یون نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت دامغان از تعداد ۳۲ حلقه چاه در تیر ماه ۱۳۹۵ در منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری صورت گرفت و در آزمایشگاه خاک‌شناسی دامغان مورد آنالیز قرار گرفت. از روش درون‌یابی کریجینگ برای پهنه‌بندی غلظت نیترات استفاده و سپس چگونگی تغییرات غلظت نیترات با استفاده از نرم افزار ArcGis رسم گردید. شکل (۴-۳۴) موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



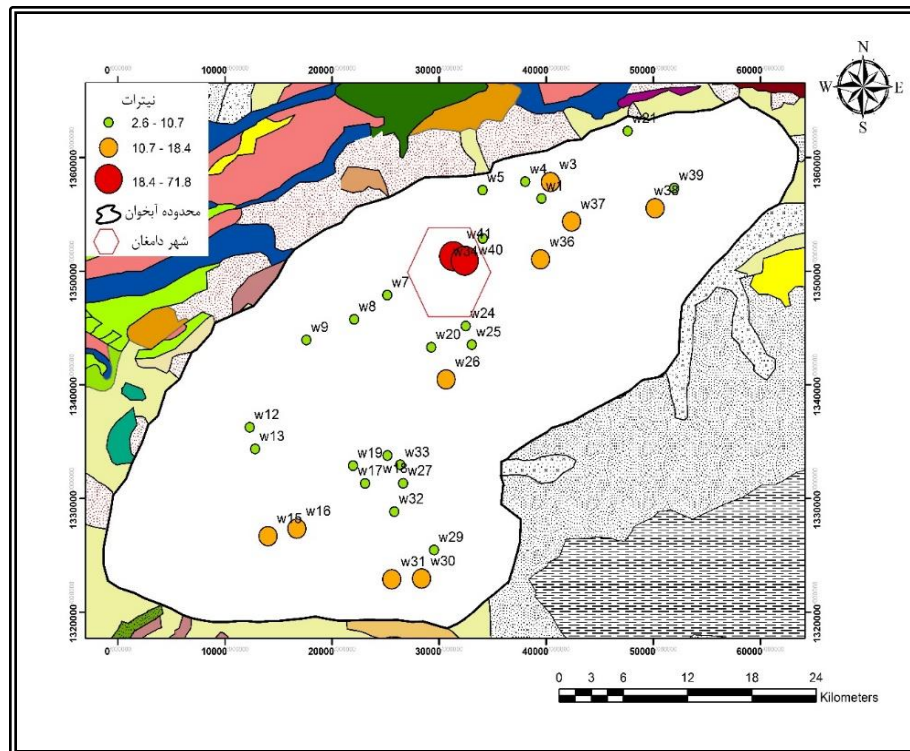
شکل ۴-۳۴: موقعیت نقاط نمونه‌برداری جهت آنالیز نیترات در دشت دامغان

معمولاً غلظت‌های نیترات بیش از آستانه قراردادی ۳ میلی‌گرم در لیتر در آب زیرزمینی نشان دهنده منشأ انسانزاد آلودگی می‌باشد (Power and Schepers, 1989 ; Zapata et al, 2014). ماکزیمم مقدار مجاز نیترات برای منابع آب آشامیدنی در استاندارد کیفیت آب آشامیدنی سازمان برنامه و بودجه- وزارت نیرو- ایران، ۴۵ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است. شکل (۴-۳۵) غلظت نیترات در چاه‌های نمونه‌برداری از دشت دامغان را در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۵: نمودار ستونی غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت دامغان

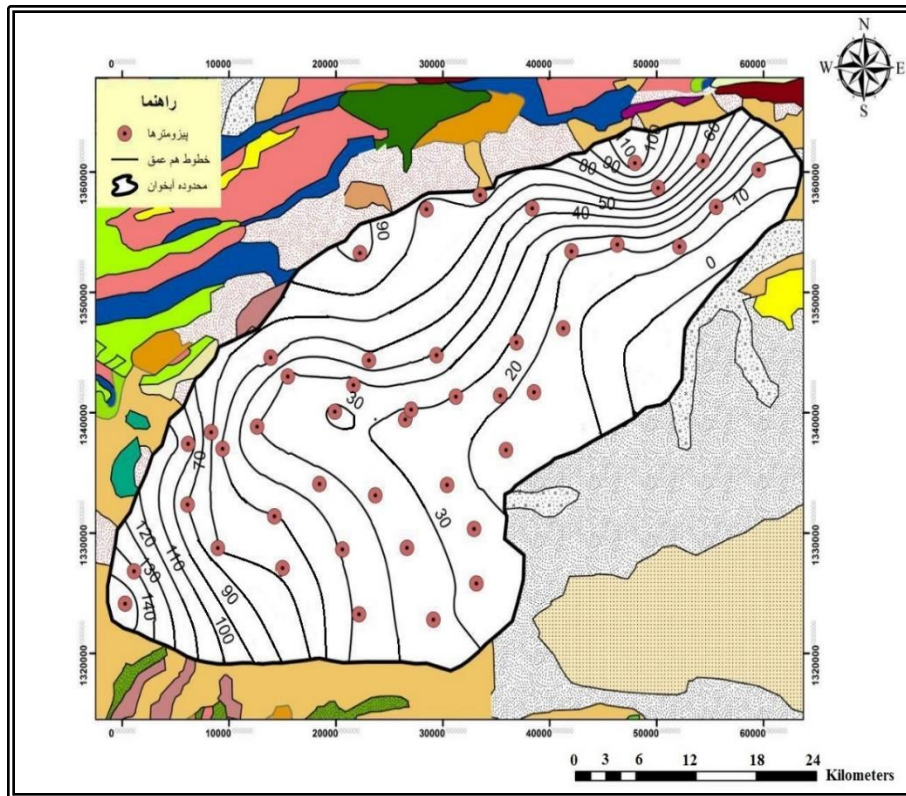
میانگین مقدار نیترات در چاه‌های نمونه‌برداری شده حدود ۱۴ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر غلظت آن ۷۱/۸ میلی‌گرم در لیتر مربوط به منطقه شهری است (w41). با دور شدن از منطقه شهری از غلظت نیترات کاسته شده و به مقادیر کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. هم‌چنین کمترین غلظت نیترات ۲/۶ میلی‌گرم در لیتر است (W21). شکل (۴-۳۶) نقشه تغییرات غلظت نیترات در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۶: تغییرات غلظت نترات در آب‌های زیرزمینی دشت دامغان

در روستای امروان (w15) و وامرزان (w36) مقدار نترات کمی بیشتر از چاه‌های مجاور خود می‌باشد (۱۸ میلی‌گرم در لیتر) که می‌توان نشت فاضلاب را دلیل آن دانست. بر اساس نتایج به دست آمده میانگین غلظت نترات در اکثر نمونه‌های گرفته شده از آب چاه‌های دشت دامغان از میزان ۵۰ میلی‌گرم در لیتر که استاندارد سازمان بهداشت جهانی است (2008) پایین‌تر می‌باشد و در حال حاضر خطری از لحاظ بهداشتی منطقه مورد مطالعه را تهدید نمی‌کند. همان‌طور که در شکل (۴-۳۶) مشاهده می‌گردد بیشترین مقادیر نترات مربوط به مناطق شرقی و جنوبی است که به دلیل کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن دار، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و فرآیند تبخیر می‌باشد. هم‌چنین نزدیکی مناطق مسکونی به چاه‌های کشاورزی، زهاب فاضلاب‌های خانگی و شهری نیز می‌تواند از دلایل افزایش آلودگی نترات باشد. پایین‌ترین مقادیر نترات عموماً متعلق به چاه‌های واقع در مناطق تغذیه و چاه‌های عمیق می‌باشد، بدین صورت که همراه با افزایش عمق غلظت نترات به دلیل فرآیند نترات زدایی کاهش

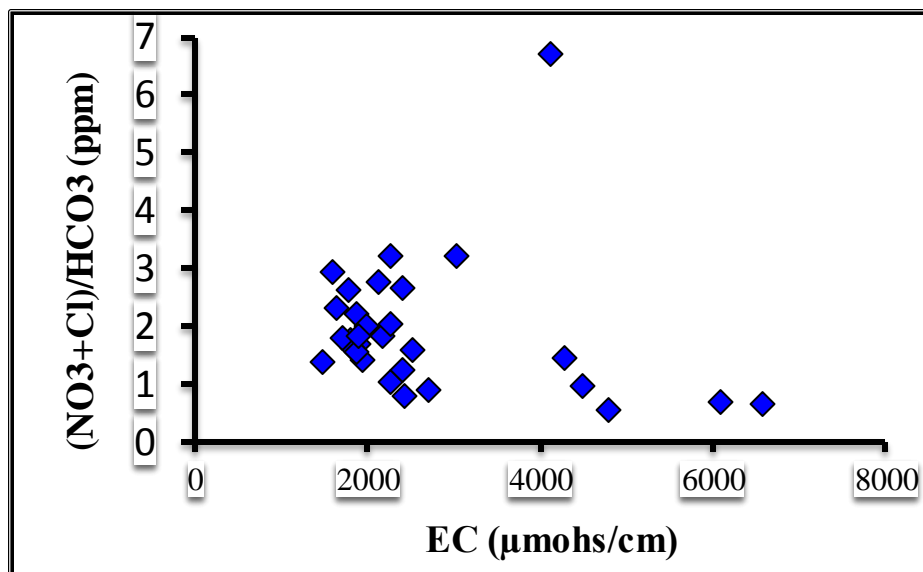
می‌یابد. نقشه هم عمق دشت دامغان (شکل ۴-۳۷) نیز این پدیده را نشان می‌دهد یعنی با کاهش عمق سطح ایستابی غلظت نیترات افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۳۷: نقشه هم عمق آب‌های زیرزمینی دشت دامغان

در پیزومترهای واقع در اطراف شهرک صنعتی مقدار نیترات حدود ۹ میلی‌گرم در لیتر است که این می‌تواند مؤید این موضوع باشد که فعالیت‌های صنعتی در این منطقه تأثیر چندانی بر مقدار این یون در آب‌های زیرزمینی منطقه نداشته است. با توجه به اینکه اکثر چاه‌های آب در میان مناطق مسکونی واقع در روستاها قرار گرفته‌اند، احتمالاً ورود فاضلاب‌های خانگی روستایی و شهری به این چاه‌ها دلیل اصلی افزایش غلظت نیترات بوده است. مقایسه غلظت نیترات در کاربری مختلف اراضی دشت نیز نشان دهنده تأثیر مستقیم فاضلاب‌های خانگی و شهری و به میزان کمتری فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت می‌باشد.

افزایش هماهنگ غلظت کلر و نترات در آب‌های زیرزمینی و افزایش آنها نسبت به بی‌کربنات نشان دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت این منابع است (برزگر و مقدم، ۱۳۹۱). بنابراین با رسم نمودار غلظت این یون‌ها در مقابل هدایت الکتریکی می‌توان به منشأ آلاینده پی برد (شکل ۴-۳۸).

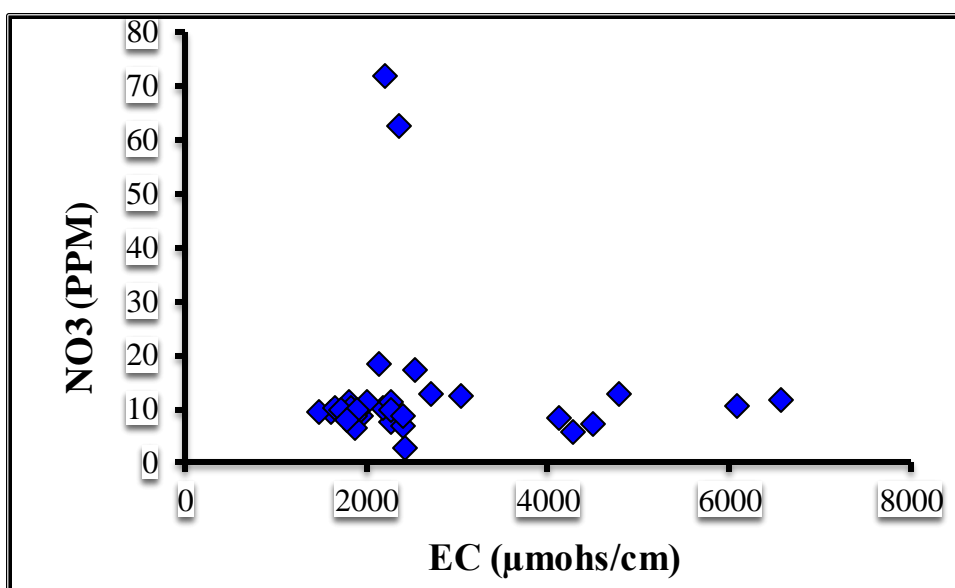


شکل ۴-۳۸: نمودار $(NO_3+Cl)/HCO_3$ در مقابل EC

در شکل (۴-۳۸) همبستگی نسبتاً خوبی بین $(NO_3+Cl)/HCO_3$ و EC مشاهده می‌شود که بیان کننده تأثیر فعالیت‌های انسانی در افزایش غلظت این آلاینده می‌باشد.

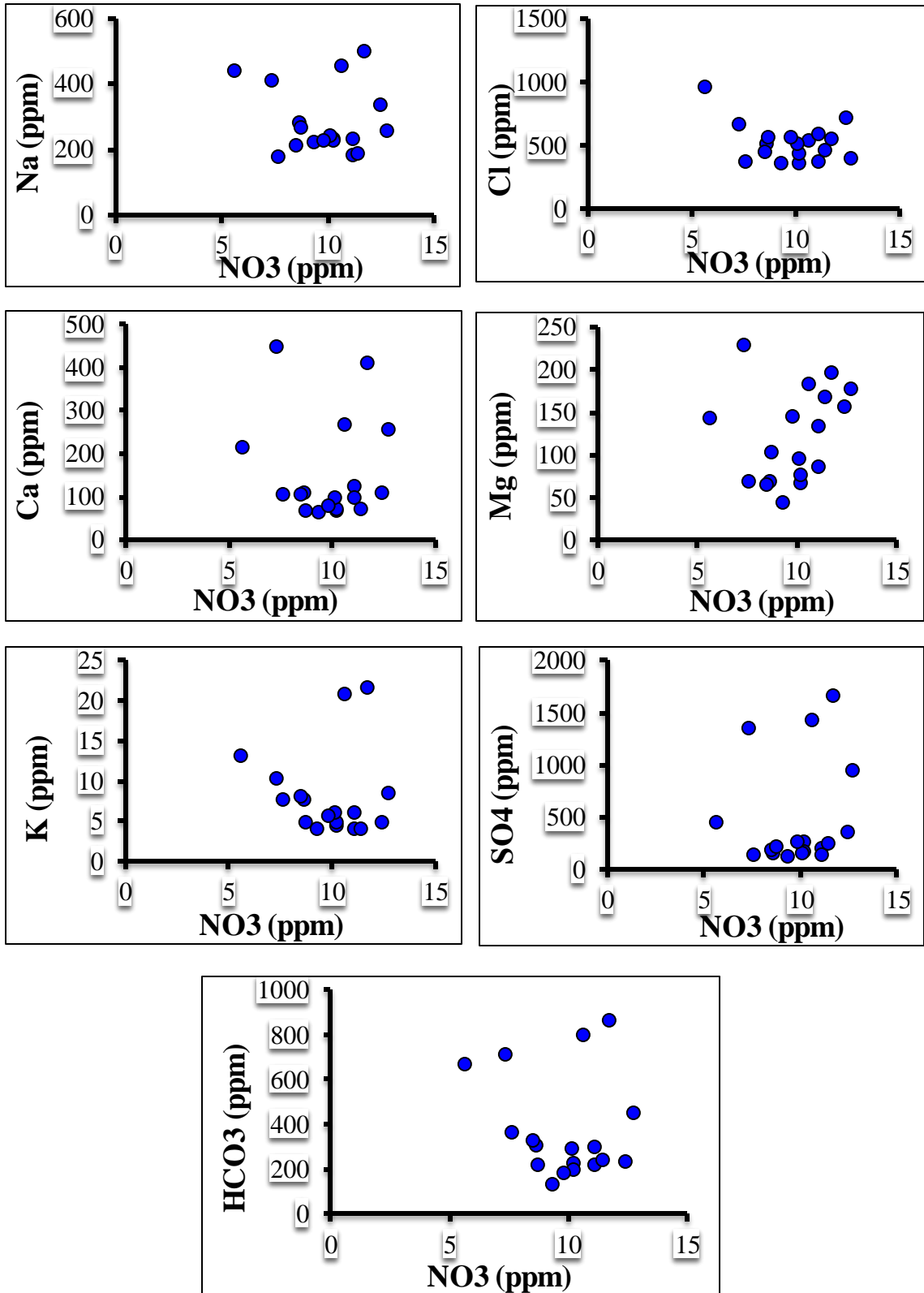
۴-۳-۱ بررسی غلظت نترات با هدایت الکتریکی

تبخیر از سطح آب یکی دیگر از منابع نترات در آب زیرزمینی می‌باشد. بدین صورت که با فرآیند تبخیر غلظت یون‌ها و هم‌چنین نترات افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۴-۳۹) مشاهده می‌شود با افزایش هدایت الکتریکی مقدار نترات تغییر محسوسی را نشان نمی‌دهد.

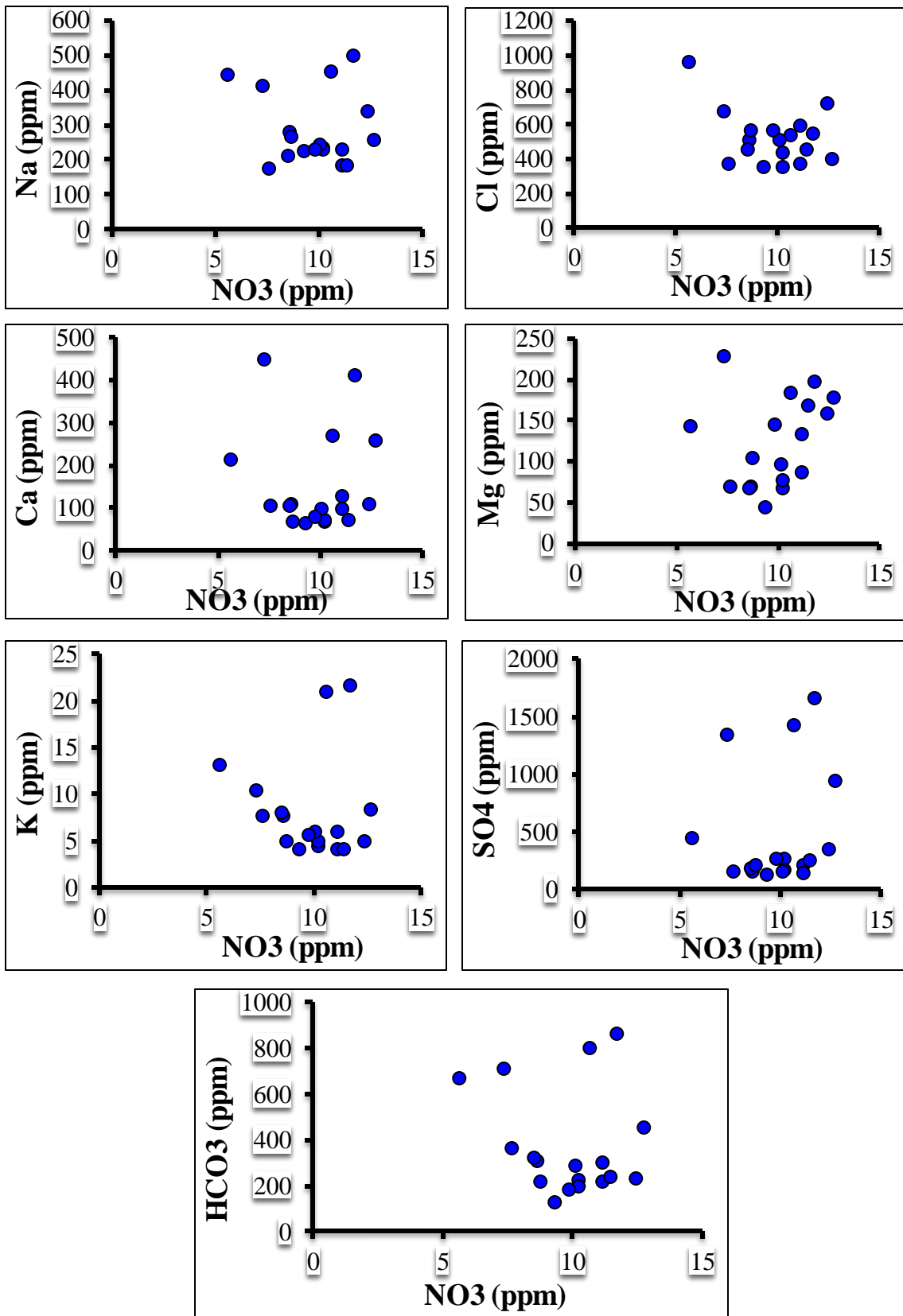


شکل ۴-۳۹: تغییرات غلظت یون نیترات در برابر هدایت الکتریکی

با توجه به نقشه پراکندگی نیترات در شکل (۴-۳۲) در بخش شرقی دشت عمق آب کمتر از ۵ متر است و در این مناطق غلظت نیترات تا حدودی افزایش نشان می‌دهد. بنابراین با احتساب فرآیند تبخیر به عنوان یکی از منشأهای احتمالی افزایش نیترات در دشت دامغان انتظار می‌رود غلظت سایر یون‌ها تا حدودی افزایش یافته باشد. جهت بررسی این موضوع ابتدا مناطق مسکونی از کشاورزی تفکیک شده و رابطه نیترات با غلظت یون‌های مختلف به طور جداگانه ترسیم شده است.



شکل ۴-۴۰: نمودار غلظت نیترات با یون‌های مختلف در مناطق مسکونی

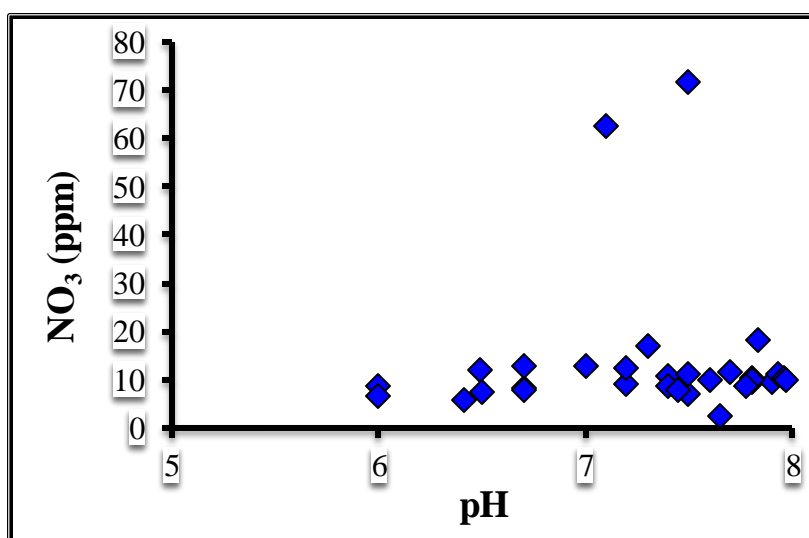


شکل ۴-۴۱: نمودار غلظت نیترات با یون‌های مختلف در مناطق کشاورزی

در مناطق مسکونی اکثر یون‌ها با نیترات رابطه افزایشی نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که بیشترین غلظت نیترات در دشت دامغان مربوط به این گروه می‌باشد. احتمالاً دلیل آن کمتر بودن عمق آب زیرزمینی و هم‌چنین ورود فاضلاب خانگی و شهری می‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت به احتمال زیاد اثر تبخیر و ورود فاضلاب عامل اصلی افزایش نیترات در این منطقه باشد. در مناطق کشاورزی به علت عمق زیادتر آب احتمال رخداد تبخیر کمتر است به طوری که غلظت یون‌های مختلف با نیترات رابطه مشخصی را نشان نمی‌دهد (شکل ۴-۳۹).

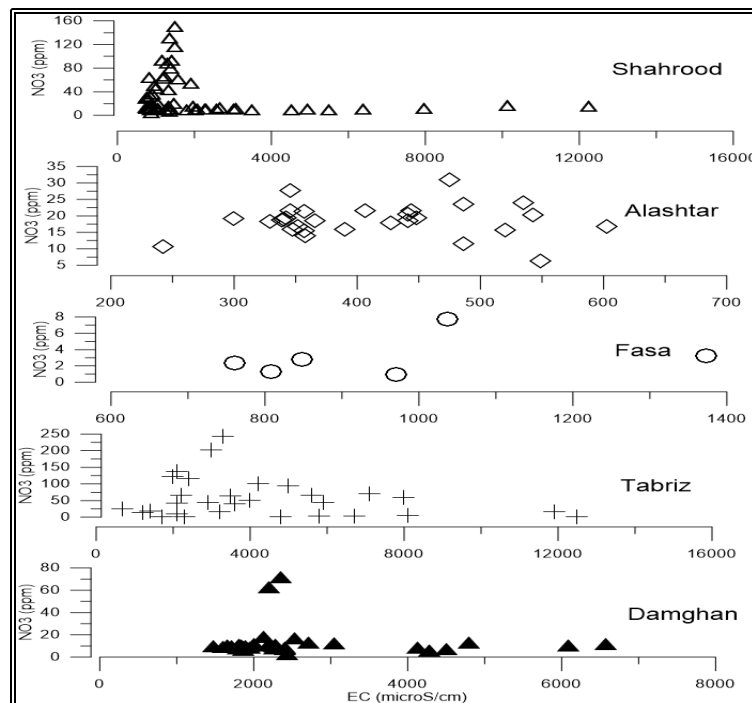
۴-۳-۲ بررسی غلظت نیترات با pH

آنکوما و همکاران (Ankumah et al; 2005) در مطالعه خود نشان دادند که با افزایش pH میزان نیترات کاهش می‌یابد، زیرا یکی از شرایط لازم برای نیترات زدایی محیط‌های آبی می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۴۲) در منطقه مورد مطالعه غلظت نیترات با pH رابطه مشهودی ندارد که علت آن می‌تواند تغییرات اندک غلظت نیترات در سایت‌های مختلف نمونه‌برداری باشد. بنابراین با توجه به اینکه دشت دامغان آلودگی زیادی نشان نمی‌دهد یون نیترات با pH نیز همانند دشت‌های دارای غلظت بالا رابطه نشان نمی‌دهد.



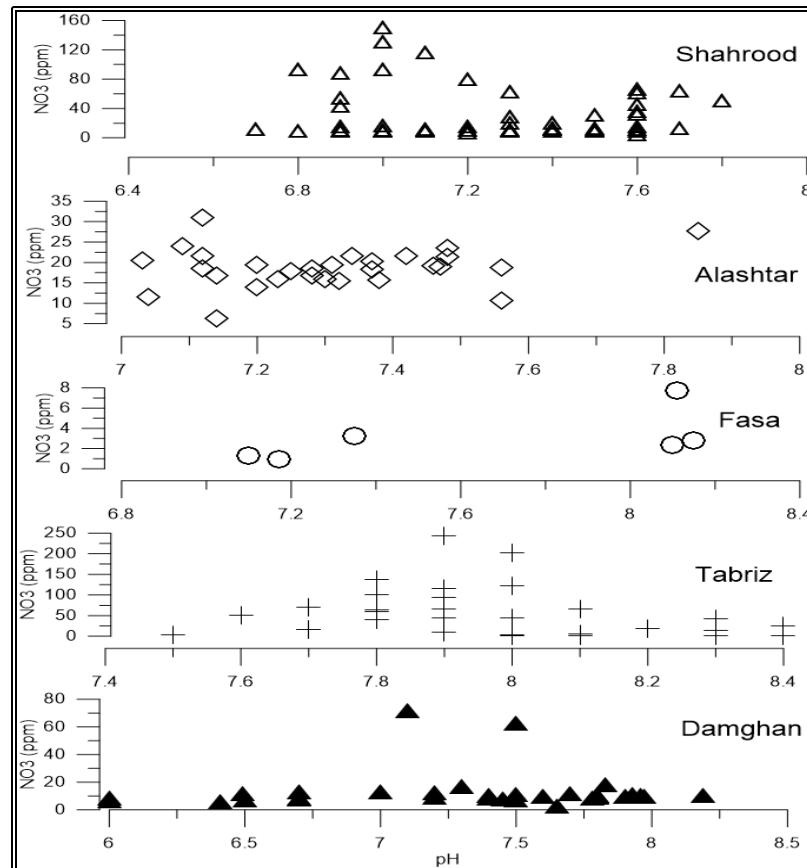
شکل ۴-۴۲: تغییرات غلظت یون نیترات در مقابل pH منابع آب زیرزمینی

به منظور تفسیر بهتر و مقایسه نتایج با سایر مطالعات انجام شده در مکان‌های دیگر داده‌های نیترات منطقه مورد مطالعه با نتایج آنالیز نیترات در دشت‌های تبریز، فسا، شاهرود و الشتر مقایسه شده است. شکل (۴-۴۳) رابطه هدایت الکتریکی با غلظت یون نیترات در مناطق مختلف را نشان می‌دهد. در اکثر دشت‌هایی که غلظت نیترات بررسی شده است تغییرات آن بین ۲۰-۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. دشت دامغان نیز دارای همین مقدار نیترات می‌باشد. در اکثر دشت‌ها نیترات با هدایت الکتریکی رابطه خاصی نشان نمی‌دهد و عامل اصلی افزایش به آلودگی در اثر فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب نسبت داده می‌شود و تبخیر تأثیر چندانی نداشته است. در دشت دامغان مقدار نیترات رابطه کمی را با هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که می‌تواند تأثیر اندک عامل تبخیر در افزایش غلظت نیترات را نشان دهد. در مقایسه در دشت شاهرود نیز غلظت نیترات در مناطق شهری بیشتر از مناطق کشاورزی نشان داده است و با هدایت الکتریکی تا حدودی رابطه افزایشی نشان می‌دهد (کلاتگی، ۱۳۹۳)، که این رفتاری مشابه با دشت دامغان می‌باشد.



شکل ۴-۴۳: نمودار نیترات در مقابل هدایت الکتریکی در دشت‌های مختلف (برزگر و اصغری مقدم، ۱۳۹۱. غلامزاده و موسوی نسب، ۱۳۹۳. کلاتگی، ۱۳۹۳. ندری، ۱۳۹۵)

شکل (۴-۴۴) رابطه بین غلظت نیترات و pH در مناطق مختلف جهت مقایسه ترسیم شده است. دشت دامغان مانند سایر دشت‌ها رابطه مشخصی را نشان نمی‌دهد که می‌تواند به دلیل غلظت کم نیترات در این مناطق باشد.



شکل ۴-۴۴: نمودار غلظت نیترات در مقابل pH در دشت‌های مختلف (برزگر و اصغری مقدم، ۱۳۹۱. غلامزاده و

موسوی نسب، ۱۳۹۳. کلاتگی، ۱۳۹۳. ندری، ۱۳۹۵)

فصل پنجم :

نتیجه گیری و پیشنهادها

در این فصل نتایج حاصل از این تحقیق که شامل مطالعات زمین شناسی، هیدروژئوشیمیایی و بررسی تغییرات یون نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت دامغان می‌باشد به طور خلاصه ارائه شده است و در ادامه نیز پیشنهادهایی جهت پایش دقیق تر این منابع آبی ارائه می‌شود.

نتیجه گیری:

۱. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل منطقه، دشت دامغان از سمت غرب و شمال غرب در حال تغذیه و به طرف شرق و جنوب شرق در حال تخلیه است که با شیب توپوگرافی دشت هم جهت می‌باشد. از سمت شمال دشت یک جبهه آب ورودی وجود دارد که باعث تغذیه آبخوان شده است. در بخش‌های مرکزی دشت خطوط هم‌پتانسیل حالت انحنای پیدا کرده که علت آن وجود چاه‌های متعدد در این مناطق است.

۲. روند عمومی خطوط هم مقدار EC نشان دهنده افزایش شوری در جهت جریان آب زیرزمینی می‌باشد. به این صورت که مقدار EC از غرب آبخوان به طرف شرق، جنوب و جنوب شرق افزایش یافته است. بیشترین میزان EC (حدود ۶۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) آب زیرزمینی در شمال و شمال شرق دشت مشاهده شد که علت آن گسترش رسوبات رسی و نفوذ شورابه‌های کویر مجاور به سمت آبخوان می‌باشد. کمترین مقدار EC (۱۴۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در نیمه غربی دشت به دلیل تغذیه از ارتفاعات شمالی دشت و رودخانه‌های چشمه‌علی و تویه‌دروار دیده شده است. مقدار pH نمونه‌های آب دشت دامغان بین ۶ تا ۸/۵ متغیر می‌باشد که کمترین آن در بخش‌های تغذیه بوده که در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش یافته است.

۳. میزان غلظت یون‌ها در بخش شمالی دشت بیشتر از بخش‌های جنوبی و غربی بوده است. یون‌های کلسیم، سولفات و بی‌کربنات در شمال دشت غالب هستند که احتمالاً منشأ آنها انحلال رسوبات تبخیری می‌باشد. در بخش‌های مرکزی و جنوبی یون‌های سدیم، کلر و سپس منیزیم غالب می‌باشند. به این ترتیب تیپ آب در مناطق تغذیه بی‌کربناته تا کلروره و به سمت مرکز دشت بیشتر از نوع

Ca-Mg-Cl و Na-Cl بوده است، اما در بخش شمالی دشت تیپ آب به علت انحلال سازندهای تبخیری سولفات‌ها بوده و به سمت شمال دشت کلروره شده است.

۴. اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دامغان در کلاس C_3S_1 و در رده آب‌های با کیفیت متوسط قرار گرفته‌اند. تعداد زیادی از نمونه‌ها در رده C_4S_1 و تعداد کمی نیز در گروه C_4S_2 در تقسیم بندی آب‌های با کیفیت نامناسب قرار گرفته‌اند.

۵. با توجه به مقادیر شاخص اشباع تمام نمونه‌ها نسبت به کانی‌های ژپس، انیدریت، کلسیت، دولومیت و هالیت منفی می‌باشد که نشانگر این است که منابع آب منطقه نسبت به این کانی‌ها تحت اشباع هستند. بیشترین میزان شاخص اشباع مربوط به کانی کلسیت و کمترین آن مربوط به هالیت می‌باشد.

۶. حداکثر غلظت نیترات $71/8$ و $62/7$ میلی‌گرم در لیتر در منطقه شهری مشاهده شد که با دور شدن از شهر از مقدار آن کاسته شده و به کمترین مقدار خود می‌رسد ($2/6$ میلی‌گرم در لیتر). بیشترین مقادیر نیترات مربوط به مناطق شرقی و جنوبی است که منشأ آن فاضلاب‌های خانگی و شهری، بالابودن سطح آب زیرزمینی و تبخیر و تا حدی فعالیت‌های کشاورزی در منطقه می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده میانگین غلظت نیترات در چاه‌های نمونه برداری از میزان 45 میلی‌گرم در لیتر که استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست است پایین تر می‌باشد. پایین ترین مقدار نیترات مربوط به چاه‌های عمیق و واقع در مناطق تغذیه می‌باشد. نقشه هم عمق آب‌های زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد که با افزایش عمق آب غلظت نیترات کاهش می‌یابد.

پیشنهادها :

۱. با توجه به اهمیت آلودگی نیترات به عنوان یکی از مهمترین مسائل در محیط زیست و جایگاه حیاتی منابع آب زیرزمینی در نواحی خشک و نیمه خشک غلظت نیترات به طور مداوم و در تمام طول سال مورد بررسی قرار گیرد.
۲. آگاهی دادن به کشاورزان در خصوص جایگزین کردن کودهای غیرنیتراتی، ایجاد سیستم دفع فاضلاب مطمئن و احداث تصفیه خانه فاضلاب برای جلوگیری از آلودگی منابع آب ضروری می باشد.
۳. کنترل کیفیت آب آشامیدنی شهر و روستاها از نظر آلودگی به نیترات

۱. آبادچی، نرگس. محصلی، وحید. روحیان، محمد هادی. فریود، فرزاد. (۱۳۹۴). "بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات". *اولین همایش ملی تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران*.
۲. آقناباتی، سیدعلی. (۱۳۸۳). *زمین شناسی ایران*. چاپ اول، تهران: انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۳. اسدی نیا، زهرا. (۱۳۹۳). "ارزیابی خصوصیات هیدروشیمیایی و هیدروژئولوژیکی آبخوان فومنات". *اولین همایش ملی آب، انسان، زمین، اصفهان*.
۴. افروزی، محسن. محمدزاده، حسین. (۱۳۹۱). "ارزیابی آلودگی نیترات در آبخوان آبرفتی فارس-جونقان". *همایش ملی جریان و آلودگی آب*، دانشگاه تهران، ۳-۴ خرداد.
۵. امیرحسینی، محمود. (۱۳۹۳). *بررسی تغییرات ۲۰ ساله سطح و شیمی آب زیرزمینی آبخوان دشت دامغان*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۶. ایمانی جیحون آبادی، علیرضا. (۱۳۸۸). "بررسی آلودگی نیترات و منشایابی آن در آب‌های زیرزمینی منطقه (شهرستان) شهریار". *سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست*.
۷. برزگر، رحیم. اصغری مقدم، اصغر. (۱۳۹۱). "بررسی منشا آنومالی غلظت نیترات منابع آب زیرزمینی دشت تبریز". *اولین همایش زمین شیمی کاربردی*، دانشگاه دامغان.
۸. جعفری، فاطمه. افتخاری، مرتضی. (۱۳۹۲). "بررسی تبادلات آبی و نفوذ جبهه آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان‌های همجوار". *مجله مدیریت آب و آبیاری*، سال سوم، شماره ۱، صص ۲۹-۴۷.
۹. درویش زاده، علی. (۱۳۸۳). *زمین شناسی ایران*، انتشارات امیرکبیر.

۱۰. روحی، حسن. کلانتری، نصراله. محمدی، حمیدرضا. دانشیان، حسن. (۱۳۹۲). "بررسی عوامل موثر بر خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت الباجی)". *مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته*، شماره ۹، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۱. صداقت، محمود. (۱۳۹۰). *زمین و منابع آب*. چاپ سوم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
۱۲. طباطبائی، احمد. (۱۳۸۷). "ارزیابی غلظت یونهای نیترات و فسفات در آبهای زیرزمینی دشت گرگان". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۱۳. علیزاده، امین. (۱۳۹۰). *اصول هیدرولوژی کاربردی*، انتشارات آستان قدس رضوی
۱۴. غلامزاده، فیروزه. موسوی نسب، زهره. (۱۳۹۳). "ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت فسا- استان فارس با نگرشی بر آلودگی نیترات". *دومین همایش ملی و تخصصی پژوهش های محیط زیست ایران*، دانشکده شهید مفتاح همدان.
۱۵. کارآموز، محمد. ابولپور، آناهیتا. نظیف، سارا. (۱۳۹۰). "ارزیابی اثر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت رفسنجان)". *چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۶. کامجو، حمیده. ریاضی، محمدحسین. خدایی، مجید. مدّاد، امیدرضا. (۱۳۹۰). "آنالیز آماری چند متغیره پارامترهای هیدروشیمیایی آبخوان دشت سمنان". *همایش ملی آب با رویکرد آب پاک*، دانشگاه صنعت آب و برق.
۱۷. کلاتگی، مریم. (۱۳۹۳). *ارزیابی آلودگی یون نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت شاهرود*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۱۸. کلانتریان، سیده فاطمه. کرمی، غلامحسین. محمدی، حسن. (۱۳۸۸). "بررسی ژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی در شرق تنکابن". *بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، تهران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور*.

۱۹. گلپایگانی، هدی. بوستانی، فردین. گوهری مقدم، محمد. (۱۳۸۹). "بررسی مهمترین پارامترهای هیدروشیمی آب زیرزمینی دشت گرگان". *پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم.*

۲۰. لاله زاری، رضا. طباطبایی، سیدحسن. خیاط خلقی، مجید. صبا، علی اکبر. (۱۳۹۲). "شبیه سازی انتقال آلاینده نترات در آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از مدل MT3D". *مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران.*

۲۱. محصلی، وحید. روحیان، محمد هادی. (۱۳۹۱). "افزایش غلظت نترات در خاک و پیامدهای زیست محیطی آن". *سومین همایش ملی علوم کشاورزی و صنایع غذایی.*

1. Ankumah, O.R., Ming, J. and Liu, A. (2005). "Nitrate contamination in private wells in rural Alabama, United States." *Science of the Total Environment*, Vol. 346, pp. 112-120.
2. Bolger, P., Stevens, M. (1999). "Contamination of Australian Groundwater Systems with Nitrate". Land and Water Resources Research and Development Corporation. *Occasional Paper 03/99.*
3. Chidya, R., Matamula, S., Nakoma, O., Chawinga, C. (2016). "Evaluation of groundwater quality in rural-areas of northern Malawi: Case of Zombwe Extension Planning Area in Mzimba." *Physics and Chemistry of the Earth*, pp. 1-8.
4. Device, G., Djordjevic, D., Sakan, S. (2014). "Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in Serbia." *Science of the total Environment*, pp. 933-942.
5. El-Sayed, M., Salem, W. M. (2015). "Hydrochemical assessments of surface Nile water and groundwater in an industry area- South West Cairo." *Egyptian Journal of Petroleum*, Vol. 24, pp. 277-288.
6. Fabro, A. Y. R., Avila, J. G. P., Alberich, M. V. E., Sansores, S. A. C., Valero, M. A. C. (2015). "Spatial distribution of nitrate health risk associated with groundwater use as drinking water in Merida, Mexico". *Applied Geography*, Vol. 65, PP. 49e57.

7. Jahangir, M. M. R., Johnston, P., Khalil, M. I., Richards, K. G. (2012). "Linking hydrogeochemistry to nitrate abundance in groundwater in agricultural settings in Ireland". *Journal of Hydrology*, Vol. 448–449, PP. 212–222.
8. Jiang, Y., Wu, Y., Groves, C., Yuan, D., Kambesis, P. (2009). " Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in the Nandong Karst underground river system in Yunan, China." *Journal Contaminant Hydrology*, Vol.109, pp.49-61.
9. Hounslow, A. (1995). "Water quality data: analysis and interpretation." CRC Press, LLC, p. 416.
10. Kim, K. H., Yun, S. T., Mayer, B., Lee, J. H., Kim, T. S., Kim, H. K. (2015). "Quantification of nitrate sources in groundwater using hydrochemical and dual isotopic data combined with a Bayesian mixing model". *Agriculture, Ecosystems and Environment* Vol. 199, PP. 369–381.
11. Majumdar, D., Gupta, N. (2000). "Nitrate pollution of groundwater and associated human health disorders". *Indian Journal of Environmental Health*, Vol. 42, No 1, pp. 28-39.
12. Mencia, A., Pla, J. M., Otero, N., Regas, O., Roura, M. B., Puig, R., Bach, J., Domenech, C., Zamorano, M., Brusi, D., Folch, A. (2016). " Nitrate pollution of groundwater; all right..., but nothing else?". *Science of the Total Environment*, Vol. 539, PP. 241–251.
13. Nohegar, A., Hosseinzadeh, M. M., Habibolahian, M. (2011). "Temporal and spatial analysis of Groundwater Quality of Minab plain." *Geography and Environmental Planning*, Vol. 40, No. 4, pp. 45-64.
14. Pidwirny, M. (2011). " Nitrogen cycle". From [http://www. Eoearth.org](http://www.Eoearth.org). January 01 2016.
15. Power, J. F., Schepers, J. S. (1989). "Nitrate Contamination of Ground water in North America". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 26, PP. 165-187.
16. Todd, D. K and Mays, L. W. (2005). *Groundwater Hydrology*, John Wilic and sons, Ilc, New York, p. 636.
17. Wakida, F. T., Lerner, D. N. (2005). "Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study". *Water Research*, Vol. 39, PP. 3–16.

18. Yue, F. J., Li, S. L., Hu, L. J. (2015). "The contribution of nitrate sources in Liao Rivers, China, based on isotopic fractionation and Bayesian mixing model". *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. 13, PP. 16 – 20.
19. Zapata, E. P., Ruiz, R. L., Harter, T., Ramirez, A., Mahlknecht, J. (2014). "Assessment of sources and fate of nitrate in shallow groundwater of an agricultural area by using a multi-tracer approach". *Science of the Total Environment*, Vol. 470–471, PP. 855–864.
20. Zhang, W. L., Tian, Z. X., Zhang, N., Li, X. Q. (1996). "Nitrate pollution of groundwater in northern China". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 59, PP. 223-231.
21. Zhang, Y., Li, F., Zhang, Q., Li, J., Liu, Q. (2014). "Tracing nitrate pollution sources and transformation in surface- and ground-waters using environmental isotopes". *Science of the Total Environment*, Vol. 490, PP. 213–222.

Abstract:

Groundwaters in the arid and semi-arid regions like Iran, where the average rainfall is less than one-third of Earth's average rainfall, are very important for different uses. Nevertheless groundwaters are at risk of contamination. Nitrate ion has long been considered as a chemical indicator of water pollution. The main sources of entered nitrate into the groundwater are municipal and domestic sewage and agricultural activities. The aim of this study was to study the hydrochemical characteristics and spatial distribution of nitrate in Damghan plain. For this purpose, 39 wells were sampled in July 2016. EC and pH in the field and major ions in the laboratory were measured. Damghan plain is recharged mainly from the West and finally discharged to the desert plains of Haj Ali Quli in the East. Electrical conductivity has increased in the groundwater flow direction from the recharged zone in the West to the East. But the existing anomalies in electrical conductivity map result from the intrusion of saline water from the salt pan of Chah Jam in Northeastern and evaporate deposits of northern plain. The water types in recharged zone are mainly $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ to Cl-Na which is changed into Na-Cl and Ca-Mg-Cl , in central area of the plain. But in the northern part of the plain, the water type is $\text{SO}_4\text{-Ca}$ due to the dissolution of evaporate formations. Based on measured nitrate concentration in 32 wells the minimum value was 2.6 mg/lit and the maximum value was 71.8 mg/lit in the center of the city. The highest values belonged to urban areas due to shallow depth of ground water and waste water leakage into ground water while agricultural activities have a minor role.

Keywords: Nitrate ion, Hydrogeochemistry, Salt water intrusion, Damghan plain



Faculty of Earth Sciences
M.Sc. Thesis in Environmental Geology

Evaluation of nitrate contamination in groundwaters of Damghan Plain

By:

Molod Rahimi

Supervisor:

Dr. Rahim Bagheri

February 2017