

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه آبشناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

بررسی کمی و کیفی آبهای زیرزمینی دشت سعادت شهر در استان فارس

مرتضی جاویدی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

استاد مشاور:

دکتر ضرغام محمدی

تیرماه ۱۳۹۰

تعهد نامه

- اینجانب مرتضی جاویدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی - آشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه «بررسی کمی و کیفی آبهای زیرزمینی دشت سعادت‌شهر در استان فارس» تحت راهنمایی دکتر غلامحسین کرمی متعهد می‌شوم:
- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
 - در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
 - مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
 - کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
 - حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
 - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
 - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ:

امضا دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

مقالات مستخرج از این پایان نامه:

۱- بررسی هیدروژنولوزیکی دشت سعادت شهر در استان فارس، هفتمین همایش مهندسی و محیط

زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ۱۳۹۰

۲- بررسی فرآیندهای تأثیرگذار بر هیدروژنوشیمی آبخوان دشت سعادت شهر در استان فارس، هفتمین

همایش مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ۱۳۹۰

به یاد او که عشق
آفرید

تقدیم به مادر
مهربانم و پدر
بزرگو ارم

به پاس همه حضور سبزشان

قدردانی

اول از همه پروردگار یکتا را سپاس می‌گوییم که سپاسگزاری از مخلوق را در مرتبت سپاسگزاری از خود بر شمرد و اندکی از بیکران علمش را نصیبم ساخت تا این لطف و مرحمت، در قالب این رساله مهیا گردد.

سپاس و تشکر بی‌کران خود را نثار می‌کنم به استاد بزرگوارم، جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی که همواره از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های علمی و سودمندشان بهره‌جسته‌ام.

سپاسگزاری می‌کنم از استاد مشاور عزیزم، آقای دکتر ضرغام محمدی که با نظرات سازنده و ارزشمند خود در غنای هرچه بیشتر این مجموعه سهمیم بوده‌اند.

از اساتید ارجمندم، آقایان دکتر کاظمی، حافظی، دولتی و طاهری شهرآیینی و تمامی اساتید عزیزم در طول دوره کارشناسی که همواره در تمام مراحل و طول مدت تحصیل، راهنما و مشوق من بودند، همچنین دکتر جعفری که در طول مراحل انجام پایان‌نامه از راهنمایی دریغ ننمودند، کمال تشکر را دارم.

قدردانی می‌کنم از خانواده عزیزم و والدین گرانقدرم، که سایه پر مهر پدرم و دعای خیر مادرم، آرام بخش لحظات نگرانی و سخت زندگی و مایه دلگرمی و قوت قلب من بوده است. خدای مهربان مرا از این نعمت محروم نسازد.

تشکر می‌کنم از پرسنل محترم دانشکده علوم زمین، سرکار خانم سعیدی، فارسی و جناب آقای مهندس خانعلی زاده و همچنین پرسنل محترم دانشگاه شیراز و سازمان آب منطقه‌ای فارس آقایان مهندس کشاورز، مهندس پولادیان، مهندس بهروزی‌فرد و همچنین سرکار خانم رفعتی در شرکت مهندسی مشاور پویاب فارس که همواره از کمک‌های بی‌دریغشان در پیشبرد اهداف این پایان‌نامه بهره‌جسته‌ام.

از دوستان گرامیم مجتبی بساکی، اکبر نورافکن، محمدرضا زارع، رضا نعیمی و همچنین سرکار خانم سمیه تیموری و کلیه عزیزان و دوستانی که مرا در پیشبرد این رساله یاری رساندند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده:

دشت سعادت‌شهر با مساحتی در حدود ۱۳۰ کیلومتر مربع در مجاورت شهر سعادت‌شهر و در ۱۲۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان شیراز قرار دارد. در این دشت یک آبخوان آزاد وجود دارد که توسط ۶۷۸ حلقه چاه، عمدتاً به منظور کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از انجام این مطالعه، بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی این آبخوان بوده است. بررسی‌های هیدروژئولوژیکی، که با استفاده از اطلاعات بدست آمده از ۱۶ پیزومتر موجود در دشت صورت پذیرفته است، نشان می‌دهد که آبخوان به طور گسترده از ارتفاعات اطراف خود و همچنین از رودخانه سیوند در حال تغذیه است. این مطالعات همچنین نشان داد که جهت عمومی جریان آب زیرزمینی از سمت شرق به غرب می‌باشد. میزان افت در دوره ۱۳ ساله بررسی این دشت، دامنه‌ای از حدود ۱۶ متر در بخش شرقی تا حدود صفر در بخش غربی آبخوان را شامل می‌شود. بررسی هیدروژئوشیمیایی این دشت که بر پایه بررسی گسترده هدایت الکتریکی و همچنین ۱۳ مورد آنالیز آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی می‌باشد، نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی تا حد بسیار زیادی تحت تأثیر تغذیه سازندهای احاطه کننده آبخوان، آب نفوذی از رودخانه سیوند و همچنین میزان برداشت از آبخوان است؛ به این ترتیب که افزایش املاح موجود در آب تا بخش مرکزی دشت به طور طبیعی بوده و در محدوده مرکزی به علت پمپاژ بسیار زیاد، جریان عمومی آب بسیار ضعیف می‌شود و به همین دلیل املاح محلول در آب بسیار بیشتر از بخش‌های بالادست می‌شود. در ادامه مسیر جریان آب زیرزمینی، به علت تغذیه آبخوان توسط رودخانه سیوند و همچنین سازندهای کربناته اطراف، مقدار املاح موجود در آب به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

فهرست

عنوان شماره صفحه

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق..... ۱

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه..... ۲

۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه..... ۳

۴-۱- آبهای سطحی منطقه مورد مطالعه..... ۷

۵-۱- آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه..... ۹

۶-۱- ژئومورفولوژی منطقه..... ۱۰

۷-۱- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۱۱

۱-۷-۱- چینه شناسی منطقه..... ۱۲

۲-۷-۱- زمین شناسی ساختاری..... ۱۳

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته در مورد کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی... ۱۶

۱-۲- مقدمه..... ۱۶

۲-۲- عوامل مؤثر بر کیفیت آبهای زیرزمینی..... ۱۶

- ۱۸ نقش عوامل طبیعی..... ۱-۲-۲
- ۲۴ نقش عوامل غیرطبیعی بر کیفیت آبهای زیرزمینی..... ۲-۲-۲
- ۲۶ بررسی‌های کمی آبهای زیرزمینی..... ۳-۲
- ۲۷ تأثیر بارندگی بر کمیت آبهای زیرزمینی..... ۱-۳-۲
- ۲۸ برداشت از آبهای زیرزمینی..... ۲-۳-۲
- ۳۰ خشکسالی..... ۳-۳-۲

فصل سوم: روش انجام کار ۳۳

- ۳۳ جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی..... ۱-۳
- ۳۳ بررسی‌های زمین‌شناسی..... ۲-۳
- ۳۴ نمونه‌برداری از آبهای زیرزمینی منطقه..... ۳-۳
- ۳۷ تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه..... ۴-۳
- ۳۷ نقشه‌های کیفی منطقه..... ۱-۴-۳
- ۳۷ رسم نمودارهای کیفی آبخوان..... ۲-۴-۳
- ۳۷ نمودارهای ترکیبی..... ۳-۴-۳
- ۳۸ داده‌های هیدروژئولوژیکی منطقه..... ۵-۳
- ۳۸ تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌افت آبخوان..... ۱-۵-۳
- ۳۹ رسم هیدروگراف جهت بررسی تغییرات سالیانه..... ۲-۵-۳

فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان سعادت‌شهر..... ۴۰

- ۴۰ مقدمه..... ۱-۴
- ۴۰ هیدروژئولوژی آبخوان..... ۲-۴
- ۴۱ خصوصیات آبخوان سعادت‌شهر..... ۱-۲-۴

| | |
|----|--|
| ۴۳ | ۲-۲-۴- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل منطقه..... |
| ۴۶ | ۳-۲-۴- نقشه هم‌افت..... |
| ۴۸ | ۴-۲-۴- نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی..... |
| ۴۹ | ۵-۲-۴- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان..... |
| ۴۹ | ۶-۲-۴- بررسی هیدروگراف‌های آبخوان..... |
| ۵۲ | ۷-۲-۴- بیلان آب زیرزمینی..... |
| ۵۴ | ۳-۴- هیدروژئوشیمی آبخوان..... |
| ۵۶ | ۱-۳-۴- بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی..... |
| ۵۷ | ۲-۳-۴- ارزیابی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی..... |
| ۶۶ | ۳-۳-۴- توجیه فرآیندهای تأثیرگذار بر هیدروژئوشیمی آبخوان..... |
| ۶۸ | ۴-۳-۴- بررسی شاخص اشباع..... |
| ۶۹ | ۵-۳-۴- بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف..... |
| ۷۳ | فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاداتها..... |
| ۷۳ | ۱-۵- خصوصیات آبخوان..... |
| ۷۳ | ۲-۵- هیدروژئولوژی آبخوان..... |
| ۷۴ | ۳-۵- تغییرات سطح ایستابی در بلندمدت..... |
| ۷۵ | ۴-۵- بیلان آب زیرزمینی..... |
| ۷۵ | ۵-۵- هیدروژئوشیمی آبخوان..... |
| ۷۷ | ۵-۶- پیشنهاداتها..... |
| ۷۹ | پیوست‌ها..... |

منابع فارسی..... ۸۹

منابع لاتین..... ۹۱

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی ۳
- شکل ۲-۱- نمودار آمبروترمیک منطقه بر پایه اطلاعات ۴۰ ساله منطقه ۳
- شکل ۳-۱- مقادیر SPI در یک دوره ۴۰ ساله برای داده‌های ایستگاه دشتبال ۶
- شکل ۴-۱- هیدروگراف متوسط ماهانه ایستگاه رحمت‌آباد در دو دوره آماری کوتاه و بلند مدت ۸
- شکل ۵-۱- تنگ بلاغی در شمال دشت، محل ورود رودخانه سیوند به دشت سعادت‌شهر ۹
- شکل ۶-۱- مدل سه‌بعدی محدوده مورد مطالعه ۱۱
- شکل ۷-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۱۵
- شکل ۱-۲- تغییرات انحلال یون‌های اصلی در آبهای زیرزمینی نسبت به زمان ماندگاری در سازند ۱۹
- شکل ۱-۳- محل اندازه‌گیری پارامترهای هیدروژئوشیمی در منطقه ۳۵
- شکل ۲-۳- محل اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در منطقه ۳۶
- شکل ۳-۳- محل اندازه‌گیری سطح آب در منطقه ۳۸
- شکل ۱-۴- عمق چاه‌های حفر شده در دشت سعادت‌شهر ۴۲
- شکل ۳-۴- نقشه هم‌پتانسیل دشت در اسفندماه ۱۳۸۸ ۴۵
- شکل ۵-۴- نقشه هم‌افت آبخوان سعادت‌شهر در فاصله اسفند ۷۵ تا اسفند ۸۸ ۴۷
- شکل شماره ۶-۴- نقشه هم‌عمق آبهای زیرزمینی در دشت سعادت‌شهر در خرداد ۱۳۸۹ ۴۸
- شکل ۷-۴- هیدروگراف واحد دشت ۵۰
- شکل ۸-۴- محدوده‌های دوگانه دشت ۵۱
- شکل ۹-۴- هیدروگراف محدوده‌های دوگانه دشت ۵۱
- شکل ۱۰-۴- میانگین تغییرات سطح ایستابی در محدوده‌های دوگانه دشت ۵۲
- شکل ۱۱-۴- نقشه هدایت الکتریکی دشت سعادت‌شهر ۵۷

- شکل ۴-۱۲ - نقشه سدیم دشت سعادت شهر ۵۸
- شکل ۴-۱۳ - نسبت کلر به مجموع آنیون ها ۶۰
- شکل ۴-۱۴ - نقشه کلر دشت سعادت شهر ۶۱
- شکل ۴-۱۵ - نمودار پایپر برای نمونه های دشت سعادت شهر ۶۲
- شکل ۴-۱۶ - محل نمونه ها بر روی دشت ۶۲
- شکل ۴-۱۷ - نمودار استیف نمونه های دشت سعادت شهر ۶۴
- شکل ۴-۱۸ - نقشه بیکربنات دشت سعادت شهر ۶۵
- شکل ۴-۱۹ - نمودارهای ترکیبی نمونه ها ۶۶
- شکل ۴-۲۰ - نمودار ویلکوکس نمونه های دشت سعادت شهر ۷۰
- شکل ۴-۲۱ - نمودار شولر نمونه های دشت سعادت شهر ۷۲

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- میانگین دما و بارندگی ایستگاه‌های معرف دشت سعادت‌شهر در یک دوره ۴۰ ساله..... ۴
- جدول ۲-۱- رده بندی اقلیمی دمارتن..... ۵
- جدول ۳-۱- نمایه SPI برای پایش خشکسالی..... ۶
- جدول ۴-۱- آمار آبدهی متوسط ماهانه و سالانه بر حسب متر مکعب بر ثانیه ایستگاه رحمت آباد..... ۸
- جدول ۱-۲- عناصر موجود در آبهای زیرزمینی..... ۱۷
- جدول ۱-۴- ارتفاع سطح ایستابی دشت سعادت‌شهر در اسفندماه ۱۳۷۵ و ۱۳۸۸ و خردادماه ۱۳۸۹..... ۴۴
- جدول ۲-۴- مشخصات هیدرودینامیکی آبخوان..... ۴۹
- جدول ۳-۴- محاسبات بیلان دشت سعادت‌شهر..... ۵۳
- جدول ۴-۴- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمی چاه‌های منطقه..... ۵۵
- جدول ۵-۴- سایر پارامترهای هیدروژئوشیمی چاه‌های مورد نمونه برداری..... ۵۶
- جدول ۶-۴- شاخص‌های اشباع..... ۶۹
- جدول ۷-۴- بررسی نمونه‌ها برای مصرف کشاورزی..... ۷۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

محیط متخلخل موجود در آبرفت‌ها، می‌تواند شرایط را برای تشکیل آبخوان‌های آب زیرزمینی فراهم نماید. در صورتی که محیط زمین‌شناسی آبرفت، برای ایجاد آبخوان‌های آب زیرزمینی از نظر کمی و کیفی مناسب باشد، شرایط برای بهره‌برداری از این آبها فراهم شده و باعث پیشرفت عرصه‌هایی که نیاز به آب دارند، می‌گردد. در بسیاری از نقاط جهان، آبهای موجود در سفره‌های آبرفتی تنها منابع در دسترس برای استفاده‌های کشاورزی، صنعت و شرب می‌باشند و پیشرفت ساکنین این‌گونه مناطق به بهره‌برداری از این آبها وابسته است. لذا بررسی این‌گونه آبخوان‌ها و مدیریت جامع آنها، برای تداوم پیشرفت بسیار حائز اهمیت است.

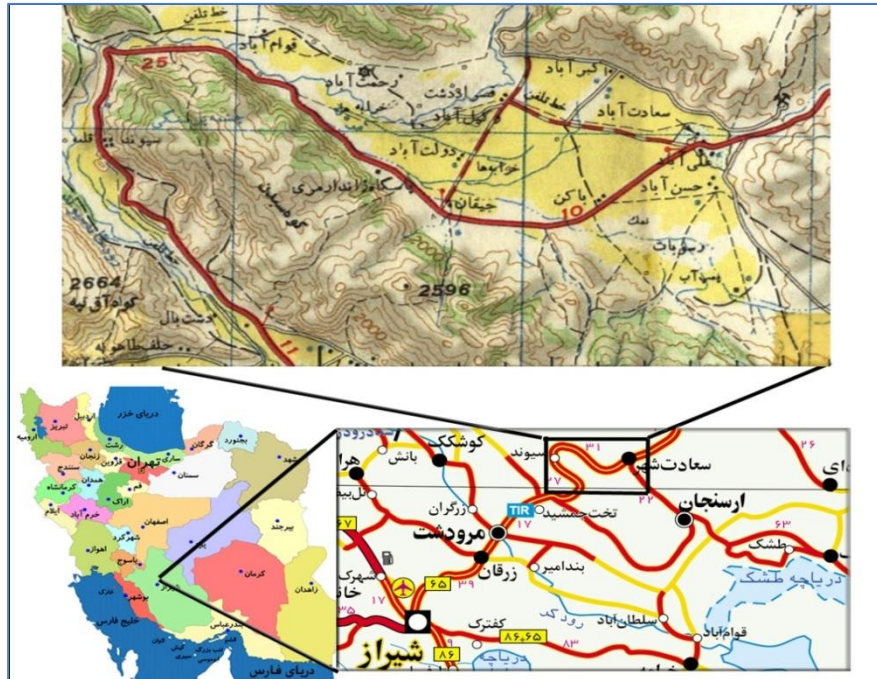
دشت سعادت‌شهر در ۱۲۰ کیلومتری شمال شرقی شهر شیراز در استان فارس قرار دارد. این دشت یکی از حاصلخیزترین دشتهای موجود در منطقه است؛ بنابراین زندگی اکثریت مردم در این منطقه بسیار وابسته به کشاورزی می‌باشد. درصد قابل توجهی از آب مورد نیاز برای این بخش، از آبهای زیرزمینی به صورت چاه‌های بهره‌برداری و همچنین قنات و چشمه و سهم کمتری از آن نیز توسط آبهای سطحی موجود در رودخانه‌ها و سدهای منطقه تامین می‌شود. با توجه به موارد فوق، اهمیت محافظت از آبخوان و مدیریت صحیح آن به منظور استفاده بلندمدت، امری بدیهی و واضح است. خطر مهمی که این آبخوان را مانند سایر دشتهای مشابه آن تهدید می‌کند، بهره‌برداری بیش از آبدهی مجاز است. با توجه به کاهش میزان بارندگی‌ها و در پی آن کاهش تغذیه آبخوان و در برابر آن افزایش برداشت‌ها با رشد صنعت، کشاورزی و جمعیت، عمق آبهای زیرزمینی در این منطقه افزایش یافته و بهره‌برداری از آبخوان را دچار مشکل ساخته است.

مدیریت صحیح یک آبخوان نیاز به شناخت مناسب وضعیت موجود و همچنین تغییرات آن در شرایط مختلف دارد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی وضعیت کنونی دشت مورد مطالعه و تغییرات آن در پی کاهش بارندگی‌ها و همچنین برآورد میزان آب قابل برداشت به صورتی که برداشت از آبخوان دچار مشکل نشود می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، بررسی ارتباط آبخوان با تشکیلات عمدتاً آهکی مجاور آن، تهیه نقشه‌های کمی و کیفی آبهای زیرزمینی، بررسی تغییرات شیمیایی آب در خلال حرکت در محیط آبخوان و همچنین تغییرات موارد فوق در سال‌های گذشته و برآورد اجزای بیلان مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دشت سعادت‌شهر با مساحتی در حدود ۱۳۰ کیلومتر مربع، در مجاورت شهر سعادت‌شهر و فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال شرق شیراز و در شهرستان پاسارگاد استان فارس قرار دارد. محدوده آبخوان در حد فاصل بین مختصات ۵۳ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و عرض ۳۰ درجه تا ۳۰ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع متوسط دشت ۱۷۶۰ متر و مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقاط به ترتیب ۱۸۰۰ و ۱۷۳۰ متر بالای سطح آبهای آزاد است. راه دسترسی به این محدوده، جاده اصلی شیراز - اصفهان است. شکل (۱-۱) محدوده مورد نظر و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد.

شهرستان پاسارگاد که تقریباً در مرکز استان فارس قرار گرفته، از جنوب و غرب به شهرستان مرودشت، از شرق به ارسنجان و از شمال به صفاشهر و اقلید محدود می‌شود. دشت سعادت‌شهر، با شیب ملایم شرقی - غربی، تقریباً از همه طرف به ارتفاعات محدود می‌شود. این شهرستان از نظر تاریخی نیز اهمیت زیادی دارد.

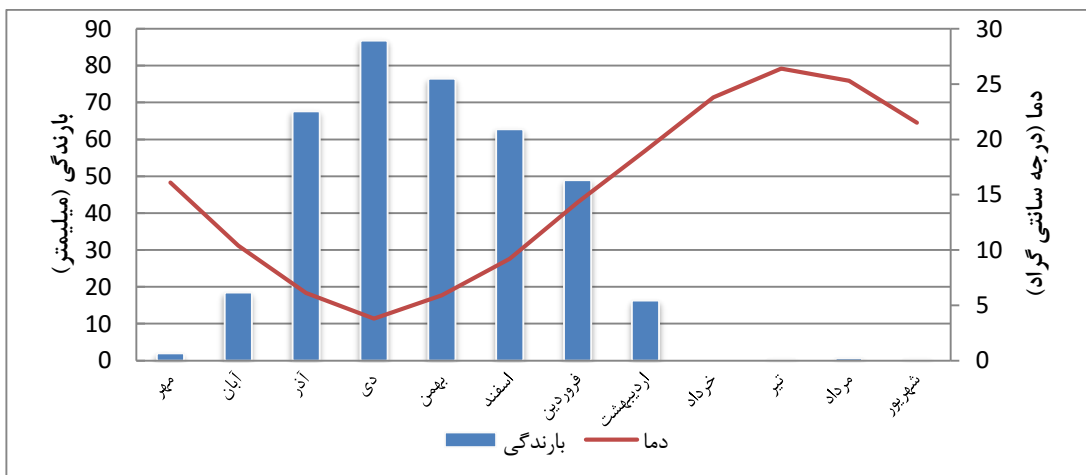


شکل ۱-۱- محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی

(برگرفته از نقشه راه‌های ایران از مؤسسه گیتاشناسی و نقشه توپوگرافی از سازمان جغرافیایی کشور، ۱۳۸۵)

۱-۳- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

از بین ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه، ایستگاه اقلیم‌شناسی علی‌آباد کمین برای داده‌های دما و داده‌های ایستگاه هواشناسی دشت‌بال برای داده‌های بارندگی انتخاب شده‌اند. انتخاب این ایستگاه‌ها بر پایه طول دوره آماری مناسب آنها بوده است. اطلاعات بارندگی و درجه حرارت میانگین ماهیانه این ایستگاه‌ها، در جدول (۱-۱) و شکل (۱-۲) آمده است.



شکل ۱-۲- نمودار آمبروترمیک منطقه بر پایه میانگین اطلاعات ۴۰ ساله منطقه

جدول ۱-۱- میانگین دما و بارندگی ایستگاه‌های معرف دشت سعادت‌شهر در دوره ۴۰ ساله

از ۱۳۴۹ تا ۱۳۸۹ (سازمان آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۹)

| زمان (ماه) | درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) | بارندگی (میلیمتر) |
|------------|------------------------------|-------------------|
| مهر | ۱۶/۱ | ۲/۰ |
| آبان | ۱۰/۴ | ۱۸/۵ |
| آذر | ۶/۱ | ۶۷/۶ |
| دی | ۳/۸ | ۸۶/۸ |
| بهمن | ۵/۹ | ۷۶/۵ |
| اسفند | ۹/۲ | ۶۲/۷ |
| فروردین | ۱۴/۳ | ۴۸/۹ |
| اردیبهشت | ۱۹/۰ | ۱۶/۳ |
| خرداد | ۲۳/۸ | ۰/۰ |
| تیر | ۲۶/۴ | ۰/۴ |
| مرداد | ۲۵/۳ | ۰/۷ |
| شهریور | ۲۱/۵ | ۰/۳ |
| سالانه | ۱۵/۱ | ۳۸۰/۸ |

با توجه به آمار ارائه شده توسط این ایستگاه‌های هواشناسی، بیشترین بارندگی در دی‌ماه و بیشینه دما در تیرماه اتفاق می‌افتد. کمترین بارندگی نیز در این دوره آماری ۴۰ ساله (از سال ۱۳۴۹)، به طور میانگین در خردادماه و کمترین دما نیز در دی‌ماه روی می‌دهد. حداکثر مقدار بارندگی در سال آبی ۱۳۷۳-۱۳۷۴ با ۶۱۸/۵ میلیمتر و حداقل آن در سال آبی ۸۷-۸۶ با ۹۲/۵ میلیمتر بوده است. میانگین دمای سالانه ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۳۸۰/۸ میلیمتر می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه نیز در حدود ۱۸۲۰ میلیمتر در سال برآورده شده است (سازمان آب منطقه‌ای استان فارس ۱۳۸۹).

نمودار آمبروترمیک (Embrotthermic) منطقه، در شکل (۱-۲) آورده شده است. نقطه تلاقی منحنی میانگین بارندگی با منحنی میانگین دما، جداکننده فصل خشک و تر از یکدیگر می‌باشد. در زمان‌هایی که میانگین بارندگی بالاتر از میانگین دما است، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک اتفاق می‌افتد.

طبق این نمودار، فصل تر منطقه، از آبان تا اردیبهشت ماه بوده و بقیه سال، فصل خشک است. برای تعیین اقلیم منطقه، از روش دمارتن (De Martonne) استفاده شده است (علیزاده ۱۳۸۹). دمارتن، با توجه به میانگین دما و بارش سالیانه، ضریبی به نام ضریب خشکی ارائه کرده است که مقدار این ضریب با توجه به جدول ارائه شده (جدول ۱-۲)، اقلیم منطقه را مشخص خواهد کرد.

جدول ۱-۲- رده بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده ۱۳۸۹)

| نام اقلیم | محدوده ضریب خشکی دمارتن (I) |
|-------------|-----------------------------|
| خشک | کوچکتر از ۱۰ |
| نیمه خشک | ۱۰ تا ۱۹/۹ |
| مدیترانه‌ای | ۲۰ تا ۲۳/۹ |
| نیمه مرطوب | ۲۴ تا ۲۷/۹ |
| مرطوب | ۲۸ تا ۳۴/۹ |
| بسیار مرطوب | بزرگتر از ۳۵ |

ضریب خشکی دمارتن با استفاده از معادله (۱-۱) محاسبه می‌شود:

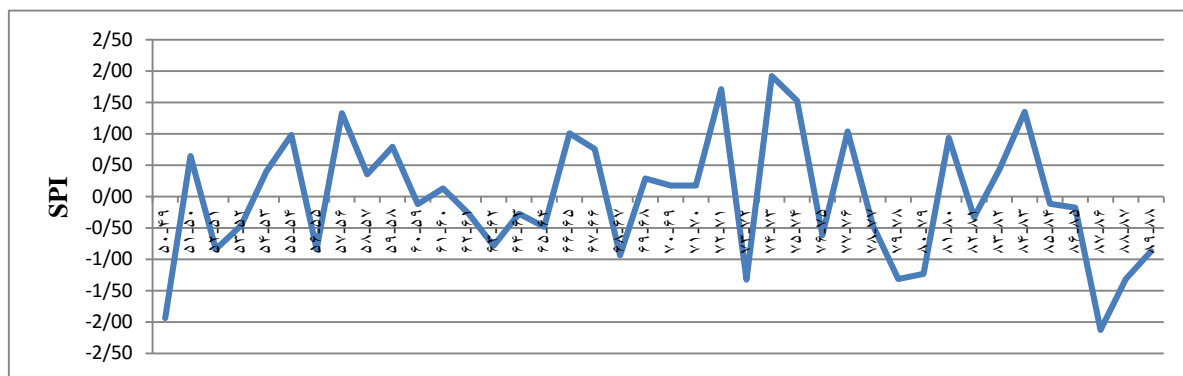
$$I = \frac{P}{T+10} \quad \text{معادله (۱-۱)}$$

در این معادله، P میانگین بارندگی سالیانه بر حسب میلیمتر، و T میانگین دمای سالیانه بر حسب درجه سانتی‌گراد است. I ضریب خشکی نامیده می‌شود که مقدار آن اقلیم منطقه را نشان می‌دهد. میزان محاسبه شده I در منطقه حدود ۱۵ بوده که نشان‌دهنده اقلیم نیمه خشک منطقه است.

برای بررسی خشکسالی در منطقه می‌توان از نمایه استاندارد بارندگی استفاده نمود (علیزاده ۱۳۸۹). محاسبه شاخص بارندگی (Standard Precipitation Index = SPI) براساس آمار طولانی مدت بارندگی در دوره مورد نظر استوار است. بدین منظور داده‌های بارندگی برای دوره مد نظر باید توزیع نرمال داشته باشند^۱. با انجام این عمل برای داده‌های هر سال، SPI مشخص می‌شود. با توجه به میزان SPI برای هر سال احتمال وقوع ۷ حالت وجود دارد (جدول ۱-۳). هر زمان که SPI از منفی یک کوچک‌تر شده باشد،

۱ - برای ایجاد توزیع نرمال در داده‌های بارندگی، میزان میانگین از هر داده کم می‌شود و مقدار به دست آمده بر انحراف معیار تقسیم می‌شود. این عمل استاندارد کردن داده‌ها نام دارد.

به عنوان زمان آغاز خشکسالی، و هنگامی که این عدد بزرگتر از یک باشد، نشان‌دهنده ترسالی است. مقادیر محاسبه شده برای داده‌های بارندگی در شکل (۳-۱) آمده است.



شکل ۳-۱ - مقادیر SPI در یک دوره ۴۰ ساله برای داده‌های ایستگاه دشتبال

جدول ۳-۱ - نمایه SPI برای پایش خشکسالی

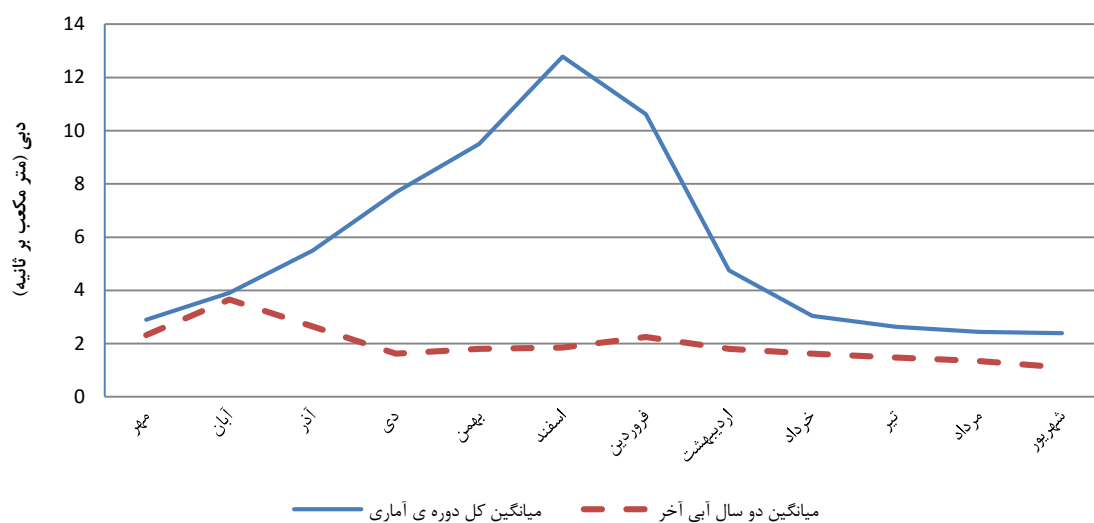
| نمایه SPI | وضعیت آب و هوایی |
|-------------------|------------------|
| ۲ و بیشتر | شدیداً مرطوب |
| بین ۱/۵ تا ۱/۹۹ | بسیار مرطوب |
| بین ۱ تا ۱/۴۹ | مرطوب متوسط |
| بین ۰/۹۹ تا -۰/۹۹ | نزدیک نرمال |
| بین -۱ تا -۱/۴۹ | خشک متوسط |
| بین -۱/۵ تا -۱/۹۹ | بسیار خشک |
| -۲ و کمتر | شدیداً خشک |

با توجه به مقادیر محاسبه شده SPI برای داده‌های بارندگی بلند مدت، مشاهده می‌شود که رژیم بارندگی از الگوی منظمی تبعیت نمی‌کند. طبق شاخص‌های SPI خشکسالی طولانی مدتی تا سال ۱۳۸۶ در منطقه اتفاق نیفتاده است؛ ولی از ابتدای سال ۱۳۸۶ این شاخص از منفی یک کوچک‌تر شده که نشان‌دهنده خشکسالی در منطقه است. این حالت تا حدودی هنوز هم ادامه دارد. کوچکترین مقدار SPI، در ۴۰ سال قبل در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ اتفاق افتاده است.

۴-۱- آبهای سطحی منطقه مورد مطالعه

با توجه به نیاز فراوان به آب در منطقه سعادت‌شهر، منابع متعددی برای برآورده ساختن آب مورد نیاز استفاده می‌شود. اگرچه آبهای زیرزمینی به عنوان تأمین کننده عمده آب مورد نیاز کشاورزی و صنعت در منطقه محسوب می‌شود ولی آبهای سطحی نیز تا حد امکان مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. اصلی‌ترین منبع آب سطحی در منطقه، رودخانه سیوند است. این رودخانه که با پیوستن به رودخانه کر در نهایت به دریاچه طشک و بختگان می‌ریزد از چشمه‌های ارتفاعات شمال‌شرقی منطقه، مانند چشمه آهکی یعقوب و چشمه‌های ارتفاعات برفگیر کوه‌های ساریخانی، سفید، کولی‌کش و مشکان سرچشمه می‌گیرد. محل ورود این رودخانه، تنگ بلاغی (شکل ۱-۵) در شمال دشت است و با طی مسافتی در حدود ۱۵ کیلومتر از بخش غربی دشت، از محل تنگ سیوند (تنگ قوام‌آباد) از دشت خارج می‌شود. آبراهه‌های دیگری نیز در دشت وجود دارد که آبهای سطحی بخش شرقی دشت را زهکشی می‌کند و در بخش‌های انتهایی دشت به رودخانه سیوند می‌پیوندند. آبهای سطحی برداشت شده از کل این دشت، که در حدود ۶۰ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است و به طور کامل به مصرف کشاورزی می‌رسد، حدود ۲۳ درصد آب مورد نیاز کشاورزی را برآورده می‌نماید. در سال‌های اخیر با کاهش دبی رودخانه‌های دشت، وابستگی به آبهای زیرزمینی بیشتر شده است. سد سیوند که در منطقه تنگ بلاغی در قسمت شمالی دشت بر روی رودخانه سیوند احداث شده، میزان آب برداشتی از این رودخانه را تا میزان چشمگیری افزایش خواهد داد. این سد، به دلیل مسائل فرهنگی هنوز به صورت کامل آبگیری نشده است.

ایستگاه آب‌سنجی رحمت‌آباد که بر روی رودخانه سیوند در محدوده دشت قرار گرفته است، برای بررسی آبهای سطحی انتخاب گردیده است. این ایستگاه در تراز ۱۷۶۱ متری آبهای آزاد قرار گرفته است. این ایستگاه سال ۱۳۶۹ تاسیس شده و از سال ۱۳۷۰ دارای آمار آبدهی می‌باشد. دبی رودخانه سیوند به صورت لحظه‌ای توسط تجهیزات موجود (اشل، لیمینگراف و تلفریک) در این ایستگاه ثبت می‌شود (سازمان آب منطقه‌ای فارس ۱۳۸۹). شکل (۱-۴) و جدول (۱-۴) آمار آبدهی میانگین ۱۹ ساله (از سال ۷۱-۷۰ تا ۸۹-۸۸) و دو سال آخر (سال‌های آبی ۸۷-۸۷ و ۸۸-۸۹) را نشان می‌دهند. بررسی دقیق‌تر آبهای سطحی در فصل چهارم، در بخش بیان ارائه خواهد شد.



شکل ۴-۱- هیدروگراف متوسط ماهانه ایستگاه رحمت آباد در دو دوره آماری کوتاه و بلند مدت

جدول ۴-۱- آمار آبدهی متوسط ماهانه و سالانه بر حسب متر مکعب بر ثانیه ایستگاه رحمت آباد

| ماه اندازه گیری | میانگین دو سال آبی منتهی به ۸۹-۸۸ | میانگین کل دوره ی آماری |
|-----------------|-----------------------------------|-------------------------|
| مهر | ۲/۳۲ | ۲/۹ |
| آبان | ۳/۶۵ | ۳/۹۱ |
| آذر | ۲/۶۵ | ۵/۴۹ |
| دی | ۱/۶۲۵ | ۷/۶۹ |
| بهمن | ۱/۸ | ۹/۵ |
| اسفند | ۱/۸۴۵ | ۱۲/۷۸ |
| فروردین | ۲/۲۵ | ۱۰/۶۲ |
| اردیبهشت | ۱/۸ | ۴/۷۵ |
| خرداد | ۱/۶۲ | ۳/۰۴ |
| تیر | ۱/۴۷۵ | ۲/۶۳ |
| مرداد | ۱/۳۴۵ | ۲/۴۴ |
| شهریور | ۱/۱۰۴۵ | ۲/۳۹ |
| سالانه | ۱/۹۱ | ۵/۶۸ |

با توجه به نمودار شکل (۱-۴) کاهش دبی ماهانه در سال‌های اخیر کاملاً مشهود است. این تغییرات احتمالاً به دلیل کاهش بارندگی‌ها در حوضه آبرگیر رودخانه سیوند، یا شروع آبرگیری سد سیوند اتفاق افتاده است. کاهش کمیت آب سطحی، باعث افزایش برداشت از آبهای زیرزمینی و افت سطح ایستابی می‌شود.



شکل ۱-۵- تنگ بلاغی در شمال دشت، محل ورود رودخانه سیوند به دشت سعادت‌شهر (دید به سمت شمال)

۱-۵- آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

بخش اعظمی از آب مورد نیاز منطقه، توسط آبهای زیرزمینی تأمین می‌شود. آبخوان سعادت‌شهر یک آبخوان آزاد است که بخش اعظم آب برداشت‌شده از آن توسط چاه‌های نیمه عمیق و کم‌عمق صورت می‌پذیرد. طبق آمار ارائه‌شده توسط سازمان آب منطقه‌ای فارس، تعداد چاه‌های این دشت به ۶۷۸ حلقه می‌رسد که ۴۳۹ حلقه آن نیمه عمیق و ۲۳۹ حلقه کم‌عمق هستند. تمامی این چاه‌ها فعال بوده و هیچ چاه متروکه‌ای در دشت ثبت نشده است. برداشت از این چاه‌ها در حدود ۱۹۷ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده شده است. علاوه بر چاه‌های حفرشده، برداشت از آبهای زیرزمینی توسط هفت رشته قنات با

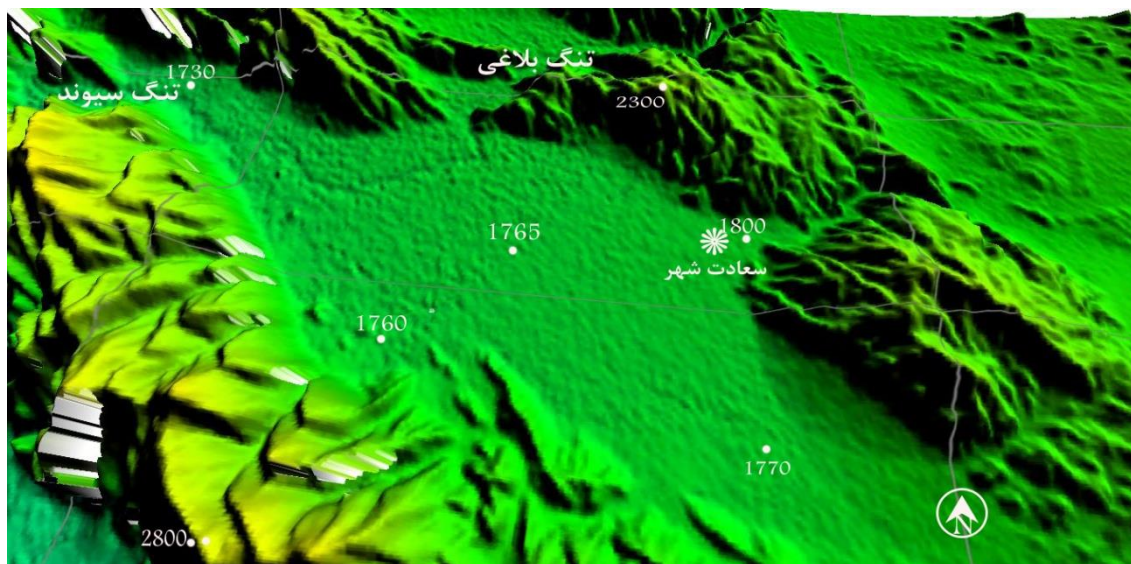
حدوداً ۹ میلیون متر مکعب در سال نیز صورت می‌پذیرد. (بر پایه آمار برداری منابع آب سال ۱۳۸۹). از تمامی برداشت‌ها در حدود ۲۰۰ میلیون متر مکعب در سال برای تأمین آب کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب مورد نیاز صنعت حدود ۰/۲۰ میلیون متر مکعب در سال است که تقریباً ۸۵ درصد آن از چاه‌های موجود در دشت، و بقیه آن از چشمه‌ها تأمین می‌شود. آب شرب مصرفی منطقه نیز، در حدود ۱/۷ میلیون متر مکعب در سال است که ۸۵ درصد آن از چاه‌های آبرفتی، و بقیه آن از چاه‌های موجود در سازندهای آهکی اطراف تأمین می‌گردد (آماربرداری منابع آب ۱۳۸۹). بررسی دقیق منابع آب زیرزمینی منطقه در فصل چهارم صورت می‌پذیرد.

۱-۶- ژئومورفولوژی منطقه

دشت سعادت‌شهر از انباشتگی رسوبات کواترنری در یک ناودیس در سیستم چین‌خوردگی‌های موازی با روند شمال‌غرب - جنوب‌شرقی (روند عمومی چین‌خوردگی‌های زاگرس) بوجود آمده است. این دشت با شیب ملایم شرقی- غربی، در میان ارتفاعات آهکی اطراف خود محاصره گردیده است. ارتفاعات اطراف آن، عمدتاً صخره‌ساز هستند. به طور کلی، بلندای ارتفاعات جنوبی بیشتر از ارتفاعات شمالی دشت است. بلندترین نقطه در ارتفاعات شمالی، ۲۳۰۰ متر و در ارتفاعات جنوبی ۲۸۰۰ متر بالای سطح آبهای آزاد می‌باشد. ساختارهای تکتونیکی موجود در منطقه، باعث ایجاد چهار دره در چهارسوی دشت شده‌اند. دره شمالی، که تنگ بلاغی نامیده می‌شود محل ورود رودخانه سیوند به محدوده دشت است. دره شرقی منطقه که تنگ سعادت‌شهر (تنگ سعادت‌آباد) نامیده می‌شود، آب سطحی قابل توجهی را وارد دشت نمی‌کند. جاده‌ی اصلی شیراز- اصفهان از این دره می‌گذرد. دره جنوب شرق منطقه، که ارتباط شهر سعادت‌شهر را با شهر ارسنجان برقرار می‌کند به دلیل توپوگرافی نامنظم، آب سطحی چندانی را وارد دشت نمی‌کند. دره غربی منطقه که تنگ سیوند (تنگ قوام‌آباد) نامیده می‌شود، با کمترین ارتفاع، آبهای سطحی دشت را از طریق رودخانه سیوند زهکشی می‌کند. بلندترین ارتفاع در روی دشت، حدود ۱۸۰۰ متر در مجاورت شهر سعادت‌شهر است که به سمت جنوب و غرب کاسته می‌شود، به طوری که کمترین ارتفاع در خروجی حوضه آبگیر با حدود ۱۷۳۰ متر بالای سطح آبهای آزاد می‌باشد (داده‌های رقومی نرم- افزار Global Mapper 8.0). شکل (۱-۶) توپوگرافی محدوده را به صورت سه‌بعدی نشان می‌دهد.

ارتفاعات، بر اساس اختلاف ارتفاعشان با زمین‌های اطراف خود، به سه دسته دشت، تپه ماهور و کوهستان

تقسیم می‌شوند. بر اساس این رده‌بندی، سرزمین‌هایی که ارتفاعشان، کمتر از ۵۰ متر است، دشت، بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر تپه‌ماهور، و بیش از ۵۰۰ متر کوهستان نامیده می‌شوند. بنابراین تقسیم‌بندی، آبخوان سعادت‌شهر در دشت قرار دارد و تمامی اطراف آن به کوهستان محصور شده است.



شکل ۱-۶ - مدل سه‌بعدی محدوده مورد مطالعه (با استفاده از نرم‌افزار Global Mapper 8.0)

۱-۷- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

دشت سعادت‌شهر عمدتاً توسط نهشته‌های کواترنری، که بسته به محیط و مساحت بستر حمل شده، به نسبت‌های مختلف از قلوه سنگ، شن، ماسه، سیلت و رس و بیشتر از جنس آهک، آهک رسی و مارنی حاصل فرسایش ارتفاعات حاشیه دشت تشکیل شده‌اند، پوشانده شده است. در این دشت، رسوبات آبرفتی در قسمت‌های شمال‌غرب و غرب دشت بیشتر دانه درشت و در قسمت‌های مرکزی و جنوبی، اکثراً دانه ریز در حد ماسه و سیلت هستند. با توجه به این که رسوبات بر روی سنگ کف مارنی و رسی درون یک ناودیس قرار گرفته‌اند، به نظر می‌رسد ضخامت رسوبات در کناره‌های دشت کمتر و به سمت مرکز دشت افزایش یابد. حداکثر ضخامت رسوبات حدود ۱۲۰ متر و متوسط ضخامتی حدود ۶۰ متر تخمین زده می‌شود (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ۱۳۸۴).

۱-۷-۱- چینه شناسی منطقه

با توجه به اهمیت سازندهای اطراف دشت، در برقراری رابطه هیدرولیکی با آبرفت، در این قسمت به بررسی این سازندها پرداخته شده است. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۱-۷) سازندهای مجاور دشت در زیر از قدیم به جدید به طور مختصر شرح داده می‌شوند (آقاناتی ۱۳۸۳):

الف - سازند فهلیان (K_{fa})

این سازند با سن کرتاسه زیرین (نئوکومین- آبتین) در شمال دشت، در محدوده تنگ بلاغی و بخش کوچکی در جنوب دشت مشاهده می‌شود، و از آهک ائولیتی متورق تا توده‌ای به رنگ قهوه‌ای خاکستری با ریخت خشن است و با ضخامت و گسترش نسبتاً زیاد و شیب متوسط در امتداد شمال غرب-جنوب شرق گسترش دارد و به دلیل استعداد کارستی شدن مناسب، می‌تواند تغذیه کننده دشت باشد.

ب - سازند گدوان (K_{gd})

این نهشته رسوبی با سن کرتاسه زیرین (نئوکومین بالایی- آبتین)، به میزان کمی در بخش جنوبی دشت و به میزان گسترده‌ای در شمال حوضه، در محدوده تنگ بلاغی رخنمون دارد. سازند گدوان، بین دو آهک خشن سازند فهلیان (در زیر) و سازند داریان (در بالا) قرار گرفته است. شامل تناوبی از شیل‌های تناوبی مایل به زرد یا سبز، با میان‌لایه‌هایی خاکستری از سنگ آهک رسی، دارای خرده صدف است.

ج - سازند داریان (K_{da})

این سازند با سن کرتاسه زیرین (آبتین)، شامل سنگ آهک قهوه‌ای خاکستری ضخیم‌لایه تا توده‌ای خشن و صخره‌ساز است. اربیتولین زیاد آن با سن آبتین شاخص آن است. مرز پایینی آن با سازند گدوان تدریجی است، ولی در بالا با سازند کژدمی به شدت فرسایش یافته است. بخش اعظمی از ارتفاعات شمال دشت، و بخشی از جنوب دشت با رخنمون‌های این سازند ارتباط دارند.

د - سازند کژدمی (K_{kz})

این سازند با سن کرتاسه زیرین- بالایی (آلبین تا سنومانین) شامل شیل قیری خاکستری تیره و گاه سیاه‌رنگ، و دارای لایه‌هایی از سنگ آهک رسی تیره‌رنگ و مارن است. مرز پایینی آن با سازند داریان با لایه‌های سرخ‌رنگ مشخص شده، و مرز بالایی آن با آهک سروک تدریجی است. ارتباط عمده این سازند با آبخوان، عمدتاً در بخش شرقی دشت است، و قسمت‌های کوچکی نیز در بخش شمالی و جنوبی دیده

می‌شود.

ه - سازند سروک (K_{sv})

سازند سروک در منطقه مورد مطالعه، لیتولوژی آهک توده‌ای و خاکستری تیره تا کرم‌رنگ و قهوه‌ای دارد. این سازند با بخش اعظمی از آبرفت در نواحی غرب دشت مجاورت دارد. این سازند پتانسیل بالایی از نظر انحلال و ایجاد تخلخل ثانویه دارد، به طوری که از آن پس از سازند آسماری، به عنوان مهمترین سنگ مخزن حوضه نفتی زاگرس نام برده می‌شود. چشمه ابوالمهدی که یکی از چشمه‌های بزرگ منطقه است، از خروجی‌های آب موجود در سفره کارستی موجود در این سازند است.

و - سازند سورمه (K_{sm})

سازند کربناته سورمه با سن اواخر لیاس تا ژوراسیک میانی دارای لیتولوژی سنگ آهک دولومیتی، سنگ آهک رسی و دولومیت آهکی است. این سازند در بخش کوچکی از جنوب دشت و در شمال دشت در محدوده تنگ بلاغی رخنمون دارد.

ز - واحد رادیولاریتی (K_{rl})

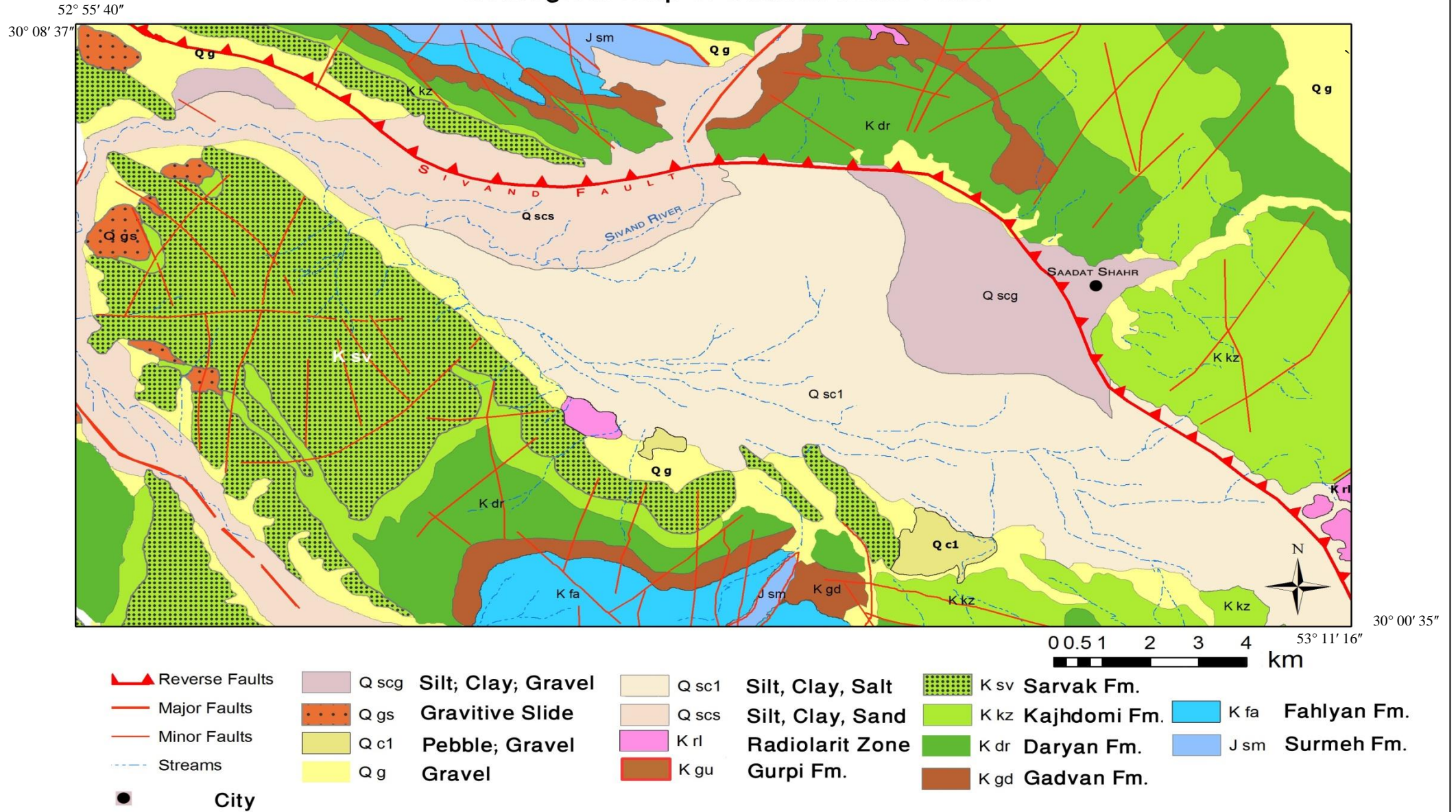
این واحد با لیتولوژی سنگ آهک ماسه‌ای، آهک، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و چرت رادیولاریتی دارای در بخش شرقی دشت رخنمون دارد. سن این زون کرتاسه تخمین زده شده است. با نگاهی اجمالی به لیتولوژی سازندهای احاطه کننده آبخوان، که عمدتاً آهکی بوده و پتانسیل بالایی از نظر انحلال دارند، به نظر می‌رسد که سفره‌های کارستی عمده‌ای در آنها تشکیل شده باشد که می‌تواند در تغذیه آب آبرفت از سطح به صورت چشمه، و از زیر زمین بسیار حائز اهمیت باشد.

۱-۷-۲- زمین‌شناسی ساختاری

از دیدگاه ساختاری، این دشت در بخش جنوبی زاگرس چین خورده داخلی قرار دارد. چین خوردگی‌های زاگرس، خود بخشی از کوهزائی بزرگ آلپی می باشند که از تنگه هرمز شروع شده و وارد خاک ترکیه و عراق می گردد. روند عمومی چین‌های زاگرس، شمال باختری - جنوب خاوری می‌باشد که شامل تاقدیس و ناودیس‌های موازی است که همگی از روند زاگرس تبعیت می‌نمایند (آقانباتی ۱۳۸۳). گسل سیوند (گسل رودخانه سیوند) که روند فوق را دارد، گسل اصلی موجود در منطقه مورد مطالعه است. این

گسل معکوس، در بخش شمالی منطقه قرار دارد و به نظر می‌رسد که حد فاصل سازندهای آهکی و آبرفت را تشکیل دهد. علاوه بر گسل فوق، درزه‌ها و گسل‌های کوچکتری در سازندهای اطراف دشت وجود دارند که به نظر می‌رسد عمدتاً سیستماتیک بوده و در رابطه با چین‌خوردگی‌ها باشند. با توجه به سن سازندهای احاطه‌کننده دشت، که عموماً کرتاسه است و همچنین نبود سازندهای سنوزوئیک، احتمالاً این حوضه در اواخر کرتاسه بر اثر فازهای اولیه از حیطه رسوبگذاری دریای ائوسن خارج شده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ۱۳۸۴).

Geological Map of Saadat Shahr Plain



شکل ۱-۷- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه های ۱:۱۰۰۰۰۰ سعادت شهر و سیوند)

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته در مورد کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی

۲-۱- مقدمه

منابع آب زیرزمینی، در بسیاری از نقاط کشورمان سهم عمده‌ای در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت دارا می‌باشد. شناخت صحیح وضعیت آبهای زیرزمینی به منظور استفاده صحیح و بلند مدت از آنها امری ضروری است. برای اینکه آب زیرزمینی در یک منطقه قابل استفاده باشد، بایستی شرایط کمی و کیفی مناسبی داشته باشد. شرایط کمی و کیفی آبهای زیرزمینی به عوامل مختلفی بستگی دارد. شدت اثر هر یک از این عوامل در مناطق مختلف متفاوت است. میزان تأثیر هر یک از عوامل به خصوصیات منطقه و آبخوان بستگی دارد. اگرچه مناطق مختلف کاملاً شبیه به یکدیگر نیستند، ولی بررسی عوامل تأثیرگذار در یک منطقه، می‌تواند کلید تفسیر شرایط در سایر مناطق نیز باشد. شناسایی این دسته عوامل، به تفسیر شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه کمک خواهد کرد. در این فصل به بررسی عوامل تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی پرداخته خواهد شد.

۲-۲- عوامل مؤثر بر کیفیت آبهای زیرزمینی

کیفیت آبهای زیرزمینی، به میزان عناصر و گازهای محلول در آب و میزان مواد جامد، باکتری‌ها و ویروس‌های موجود در آب بستگی دارد. در حالت طبیعی، میزان مواد محلول و غلظت آنها بستگی به ترکیب شیمیایی آبخوان و طول زمان حرکت آب (Travel Time) در سازند دارد. اگر کانی‌های سنگ

قابلیت انحلال نسبتاً خوبی داشته باشند و سرعت حرکت آب در سازند کم، و در نتیجه ماندگاری آب در سازند بالا باشد، تعادل شیمیایی بین آب و سازند برقرار می‌شود. به دلیل دامنه گسترده سرعت جریان آبهای زیرزمینی و ترکیب شیمیایی سازندها، دامنه گسترده‌ای از ترکیبات در آبهای زیرزمینی وجود دارد (Dellar 1998).

ترکیبات موجود در آبهای زیرزمینی توسط فریز و چری (Freeze and Cherry 1976) به سه دسته اجزای اصلی (Major)، فرعی (Minor) و نادر (Trace) تقسیم بندی شده‌اند (جدول ۱-۲). این عناصر بسته به شرایط تأثیرگذار بر میزان آنها، می‌توانند به میزان‌های متفاوت در آب وجود داشته باشند.

جدول ۱-۲- عناصر موجود در آبهای زیرزمینی (Freeze and Cherry 1979)

| Major constituents (greater than 5 mg/l) | Minor Constituents (0.01–10.0 mg/l) | Trace Constituents (less than 0.1 mg/l) |
|---|--|--|
| Chloride | Fluoride | Cobalt |
| Bicarbonate | Strontium | Thallium |
| Sulfate | Iron | Copper |
| Magnesium | | Thorium |
| Carbonic acid | | Gallium |
| | | Tin |
| | | Germanium |
| | | Titanium |
| | | Gold |
| | Boron | Tungsten |
| | Nitrate | Indium |
| | Carbonate | Uranium |
| | Potassium | Iodide |
| | | Vanadium |
| | | Lanthanum |
| | | Ytterbium |
| | | Lead |
| | | Yttrium |
| | | Lithium |
| | | Zinc |
| | | Manganese |
| | | Zirconium |
| | | Aluminum |
| | | Molybdenum |
| | | Antimony |
| | | Nickel |
| | | Arsenic |
| | | Niobium |
| | | Barium |
| | | Phosphate |
| | | Beryllium |
| | | Platinum |
| | | Bismuth |
| | | Radium |
| | | Bromide |
| | | Rubidium |
| | | Cadmium |
| | | Ruthenium |
| | | Cerium |
| | | Scandium |
| | | Cesium |
| | | Selenium |
| | | Chromium |
| | | Silver |

چان (Chan 2001) کیفیت شیمیایی آب و تغییرات آن را به یکی از این دو منشأ نسبت داد: (۱) فرایندهای طبیعی، به عنوان مثال سنگ شناسی، سرعت جریان آب زیرزمینی، کیفیت آب تغذیه شده، برهمکنش آب با سنگ و خاک، برهمکنش با انواع دیگر آبخوان‌ها و غیره؛ (۲) فعالیت‌های مربوط به دخالت انسان، از جمله کشاورزی، صنعت، توسعه شهری، افزایش بهره برداری از منابع آب.

نقش هر یک از این عوامل در کیفیت آبهای زیرزمینی در زیر به طور اجمالی بررسی شده است:

۲-۲-۱- نقش عوامل طبیعی

عوامل طبیعی، نقش بسیار مهمی در تعیین کیفیت آبهای زیرزمینی دارا می‌باشند. مهمترین عامل طبیعی تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی، محیط زمین شناسی است.

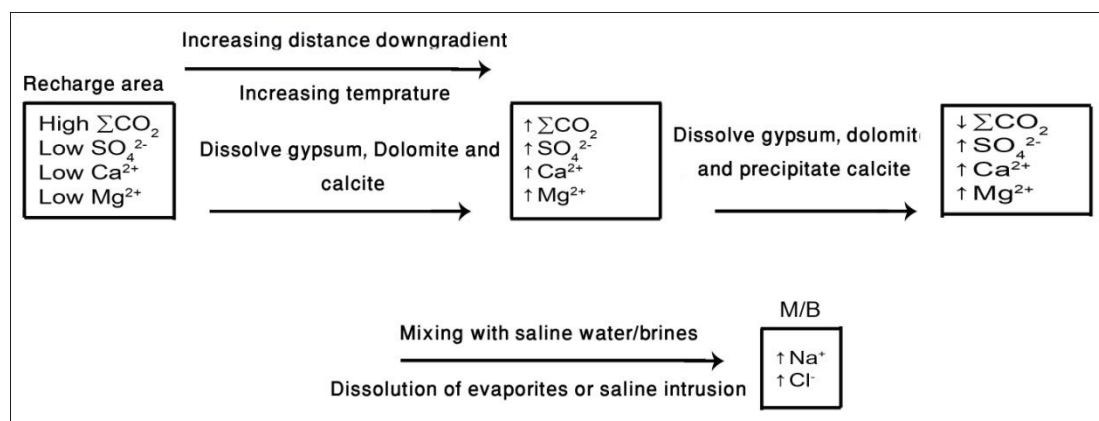
الف) نقش محیط زمین شناسی

آبهای زیرزمینی، به ناچار در محیط سازندهای زمین شناسی حضور دارند. بررسی تأثیرات زمین شناسی آبخوان بر آبهای زیرزمینی بخش مهمی از مطالعات آبهای زیرزمینی است. سازندهای زمین شناسی بسته به شرایط کانی شناسی، فیزیکی و شیمیایی خود، کیفیت و کمیت آبهای زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به طور کلی با مروری اجمالی بر مطالعات انجام شده در مورد زمین شناسی یک منطقه می‌توان کیفیت آب را، نه به صورت دقیق، ارزیابی نمود. در مطالعات هیدروژئوشیمیایی دشت‌ها فاکتور زمین-شناسی که عاملی طبیعی به شمار می‌رود از اساسی ترین فاکتورهای تأثیرگذار است، پس مطالعه زمین-شناسی منطقه اهمیت بسزایی دارد.

مفهومی تحت عنوان دگرگونی آبهای زیرزمینی (Groundwater Metamorphism) برای توضیح تغییرات یونی در آب توسط چبوراتف (Cheboratev 1955) ارائه گردید. این مفهوم به شرح تغییرات یونهای غالب آب در حرکت طبیعی آبهای زیرزمینی می‌پردازد. طبق نظر این محقق اکثر آبهای زیرزمینی طی حرکت خود در محیط زمین شناسی، توالی از یونهای اصلی نشان می‌دهند که تیپ آب نامگذاری شده‌اند و عمدتاً به صورت توالی بیکربنات-سولفید-کلرید است. وی این تغییرات را به محیط زمین شناسی آبخوان نسبت داد.

در مقاله‌های بعدی، هانشاو و بک (Hanshaw and Beck 1979) یک مدل مفهومی کلی در آبخوان‌ها را ارائه کردند. طبق مدل ارائه شده توسط این محققین، آبهای زیرزمینی در محل تغذیه، دارای غلظت بالای دی اکسید کربن و املاح جامد محلول، اندک می‌باشد که باعث انحلال کلسیت، دولومیت و ژئپس‌های احتمالی موجود در سازند زمین شناسی می‌شود. همینطور که غلظت این یون‌ها افزایش می‌یابد و نسبت آنها طی حرکت در سازندهای زمین شناسی افزایش می‌یابد، آب موجود در سازند نسبت به کلسیت اشباع

شده، و کلسیت شروع به ته‌نشست می‌کند. پس از آن، فرآیند دولومیت‌زدایی در پاسخ به انحلال ژئوسی که به دلیل ته‌نشست کلسیت، انحلال یافته اتفاق می‌افتد. با ادامه این روند، مقدار انحلال کانی‌های تبخیری در سازند افزایش یافته و شوری آب به تدریج افزایش می‌یابد. شکل (۱-۲) این مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲ - تغییرات انحلال یون‌های اصلی در آبهای زیرزمینی نسبت به زمان ماندگاری در سازند

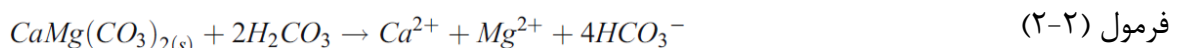
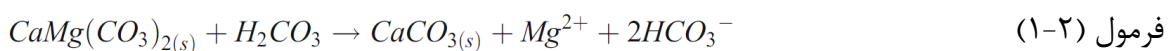
(Hanshaw and Beck 1979)

با توجه به مطالب فوق، می‌توان گفت جنس مواد سازنده‌ی آبخوان، و همچنین خصوصیات آب آبخوان، در برهم‌کنش مواد سازند-آب تأثیرگذار است.

در خصوص تاثیرات زمین‌شناسی بر آبهای زیرزمینی، مطالعات موردی زیادی صورت گرفته است. راجمohan و الانگو (Rajmohan and Elango 2004) در بررسی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی آبخوانی در هندوستان با روش‌های استاندارد گرافیکی موجود برای این بررسی‌ها، غلظت یون‌های سدیم، کلسیم و پتاسیم آب زیرزمینی را به هوازنگی سیلیکات‌های موجود در محیط زمین‌شناسی این آبخوان نسبت دادند. آنها فرآیند تبادل یونی معکوس در آبهای موجود در سازندهای سخت منطقه را تأییدکننده اصلی غلظت کلسیم، سدیم و منیزم موجود در آب دانستند و در سازندهای با لیتولوژی کربناته علاوه بر فرآیند فوق، انحلال را نیز مؤثر دانستند.

آبید و همکارانش (Abid et al. 2010) آبخوانی را در جنوب تونس از نظر هیدروژئوشیمیایی توسط آنالیز یون‌های اصلی و برخی ایزوتوپ‌ها مورد بررسی قرار دادند. تغییرات یون‌های اصلی در برخی از بخش‌ها در خلال حرکت در محیط آبخوان، به صورت افزایش یون‌های سدیم، کلر و سولفات مشاهده و علت این امر

به حضور رخساره‌های تبخیری در آبخوان نسبت داده شد. در این مطالعه سه روند اصلی برای تغییرات شیمیایی مشاهده گردید که واکنش‌های اصلی که موجب این تکامل هیدروژئوشیمیایی آبخوان شده بودند، در سه دسته، دسته‌بندی شدند: (۱) رسوب کلسیت، (۲) انحلال ژپیس و هالیت و (۳) تبادل یونی. نسبت Na^+/Cl^- که در بخش‌هایی از آبخوان، نشان‌دهنده رخساره‌های تبخیری (نزدیک به یک، طبق نظر میبک و همکاران (Mayback *et al.* 1976)) ولی در بخشی از آن نسبت بین این دو یون نزدیک به یک نبوده است، که به آزاد شدن Na^+ به آب و حذف کاتیون Ca^{2+} موجود در آب توسط مواد سازنده آبخوان به دلیل فرآیند تبادل یونی می‌باشد. روی دادن این فرآیند تبادل یونی، با بالا بودن نسبت $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ در برابر $HCO_3^- + SO_4^{2-}$ و همچنین بالا بودن نسبت $Na^+ + K^+$ در برابر Cl^- تأیید گردید. با رسم نمودار SO_4^{2-} در برابر Ca^+ ، مشاهده شد که میزان کاتیون کلسیم، در برابر سولفات میزان کمتری است که این امر به انحلال ژپیس که باعث به حد اشباع رسیدن کلسیم و در پی آن رسوب این یون است، نسبت داده شد. از دیگر شواهد انحلال ژپیس به صورتی که باعث رسوب کلسیت گردد، پراکندگی داده‌های یون کلسیم و آلکالینیتی کل، در برابر مواد جامد محلول در آب (TDS) در یک جدول تمام لگاریتمی است (به نقل از Valles *et al.* 1989). در آبخوان مورد مطالعه، این پراکندگی در نمونه‌ها وجود داشت که انحلال ژپیس را تأیید می‌نمود. در این مطالعه با محاسبه شاخص اشباع کلسیت و دولومیت و بررسی آنها در نمودار، به ترتیب نسبت به $Ca^{2+} + HCO_3^-$ و $Ca^{2+} + HCO_3^- + Mg^{2+}$ ، نتیجه این بود که آب زیرزمینی از یک محیط نزدیک به اشباع از کلسیت به سمت محیطی فوق اشباع حرکت می‌کند. طبق نظر کاردنال و همکاران (Cardenal *et al.* 1994) حالت فوق اشباع در کلسیت می‌تواند به دلایل انحلال نامتجانس دولومیت (فرمول ۱-۲) و ددولومیتی شدن (انحلال دولومیت (فرمول ۲-۲) و در نتیجه آن رسوب کلسیت در نتیجه انحلال ژپیس) اتفاق بیافتد، که هر دو باعث رسوب کلسیت می‌شوند.



هنگامی که آبهای زیرزمینی نسبت به کلسیت به حد اشباع رسیده است، در صورتی که فرآیند ددولومیتی شدن (Dedolomitisation) روی دهد می‌توان گفت که تکامل آبهای زیرزمینی تحت تأثیر انحلال ژپیس بوده است.

هويزار - آلوارز و همکارانش (Huizar-Alvarez et al. 2004) برای بررسی تغییرات کیفیت آب در لیتولوژی‌های مختلف، از آزمایش پمپاژ استفاده کردند. این محققین با انجام آزمایش پمپاژ طولانی مدتی در جنوب شرق مکزیکوسیتی، با آنالیز کیفیت آب در زمان‌های مختلف پمپاژ تغییرات آن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده از آنالیزهای آزمایشگاهی و صحرایی، نشان‌دهنده سه گروه شیمیایی آب بود. گروه اول با TDS در محدوده‌ی ۶۰۰-۱۲۷ میلی‌گرم در لیتر و میزان سدیم در محدوده‌ی ۱۷۸-۲۴ میلی‌گرم در لیتر و دمای ۱۹/۵-۱۸ درجه سانتی‌گراد، که این کیفیت به بخش اول آزمایش که آب از تشکیلات بازالتی با میان لایه‌های رسوبات دانه‌ای و پیروکلاستی زهکشی می‌شده، مربوط بوده است. گروه دوم نمونه‌ها با TDS و سدیم به ترتیب ۹۴۰-۲۰۳ و ۳۷۰-۳۰ میلی‌گرم در لیتر و دمای ۲۲-۲۰ درجه سانتی‌گراد. این بخش از نمونه‌ها به رسوبات دانه‌ای که تحت شرایط اکسیداسیون توسط مواد آلی بوده‌اند نسبت داده شد. گروه سوم آنالیزها که TDS، Na^+ و دمای به ترتیب ۷۰۰-۳۰۰، ۲۳۰-۸۰ میلی‌گرم در لیتر و ۲۴/۸-۲۳ درجه‌ی سانتی‌گراد داشتند که مربوط به تغذیه آبخوان از لیتولوژی آهکی دارای بازالت بوده‌اند. آنها به استناد نتایج خود تغییرات شیمیایی آب در محیط‌های مختلف و هتروژن بودن آبخوان را اثبات نمودند.

رئیزی (۱۳۷۴) در مطالعه دشتی در نزدیکی داراب در استان فارس، کیفیت آب در بخش جنوبی دشت را بررسی نمود. آبهای این بخش هدایت الکتریکی در حدود ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و تیپ بیکربناته داشته‌اند. وی این امر را به تغذیه آب از ارتفاعات مجاور آن که از سازندهای کربناته آسماری و جهرم تشکیل شده‌اند، نسبت داد. در بخش شمالی دشت بر خلاف بخش جنوبی، هدایت الکتریکی در حدود ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و تیپ آب کلروره بوده است. علت این امر حضور آبهای منشأ گرفته از گنبد‌های نمکی در مخروط افکنه‌های شمالی دشت تشخیص داده شد.

جودوی و همکارانش (۱۳۸۷) برای تعیین منشأ شوری آب زیرزمینی در منطقه‌ای در استان خراسان، با اندازه‌گیری مقادیر یون‌های اصلی آب، تیپ آب را کلرید-سدیک تعیین کردند. آنها با اندازه‌گیری ضریب همبستگی بین این دو یون، منشأ این دو یون را به هالیت موجود در آبخوان یا سنگ بستر نسبت دادند به این دلیل که میزان این ضریب نزدیک به یک بوده است. اگر این نسبت نزدیک به یک باشد، انحلال هالیت منشأ اصلی یون سدیم و کلر منطقه است. همانطور که گفته شد، اگر این نسبت بیشتر از یک

باشد، سدیم احتمالاً از هوازدگی سیلیکات‌ها منشأ گرفته است یا فرآیندهای تبادلات یونی صورت پذیرفته است.

علاوه بر جنس کانی‌های تشکیل دهنده و جنس مواد صلب آبخوان، سایر شرایط آبخوان نیز بر کیفیت آب سازند می‌تواند اثرگذار باشد. برای مثال بساکی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی آبخوان ساحلی کردکوی در استان گلستان، احتمال تأثیرگذار بودن آبهای فسیلی موجود در سازند را نیز محتمل دانستند. آنها با وجود ساحلی بودن آبخوان، با در نظر گرفتن فاصله زیاد مکان‌هایی از آبخوان از خط ساحل، احتمال نفوذ آب شور را دور از انتظار دانستند.

در مناطقی که آبهای زیرزمینی از تشکیلاتی وارد دشت می‌شوند که عناصر نادر در آنها حضور دارند، آبهای زیرزمینی مقادیر بالاتر از میزان معمول این عناصر را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده تاثیر سازندهای دارای آنومالی آن عنصر، بر آب زیرزمینی است. برای مثال اصغری مقدم و فیجانی (۱۳۸۶) با بررسی آبهای زیرزمینی منطقه ماکو در استان آذربایجان غربی، میزان بالاتر از حد عادی عنصر فلئور را در آب زیرزمینی مشاهده کردند که با توجه به آنومالی فلئور در تشکیلات بازالتی منطقه، تاثیر این بازالت‌ها بر آبهای زیرزمینی را اثبات نمودند.

تأثیر محیط زمین‌شناسی منطقه بر آبهای زیرزمینی می‌تواند به طور غیر مستقیم نیز صورت گیرد، به این صورت که آبهای سطحی و یا حتی زیرزمینی که آبخوان را تغذیه می‌نمایند، تحت تأثیر شرایط سطحی زمین قرار گیرند و تغییراتی در کیفیت آنها حاصل گردد. با نفوذ این آبهای سطحی به درون آبخوان، کیفیت آب زیرزمینی به‌طور غیر مستقیم از رخنمون‌های سطحی تأثیرگذار بر آب سطحی تأثیر می‌پذیرد. در این زمینه می‌توان به مطالعه زارعی و اژدری (۱۳۸۴) اشاره نمود. آنها با نمونه برداری از آب سطحی و زیرزمینی حوضه آبگیر سد ابوالفارس مشاهده نمودند که علیرغم منشأ آب بسیار با کیفیت منطقه که چشمه‌های کارستی با کیفیت عالی هستند، کیفیت آب مناطقی که در آنها نمونه‌برداری صورت گرفته به حدی رسیده است که برای استفاده شرب مناسب نیستند. آنها این امر را به عبور آبهای سطحی از سازند تبخیری گچساران نسبت دادند.

در آبخوان‌های مجاور هم، بسته به حجم آب مبادله شده بین آبخوان‌ها، این تأثیر می‌تواند شدت متفاوتی داشته باشد. برای مثال شریف زاده و همکارانش (۱۳۸۷) در بررسی فرآیندهای تأثیرگذار بر

هیدروژئوشیمی آبخوان دشت آبدان در استان بوشهر، افزایش مقدار هدایت الکتریکی آب زیرزمینی را بر خلاف روند عادی آن، یعنی افزایش در جهت جریان گزارش کردند. کاهش هدایت الکتریکی در جهت جریان در این دشت، با محاسبات درصد اختلاط آبهای موجود در ارتفاعات شمالی و آب زیرزمینی منطقه، به تغذیه آب زیرزمینی توسط آب ارتفاعات که دارای هدایت الکتریکی پایینی هستند نسبت داده شد.

ب) نقش سایر عوامل طبیعی بر کیفیت آبهای زیرزمینی

علاوه بر زمین‌شناسی، عوامل طبیعی دیگری نیز در کیفیت آبهای زیرزمینی لایه آبدار می‌توانند تأثیرگذار باشند. از جمله این عوامل می‌توان به شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه، میزان تغذیه طبیعی به آبخوان، تأثیر آبهای سطحی و تبخیر از سطح آب زیرزمینی را نام برد.

شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان، از قبیل نوع آبخوان، عمق آبخوان، ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان و عمق سطح ایستابی می‌توانند بر کیفیت آبهای زیرزمینی تأثیرگذار باشند. این عوامل می‌توانند با تأثیرگذاری روی زمان ماندگاری و سرعت آبهای زیرزمینی در محیط آبخوان، و همچنین تعیین مناطق تغذیه آب کیفیت آب را تعیین نمایند (بساک ۱۳۸۹).

کلوتیر و همکارانش (Cloutier *et al.* 2006) با مطالعه جامع منطقه‌ای وسیع در کبک کانادا، با آنالیز یون‌های اصلی، فرعی و نادر آبهای زیرزمینی و همچنین آنالیزهای ایزوتوپی آب آبخوان، عوامل هیدروژئولوژیکی را تعیین کننده اصلی کیفیت آبهای زیرزمینی دانستند. در این منطقه، تفاوت تغذیه در بخش‌های مختلف باعث ایجاد محدوده‌های کیفیتی متفاوت شده‌اند. مناطقی که تحت تأثیر تغذیه قرار دارند با حضور یون‌های Ca-Mg-HCO_3 شناسایی می‌شوند و مناطقی که تحت شرایطی هستند که تغذیه به آنها در زمان‌های قبل (احتمالاً در زمان پلیوستوسن) صورت پذیرفته است، که با تیپ Na-HCO_3 و Na-Cl شناسایی می‌شوند. تیپ آبهای موجود در هر بخش از آبخوان‌ها نشان‌دهنده چگونگی تغذیه آن قسمت از آبخوان است.

تبادل آبهای موجود در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها با آبهای زیرزمینی، بسته به شرایط آنها امری بدیهی است. تأثیر آبهای سطحی بر آبهای زیرزمینی می‌تواند در جهت بهبود کیفیت یا مخرب آن باشد (صدقت، ۱۳۸۲). به عنوان نمونه، ژی و همکارانش (Xi *et al.* 2010) در بررسی اثر رودخانه‌ی هیپه، بر

هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی منطقه، نمونه‌های آب زیرزمینی را در دو بازه‌ی زمانی مورد بررسی قرار دادند. یک نوبت از این بررسی‌ها در هنگامی بوده است که میزان آب رودخانه بسیار کم و عملاً تغذیه‌ای به آب زیرزمینی صورت نمی‌پذیرفته است. در این زمان، میزان سختی غیرکربناته آب زیرزمینی تا ۵۰ درصد بوده است، به این صورت که در میزان آنیون‌های منطقه، سولفات به عنوان تشکیل‌دهنده اصلی آنیون‌های منطقه مطرح بوده است. در کاتیون‌ها، یون کلسیم و منیزیم به عنوان تشکیل‌دهنده اصلی کاتیون‌های آبهای زیرزمینی، در لایه‌ی آبدار بوده‌اند. با انجام طرح عظیمی که میزان دبی رودخانه را در منطقه بسیار افزایش می‌داد، میزان حضور آبهای سطحی در رودخانه بسیار افزایش یافت. پس از افزایش میزان دبی رودخانه، از آب زیرزمینی مجدداً نمونه‌برداری گردید. در این نوبت میزان آنیون‌های سولفات و کلر، تشکیل‌دهنده ۴۰ تا ۶۰ درصد از آنیون‌ها بود، ولی میزان یون بیکربنات در مقایسه با زمان خشکی رودخانه، به حد چشمگیری افزایش یافت، به طوری که تا ۲۰ درصد آنیون‌های آب زیرزمینی را تشکیل می‌داد. در کاتیون‌ها نیز، میزان کلسیم کاهش یافت و افزایش یون سدیم در آبهای زیرزمینی، بسیار قابل توجه بوده است.

با بررسی موارد فوق، می‌توان دریافت که محیط تشکیل آبخوان و شرایط طبیعی آن تا چه اندازه در کیفیت آبهای زیرزمینی تأثیرگذار است.

۲-۲-۲ - نقش عوامل غیرطبیعی بر کیفیت آبهای زیرزمینی

همانطور که گفته شد، فعالیت‌های انسانی همچون کشاورزی، صنعت، افزایش در بهره‌برداری از منابع آب و توسعه شهری نیز می‌تواند بر کیفیت آبهای زیرزمینی تأثیرگذار باشد. در مناطقی که زندگی بشر به میزان قابل توجهی به آبهای زیرزمینی وابسته است، این تأثیر می‌تواند بسیار قابل توجه باشد. در این بخش به مرور برخی مطالعات صورت گرفته در مورد تأثیر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آبهای زیرزمینی پرداخته می‌شود.

سابراهمانیام و یادایاه (Subrahmanyam and Yadaiah 2001) تحقیقی را در مورد تأثیر فعالیت‌های صنعتی بر کیفیت آبهای زیرزمینی در منطقه‌ای از هندوستان انجام دادند. آنها کیفیت آبهای زیرزمینی و سطحی را در این منطقه توسعه یافته از نظر صنعتی، از نظر یون‌های اصلی مورد بررسی قرار دادند. در این منطقه، پساب‌های صنعتی درون رودخانه دائمی منطقه ریخته می‌شوند و به دلیل پمپاژ مداوم از

چاه‌های منطقه، آبهای سطحی به درون آبخوان‌های آب زیرزمینی نفوذ می‌کنند. به دلیل این امر آبهای زیرزمینی دارای قلیائیت و سختی کل بالایی به دلیل حضور یون‌های کلسیم، منیزیم و بیکربنات هستند، که منشأ آنها به فعالیت‌های صنعتی نسبت داده شد. این محققین بیان کردند که مقدار بالای یون‌های سدیم، کلر و نترات بالای آبهای زیرزمینی موجود در منطقه نیز می‌تواند ناشی از پسابهای این‌گونه فعالیت‌ها باشد (به نقل از Hem 1975). آنها با نمونه‌گیری از اعماق مختلف آبهای زیرزمینی و مقایسه کیفیت آب در اعماق مختلف دریافتند که وضعیت وخیم آلودگی صنعتی در آبهای زیرزمینی در قشر بالای لایه آبدار است که این نکته نیز آلودگی آبهای زیرزمینی توسط صنعت را تأیید می‌کند.

فعالیت‌های صنعتی به علت تنوع زیادی که دارند، می‌توانند تأثیرهای متفاوتی بر آبهای زیرزمینی داشته باشند که در هر منطقه بسته به شرایط باید بررسی خاصی صورت گیرد.

کشاورزی مدرن نیز به دلیل استفاده از آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و کودهای متنوع می‌تواند کیفیت آبهای زیرزمینی را برای مقاصد خاص، غیرقابل استفاده نماید. برخی از این مواد ممکن است سریعاً تجزیه گردند، ولی دسته‌ای از آنها که عموماً کودها هستند، ممکن است باعث افزایش یون نترات در آبهای زیرزمینی گردند (Fitts 2001). یون نترات از آلاینده‌های آبهای زیرزمینی محسوب می‌گردد.

اقبال (Iqbal 2000) در مورد تأثیرات کشاورزی بر روی آبهای زیرزمینی در شمال شرق آیوا در ایالات متحده، ضمن بیان تجاوز نترات از حداکثر مجاز برای استفاده شرب که توسط آژانس محافظت ایالات متحده پیشنهاد شده، غلظت بیش از حد این یون را به شستشوی آبهای حاصل از فعالیت‌های کشاورزی نسبت داد. وی مشاهده نمود که غلظت نترات در مناطقی که استفاده از کود بیشتر بوده، بالاتر است. نفوذ این یون آلاینده آب زیرزمینی، در نفوذپذیری‌های مختلف قشر بالایی خاک در مناطق مختلف، متفاوت بود. در مناطقی که لایه‌ای نفوذناپذیر ارتباط آبهای سطحی با آبهای زیرزمینی را قطع می‌کرد، نفوذ کمتر از آبهای آبیاری باعث شده کیفیت کمتر تحت تأثیر قرار گیرد.

تبخیر از سطح آبهای زیرزمینی، که می‌تواند در نتیجه نفوذ آب ناشی از آبیاری یا شهرسازی و در نتیجه نزدیک شدن سطح ایستابی به زمین اتفاق بیافتد، از عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی است. به عنوان نمونه، اسمیت (Smith 2008) در شمال استرالیا در این زمینه تحقیقی را انجام داد. وی با بیان این نکته که نوسانات سطح ایستابی در طول سال نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه آب نفوذی از آب آبیاری است،

شور شدن خاک و آبهای زیرزمینی را در دراز مدت به تبخیر از سطح آب زیرزمینی در نتیجه نزدیک شدن سطح ایستابی به زمین نسبت داد.

افت سطح آبهای زیرزمینی در نتیجه اضافه برداشت هم می تواند در تخریب کیفیت آبهای زیرزمینی مؤثر باشد. آباد و همکاران (۱۳۸۵) در منطقه‌ای در حوالی سیرجان احتمال شور شدن آب به دلیل افت سطح آبهای زیرزمینی را بررسی نمودند. این محققین با آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشته شده از چاه‌ها و ثبت سطح ایستابی در همان نقطه به همبستگی بین داده‌های عمق سطح ایستابی و هدایت الکتریکی در برخی از نقاط پی بردند. آنها شوری آب در این نقاط را به افت سطح ایستابی نسبت دادند.

به طور کلی عوامل بسیاری می‌توانند بر کیفیت آبهای زیرزمینی تأثیرگذار باشند. میزان اثر این عوامل، بسته به شرایط آبخوان می‌تواند بسیار متفاوت باشد. غلظت یون‌های اصلی در آبهای زیرزمینی از طریق فرآیندهای متفاوتی مانند انحلال، تبادل یونی و ... می‌تواند تغییر کند. در برخی شرایط نیز فعالیت‌های انسانی می‌تواند شرایطی را برای تغییرات در کیفیت آبهای زیرزمینی فراهم آورد.

۲-۳- بررسی‌های کمی آبهای زیرزمینی

یک پرسش اساسی در بررسی‌های منابع آب این است که اساساً چه مقدار آب در زیر زمین وجود دارد و تغییرات آن در شرایط مختلف به چه میزان است. این که ما بدانیم در آبخوان چه حجمی از آب جریان دارد، به ما نشان می‌دهد که تا چه اندازه مجازیم از آبهای زیرزمینی برداشت کنیم تا در طولانی مدت آبخوان دچار مشکل نشود. در علم هیدروژئولوژی، پارامترهایی برای بیان حجم و نحوه حرکت آب در زیر زمین از قبیل آبدهی ویژه، هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضریب ذخیره و ... ارائه شده‌اند که برآورد میزان آنها برای برآوردهای کمی آب لازم است.

برداشت بی‌رویه از آبهای زیرزمینی، اصطلاحی است که توسط افراد مختلفی برای بیان فشار موجود بر آبخوان‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. کاستودیو (Custodio 2002) برداشت بی‌رویه را به این صورت تعریف می‌کند: "برداشت بی‌رویه وضعیتی است که در آن میانگین سالیانه برداشت از آب زیرزمینی، بیشتر یا نزدیک به میزان تغذیه به آبخوان است". از عواقب برداشت بیش از حد مجاز از آبهای زیرزمینی، می‌توان به افت مداوم سطح آبهای زیرزمینی، تخریب کیفیت آب زیرزمینی، افزایش هزینه استخراج آب و صدمه به اکولوژی منطقه را نام برد. برای تعیین میزان آب قابل برداشت از آبهای زیرزمینی، پایش،

شناخت خوب از آبخوان و محاسبات دقیق یا مدل‌سازی آبخوان می‌تواند انجام شود. عواملی همچون محیط زیست و فرهنگ اجتماعی نیز علاوه بر مباحث علمی باید در نظر گرفته شوند.

برای تعیین اینکه بدانیم تا چه میزان مجازیم از آبهای زیرزمینی برداشت کنیم، مفهومی تحت عنوان «آبدهی مجاز» توسط مینزر (Meinzer 1920) پیشنهاد شد (به نقل از Custodio 2002). برای هر آبخوان، بسته به شرایط تغذیه و تخلیه طبیعی باید این میزان مشخص گردد. از دیگر مفاهیم موجود، قابلیت تحمل آبخوان (Sustainability)، و پمپاژ به اندازه تحمل آبخوان (Sustainable pumping) است. در مفهوم اول، مباحث زیست‌محیطی و کیفی آب هم در نظر گرفته می‌شود ولی در عبارت دوم، منظور نرخ برداشتی است که اصطلاحاً در آب زیرزمینی معدنکاری صورت نمی‌گیرد یا به عبارتی آب برداشتی فقط از ذخیره دینامیک برداشت می‌شود (Devlin and Sophocleous 2005).

عوامل زیادی می‌توانند بر مقدار آبهای زیرزمینی تأثیرگذار باشند. این عوامل می‌توانند مانند خشکسالی یا بارندگی پدیده طبیعی باشند، یا ناشی از فعالیت بشر باشند که می‌توان به برداشت بی‌رویه یا تغذیه مصنوعی به لایه‌های آبدار اشاره کرد، ولی در بسیاری از موارد عوامل طبیعی و انسانی، در کنار یکدیگر قرار دارند و اثر یکدیگر را تشدید می‌نمایند.

۲-۳-۱- تأثیر بارندگی بر کمیت آبهای زیرزمینی

بارندگی در یک منطقه، مهمترین عامل تعیین کننده در میزان حضور آبهای سطحی و زیرزمینی در یک منطقه است. تأثیر بارندگی در کمیت آب زیرزمینی امری بدیهی است و تغییرات آن در کوتاه یا بلند مدت (بسته به سایر شرایط آبخوان) تا حد بسیار زیادی بر آب موجود در آبخوان تأثیرگذار است. در خصوص میزان تأثیر بارندگی بر آبهای زیرزمینی مطالعات فراوانی صورت پذیرفته و ضرایب و شاخص‌های فراوانی ارائه شده است. میزان نفوذ بارندگی به درون آبخوان می‌تواند توسط این ضرایب تعیین شود. این ضرایب می‌تواند برای تعیین میزان نفوذ به زمین (Infiltration) یا نفوذ به درون آبخوان (Recharge) مورد استفاده قرار گیرد. تغذیه واقعی که به درون آبخوان صورت می‌پذیرد به این عوامل بستگی دارد: (۱) میزان و نرخ بارندگی که به صورت رواناب یا تبخیر و تعرق از دست نمی‌رود، (۲) رطوبت اولیه خاک یا به عبارتی ضریب اشباع خاک (۳) عمق سطح ایستابی (۴) هدایت هیدرولیکی افقی و عمودی منطقه غیراشباع و گرادیان هیدرولیکی آبخوان که تعیین کننده نرخ حرکت آبهای تغذیه شده از محل تغذیه

است (۵) حضور یا عدم حضور سازه‌های زیرزمینی که خواسته یا ناخواسته می‌تواند موجب تخلیه آب گردند (Dellar 1998).

۲-۳-۲- برداشت از آبهای زیرزمینی

برداشت از آبهای زیرزمینی، مهمترین تأثیری است که بشر بر روی این ذخایر می‌گذارد. آبهای زیرزمینی باید به میزانی مورد استفاده قرار گیرند که پایداری و قابلیت استفاده آنها در زمان طولانی آسیب نبیند. تأثیرات برداشت از آبهای زیرزمینی امری کاملاً بدیهی است و کنترل آن امری ضروری در هر برنامه مدیریت آبخوان می‌باشد، لذا باید بررسی‌های دقیقی بدین منظور صورت پذیرد. روش‌های متعددی برای بررسی تغییرات و کمیت آبهای زیرزمینی وجود دارد که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود.

کاظمی گلیان و همکاران (۱۳۸۲)، دشت قوچان- شیروان را با استفاده از هیدروگراف‌ها چاه‌ها و پیزومترها مورد مطالعه قرار دادند. آنها خواص هیدروژئولوژیکی دشت را با تقسیم‌بندی دشت به چهار ناحیه و پیزومترهای دشت را با دسته‌بندی در سه گروه مورد بررسی قرار دادند. در بررسی‌های هیدروژئولوژیکی پس از ناحیه‌بندی، ناحیه‌ای که از نظر هیدروژئولوژیکی اهمیت بیشتری داشت مشخص گردید. پیزومترها از نظر رفتار به سه دسته تقسیم‌بندی شدند: (۱) گروهی که نوسانات سالیانه و چندساله خوبی را نشان می‌دهند. این پیزومترها در مجاورت رودخانه و در محل تمرکز چاه‌های پمپاژ قرار دارند و بیانگر رفتار واقعی آبخوان آب زیرزمینی و جریان‌های حاکم بر آن می‌باشد. طبق نظر این محققین این دسته از پیزومترها بایستی به عنوان معیار سنجش رفتار آبهای زیرزمینی قرار گیرند. (۲) دسته‌ای از چاه‌ها که نوسان سالانه بیشتری را نسبت به چند ساله نشان می‌دهند. این چاه‌ها یا در مسیر مستقیم جریان آب زیرزمینی قرار دارند یا در مجاورت مرزهای ورودی جریان و تغذیه فصلی قرار دارند. این چاه‌ها می‌توانند برای شناسایی نواحی ورودی جریان و نواحی تحت تأثیر تغذیه در نظر گرفته شوند. (۳) گروهی از چاه‌ها که دارای نوسان سالیانه یا چندین ساله نمی‌باشد. این چاه‌ها در مناطق با رسوبات دانه‌ریز و رس فراوان واقع شده‌اند و ارتباطی با نوسانات سطح ایستابی ندارند. این چاه‌ها معیار رفتار آبخوان در نظر گرفته نمی‌شوند. آنها با رسم نقشه‌های هم‌پتانسیل، روابط هیدرولیکی بین آبخوان و آبخوان‌های مجاور را مشخص کرده و جهت جریان را نیز تعیین کردند.

آرنولد و فریدل (Arnold and Friedel 2000) با تهیه مدلی برای بررسی تغذیه آبخوانی در ایلینویز ایالات

متحده، کاربری زمین، نفوذپذیری خاک و نوع و ضخامت رسوبات را عوامل مؤثر بر تغذیه از سطح بیان نمودند. آنها خصوصیات زمین‌شناسی سنگ‌بستر را نیز از عوامل مؤثر بر تغذیه آبخوان از بخش زیرین، حائز اهمیت دانستند. تهیه یک مدل توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) که عوامل تأثیرگذار بر تغذیه در آن تعبیه شده بود، و بررسی تأثیر حضور لایه‌های مختلف اطلاعاتی در این مدل، نشان داد که تأثیرگذارترین عامل در تغذیه نوع کاربری زمین بوده است. گسترش بافت شهری از عمده تغییرات منطقه طی دوره بیست‌ساله بررسی فوق بوده است.

آنوراگا و همکارانش (Anoraga et al. 2006) نیز با تهیه مدلی برای بررسی تغذیه در آبخوانی در جنوب هند، با ارزیابی و بررسی عوامل مؤثر بر تغذیه به آبخوان، مهمترین عامل را نوع خاک و نفوذپذیری آن ارزیابی کردند. در این منطقه، سطح آب در مناطقی که قشر بالای خاک دارای نفوذپذیری بیشتری بوده، بیشتر تحت تأثیر تغذیه قرار گرفته است. کاربری اراضی در این منطقه عمدتاً کشاورزی بوده است. در این مطالعه، مشخص شد که نرخ تغذیه در محاسبات مربوط به بیلان آبهای زیرزمینی، کمتر از خروجی‌های زیرزمینی است و این مسئله باعث کاهش سطح ایستابی شده است.

در بسیاری موارد، برداشت از آبخوان با نظارت کم یا بدون نظارت ارگان‌های مسئول انجام می‌شود. این امر باعث تغییرات کنترل نشده‌ای در مقدار آبهای زیرزمینی یا حتی در کیفیت آب، نشست زمین و اکوسیستم آبهای زیرزمینی می‌شود. مهمترین اثر برداشت بدون برنامه از آبهای زیرزمینی، افت سطح ایستابی است. این مشکل در بخش‌هایی که اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارند و وابستگی به آبهای زیرزمینی بیشتر است، پیچیده‌تر است. به عنوان مثال، تعداد چاه‌های بهره‌برداری در چین، حداقل دوبرابر تعدادیست که توسط آمار رسمی معرفی شده، یا در استرالیا فقط ۱۵ درصد بهره‌برداری از آب زیرزمینی اندازه‌گیری می‌شود، و در هندوستان وضعیت آب برداشتی کنترل نشده، بسیار وخیم است (Price 2002). برای محاسبه میزان تغییر حجم آبهای زیرزمینی در مواردی که اندازه‌گیری مستقیم از هر چاه پمپاژ وجود ندارد، روش‌های متعددی وجود دارد. یک شیوه که در مناطقی که کشاورزی مصرف‌کننده اصلی آبهای زیرزمینی است مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندازه‌گیری سطح زیرکشت و ضرب آب مورد نیاز هر محصول در مساحت آن است. این روش عدم قطعیت بالایی دارد، چون آب مورد نیاز هر محصول در دماها و اقلیم‌های مختلف متفاوت است. به علاوه، هدررفت آب و تجهیزات کشاورزی هم در میزان مصرف

آب تأثیرگذارند (Calera-Belmonte *et al.* 1999). اگر دقت این روش مورد قبول باشد، به راحتی با استفاده از مطالعات سنجش از دور می‌توان این محاسبه را انجام داد.

از دیگر روش‌هایی که می‌توان برای محاسبه آب استخراج شده از چاه‌ها استفاده کرد، بررسی میزان انرژی استفاده شده توسط تجهیزات استخراج است. اگر میزان انرژی مصرف شده برای استخراج حجم مشخصی از آب برآورد شده باشد، می‌توان آب برداشتی را تخمین زد. از دشواری‌های این روش، حجم زیاد داده‌های مورد نیاز است که تقریباً به پیچیدگی اندازه‌گیری مستقیم دبی هر چاه است. همچنین تعیین میزان انرژی لازم برای پمپ‌های مختلف به خصوص انواع دیزلی کار پیچیده‌ای است (Shah 2005).

از مدل‌های آبهای زیرزمینی نیز می‌توان برای تخمین میزان پمپاژ استفاده کرد؛ البته در صورتی که مدل طراحی شده، از انعطاف خوبی برخوردار باشد. از مزیت‌های مدل‌ها می‌توان به قابلیت انجام آزمون و خطا در آنها اشاره کرد. مدل‌های آب زیرزمینی، برای تخمین میزان پمپاژ عموماً به خصوصیات فیزیکی دقیق آبخوان و اجزای دقیق بیلان احتیاج دارد. همچنین اگر تعداد چاه‌های پمپاژ زیاد باشد، استفاده از این روش با پیچیدگی‌های زیادی همراه است (Martínez-Santos and Martínez-Alfaro 2010).

پمپاژ از آبهای زیرزمینی، می‌تواند با بررسی نوسانات سطح آبهای زیرزمینی نیز تخمین زده شود. در این روش، نوسانات سطح آب زیرزمینی و تغییر در حجم آبهای زیرزمینی، توسط خواص فیزیکی آبخوان (برای مثال آبدهی ویژه) به هم ربط داده می‌شوند. این روش به دلیل تخمین تقریباً صحیح، محاسبات ساده و هزینه کم، نسبت به روش‌های فوق بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Marechal *et al.* 2006).

۲-۳-۳- خشکسالی

از عوامل بسیار حائز اهمیت در تغییرات کمی آب، مسئله خشکسالی است. خشکسالی از پرهزینه‌ترین بلایای طبیعی و در عین حال از ناشناخته‌ترین آنهاست. خشکسالی می‌تواند میزان رطوبت بسیاری از متغیرهای هیدرولوژی، مانند بارندگی، رواناب، رطوبت خاک، آبهای زیرزمینی و مخازن آب سطحی را تحت تأثیر قرار دهد. این پدیده می‌تواند تا حدود زیادی بر آبهای زیرزمینی تأثیرگذار باشد (Kao 2010). آبخوان‌های آزاد، در مواردی که سطح ایستابی به سطح زمین نزدیک است، نسبت به تغییرات آب و هوایی حساس‌ترند. تأثیر پدیده‌های آب و هوایی نظیر خشکسالی بر روی آبهای زیرزمینی، بستگی به سیستم آب زیرزمینی، موقعیت جغرافیایی، و میزان تغییرات پدیده‌های هیدرولوژی دارد (Okkonnen 2009).

مورد تأثیر تغییرات آب و هوایی، بر سطح آب زیرزمینی، واکارو (Vaccaro 2002) حساسیت تغذیه به آب و هوا را در شرایط بروز خشکسالی و قبل از آن، در شمال غرب ایالات متحده مورد بررسی قرار داد. او دریافت که تغییرات تغذیه به آبهای زیرزمینی، روندی نزولی را در این شرایط داشته است. او تطابقی را بین داده‌های بارندگی و تغذیه، و همچنین دما و تغذیه به آبهای زیرزمینی مشاهده نمود. در مطالعات وی به نظر می‌رسد که همبستگی تغذیه با بارندگی بیشتر از میزان آن در مورد دما است. در این منطقه، طی دوران بروز خشکسالی، کشاورزی توسعه یافته است که پس از گسترش کشاورزی، همبستگی پارامترهای فوق بیشتر شده بود؛ وی این امر را به تبخیر و تعرق از گیاهان نسبت داد. کاهش تغذیه طی شرایط تغییرات آب و هوا، به علت افزایش دما در تابستان و کاهش بارندگی‌ها در زمستان بوده است.

علاوه بر کاهش بارندگی‌ها، گرم‌شدن کره زمین نیز از طریق افزایش تبخیر باعث کاهش تغذیه به آبهای زیرزمینی گردیده است. بوروی و همکارانش (Bouraoui *et al.* 1999) با بررسی منطقه‌ای در فرانسه که میزان گازهای گلخانه‌ای و به دنبال آن دمای هوا افزایش یافته بود، عامل اصلی در کاهش تغذیه به آبخوان را، افزایش دما و نقش کاهش بارندگی‌ها را حاشیه‌ای دانستند. افزایش دما عامل اصلی افزایش تبخیر است.

از نتایج خشکسالی، کاهش میزان آبهای سطحی است که این امر به طور غیرمستقیم، روی آبهای زیرزمینی تأثیرگذار است. آلن و همکارانش (Allen *et al.* 2004) در بررسی تأثیرات تغییرات آب و هوا بر یک سیستم رودخانه-آبخوان در محیطی نیمه‌خشک در بریتیش کلمبیا در کانادا، با مدلسازی برهمکنش این دو، در دو حالت دمای کم - بارندگی بالا و دمای زیاد - بارندگی کم، تغییرات سطح ایستابی را در حالت اول، ۵ سانتی‌متر افزایش و در حالت دوم، ۲/۵ سانتی‌متر کاهش به طور میانگین در سراسر آبخوان به دست آوردند. در این مدلسازی دو حالت سیلابی و خشکسالی رودخانه نیز شبیه‌سازی شد. نتیجه مدلسازی نشان داد که افزایش ۲۰ و ۵۰ درصدی سطح آب در رودخانه، به ترتیب باعث افزایش ۲/۷۲ و ۳/۴۵ متر در سطح ایستابی و کاهش ۲۰ و ۵۰ درصدی در سطح رودخانه، به ترتیب باعث کاهش ۰/۴۸ و ۲/۱۰ متری سطح ایستابی آبخوان در مجاورت رودخانه می‌شود.

عوامل بسیاری بر میزان کمی آبهای زیرزمینی تأثیرگذارند که می‌توانند طبیعی یا انسانی باشند، ولی عموماً این عوامل در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و اثر یکدیگر را تشدید می‌نمایند. برداشت بی‌رویه عامل

اصلی افت سطح آب زیرزمینی در بسیاری از شرایط است، زیرا تغذیه در شرایط طبیعی پاسخگوی میزان برداشت نمی‌باشد، به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به این منبع بسیار زیاد است. در این موارد باید مدیریتی جامع برای جلوگیری از تخریب کامل آبخوان‌ها انجام شود. با توجه به اینکه پایش آب زیرزمینی جزء بسیار مهمی در مدیریت آبهای زیرزمینی است، روش‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری میزان تغذیه و برداشت از آب زیرزمینی وجود دارد. این که کدام روش برای بررسی کمی آب استفاده شود، بستگی به شرایط آبخوان و دقت مورد نظر ما دارد، ولی عموماً نقشه‌های کمی و محاسبات بیان دقت مورد قبول و پیچیدگی کمی دارد. باید تأثیرات متفاوت سایر عوامل طبیعی و انسانی نیز در این محاسبات تحت نظر باشند. عواملی چون خشکسالی، آبهای سطحی، فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، تغییرات دما و ... از جمله این عوامل می‌باشند.

فصل سوم: روش انجام کار

در این فصل، روند انجام مطالعات صورت گرفته برای بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی در آبخوان سعادت‌شهر ارائه می‌گردد. به طور کلی، فعالیت‌های صورت گرفته برای انجام این تحقیق را می‌توان به شرح زیر دسته بندی نمود:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات و داده‌های خام در رابطه با کیفیت و کمیت آبهای زیرزمینی در دشت سعادت‌شهر.
- تهیه نقشه زمین‌شناسی پایه با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سیوند و سعادت‌شهر.
- نمونه‌برداری‌های لازم از چاه‌های موجود در منطقه، در مواردی که احتیاج به نمونه‌برداری بوده است.
- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان و روند تغییرات کمی و کیفی آن.

۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی

اولین گام در بررسی‌های یک آبخوان، جمع‌آوری اطلاعات موجود در مورد آن است. داده‌های موجود مربوط به خصوصیات کمی و کیفی آبخوان، که به منظور بررسی آبخوان از پیزومترها و چاه‌های موجود در آبخوان برداشت می‌شوند، برای برآورد تغییرات در بازه‌های زمانی مختلف ضروری هستند. این‌گونه اطلاعات عمدتاً توسط سازمان آب منطقه‌ای فارس جمع‌آوری شده‌اند. گزارش‌هایی نیز در این سازمان با عنوان بیلان یا گزارش‌های ادامه تحقیقات موجود می‌باشد که مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۲- بررسی‌های زمین‌شناسی

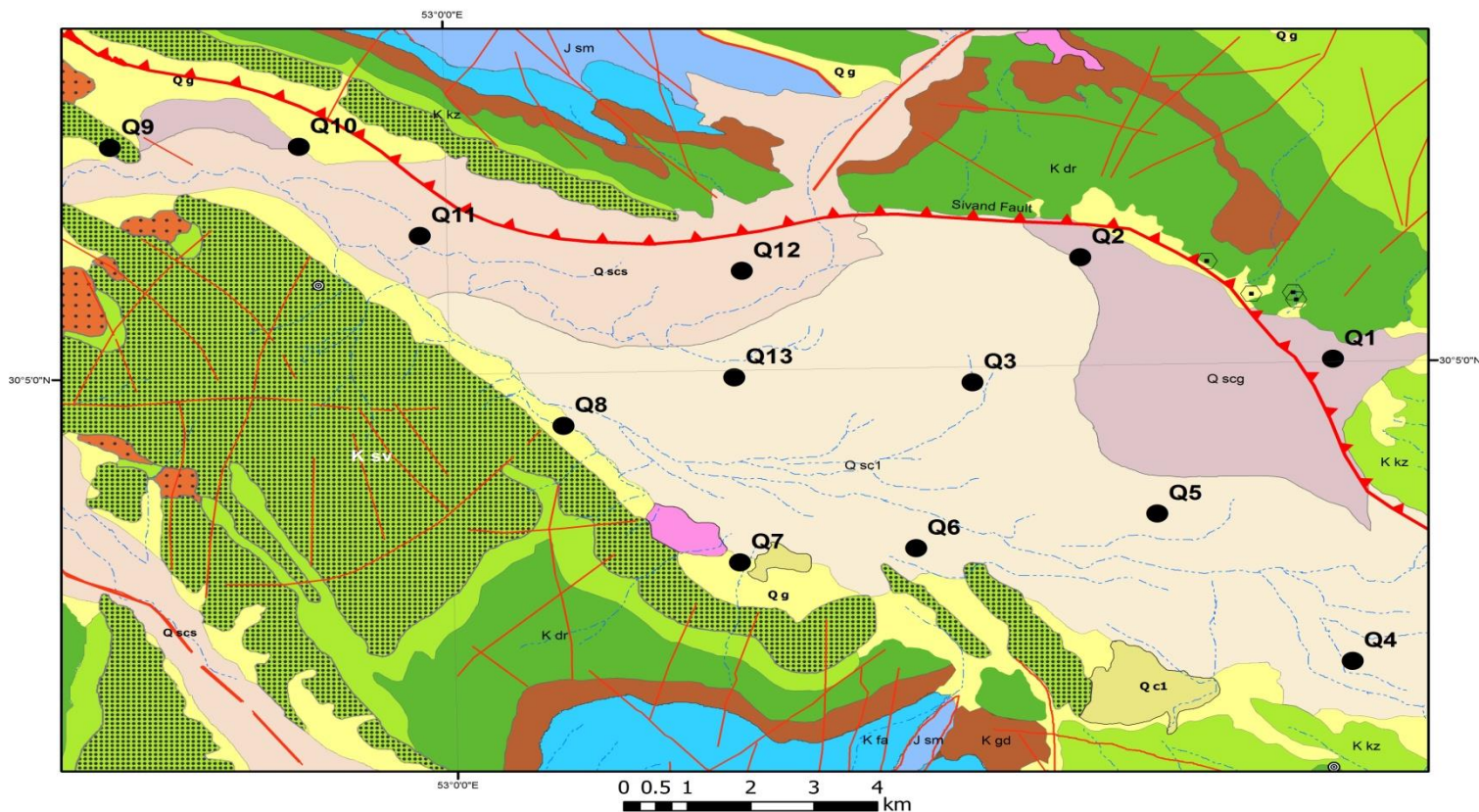
از میان اطلاعات موجود برای یک منطقه، مهمترین آنها نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه است. نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده، توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و نقشه توپوگرافی

منطقه توسط سازمان جغرافیایی کشور تهیه شده است.

بررسی زمین‌شناسی منطقه، بر مبنای نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه‌شده به وسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت پذیرفته است. محدوده دشت سعادت‌شهر در نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سعادت‌شهر و سیوند، و همچنین ۱:۲۵۰۰۰۰ اقلید قرار دارد، که نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ مبنای کار قرار گرفته‌اند. تطبیق نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با تصویر ماهواره‌ای ماهواره لندست و تصاویر نرم‌افزار Google Earth (تصاویر ماهواره‌ای مربوط به نیروی دریایی ایالات متحده) به منظور دقت بیشتر در پردازش داده‌ها انجام شده است. این لایه‌های اطلاعاتی توسط نرم‌افزار ArcGis 9.3 دورسنجی و پردازش شده، و بر پایه آن نقشه زمین‌شناسی پایه منطقه تهیه گردیده است.

۳-۳- نمونه‌برداری از آبهای زیرزمینی منطقه

نمونه‌برداری از آبهای زیرزمینی، به منظور بررسی هیدروژئوشیمیایی آبخوان انجام می‌شود. مکان‌هایی که از آنها نمونه‌برداری جهت بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی صورت پذیرفته است، در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. نمونه‌های مربوط به سال‌های قبل توسط اداره منابع آب سعادت‌شهر برداشت و بررسی‌های آزمایشگاهی آن در آزمایشگاه آبشناسی سازمان آب منطقه‌ای فارس صورت پذیرفته است. بخشی از خواص آب مانند درجه حرارت، هدایت الکتریکی و اسیدیتته در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد و غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های غالب موجود در آب از قبیل سولفات، کلر، بیکربنات، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم در یک ظرف پلاستیکی ۵۰۰ میلی لیتری ایزوله که به منظور جلوگیری از خطا شستشو و خشک شده بود، در آزمایشگاه آب منطقه‌ای فارس صورت پذیرفت. سایر پارامترهای شیمیایی آب از قبیل کل املاح جامد محلول، درصد جذب سدیم، درصد سدیم، سختی کل و برخی از نسبت‌های یونی مورد نیاز، و همچنین برخی نسبت‌های یونی توسط پارامترهای محاسبه شده توسط آزمایشگاه محاسبه گردیده است. بر این اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده، به دو دسته پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل (دما، هدایت الکتریکی، اسیدیتته) و پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه (غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و سایر پارامترهای استخراج شده از آنها) تقسیم‌بندی شده‌اند.

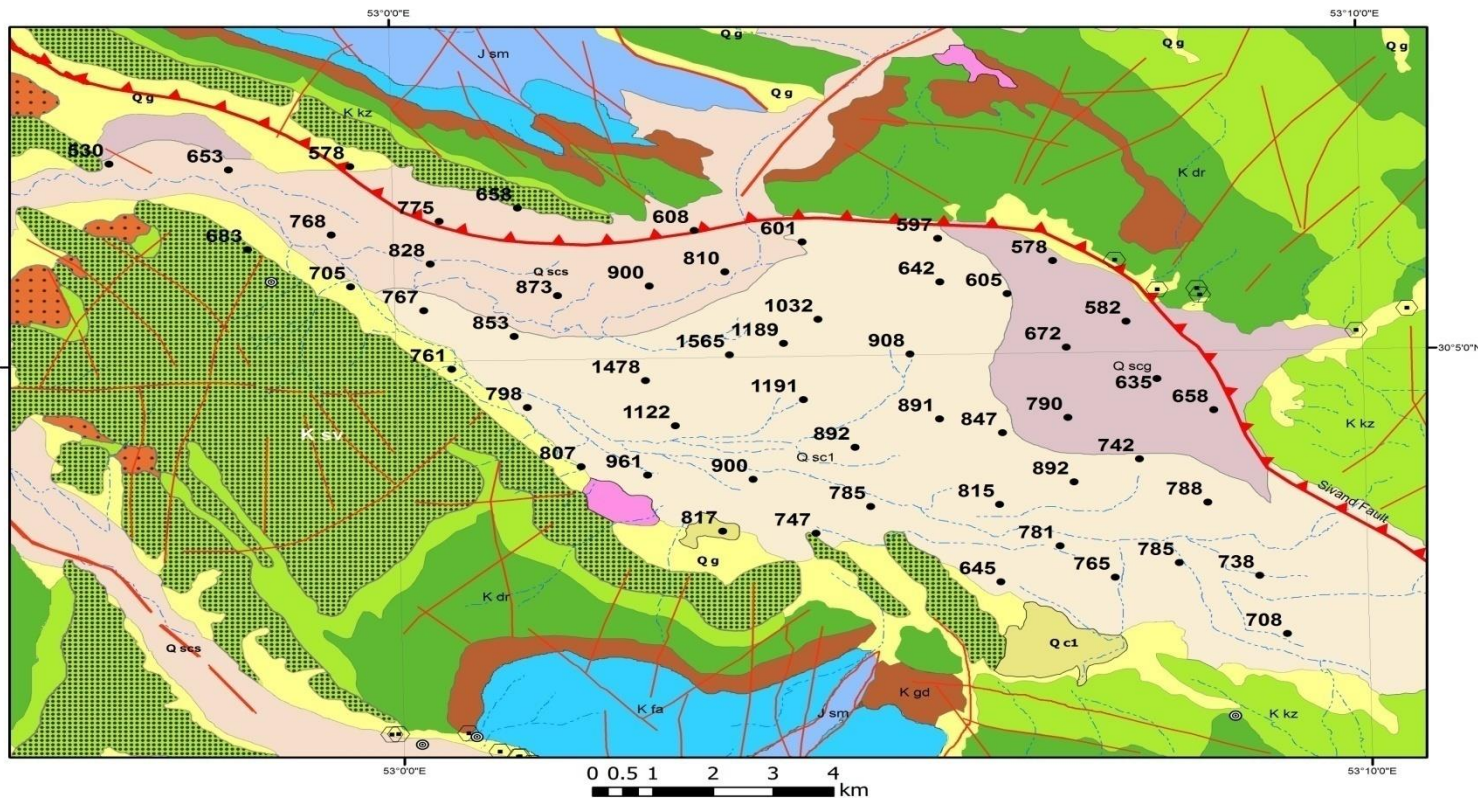


شکل ۳-۱- محل اندازه‌گیری پارامترهای هیدروژئوشیمی در منطقه

الف) پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل

از میان پارامترهای اندازه‌گیری شده، پارامترهایی چون هدایت الکتریکی و اسیدیته در محل اندازه‌گیری شده‌اند. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر ساخت کمپانی HATCH صورت پذیرفته است. دقت این دستگاه در مقادیر زیر ۲۰۰۰ میکروموهس بر سانتی‌متر، برابر با یک میکروموهس بر سانتی‌متر، و در مقادیر بالای آن ۱۰ میکروموهس بر سانتی‌متر است. برای دقت بیشتر در تفسیرهای هیدروژئوشیمیایی و همچنین جلوگیری از وجود خطا، اندازه‌گیری پارامترها در محل با گستردگی بیشتری در خردادماه ۱۳۹۰ صورت پذیرفت و پس از تعداد زیادی اندازه‌گیری، تعداد ۵۴ نقطه به منظور بررسی هدایت الکتریکی انتخاب شد. موقعیت این نقاط به همراه مقدار اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. پس از اندازه‌گیری مقدار هدایت الکتریکی و ثبت مختصات جغرافیایی آنها، نقشه هدایت الکتریکی آن به روش دستی رسم و با استفاده از نرم‌افزار ArcGis 9.3 به صورت رقومی درآمده است. اسیدیته آب پارامتر دیگری است که معمولاً در محل اندازه‌گیری می‌شود.

اسیدیته آب که بر حسب pH بیان می‌شود توسط دستگاه pH متر مدل SUNTEX-710 با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ اندازه‌گیری شده است.



شکل ۳-۲- محل اندازه‌گیری هدایت الکتریکی به همراه مقدار آن در منطقه

ب) پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب از قبیل سولفات، کلر، بیکربنات، سدیم، منیزیم و کلسیم در آزمایشگاه آبشناسی سازمان آب منطقه‌ای فارس اندازه‌گیری شده‌اند. پارامترهایی از قبیل میزان مواد جامد محلول، ضریب جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم، سختی کل و پارامترهای آماری از قبیل درصد خطای آزمایش، ضریب تغییرات و نسبت‌های بین یون‌های مختلف از نتایج به دست آمده از آنالیز آزمایشگاه تعیین گردیده‌اند. برای محاسبه‌ی این مقادیر و همچنین رسم نمودارهای مختلف جهت بررسی‌های مورد نیاز، از نرم‌افزارهای PHREEQC، AQQA و Chemistry و Excel استفاده شده است. پس از مشخص شدن میزان یون‌ها، با مشخص بودن مختصات جغرافیایی نقاط، نقشه‌های مختلف به

صورت دستی رسم شده و توسط نرم‌افزار ArcGis 9.3 بصورت رقومی در آمده‌اند.

۳-۴- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه

تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمی منطقه، بخش مهمی از مطالعات آبخوان است. این داده‌ها که از ۱۳ چاه موجود در منطقه جمع‌آوری شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به منظور تحلیل داده‌ها، مراحل زیر طی شده است:

۳-۴-۱- نقشه‌های کیفی منطقه

داده‌های به دست آمده از آنالیزهای آزمایشگاهی به همراه موقعیت جغرافیایی آنها به منظور بررسی تغییرات یون‌های اصلی، برای تهیه نقشه‌های کیفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نقشه‌های تهیه شده نقشه‌های هدایت الکتریکی، و یون‌های سدیم، کلر و بی‌کربنات بودند که به منظور بررسی این پارامترها رسم گردیده‌اند.

۳-۴-۲- رسم نمودارهای کیفی آبخوان

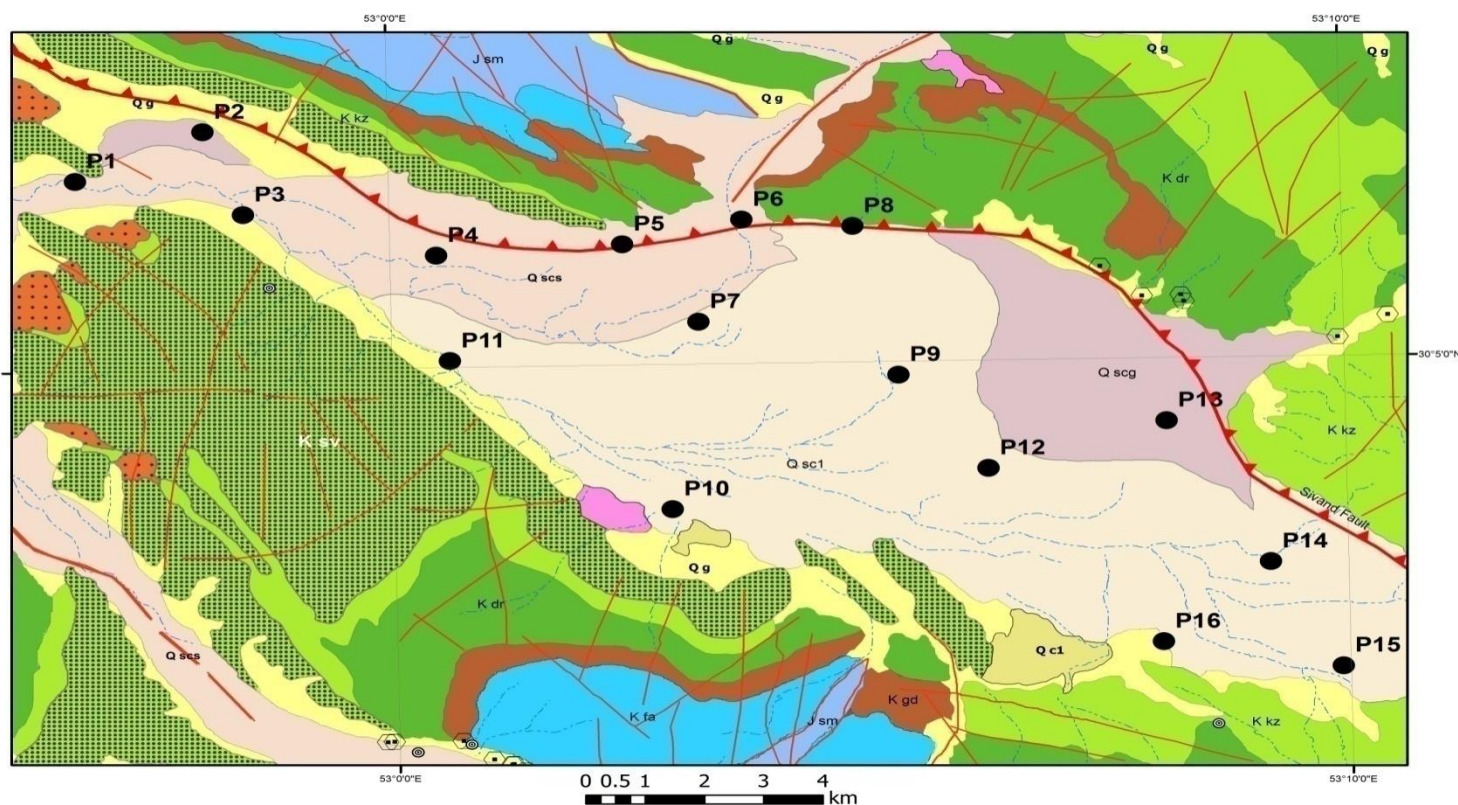
تفسیر سریع و آسان کیفیت آبهای زیرزمینی از طریق نمودارهای مختلف کیفی صورت می‌پذیرد. برای تعیین مواردی همچون تعیین نوع آب‌ها، رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی و مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی، مقایسه سریع ترکیب شیمیایی، تعیین تیپ، قابلیت شرب و تعیین استانداردهای کیفیت آب برای کشاورزی از نمودارهای مختلف استفاده می‌شود. بنابراین برای تعیین موارد فوق، در دشت سعادت شهر از نمودارهای مورد نیاز استفاده شد. از نمودارهای مختلف، می‌توان به نمودارهای استیف، شولر، ویلکاکس و پایپر اشاره نمود.

۳-۴-۳- نمودارهای ترکیبی

نمودارهای ترکیبی، به منظورهایی از قبیل تعیین فرآیندهای تأثیرگذار بر روی شیمی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این نمودارها می‌توان به نمودارهای دوتایی (Cross-Plot) اشاره نمود که در فصل چهارم به تفصیل در مورد آنها بحث خواهد شد.

۳-۵- داده‌های هیدروژئولوژیکی منطقه

علاوه بر داده‌های هیدروژئوشیمی، به منظور بررسی‌های کمی آبخوان، سطح آب زیرزمینی نیز درون پیزومترها و چاه‌های موجود در منطقه اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری‌ها درون ۱۶ حلقه پیزومتر صورت پذیرفته است. اندازه‌گیری سطح آب در این چاه‌ها، به صورت ماهیانه صورت می‌پذیرد. مکان این چاه‌ها در شکل (۳-۳) نشان داده شده است. خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه، طبق گزارشات و داده‌های موجود در سازمان آب منطقه‌ای فارس مورد بررسی قرار گرفته اند. داده‌های سطح آب زیرزمینی، که در پیزومترها و چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق منطقه اندازه‌گیری شده است، ۳ مورد آزمایش پمپاژ و همچنین گزارش بیان تهیه‌شده در سال ۱۳۸۴ منطقه عمده اطلاعات پایه هیدروژئولوژی منطقه را تشکیل می‌دهند.



شکل ۳-۳- محل اندازه‌گیری سطح آب در منطقه

۳-۵-۱- تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌افت آبخوان

نقشه‌ی هم‌پتانسیل، معمولاً به منظور تعیین جهت اصلی حرکت آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌ها تهیه

می‌گردد. برای ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل و مقایسه آن در بلند مدت، از داده‌های سطح آب اسفند ۱۳۷۵، اسفند ۱۳۸۸ و خرداد ۱۳۸۹ استفاده شده است. نقشه هم‌افت منطقه، که نیاز به تطابق داده‌ها در یک بازه‌ی مشخص دارد، برای همین دوره ترسیم گردیده است.

۳-۵-۲- رسم هیدروگراف جهت بررسی تغییرات سالیانه

هیدروگراف چاه‌های دارای آمار منطقه، از سال آبی ۱۳۷۶-۱۳۷۵ تا سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۸۸ به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت ترسیم شد. برای بررسی ارتباط تغییرات سطح آب زیرزمینی با بارندگی، میزان بارندگی نیز روی نمودار نمایش داده شد. بارندگی منطقه، بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی بوده‌اند. هیدروگراف واحد دشت، نشان‌دهنده میانگینی از تمامی دشت است و تغییرات را به صورت کلی نشان می‌دهد.

فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان سعادت شهر

۴-۱- مقدمه

دشت سعادت شهر، دشتی است که بین ارتفاعات کربناته اطراف خود محصور شده و خصوصیات آن تا حدود بسیار زیادی وابسته به زمین شناسی این ارتفاعات و وضعیت توپوگرافی دشت است. رسوبات دشت، بسته به شرایط بستر حمل شده و به نسبت‌های مختلف از قلوه سنگ، شن، ماسه، سیلت و رس و بیشتر از جنس آهک، آهک رسی و مارنی بوده که حاصل از فرسایش ارتفاعات محصورکننده دشت می‌باشند. اندازه رسوبات این دشت در بخش شمالی، در حوالی رودخانه سیوند دانه درشت و در بخش جنوبی و مرکزی بیشتر دانه ریز (در حد ماسه و سیلت و حتی رس) است. جنس سنگ کف عمدتاً رس و مارن است و ضخامت متوسط آن در حدود ۶۰ متر تخمین زده می‌شود. به نظر می‌رسد ضخامت حداکثر این دشت در حدود ۱۲۰ متر باشد. با توجه به نوع رسوبات، نوع آبخوان سعادت شهر از نوع آبخوان آزاد است که در این فصل به بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آن پرداخته خواهد شد.

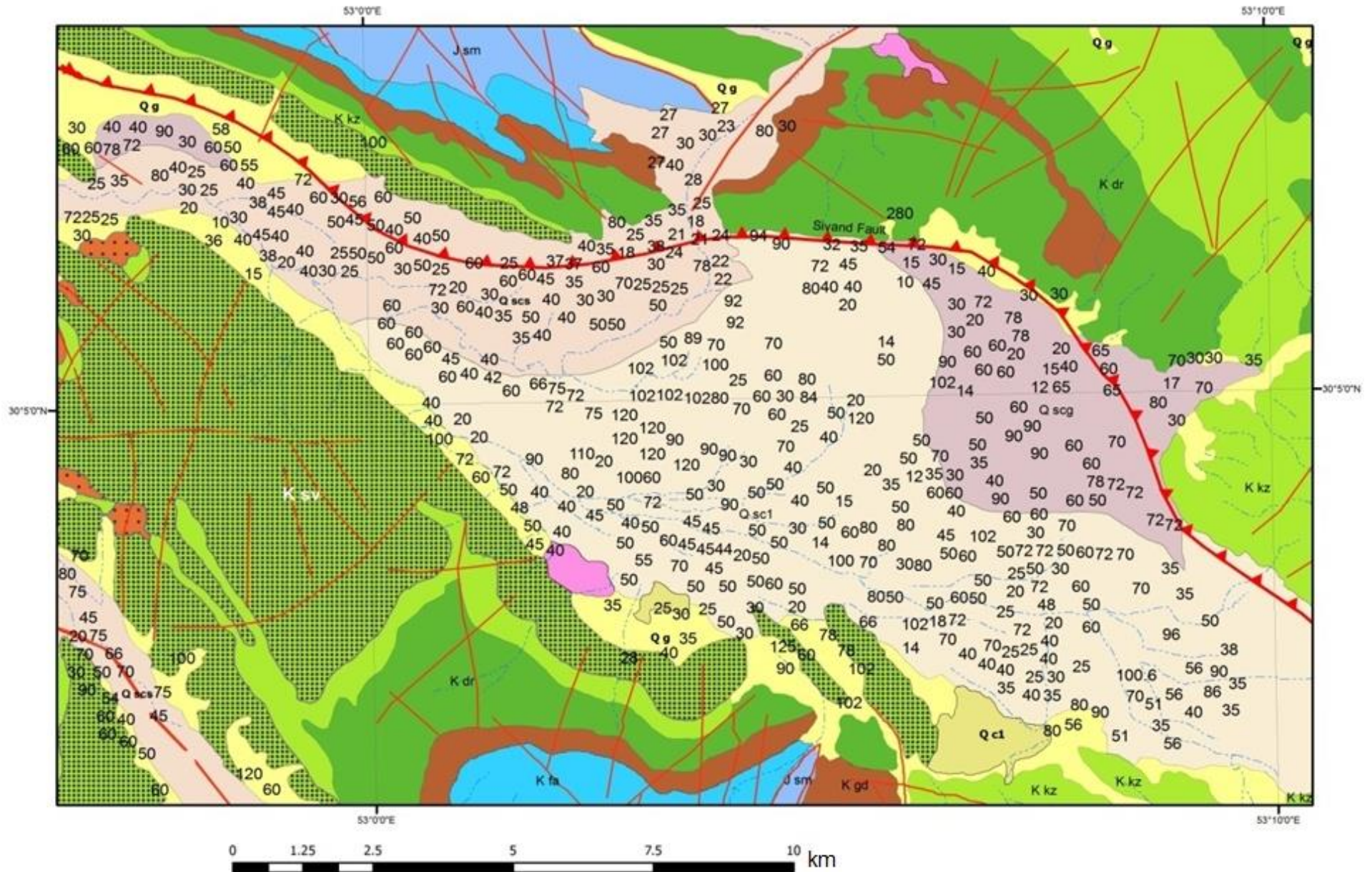
۴-۲- هیدروژئولوژی آبخوان

بررسی‌های کمی آبخوان‌ها از بخش‌های مهم مطالعات آبهای زیرزمینی در تمامی دشتهاست و توانایی آبدهی آبخوان را برای ارائه آب بیان می‌کند. علاوه بر میزان آبی که در یک آبخوان حضور دارد تغییرات میزان آب طی دوره‌های بلند و کوتاه مدت بایستی به دقت مورد بررسی قرار گیرد، زیرا

تغییرات سطح آب در شرایط گذشته، می‌تواند ما را در پیش‌بینی رفتار آبخوان در شرایط حال حاضر و آینده آن یاری کند. تفسیر شرایط آبخوان معمولاً از طریق نقشه‌ها و نمودارهایی که به این منظور تهیه می‌شوند، صورت می‌پذیرد. نقشه‌های کمی که عبارتند از نقشه‌های هم‌پتانسیل، افت و هم عمق، شرایط آبخوان را در قالب خطوط هم‌ارزش بیان می‌کنند. از نمودارهای مهمی که به این منظور تهیه می‌شوند، می‌توان به هیدروگراف‌ها اشاره نمود. برای هر نقطه از آبخوان که در آن اندازه‌گیری سطح آب انجام شده است، هیدروگراف تهیه می‌شود. هیدروگراف‌ها از نظر بررسی طولانی مدت آبخوان مناسب‌ترند، زیرا که دوره طولانی را شامل شده و هنگامی که میزان بارندگی نیز روی آن نشان داده شده باشد، نشان‌دهنده پاسخ آبخوان به بارندگی که عمده‌ترین دلیل تغییر سطح ایستابی محسوب می‌شود، می‌باشد. اگر رفتار سطح ایستابی در نقاط مختلف دشت متفاوت باشد، می‌توان برای چاه‌های با رفتار مشابه یک هیدروگراف مجزا ترسیم و تغییرات سطح ایستابی را در محدوده‌های شبیه به هم به صورت جداگانه تفسیر نمود.

۴-۲-۱- خصوصیات آبخوان سعادت‌شهر

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، دشت سعادت‌شهر درون یک ناودیس در یک سیستم چین‌خوردگی با روند عمومی زاگرس قرار گرفته است. با توجه به حالت خاص ساختمانی آن می‌توان ضخامت آبرفت در مناطق مختلف آن را حدس زد. بر این مبنا، ضخامت آبرفت در کناره‌های دشت، در جایی که دو یال ناودیس حضور دارند کمتر از بخش میانی آن است. عمق چاه‌های حفر شده در این منطقه، این امر را تأیید می‌نماید. همانطور که در شکل (۴-۱) مشاهده می‌شود، عمق سنگ کف که با توجه به چاه‌های حفر شده در آبخوان به دست آمده، در مرکز دشت بیشتر از کناره‌های دشت است. اگرچه اعداد ارائه شده در نقشه مذکور تقریبی هستند، اما می‌توانند یک دید کلی از ضخامت آبرفت در دشت ارائه کنند.



شکل ۴ - ۱ - عمق چاه‌های حفر شده در دشت سعادت‌شهر

در شمال دشت به دلیل حضور رودخانه سیوند رسوبات اغلب دانه درشت‌ترند و جنس آنها، با توجه به لیتولوژی ارتفاعات شمالی منطقه که عمدتاً کربناته است، آهک، آهک رسی و مارنی است. به سمت جنوب، یا به بیان دیگر با فاصله گرفتن از رودخانه رسوبات تا حد سیلت و رس دانه ریزتر می‌گردند. علاوه بر تعیین جنس رسوبات آبخوان لیتولوژی کربناته سازندهای اطراف دشت، نقش بسزایی در تغذیه یا احتمالاً تخلیه آب زیرزمینی دشت داراست. با توجه به اینکه در تمامی پیرامون دشت، مرز آبخوان را این سازندها تشکیل می‌دهند، بنابراین سهم عمده‌ای در تبادل آب بین آبخوان‌های آبرفتی و سازندهای سخت را به خود اختصاص می‌دهند. حضور رودخانه سیوند که رودخانه‌ای دائمی است در بخش شمال و شمال غربی دشت، یکی دیگر از نکات مهم در دشت است که ممکن است بر روی آبهای زیرزمینی تأثیرگذار باشد. تأثیرگذاری این رودخانه به دو صورت است: (۱) می‌تواند تغذیه کننده آبخوان باشد یا از آبخوان تغذیه شود (۲) برداشت آب از رودخانه به مقاصد مختلف، می‌تواند در کاهش برداشت‌ها از آب زیرزمینی مؤثر باشد. با توجه به آماربرداری منابع آب سال ۱۳۸۹ استان فارس، این نکته که برداشت در مرکز دشت نسبت به سایر نقاط بیشتر است، مورد تأیید است. با توجه به حضور این رودخانه در این قسمت و همچنین دانه درشت‌تر بودن رسوبات، به نظر می‌رسد که رژیم هیدرولیکی این قسمت با بخش میانی دشت تفاوت‌هایی داشته باشد. در این فصل این تفاوت‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. تغییرات شرایط فیزیکی آبخوان در این قسمت می‌تواند بر روی هیدروگراف‌ها یا حتی هیدروژئوشیمی دشت تأثیرگذار باشد.

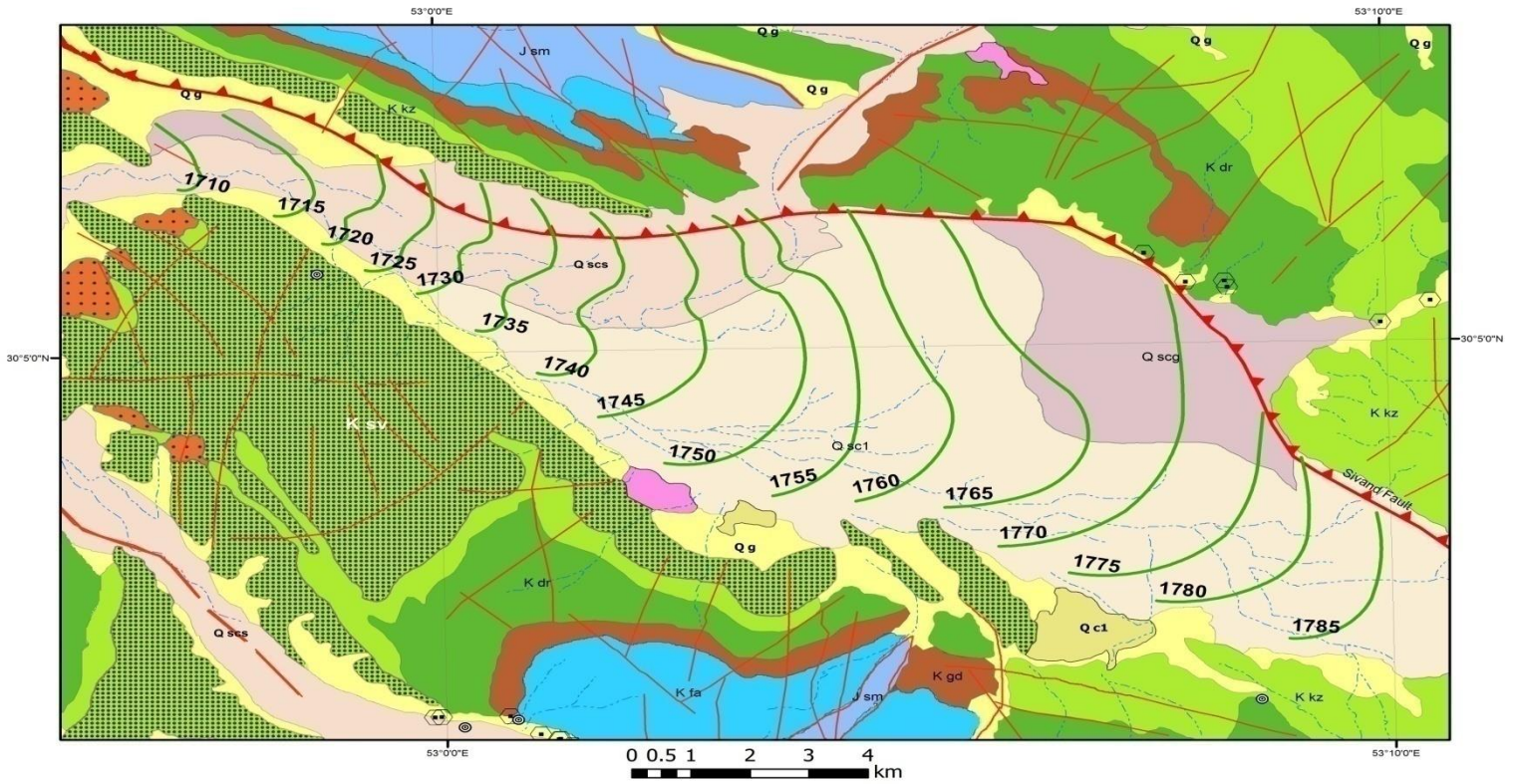
۴-۲-۲- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل منطقه

نقشه‌های هم‌پتانسیل به منظور تعیین روند کلی جریان آب زیرزمینی در دشت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گونه نقشه‌ها از جهت بررسی وضعیت کمی آبخوان اهمیت زیادی دارند. بررسی وضعیت گذشته و حال حاضر آبخوان با مقایسه دو نقشه هم‌پتانسیل که در دو محدوده زمانی مورد نظر تهیه شده باشند نیز امکان‌پذیر می‌باشد. بررسی تأثیر پمپاژ از آبخوان، با تهیه دو نقشه هم‌پتانسیل که مربوط به زمان برداشت یا عدم برداشت از آبخوان است، از سایر کاربردهای این گونه نقشه‌هاست. وجود گسل‌ها، مرزهای تغذیه و تخلیه و تغییرات تراوایی نیز از کاربردهای نقشه‌های هم‌پتانسیل می‌باشد. به همین منظور در دشت سعادت‌شهر نقشه هم‌پتانسیل در سه نوبت تهیه شده‌اند. یک بار با

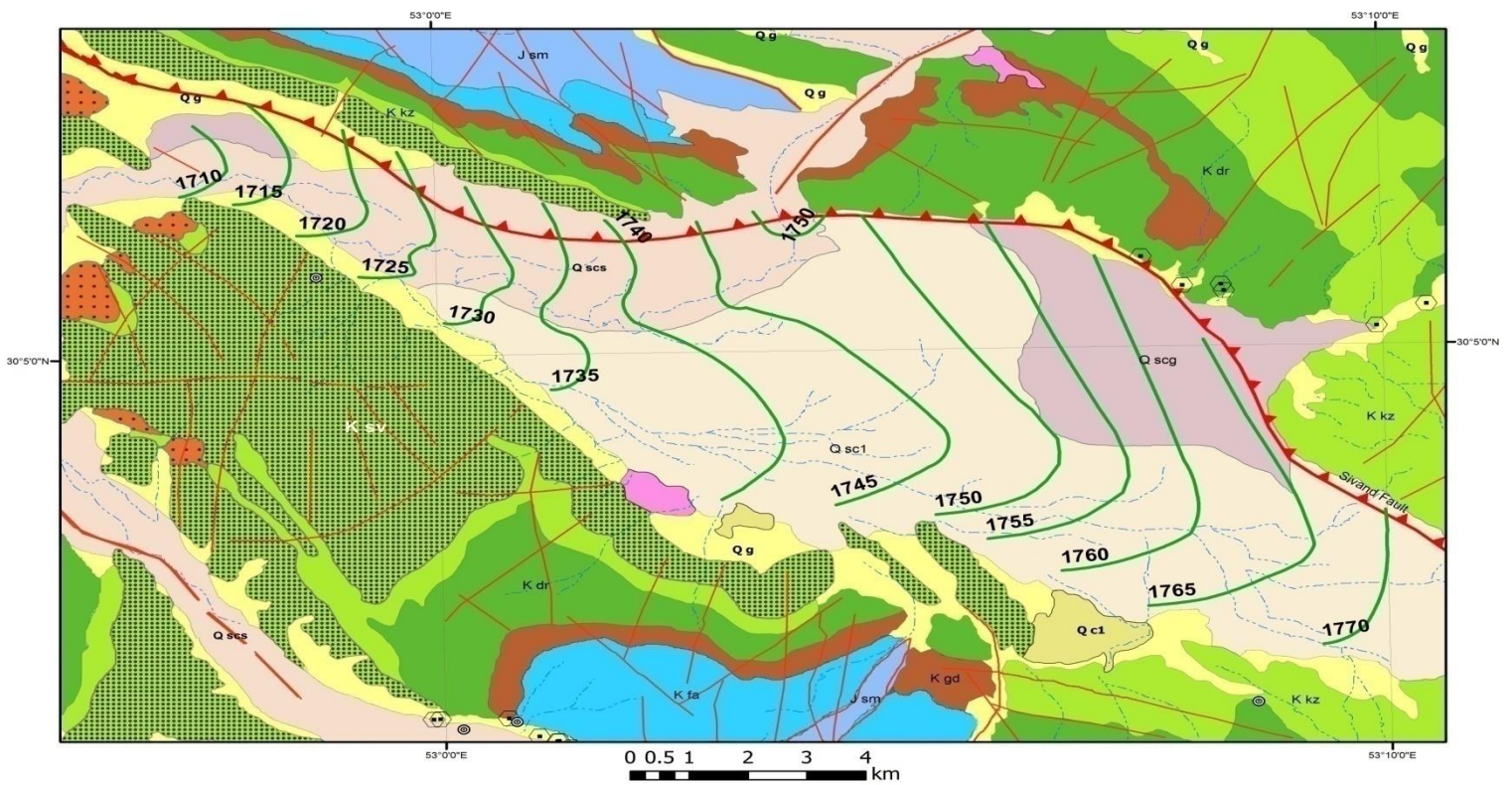
استفاده از داده‌های اسفندماه سال ۱۳۷۵، بار دوم با استفاده از داده‌های اسفندماه سال ۱۳۸۸ و بار سوم در خردادماه سال ۱۳۸۹. (شکل ۴-۲ و ۴-۳ و ۴-۴). دلیل انتخاب این سه نوبت، بررسی وضعیت آبخوان در گذشته و وضعیت کنونی آبخوان در حالت پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری و در حالت عدم پمپاژ بوده است. داده‌های مورد استفاده برای رسم این نقشه‌ها در جدول (۴-۱) آمده است.

جدول ۴-۱- ارتفاع سطح ایستابی دشت سعادت‌شهر در اسفندماه ۱۳۷۵ و ۱۳۸۸ و خردادماه ۱۳۸۹

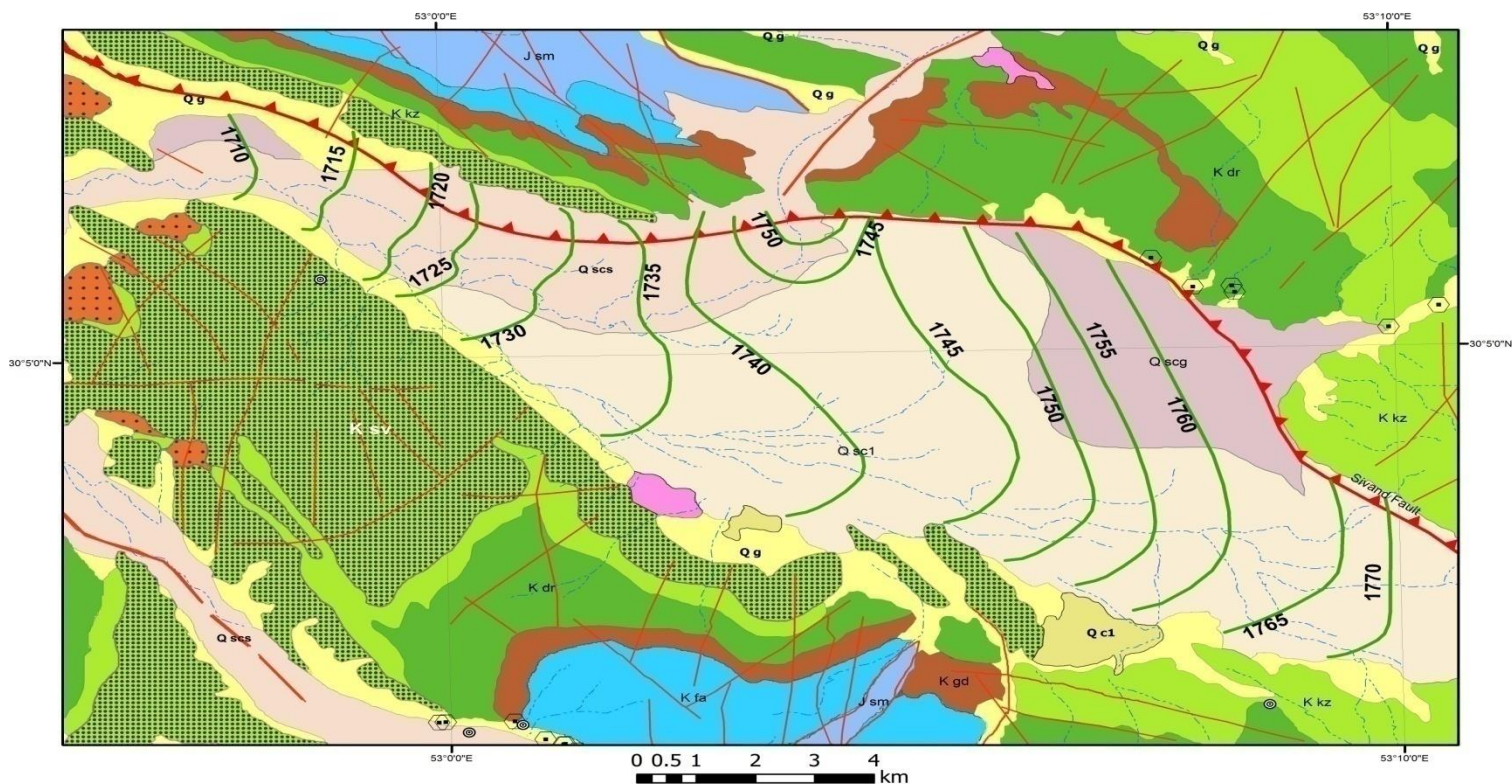
| علامت اختصاری | نام محل | مختصات بر حسب UTM | | ارتفاع سطح ایستابی از آبهای آزاد (متر) | | |
|---------------|------------------------------|-------------------|---------|--|------------|------------|
| | | X | Y | (اسفند ۷۵) | (اسفند ۸۸) | (خرداد ۸۹) |
| P1 | امامزاده عقیل | 687399 | 3333683 | 1707.12 | 1706.71 | 1706.02 |
| P2 | جلو غار کوه | 689549 | 3334741 | 1714.81 | 1714.20 | 1711.47 |
| P3 | قوام آباد | 690234 | 3332978 | 1715.72 | 1716.32 | 1714.59 |
| P4 | زمین حبیب آگهی | 693493 | 3332115 | 1729.58 | 1730.04 | 1726.39 |
| P5 | زمین متقی | 696634 | 3332355 | 1744.99 | 1744.18 | 1738.71 |
| P6 | کنار پل قصرالدشت | 698645 | 3332883 | 1756.26 | 1756.22 | 1754.85 |
| P7 | غرب قصرالدشت | 697921 | 3330705 | 1747.20 | 1745.09 | 1743.82 |
| P8 | بین قصرالدشت و اکبرآباد | 700516 | 3332747 | 1764.56 | 1753.64 | 1749.64 |
| P9 | کوشک | 701296 | 3329578 | 1759.76 | 1749.76 | 1745.04 |
| P10 | جیسقان | 697485 | 3326712 | 1751.80 | 1739.87 | 1738.50 |
| P11 | همت آباد | 693723 | 3329866 | 1737.08 | 1734.71 | 1733.44 |
| P12 | بوکان | 702817 | 3327590 | 1761.49 | 1747.70 | 1746.64 |
| P13 | علی آباد (کنار باغ جانبازان) | 705820 | 3328607 | 1770.08 | 1764.15 | 1762.16 |
| P14 | شمال آموزشگاه علی آباد | 707584 | 3325606 | 1779.04 | 1765.00 | 1763.94 |
| P15 | شرق آموزشگاه علی آباد | 708812 | 3323385 | 1776.90 | 1771.27 | 1770.79 |
| P16 | غرب آموزشگاه علی آباد | 705779 | 3323897 | 1782.20 | 1767.66 | 1766.65 |



شکل ۲-۴- نقشه همپتانسیل دشت در اسفندماه ۱۳۷۵



شکل ۳-۴- نقشه همپتانسیل دشت در اسفندماه ۱۳۸۸



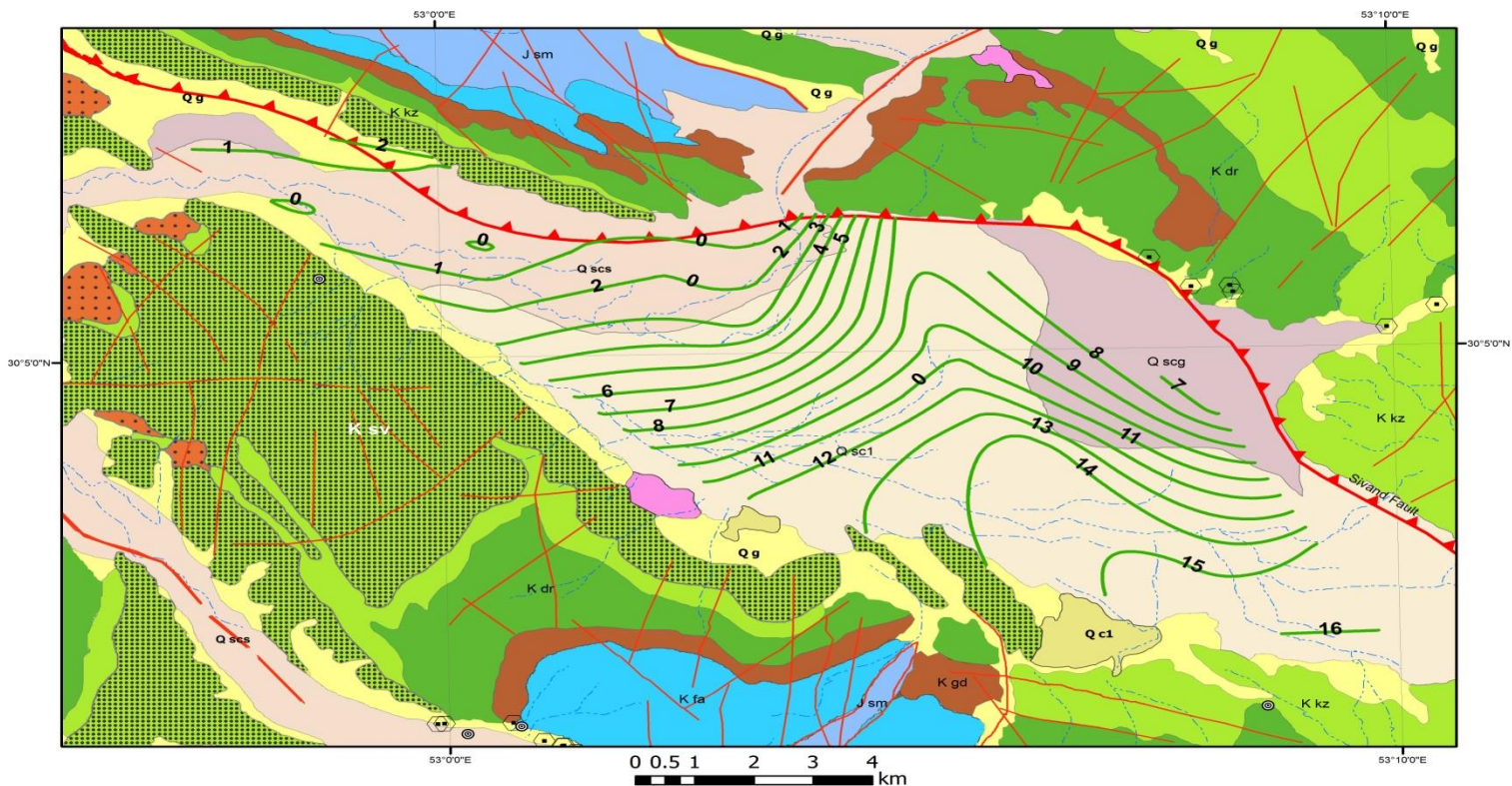
شکل ۴-۴- نقشه همپتانسیل دشت در خردادماه ۱۳۸۹

نقشه‌های همپتانسیل دشت نشان می‌دهد که جهت جریان آب زیرزمینی در دشت از شرق به غرب می‌باشد. با توجه به نقشه، آبخوان تقریباً از تمامی ارتفاعات احاطه کننده خود در حال تغذیه است. علاوه بر ارتفاعات، انحناي خطوط همپتانسیل در محل رودخانه سیوند نشان می‌دهد که این رودخانه آبخوان را تغذیه می‌کند. کاهش سطح ایستابی در بخش غربی نشان می‌دهد که خروجی دشت در این قسمت و در محل تنگ سیوند می‌باشد. در بخش شمالی آبخوان، به نظر می‌رسد که آبخوان علاوه بر رودخانه، از آبرفت‌های اندکی که در آن بخش هستند نیز در حال تغذیه است. افزایش فاصله خطوط همپتانسیل در مرکز دشت که نشان‌دهنده کاهش شیب هیدرولیکی است، می‌تواند به دلیل دانه‌ریز بودن رسوبات در این بخش باشد.

۴-۲-۳- نقشه هم‌افت

نقشه‌های هم‌افت به منظور بررسی تغییرات بلندمدت سطح آب زیرزمینی در آبخوان مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نقشه‌ها که با استفاده از نقشه‌های همپتانسیل تهیه می‌شوند، به منظور بررسی

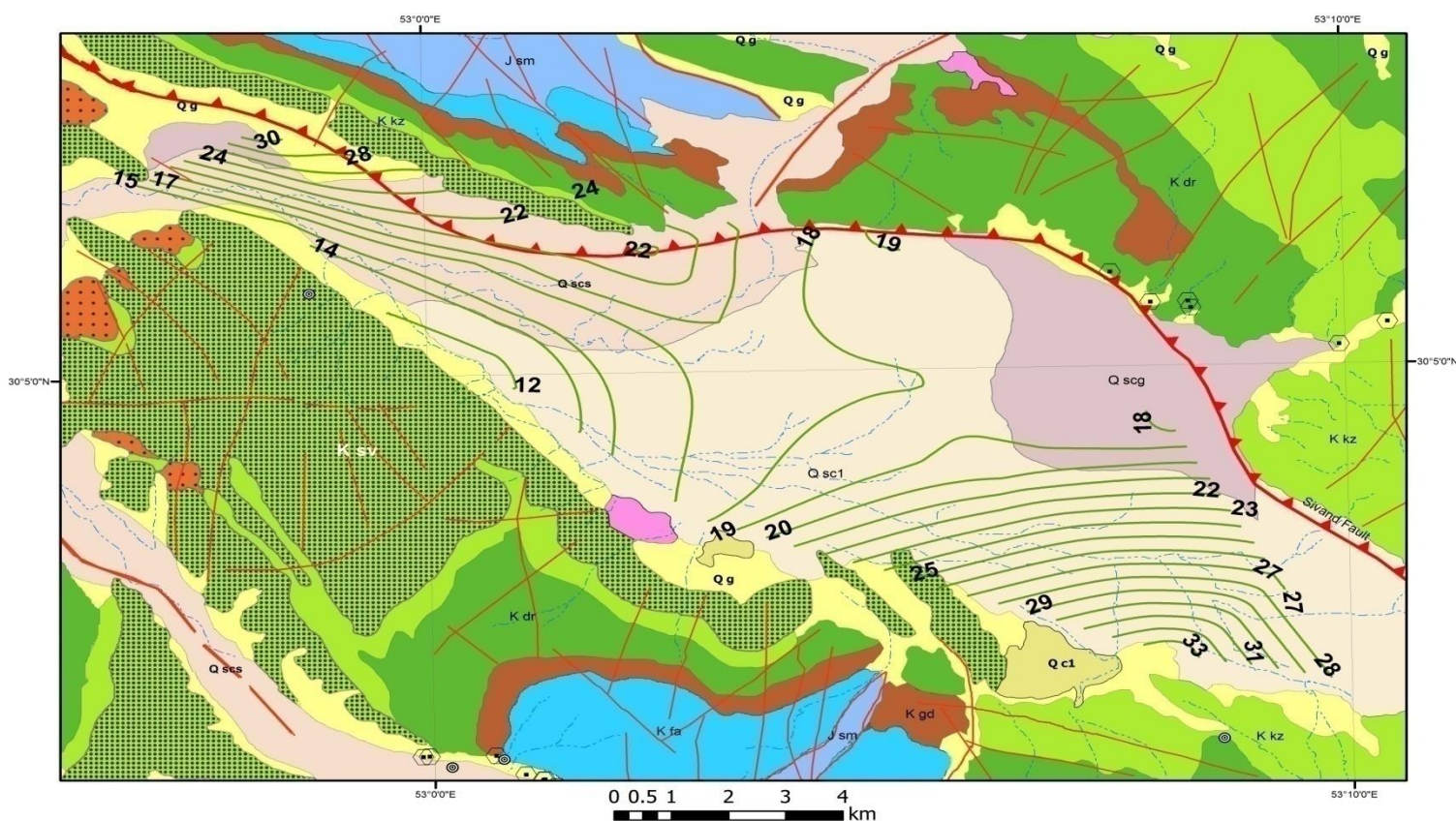
تغییرات سطح ایستابی در یک دوره خاص تهیه می‌گردند. برای تهیه نقشه‌های هم‌افت در آبخوان مورد مطالعه، از داده‌های اسفند ۱۳۷۵ و اسفند ۱۳۸۸ استفاده گردید (شکل ۴-۵). بررسی این نقشه حاکی از افت سطح ایستابی به مقادیر مختلف در نقاط مختلف دشت است. همانطور که در نقشه دیده می‌شود، بیشترین افت در بخش غربی دشت اتفاق افتاده است که در حدود ۱۶ متر می‌باشد. افت سطح آب زیرزمینی به سمت غرب آبخوان کاهش یافته و نکته قابل توجه این است که در بخش غربی دشت حتی به صفر نیز می‌رسد. افت زیاد در بخش شرقی دشت، می‌تواند به برداشت زیاد و ورودی کمتر در این قسمت مربوط باشد. با حرکت به سمت غرب با افزایش ورودی آب به دشت، میزان افت کاهش می‌یابد ولی همانطور که در نقشه نیز مشاهده می‌گردد، این رقم باز هم قابل توجه است. در بخش غربی دشت، با توجه به افزایش زیاد ورودی‌ها به دشت و همچنین وابستگی کمتر به آب زیرزمینی (به دلیل برداشت از رودخانه سیوند)، سطح آب زیرزمینی افت چندانی نداشته است. البته با توجه به عرض کمتر دشت در این قسمت و در پی آن کاهش سطح زیرکشت، آب کمتری مورد نیاز است که علاوه بر موارد فوق می‌تواند مؤثر باشد.



شکل ۴-۵- نقشه هم‌افت آبخوان سعادت‌شهر در فاصله اسفند ۷۵ تا اسفند ۸۸

۴-۲-۴- نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی

نقشه هم‌عمق نشان‌دهنده فاصله سطح ایستابی تا سطح زمین است. در واقع تنها اطلاعاتی که از این نقشه می‌توان استخراج نمود، فقط عمق دسترسی به آب زیرزمینی است و در مورد جریان آب زیرزمینی یا سایر پارامترهای آن نمی‌توان نتیجه‌گیری منطقی نمود. برای تهیه نقشه هم‌عمق آبخوان سعادت‌شهر، از داده‌های خردادماه سال ۱۳۸۹ استفاده شده است. بر طبق این نقشه مشاهده می‌شود که حداکثر عمق دسترسی به آب زیرزمینی، در بخش شرقی دشت و در حدود ۳۳ متر می‌باشد. با حرکت به سمت مرکز دشت، عمق آب کاهش یافته و به ۱۲ متر نیز می‌رسد، پس از آن عمق آب مجدداً افزایش یافته و به ۳۰ متر می‌رسد. نرخ تغییرات عمق سطح ایستابی در مرکز دشت کمترین و در کناره‌ها بیشترین است که این امر احتمالاً مربوط به توپوگرافی دشت و شیب سطح زمین در این بخش‌ها و شیب یکنواخت دشت در مرکز می‌باشد. بررسی عمق آبهای زیرزمینی در مطالعات احداث چاه‌ها و طرح‌های تغذیه مصنوعی و ... کاربرد دارد.



شکل شماره ۴-۶- نقشه هم‌عمق آبهای زیرزمینی در دشت سعادت‌شهر در خرداد ۱۳۸۹

۴-۲-۵- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان

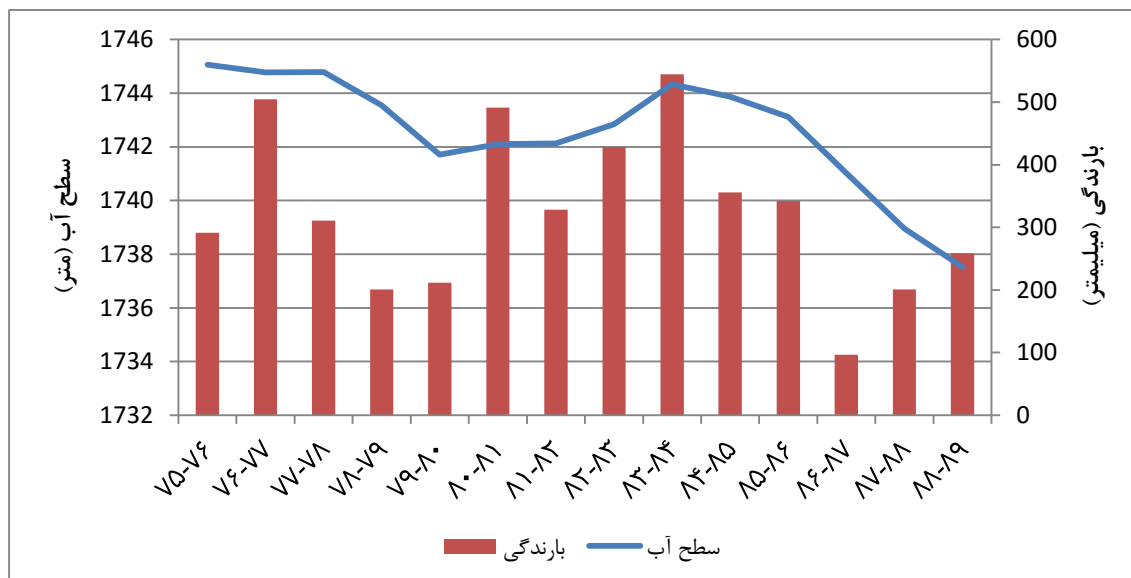
ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، بیانگر خصوصیات فیزیکی آبخوان هستند. این خصوصیات که توسط آزمایش پمپاژ مشخص می‌شوند، بیانگر توانایی آبخوان در ذخیره‌سازی و انتقال آب هستند. در دشت سعادت‌شهر متأسفانه علیرغم اهمیت موضوع، فقط ۳ مورد آزمایش پمپاژ صورت پذیرفته است که نتایج آن قابل تعمیم به کل دشت نیست. موقعیت چاه‌های مورد آزمایش و نتایج به دست آمده در جدول (۴-۲) آمده است. هر چند تعداد این آزمایشات کم است، ولی مقدار پایین پارامترهای هیدرولیکی در مرکز دشت و مقدار بیشینه آن در بخش غربی دشت با نقشه‌های کمی دشت همخوانی دارد.

جدول ۴-۲- مشخصات هیدرودینامیکی آبخوان

| نام چاه | محل | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | قابلیت انتقال (متر مربع بر روز) | ضریب ذخیره (درصد) |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|-------------------|
| اکتشافی شماره ۱ | مرکز دشت | 704392 | 3329793 | 1909 | 1.1 |
| اکتشافی شماره ۲ | شمال شرقی دشت | 698840 | 3331145 | 4265 | 17 |
| اکتشافی شماره ۳ | غرب دشت | 690342 | 3333339 | 6280 | 24 |

۴-۲-۶- بررسی هیدروگراف‌های آبخوان

هیدروگراف هر چاه به منظور بررسی تغییرات بلندمدت سطح آب زیرزمینی در هر نقطه از دشت که در آن سطح آب مشخص بوده است، رسم می‌شود. هیدروگراف‌ها روشی مرسوم برای این‌گونه بررسی‌ها هستند. بر روی هیدروگراف‌ها معمولاً بارندگی نیز نشان داده می‌شود. داده‌های بارندگی که معمولاً تغذیه‌کننده اصلی آبخوان است، رابطه تغییرات بارندگی و سطح آب را مشخص می‌سازد. در دشت سعادت‌شهر هم با توجه به شکل هیدروگراف‌ها به نظر می‌رسد رابطه مستقیمی بین بارندگی و سطح آب وجود داشته باشد. هیدروگراف دشت، که میانگینی از تمامی داده‌های سطح ایستابی است تهیه شده است (شکل ۴-۷). هیدروگراف تمامی پیژومترها در پیوست آورده شده است.

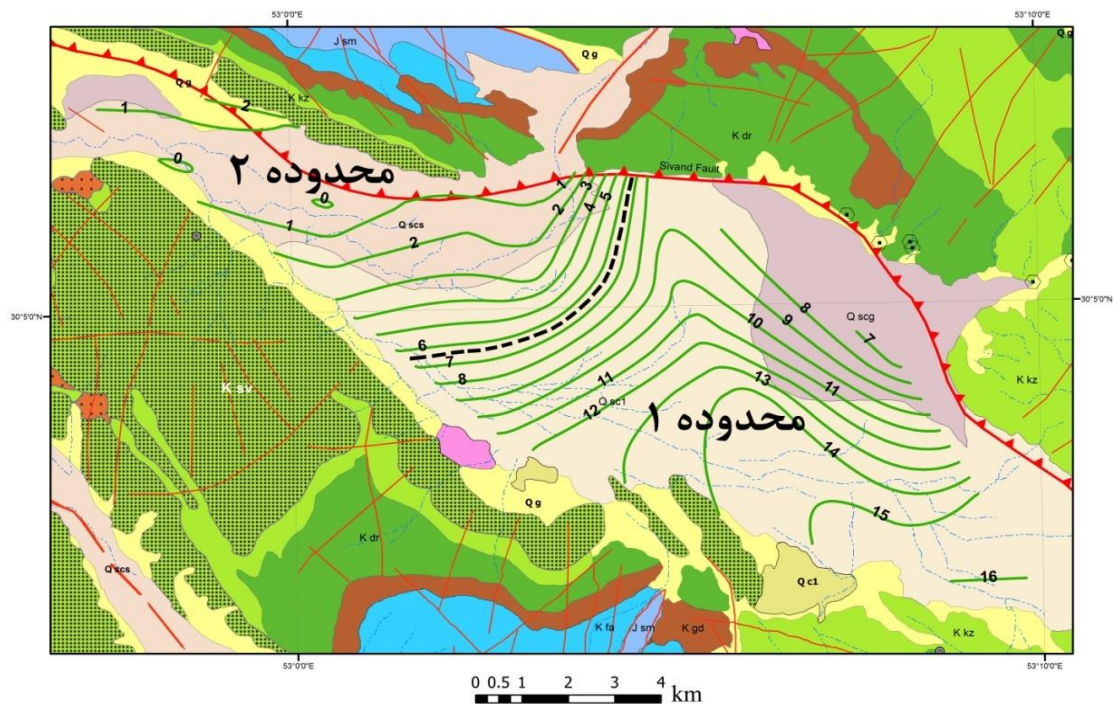


شکل ۴-۷- هیدروگراف واحد دشت

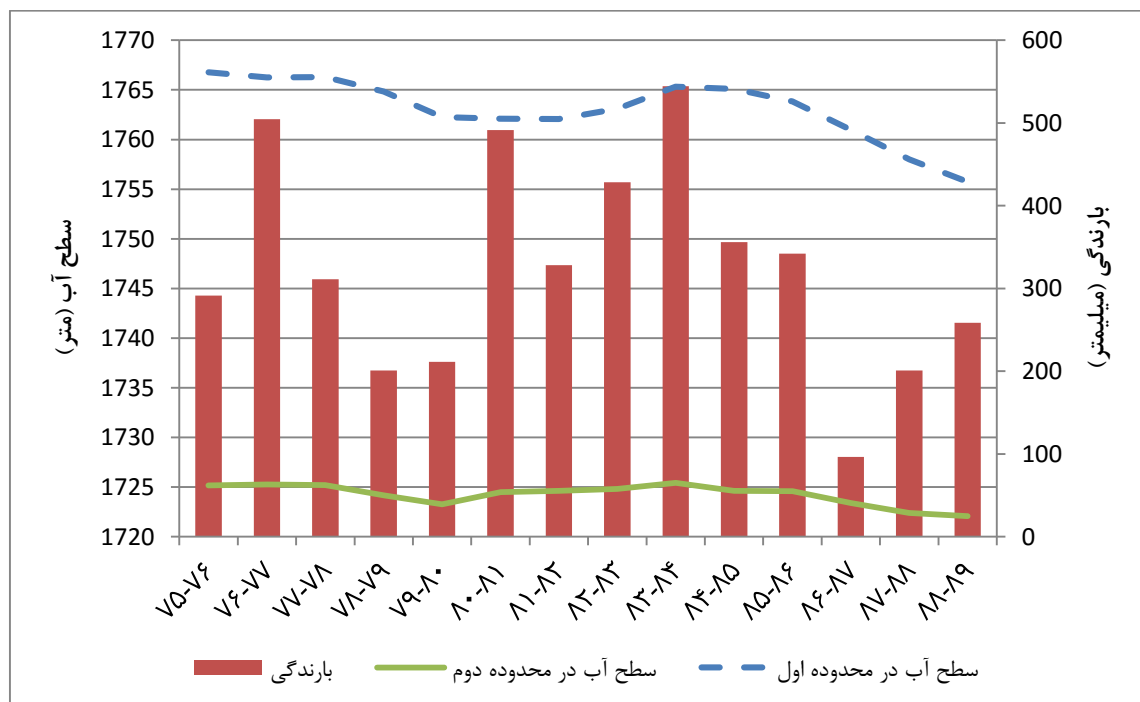
همانطور که در این هیدروگراف مشاهده می‌شود، سطح ایستابی در دوره کاهش بارندگی که از سال ۱۳۷۶ آغاز شده رو به کاهش گذاشته و پس از آن با افزایش بارندگی شروع به افزایش کرده است. دوره دوم کاهش بارندگی، که از سال ۱۳۸۳ آغاز شده نیز باعث کاهش سطح ایستابی شده است، اما همانطور که مشاهده می‌شود به رغم افزایش بارندگی در سه سال آخر سطح ایستابی شروع به بالا آمدن نکرده است. یکی از دلایل این مطلب احتمالاً به افزایش برداشت از آبخوان مربوط می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود نرخ کاهش سطح ایستابی نسبت به دوره کاهش بارندگی اول شدیدتر است. جلوگیری از این روند، نیازمند اقدامات مدیریتی مناسب است.

با توجه به تغییرات سطح ایستابی در آبخوان، محدوده دشت به دو بخش تقسیم شده است. محدوده اول بخش شرقی و مرکز دشت می‌باشد که افت در آن قابل توجه می‌باشد و تغییرات بارندگی، روی این بخش تأثیر بیشتری داشته است. بخش دوم، قسمت غربی دشت بوده است که تغییرات کمتری در آن مشاهده شده است. این بخش به دلایلی که قبلاً ذکر گردید، تغییرات کمتری نشان می‌دهد.

محدوده‌های دوگانه دشت در شکل (۴-۸) به همراه خطوط افت در دشت و هیدروگراف این دو محدوده در شکل (۴-۹) نشان داده شده است.

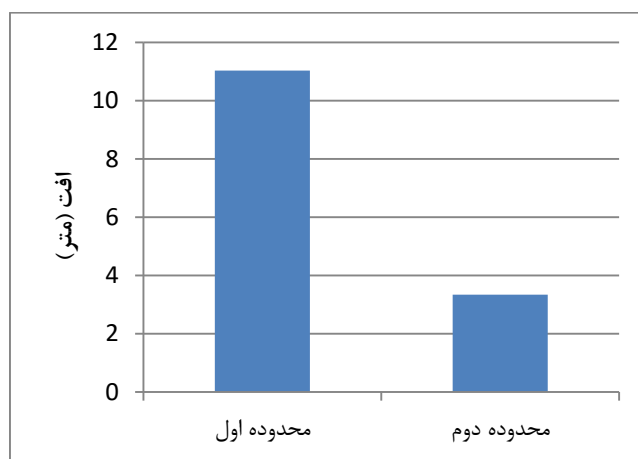


شکل ۴-۸- محدوده‌های دوگانه دشت (خط چین مرز دو محدوده را نشان می‌دهد)



شکل ۴-۹- هیدروگراف محدوده‌های دوگانه دشت

الگوی تغییرات سطح ایستابی در دو محدوده تقریباً مشابه است ولی شدت این تغییرات متفاوت است که این امر مربوط به تغذیه متفاوت در دشت است. در محدوده اول تغییرات آب زیرزمینی که به صورت افت سطح آب زیرزمینی است، بیشتر است و محدوده دوم تغییرات کمتری را شامل می‌شود. شکل (۴-۱۰) میزان تغییرات محدوده‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰- میانگین افت سطح ایستابی در محدوده‌های دوگانه دشت

۴-۲-۷- بیلان آب زیرزمینی

بیلان آب زیرزمینی شرح مقدار آبهای ورودی و خروجی به یک آبخوان است. محاسبات بیلان یکی از بخش‌های اساسی مطالعات یک آبخوان است و میزان تأثیر دخالت انسان و تغییرات طبیعی را مشخص می‌نماید. با توجه به معادله بیلان آب زیرزمینی می‌توان آبدهی مجاز را با توجه به شرایط فعلی و هر شرایط خاصی در آینده تعیین نمود. برای محاسبات بیلان در دشت سعادت‌شهر از معادله زیر استفاده شده است:

$$(Q_{IN} + Q_P + Q_R + Q_I + Q_{SW}) - (Q_{OUT} - Q_{EX} - Q_D - Q_{ET}) = \pm \Delta V$$

که در این معادله:

Q_{IN} = حجم جریان آبهای زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان

Q_P = حجم آب نفوذی از ریزش‌های جوی

Q_R = حجم آب نفوذی از جریان‌های سطحی

Q_I = حجم آب نفوذی از آبیاری زمین‌های کشاورزی

Q_{SW} = حجم آب نفوذ یافته از طریق پساب‌های شهری، روستایی و صنعتی

Q_{OUT} = حجم جریان آبهای زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان

Q_{EX} = حجم آب تخلیه شده توسط چاه، چشمه و قنات

Q_D = حجم آب زهکشی شده از آبخوان آبهای زیرزمینی

Q_{ET} = حجم آب تبخیر و تعرق از آبخوان آب زیرزمینی

ΔV = تغییرات حجم ذخیره آبخوان آبهای زیرزمینی در محدوده بیلان

برای محاسبات بیلان و برقراری رابطه فوق، اندازه‌گیری‌های مستقیم، محاسبات به وسیله معادلات، استفاده از نتایج تجربی و در برخی مواقع از تخمین پارامترهای مختلف استفاده می‌شود. محاسبات بیلان برای آبخوان دشت سعادت‌شهر، برای سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ برای دشت توسط شرکت مهندسی مشاور فارساب صنعت صورت پذیرفته است. داده‌های استفاده شده در این محاسبات، با استفاده از داده‌های آمار برداری سال ۱۳۸۹ تا حد امکان به روز شده‌اند. محدوده بیلان، تمامی دشت به مساحت تقریباً ۱۳۰ کیلومتر مربع است که اجزای بیلان برای این محدوده برآورد گردیده است (جدول ۴-۳).

جدول ۴-۳- محاسبات بیلان دشت سعادت‌شهر

| تخلیه (میلیون متر مکعب) | | تغذیه (میلیون متر مکعب) | |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| ۲۰۵/۷۲ | تخلیه از چاه، چشمه و قنات | ۱۳۳/۱۸ | جریان ورودی زیرزمینی |
| - | زهکشی | ۲۱/۹۳ | نفوذ از بارندگی |
| - | تبخیر از آب زیرزمینی | ۲/۰۵ | نفوذ از جریان سطحی |
| ۳۲/۰۳ | خروجی به آبخوان مجاور | ۶۵/۲۰ | نفوذ از آب زراعی |
| - | - | ۲/۵۵ | نفوذ از شرب و صنعت |
| ۲۳۷/۷۵ | جمع تخلیه | ۲۲۴/۹۱ | جمع تغذیه |
| -۱۲/۸۴ | تغییرات حجم مخزن | | |

محاسبات بیلان نشان‌دهنده کاهش حدود ۱۳ میلیون متر مکعبی ذخیره آبخوان است، که مهم‌ترین پیامد آن کاهش سطح ایستابی در آبخوان است. این ارقام نشان می‌دهد که هیچگونه امکان توسعه و بهره‌برداری بیشتر از آبخوان وجود ندارد. باید به این نکته توجه داشت که منابع آبی که در آماربرداری‌ها محاسبه نشده‌اند و عمده آنها چاه‌های حفر شده به صورت غیرقانونی هستند، می‌توانند در تشدید افت سطح ایستابی نقش بسزایی داشته باشند.

۴-۳- هیدروژئوشیمی آبخوان

آب‌های زیرزمینی، با توجه به شرایط کمی و کیفی خود به عنوان مهم‌ترین منبع آب شیرین مورد استفاده بشر مطرح هستند. علاوه بر میزان حجمی حضور آب در زیر زمین، خصوصیت مهم دیگر آبهای زیرزمینی که آن را قابل استفاده می‌سازد کیفیت آن است. کیفیت آب زیرزمینی به عوامل بسیاری بستگی دارد که در فصل دوم به تفصیل مورد بحث قرار گرفت. بدیهی است که کیفیت آبهای زیرزمینی به اندازه‌ی کمیت آن مورد اهمیت است. آبهای زیرزمینی دارای مواد انحلال یافته‌ای است که آنها را از مکان‌هایی که از آن عبور کرده است به ارث برده است. اینکه کیفیت آب مناسب است یا خیر بستگی به نوع مصرف آن دارد. میزان این مواد محلول می‌تواند متغیر باشد، برای مثال میزان مواد محلول در آبهای زیرزمینی، از ۲۵ میلی‌گرم در لیتر در چشمه‌های کوارتزی تا ۳۰۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شورابه‌ها گزارش شده است (Todd and Mays 2005). در دشت سعادت‌شهر هر ساله دو نوبت نمونه‌برداری به منظور بررسی کیفی آبهای زیرزمینی صورت می‌پذیرد. با توجه به تغییرات کم کیفیت آبهای زیرزمینی در طی یک سال آبی، از نتایج حاصل از آنالیزهای شهریورماه ۱۳۸۹ برای بررسی‌های کیفی دشت استفاده شده است.

به منظور بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی در دشت سعادت‌شهر ۱۳ حلقه چاه نیمه‌عمیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با توجه به تعداد نمونه‌ها، به منظور دقت بیشتر در تفسیرهای هیدروژئوشیمیایی و همچنین جلوگیری از بروز خطا، میزان هدایت الکتریکی در نقاط زیادی از دشت در خردادماه ۱۳۹۰ اندازه‌گیری، و تعداد ۵۴ عدد از این اندازه‌گیری‌ها به منظور بررسی تغییرات این پارامتر مورد استفاده قرار گرفت. مکان این اندازه‌گیری‌ها به همراه میزان هدایت الکتریکی در پیوست آمده است. با توجه به همخوانی تغییرات هدایت الکتریکی در تعداد زیاد نمونه‌ها با تغییرات مشاهده شده در آنالیزهای ۱۳ نمونه هیدروژئوشیمیایی، از نمونه‌گیری بیشتر اجتناب گردید. میزان یون‌های اصلی محلول در آب شامل آنیون‌های بیکربنات، کلر و سولفات و کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج این آنالیزها در جدول (۴-۴) آورده شده‌اند. برخی از پارامترهای به دست آمده از این آنالیزها که در بررسی‌های کیفی آبهای زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، و همچنین سایر پارامترهای مهم در بررسی هیدروژئوشیمی آب در جدول (۴-۵) نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۴- مقادیر پارامترهای هیدروژنوشیمی چاه‌های منطقه

| علامت اختصاری | نام محل | طول جغرافیایی (UTM) | عرض جغرافیایی (UTM) | Concentration (mg/l) | | | | | | | T.D.I (meq/l) |
|---------------|---------------|------------------------|------------------------|----------------------|-----------|--------|-----------|-------------|---------|----------|------------------|
| | | | | Calcium | Magnesium | Sodium | Potassium | Bicarbonate | Sulfate | Chloride | |
| Q1 | تنگ سعادت‌شهر | 707341 | 3330132 | 90.18 | 12.15 | 10.35 | 1.173 | 244.1 | 39.39 | 35.45 | 11.8 |
| Q2 | جیسقان | 702703 | 3331970 | 66.13 | 14.58 | 5.74 | 0.782 | 244.1 | 7.205 | 17.73 | 9.42 |
| Q3 | حسن آباد | 701007 | 3329395 | 74.14 | 58.33 | 31.04 | 1.955 | 396.6 | 98.95 | 46.09 | 19.76 |
| Q4 | بوکان | 707001 | 3324195 | 90.18 | 24.31 | 28.74 | 1.564 | 323.4 | 22.09 | 70.91 | 15.55 |
| Q5 | علی آباد کمین | 703920 | 3327032 | 100.2 | 30.38 | 24.14 | 1.564 | 363.1 | 43.23 | 60.27 | 17.14 |
| Q6 | کوشکک | 700112 | 3326364 | 90.18 | 18.23 | 25.29 | 1.173 | 305.1 | 22.58 | 65.59 | 14.45 |
| Q7 | دولت آباد | 697331 | 3326092 | 100.2 | 30.38 | 27.59 | 1.564 | 335.6 | 92.22 | 53.18 | 17.66 |
| Q8 | همت آباد | 694548 | 3328721 | 74.14 | 27.95 | 34.48 | 1.173 | 305.1 | 18.25 | 88.63 | 15.41 |
| Q9 | ابوالمهدی | 687390 | 3334073 | 90.18 | 9.72 | 10.35 | 0.782 | 286.8 | 24.98 | 17.73 | 11.49 |
| Q10 | قوام آباد ۱ | 690368 | 3334095 | 80.16 | 18.23 | 24.14 | 1.173 | 299 | 25.94 | 40.77 | 13.17 |
| Q11 | قوام آباد ۲ | 692278 | 3332379 | 80.16 | 12.15 | 68.97 | 1.564 | 274.6 | 108.6 | 47.86 | 16.15 |
| Q12 | رحمت آباد | 697362 | 3331705 | 80.16 | 18.23 | 68.97 | 1.564 | 335.6 | 68.21 | 58.5 | 17.11 |
| Q13 | اکبرآباد | 697244 | 3329655 | 70.14 | 37.67 | 187.4 | 2.737 | 488.1 | 141.7 | 127.6 | 29.37 |

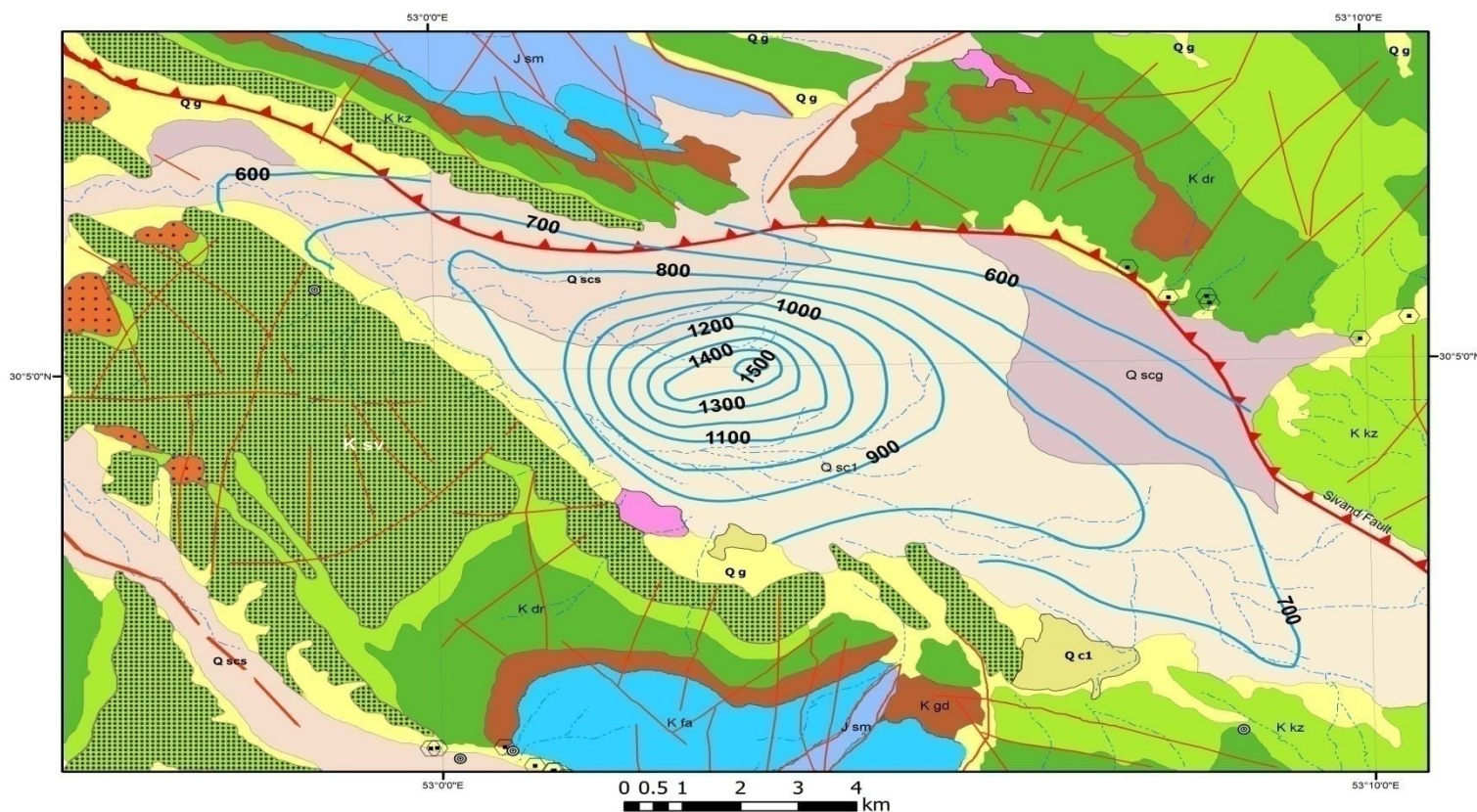
جدول ۴-۵- سایر پارامترهای هیدروژئوشیمی چاه‌های مورد نمونه برداری

| علامت اختصاری | EC ($\mu\text{mhos/cm}$) | pH | %Na | S.A.R | Total Hardness (mg/l) | T.D.S (mg/kg) |
|------------------|-------------------------------|------|-------|-------|-----------------------------|------------------|
| Q ₁ | 596 | 7.39 | 7.53 | 0.271 | 275 | 432 |
| Q ₂ | 499 | 7.59 | 5.24 | 0.167 | 225 | 305 |
| Q ₃ | 986 | 7.51 | 13.64 | 0.655 | 425 | 640 |
| Q ₄ | 774 | 7.56 | 16.05 | 0.693 | 325 | 503 |
| Q ₅ | 835 | 7.55 | 12.22 | 0.542 | 375 | 555 |
| Q ₆ | 759 | 7.65 | 15.43 | 0.635 | 300 | 468 |
| Q ₇ | 888 | 7.45 | 13.73 | 0.62 | 375 | 575 |
| Q ₈ | 734 | 7.83 | 19.92 | 0.866 | 300 | 500 |
| Q ₉ | 553 | 7.51 | 7.8 | 0.276 | 265 | 370 |
| Q ₁₀ | 615 | 7.64 | 15.96 | 0.633 | 275 | 428 |
| Q ₁₁ | 835 | 7.54 | 37.31 | 1.897 | 250 | 526 |
| Q ₁₂ | 842 | 7.66 | 35.13 | 1.809 | 275 | 560 |
| Q ₁₃ | 1426 | 7.33 | 54.99 | 4.486 | 330 | 935 |

۴-۳-۱- بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی (EC) نشان‌دهنده توانایی یک سیال در عبور دادن انرژی الکتریکی از خود است. این پارامتر مهم در آبهای زیرزمینی نسبت مستقیم با میزان تمامی یون‌های موجود در آب (T.D.S) دارد. با بررسی تغییرات این پارامتر، می‌توان به تغییرات غلظت یون‌ها در مسیر حرکت جریان پی برد. شکل (۴-۱۱) تغییرات هدایت الکتریکی در سراسر دشت را نشان می‌دهد. همانطور که ذکر گردید این نقشه با استفاده از ۵۴ عدد اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی در محل ترسیم شده است. نگاه اولیه به نقشه هدایت الکتریکی، عدم همخوانی این نقشه را با جهت جریان آب زیرزمینی نشان می‌دهد. همانطور که در این نقشه مشاهده می‌شود، میزان هدایت الکتریکی در مرکز دشت، به حداکثر رسیده و در مسیر حرکت جریان (شرق به غرب) مجدداً رو به کاهش می‌گذارد. افزایش هدایت الکتریکی از سمت ارتفاعات به طرف مرکز آبخوان، از شواهد تغذیه دشت توسط ارتفاعات احاطه کننده

دشت است. کاهش فاصله خطوط در مرکز دشت، نشان‌دهنده افزایش نرخ تغییرات هدایت الکتریکی است که با توجه به نقشه هم‌پتانسیل (شکل ۴-۴)، می‌تواند در نتیجه کاهش سرعت حرکت آب زیرزمینی در این بخش از آبخوان در نتیجه برداشت زیاد است، باشد. در مسیر حرکت آبهای زیرزمینی معمولاً هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. این موضوع همانطور که دیده شد در دشت سعادت‌شهر صادق نیست. این امر می‌تواند به اختلاط آبها، برداشت از سفره‌های مختلف (خطای نمونه‌گیری) یا واکنش‌های شیمیایی مربوط باشد. به منظور بررسی بیشتر این مسئله، تغییرات سایر یون‌ها مورد بررسی قرار گرفت.



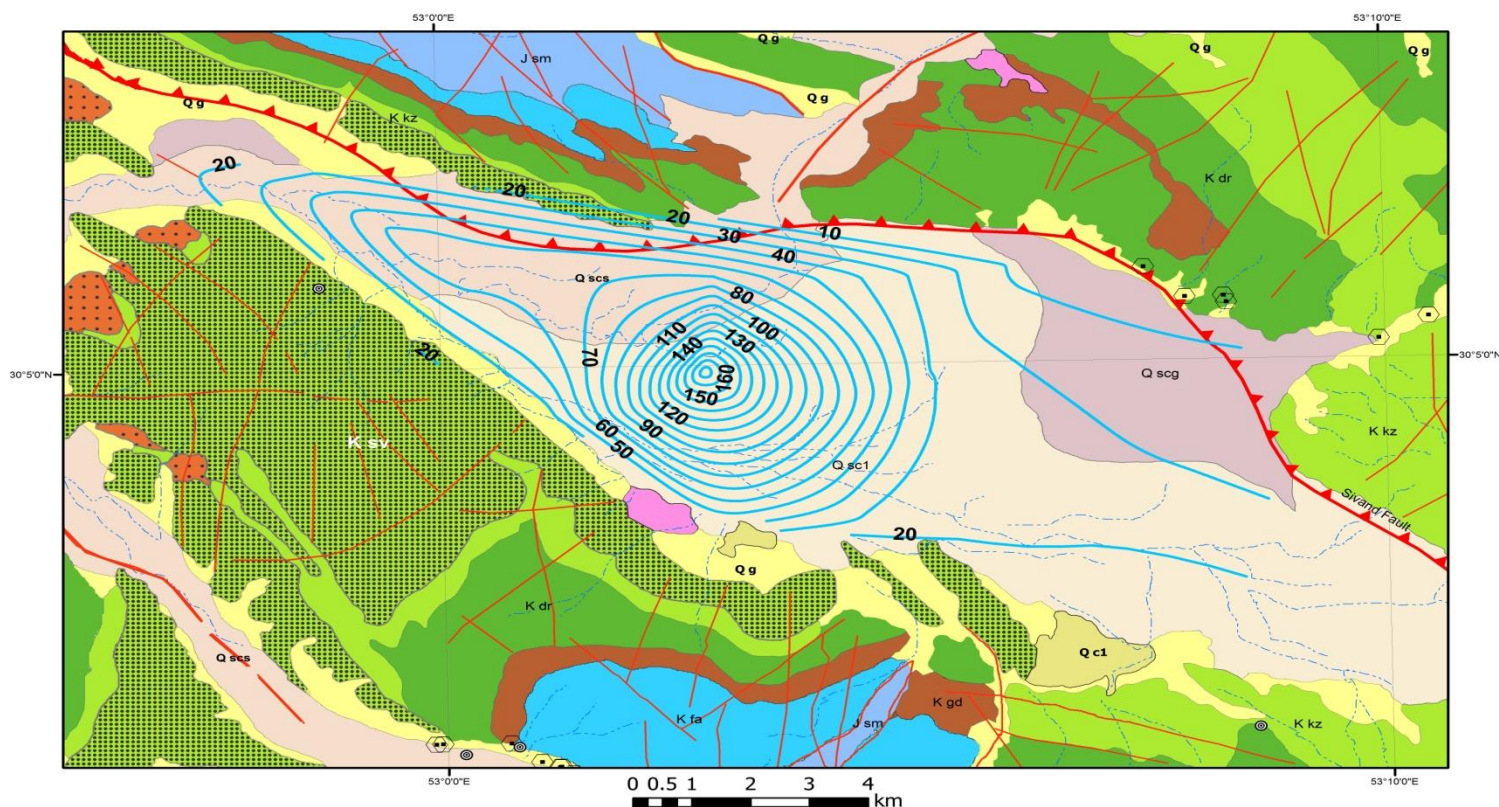
شکل ۴-۱۱- نقشه هدایت الکتریکی دشت سعادت‌شهر

۴-۳-۲- ارزیابی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

یون‌های مختلف، با توجه به خصوصیتی که دارند می‌توانند در درک ما از هیدروژئوشیمی یک آبخوان نقش اساسی داشته باشند. در این قسمت به بررسی تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در محدوده دشت پرداخته می‌شود.

الف) تغییرات یون سدیم

سدیم یکی از فراوان‌ترین فلزات قلیایی موجود در جدول تناوبی عناصر است. این عنصر وقتی در آب به صورت محلول در می‌آید، تمایل زیادی برای باقی ماندن در این حالت دارد و فرآیندهای کمی وجود دارند که بتوانند این یون را از حالت محلول در آورند. مهمترین واکنش، جذب سدیم توسط موادی که ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی دارند می‌باشد. منشأ اصلی سدیم در آبهای زیرزمینی از انحلال هالیت و همچنین هوازدگی و انحلال فلدسپات‌هاست. با توجه به مقاومت کمتر فلدسپات‌های سدیک و کلسیک نسبت به فلدسپات‌های پتاسیک در مقابل هوازدگی میزان این کاتیون در آب زیرزمینی بیش از پتاسیم است. به منظور بررسی تغییرات یون سدیم در دشت سعادت‌شهر، نقشه این یون تهیه شده است و در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۲- نقشه سدیم دشت سعادت‌شهر

روند تغییرات سدیم در دشت نیز مانند تغییرات هدایت الکتریکی، نشان‌دهنده افزایش قابل توجه در مرکز دشت می‌باشد. این تغییر تا حدی چشمگیر است که نمی‌توان آن را به افزایش طبیعی و معمول

این یون در خلال حرکت در محیط متخلخل نسبت داد. علاوه بر این، کاهش این مقدار در ادامه حرکت آب در آبخوان نیز بر خلاف روند معمول در دشت‌ها است. از نکات قابل توجه دیگر، نرخ افزایش غلظت یون در مرکز دشت است. نرخ زیاد تغییرات این یون می‌تواند علاوه بر افزایش طبیعی غلظت، به تبادلات یونی در بخش مرکزی که میزان مواد رسی در آن زیاد است، باشد.

ب) یون کلر

یون کلر در آب زیرزمینی یکی از یون‌هایی است که بیشترین اطلاعات را می‌توان از آن استخراج نمود. دلیل این امر منشأهای محدود و شناخته شده این یون است. یون کلر در میان یون‌های موجود در آب زیرزمینی به عنوان یون محافظ‌کار شناخته شده، که به دلیل عدم شرکت آن در واکنش‌های مختلف از جمله تبادلات یونی است. عوامل فوق باعث می‌شود که بتوان از این یون به عنوان یک نشانگر خوب استفاده نمود. منشأ یون کلر در تمامی آب‌های زیرزمینی از حالت‌های زیر خارج نیست:

۱- انحلال هالیت: در مواردی که در مواد تشکیل دهنده سازند این کانی حضور داشته باشد

مقادیر زیادی از کلر مربوط به انحلال این کانی است.

۲- آب دریا: در مناطقی که آبخوان ساحلی است یا بحث نفوذ آب شور مطرح می‌باشد، یون کلر

می‌تواند از آب شور منشأ گرفته باشد.

۳- نمک‌های اتمسفری: یون کلر می‌تواند از آب دریا تا فواصل حداکثر چند کیلومتری ساحل به

این صورت حمل شود.

منشأهای دیگر کلر، به عنوان نمونه حضور در فلدسپات‌ها (به عنوان مثال در $(\text{Na}_8[\text{Cl}_2(\text{AlSiO}_4)_6]$) بسیار کم هستند و در عمل در نظر گرفته نمی‌شوند.

در دشت سعادت‌شهر با توجه به وضعیت آبخوان، منشأ کلر فقط می‌تواند از حالت اول یعنی انحلال

هالیت باشد. طبق نظر برخی محققین (به عنوان مثال Mazor 2004) هنگامی که انحلال هالیت تنها

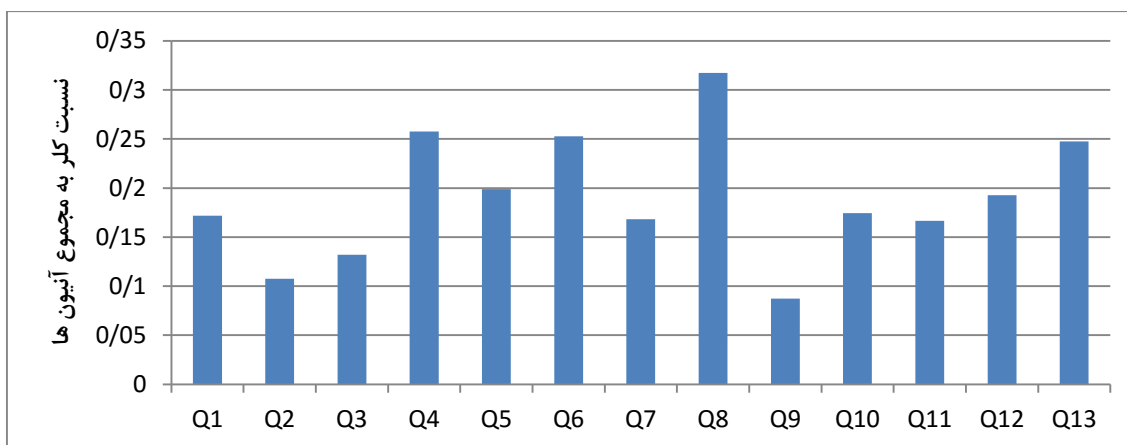
منشأ کلر در آب زیرزمینی باشد، نسبت کلر به سدیم برابر یک است، جز هنگامی که فرآیندهایی مانند

تبادل یونی، با توجه به محافظ‌کار بودن یون کلر بر روی یون سدیم، تأثیر گذاشته باشند. در مورد این

نسبت در همین فصل بحث خواهد شد. سایر اطلاعاتی که می‌توان از یون کلر استخراج نمود، با توجه

به نسبت‌های مختلف یون کلر با سایر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی است. نسبت کلر به سایر آنیون‌ها

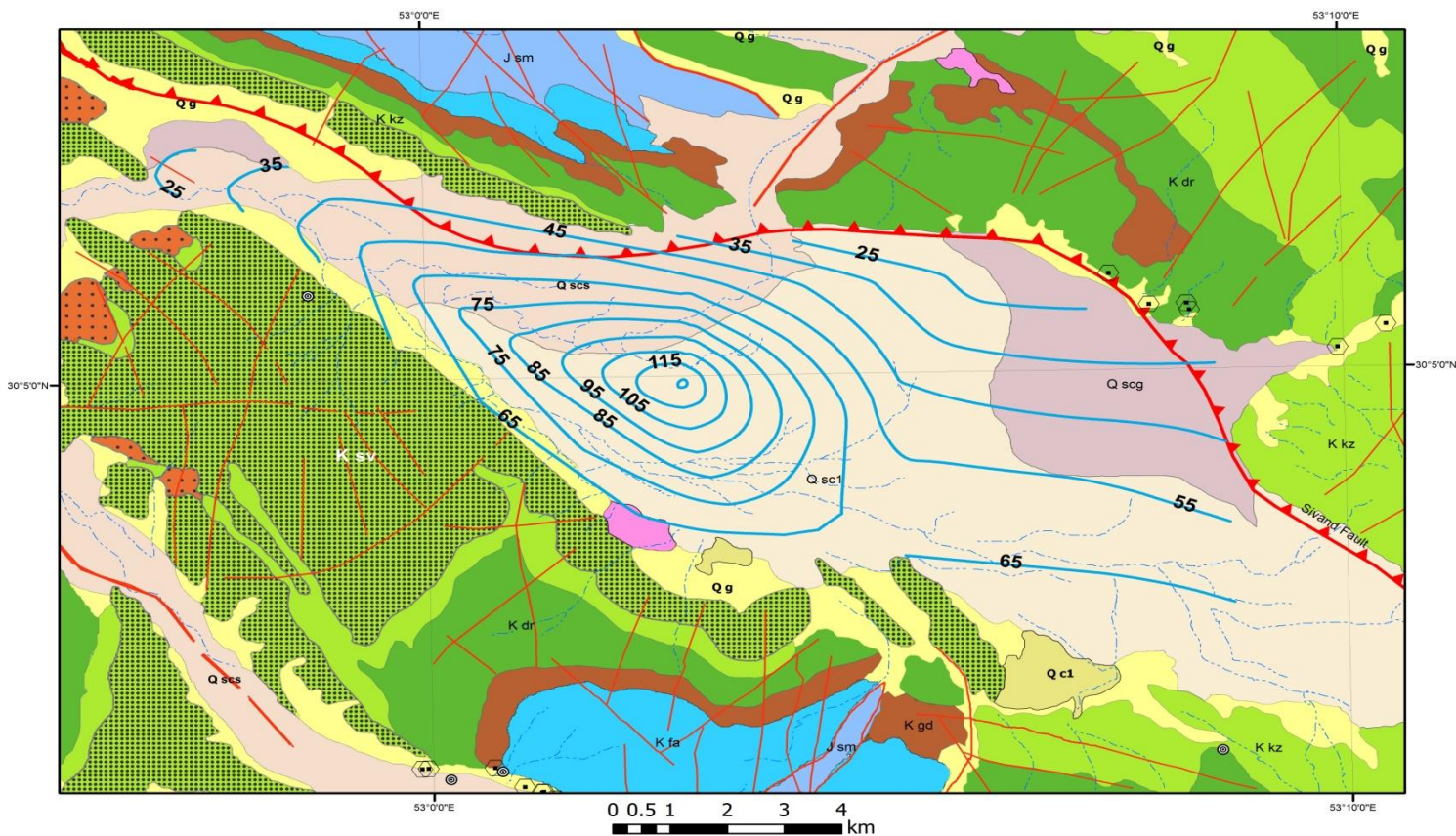
نشان‌دهنده منشأ این یون است. اگر این نسبت بزرگتر از $0/8$ و TDS نمونه کمتر از 100 میلی گرم بر لیتر باشد، منشأ نمونه از آب باران است. در صورتی که این نسبت کمتر از $0/8$ باشد، هوازدگی سنگ‌ها در ایجاد ترکیب نمونه مورد نظر مؤثر بوده است. در مورد نمونه‌هایی که این نسبت بزرگتر از $0/8$ و TDS بیشتر از 500 میلی گرم بر لیتر است، آب دریا، شورابه‌ها، یا تبخیری‌ها در ایجاد ترکیب شیمیایی آب نقش داشته‌اند (Hounslow 1995). شکل (۴-۱۳) مقدار این نسبت را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۳- نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها در نمونه‌های آبخوان

طبق این شکل و با توجه به اینکه TDS در نمونه‌ها از 100 بیشتر است، منشأ این یون از هوازدگی سنگ‌ها می‌باشد. برای بررسی تغییرات کلر در نقاط مختلف دشت نقشه کلر دشت تهیه شده است. شکل (۴-۱۴) این نقشه را نشان می‌دهد.

میزان کلر در دشت نیز روندی مانند تغییرات یون سدیم و هدایت الکتریکی در دشت را دارد، با این تفاوت که افزایش آن در مرکز دشت، مانند سدیم نیست و تغییرات کمتری را نشان می‌دهد. روند کلی تغییرات این یون نیز با کاهش در قسمت غربی دشت ادامه می‌یابد. شایان ذکر است مبنای کاهش و افزایش، جهت حرکت آب زیرزمینی می‌باشد.

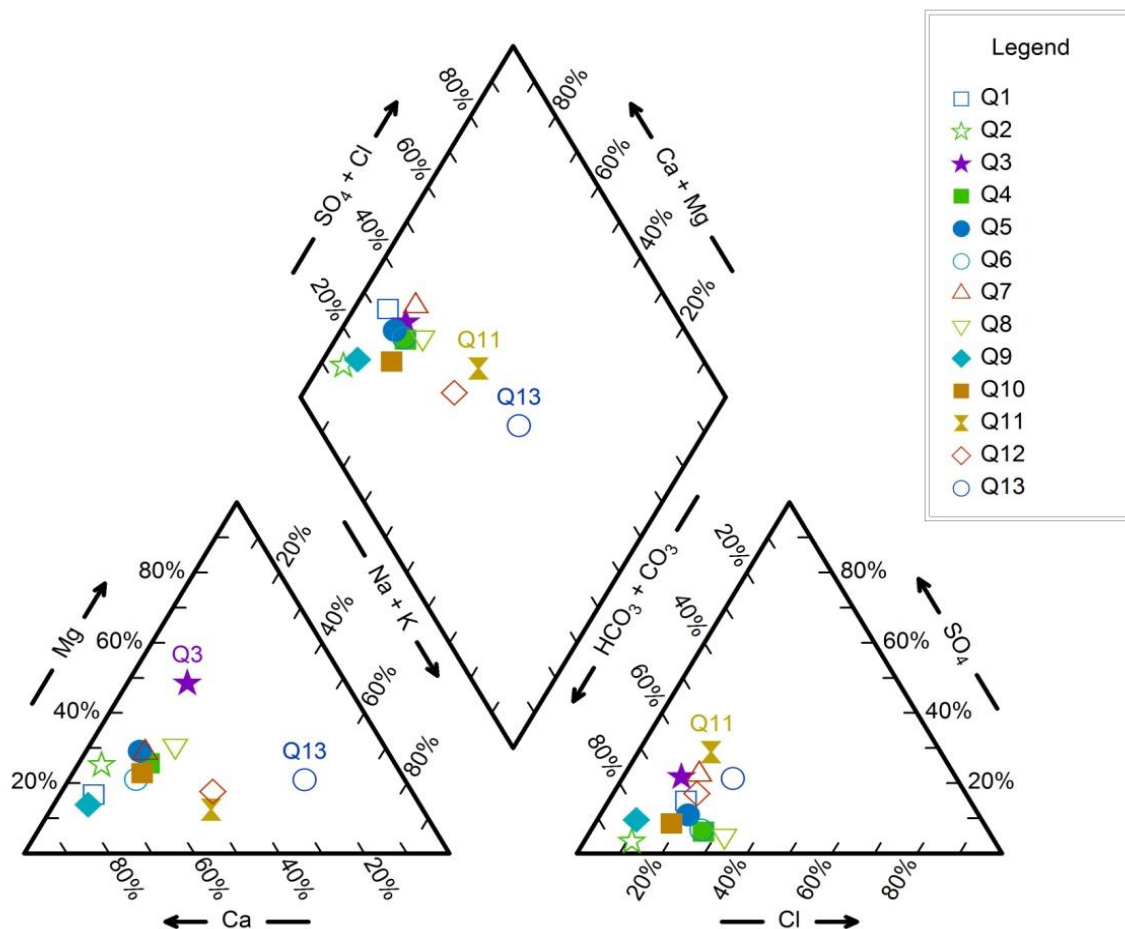


شکل ۴-۱۴- نقشه کلر دشت سعادت شهر

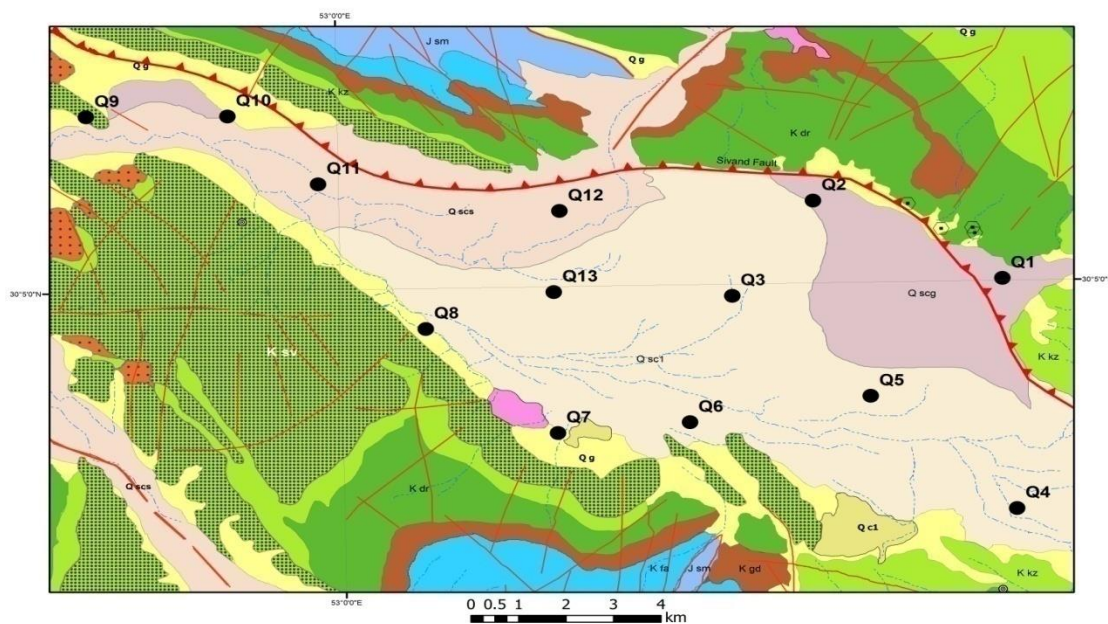
ج) تغییرات سایر یون‌ها

یون‌های عمده اندازه‌گیری شده در دشت علاوه بر سدیم و کلر عبارتند از کلسیم، پتاسیم، منیزیم، بیکربنات و سولفات. از نمودارهای متداول در بررسی هیدروژئوشیمی آبهای زیرزمینی، نمودار پایپر است. پایپر (۱۹۴۴) نموداری را ارائه نمود که به نمودار سه‌تایی (Trilinear) نیز معروف است و تصویری کلی از میزان یون‌های مختلف در همه نمونه‌ها را ارائه می‌نماید. این نمودار برای نمونه‌های دشت سعادت شهر در شکل (۴-۱۵) ارائه شده است.

همانگونه که در نمودار پایپر نمونه‌ها مشاهده می‌شود، غیر از سه نمونه Q_{11} ، Q_{12} و Q_{13} در یک محدوده نزدیک به هم قرار گرفته‌اند. نمونه Q_{13} مربوط به مرکز دشت و نمونه‌های Q_{11} و Q_{12} مربوط به بخش غربی دشت و در جهت حرکت آب زیرزمینی، بعد از نمونه Q_{13} هستند. موقعیت همه نمونه‌ها در شکل (۴-۱۶) نشان داده شده است. قرار گرفتن این نمونه‌ها در بین ترکیب شیمیایی مرکز و انتهای دشت، از شواهد اختلاط دو تیپ متفاوت آبهای زیرزمینی است.



شکل ۴-۱۵- نمودار پایپر برای نمونه‌های دشت سعادت‌شهر

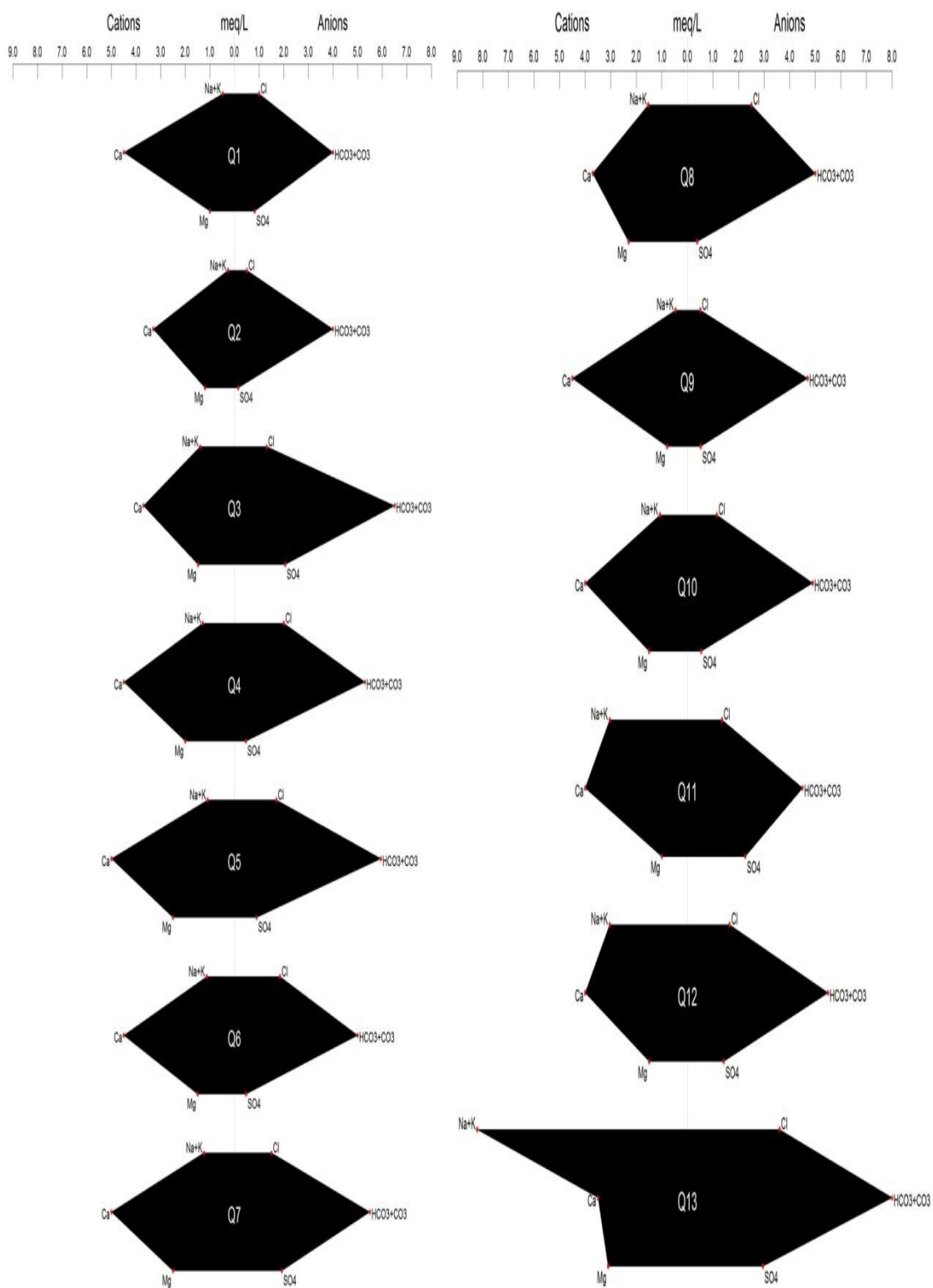


شکل ۴-۱۶- محل نمونه‌ها بر روی دشت

یکی دیگر نمودارهای متداول در بررسی هیدروژئوشیمی آبهای زیرزمینی نمودار استیف است. این نمودار ترکیب شیمیایی هر نمونه مجزا را بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر ارائه می‌کند. نمودار استیف نمونه‌ها در شکل (۴-۱۷) ارائه شده است.

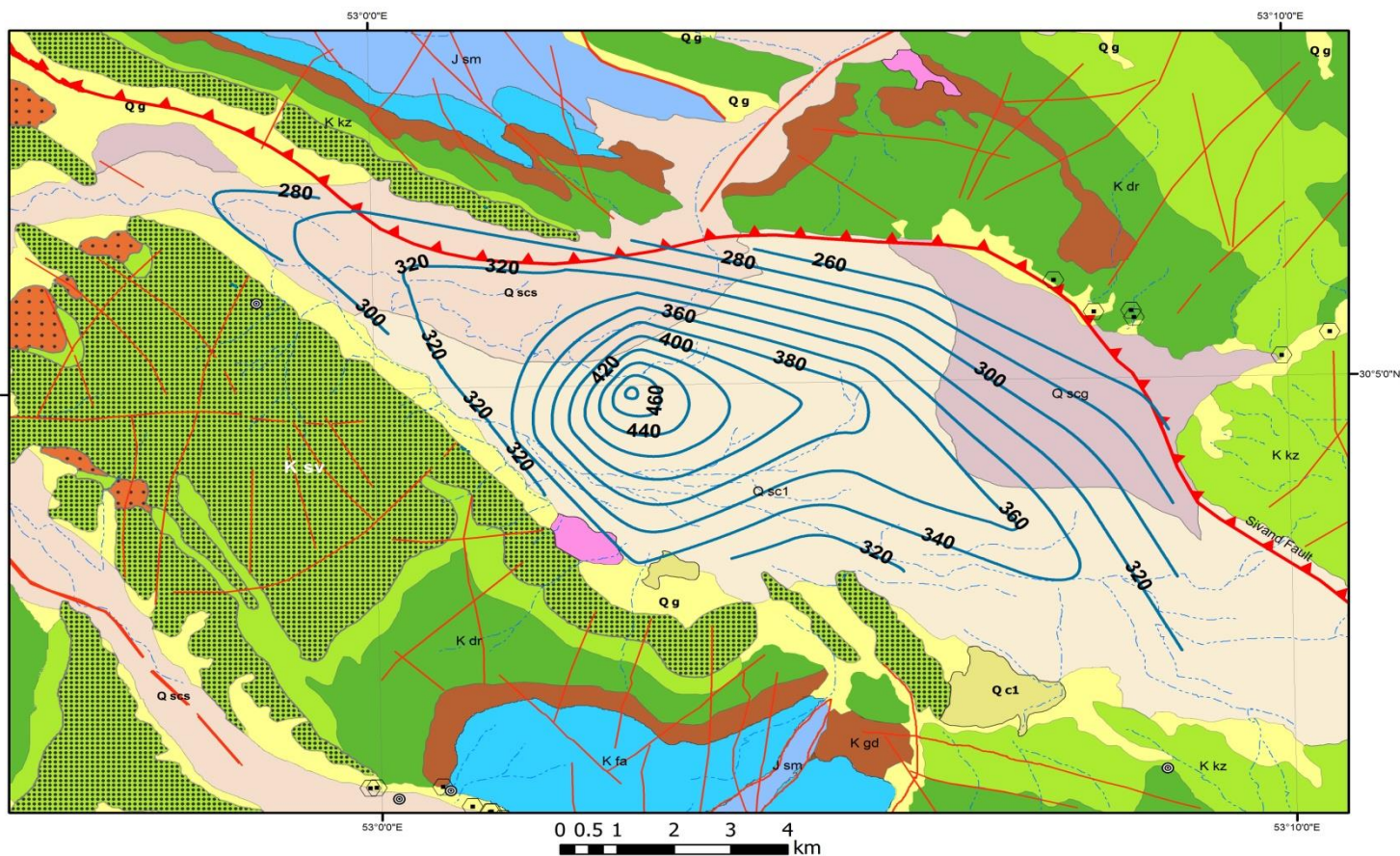
در نمودارهای استیف دشت مشاهده می‌شود که اکثر نمونه‌ها تیپ بیکربناته - کلسیک دارند. این تیپ آب در دشت سعادت‌شهر با توجه با جنس ذرات دشت که اغلب کربناته هستند توجیه‌پذیر است. با توجه به اینکه منشأ اصلی آب زیرزمینی در دشت، آبهای ورودی از سازندهای مجاورند که جنس آنها عمدتاً کربناته می‌باشد و همچنین جنس ذرات دشت، انحلال کلسیت کنترل کننده اصلی شیمی آب در دشت به نظر می‌رسد. در مورد منشأ یون‌ها در ادامه بحث خواهد شد. تفاوت نمونه Q₁₃ در این نمودارها نیز کاملاً مشهود است، به صورتی که تیپ آب در این نمونه بیکربناته - سدیک است.

در بررسی مقادیر یون‌های مختلف مشاهده می‌شود که کاتیون منیزیم بخش کمی از یون‌های هر نمونه را در بر گرفته و حداکثر آن مربوط به مرکز دشت با ۳۷ میلی‌گرم بر لیتر است. احتمالاً همین مقدار منیزیم موجود در آب زیرزمینی در دشت سعادت‌شهر حاصل انحلال دولومیت موجود در تشکیلات آهکی اطراف و همچنین مواد آبخوان که عمدتاً همجنس این ارتفاعات هستند می‌باشد. نتایج آنالیزها همچنین نشان می‌دهد که کاتیون پتاسیم در اکثر نمونه‌ها از مقداری ناچیز برخوردار است. این مقدار از چند میلی‌گرم در لیتر تجاوز نمی‌کند. منشأ اصلی یون پتاسیم در آب‌های زیرزمینی به میزان فلدسپات‌های آبخوان بستگی دارد. از نظر طبیعی، پتاسیم می‌تواند از هوازدگی فلدسپات‌های پتاسیک به وجود آید. علاوه بر این، پتاسیم تمایل کمی به انحلال و تمایل زیادی به ته‌نشست دارد. این عوامل باعث می‌شود که میزان این یون در آبهای زیرزمینی به طور کلی کم باشد.



شکل ۴-۱۷- نمودار استیف نمونه‌های دشت سعادت شهر

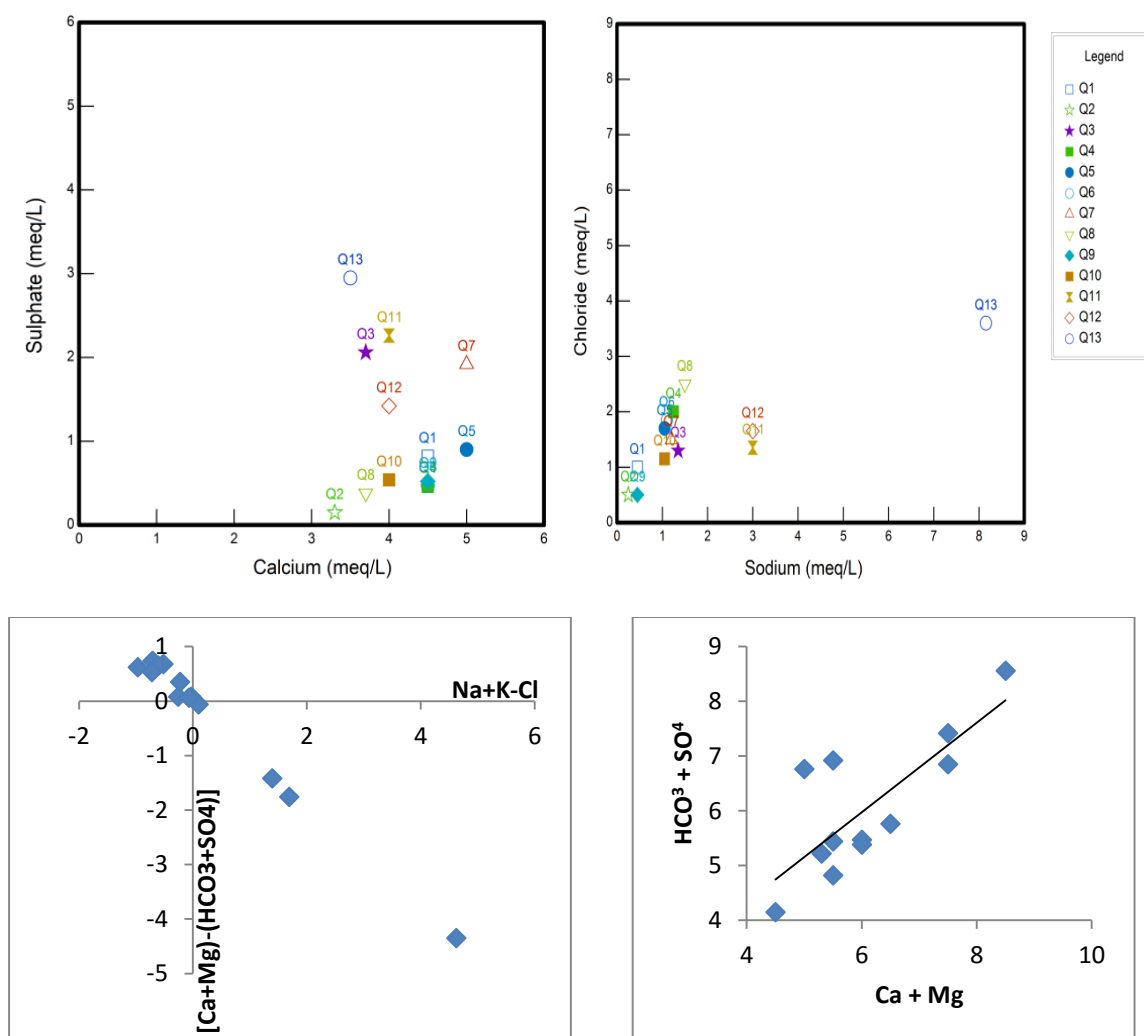
آنیون دیگر اندازه‌گیری شده، سولفات است. یون سولفات عمدتاً با انحلال ژیپس در آب زیرزمینی وارد می‌شود. از دیگر منشأهای این یون، کودهای کشاورزی هستند. تغییرات این یون نیز از الگوی سایر یون‌ها در دشت تبعیت می‌نماید. این یون به عنوان یکی از آلاینده‌های آب زیرزمینی مطرح است. یون بیکربنات بیشترین آنیون موجود در آب زیرزمینی در دشت سعادت‌شهر است، به طوری که همه نمونه‌ها تیپ بیکربناته دارند. شکل (۴-۱۸) نشان‌دهنده تغییرات این یون در دشت است. به طور کلی یون بیکربنات در نتیجه واکنش سیالات دارای CO_2 با سنگ‌ها است. با توجه به جنس ذرات دشت که عمدتاً کربناته می‌باشند، این مقدار بالای بیکربنات کاملاً توجیه‌پذیر است. الگوی تغییرات این یون نیز مانند سایر یون‌های دشت است که از ابتدای دشت تا مرکز افزایش می‌یابد و پس از آن روند کاهشی دارد. شایان ذکر است که مبنای کاهش و افزایش، جهت حرکت آب زیرزمینی در دشت (شرق به غرب) در نظر گرفته شده است.



شکل ۴-۱۸- نقشه بیکربنات دشت سعادتشهر

۳-۳-۴- توجیه فرآیندهای تأثیرگذار بر هیدروژئوشیمی آبخوان

همانطور که مشاهده شد غلظت یون‌های موجود در آب زیرزمینی، در بخش‌هایی از آبخوان تابع جریان آب زیرزمینی نمی‌باشند. این امر به صورت افزایش یون‌ها تا مرکز دشت، و سپس روند کاهشی در ادامه می‌باشند. فرضیه‌هایی که در این مورد مطرح می‌باشند، انجام فرآیند تبادلات یونی، اختلاط آبهای سطحی و زیرزمینی یا حتی زیرزمینی با زیرزمینی و همچنین برداشت نمونه‌ها از آبخوان‌های مختلف می‌باشد. به منظور بررسی انجام تبادلات یونی، از نمودارهای ترکیبی استفاده می‌شود. نمودارهای ترکیبی استفاده شده در شکل (۴-۱۹) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۹- نمودارهای ترکیبی نمونه‌ها

در آبهای طبیعی اگر نسبت یون‌های سدیم و کلر یک باشد، منشأ آنها از انحلال هالیت است. اگر این نسبت واحد نباشد، منشأ احتمالاً فرآیند دیگری بوده یا فرآیندهای شیمیایی این نسبت را تغییر داده است. از دیگر نمودارهایی که برای تعیین منشأ یون‌ها مورد استفاده است، نمودار کاتیون کلسیم در برابر آنیون سولفات است. اگر نسبت این دو یون یک باشد، انحلال ژپس منشأ اصلی این دو یون است؛ در غیر این صورت منشأ فرآیندهای دیگری می‌باشد.

همانطور که در نمودار $\frac{Na}{Cl}$ مشاهده می‌شود، نسبت بین این دو یون در اکثر نمونه‌ها نزدیک به یک است. استثنائاتی که در این نسبت وجود دارد مربوط به نمونه‌های Q_{13} ، Q_{12} و Q_{11} است. نسبت $\frac{Na}{Cl}$ اگر بیش از یک باشد، فرآیندهایی این نسبت را به هم زده‌اند. با توجه به موقعیت نمونه‌ها، نمونه Q_{13} مربوط به مرکز دشت است. دو نمونه دیگر مربوط به بخش غربی دشت می‌باشد، که با توجه به جهت جریان دشت بعد از نمونه Q_{13} قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه در بخش مرکزی دشت جنس آبرفت دانه‌ریزتر و دارای رس بیشتری است انجام تبادل یونی دور از انتظار نیست. به منظور بررسی این فرآیند، نمودار ترکیبی $[Na+K-Cl]$ در برابر $[(Ca+Mg)-(HCO_3+SO_4)]$ مورد استفاده قرار گرفت. در این نمودار، اگر محل نمونه‌ای از مرکز مختصات فاصله گرفته باشد، فرآیند تبادل یونی در آن صورت پذیرفته است. طبق شکل، نمونه Q_{13} بیش از همه نمونه‌ها تحت تأثیر قرار دارد. نمونه‌های Q_{11} و Q_{12} نیز تا حدودی تحت تأثیر این فرآیند بوده‌اند.

نمودار کلسیم در برابر سولفات، نسبت نزدیک به یک را نشان نمی‌دهد که نشان‌دهنده اهمیت کم انحلال ژپس در آبخوان می‌باشد. مقدار یون سولفات نیز در بسیاری از نمونه‌ها کم است و این امر را تأیید می‌نماید. به این منظور نمودار دو متغیره $Ca + Mg$ در مقابل $SO_4 + HCO_3$ نیز رسم شده است. این نمودار معمولاً به منظور تعیین منشأ یون‌های سولفات، بیکربنات، کلسیم و منیزیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر غلظت $SO_4 + HCO_3$ در نمونه‌هایی که بالای خط برازش یافته قرار دارند، کمتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر باشد بیانگر غالب بودن انحلال کلسیت و دولومیت، و در صورتی که این غلظت بیشتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر باشد نشانگر غالب بودن انحلال کانی ژپس می‌باشد. در نمونه‌هایی که در پایین و بالای خط قرار می‌گیرند، به ترتیب فرآیند تبادل یونی و تبادل یونی معکوس غالب می‌باشد. بنابراین با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که انحلال کلسیت و دولومیت

فرآیند غالب در آبخوان است.

با توجه به مطالب فوق، به نظر می‌رسد که کیفیت آب زیرزمینی در دشت سعادت‌شهر تحت تأثیر کیفیت آب ورودی از تشکیلات کربناته اطراف دشت به آبخوان باشد. کیفیت مناسب آبهای کارستی سازندهای اطراف، باعث شده که آب موجود در آبخوان نیز کیفیت مناسبی داشته باشد. حداکثر میزان املاح محلول در آبهای زیرزمینی دشت مربوط به مرکز آبخوان است که علاوه بر فاصله گرفتن از محل‌های تغذیه به جنس رسوبات در این قسمت که ریزدانه و عموماً سیلت و رس هستند، مربوط می‌شود. با توجه به نمودارهای ترکیبی تهیه شده به نظر می‌رسد که فرآیند تبادل یونی در این قسمت سدیم را با کلسیم در آب جایگزین کرده است. نمودارهای تهیه شده نشان‌دهنده این موضوع است که آب زیرزمینی پس از ورود از بخش ارتفاعات شرق، شمال شرق و جنوب شرق به سمت مرکز دشت حرکت می‌کند و پس از آن به بخش غربی آبخوان می‌رسد و در این بخش با آب نفوذیافته از رودخانه سیوند و ارتفاعات مجاور دشت اختلاط می‌یابد. به دلیل کیفیت بهتر آبهای ورودی از ارتفاعات و همچنین رودخانه سیوند، در این بخش کیفیت آب بهبود می‌یابد.

۴-۳-۴- بررسی شاخص اشباع

شاخص اشباع، به منظور بررسی میزان اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به کانی‌های متفاوت به کار می‌رود. اگر میزان این شاخص برای یک کانی خاص در آب مثبت باشد، یعنی آب زیرزمینی نسبت به این کانی به حالت اشباع رسیده است، و این یون شروع به ته‌نشست می‌کند. مقادیر شاخص اشباع برای نمونه‌های دشت توسط نرم‌افزار PHREEQC تهیه شده و در جدول (۴-۶) ارائه شده است. مقادیر شاخص اشباع برای نمونه‌ها نشان می‌دهد که هالیت و ژپس در آب موجود در آبخوان به حالت اشباع نرسیده‌اند. کلسیت و دولومیت معمولاً اولین کانی‌هایی هستند که در آبهای زیرزمینی به اشباع می‌رسند. در آبخوان سعادت‌شهر نیز این موضوع صادق است. با توجه به غلبه مواد کربناته در دشت این موضوع کاملاً توجیه‌پذیر است.

جدول ۴-۶- شاخص‌های اشباع

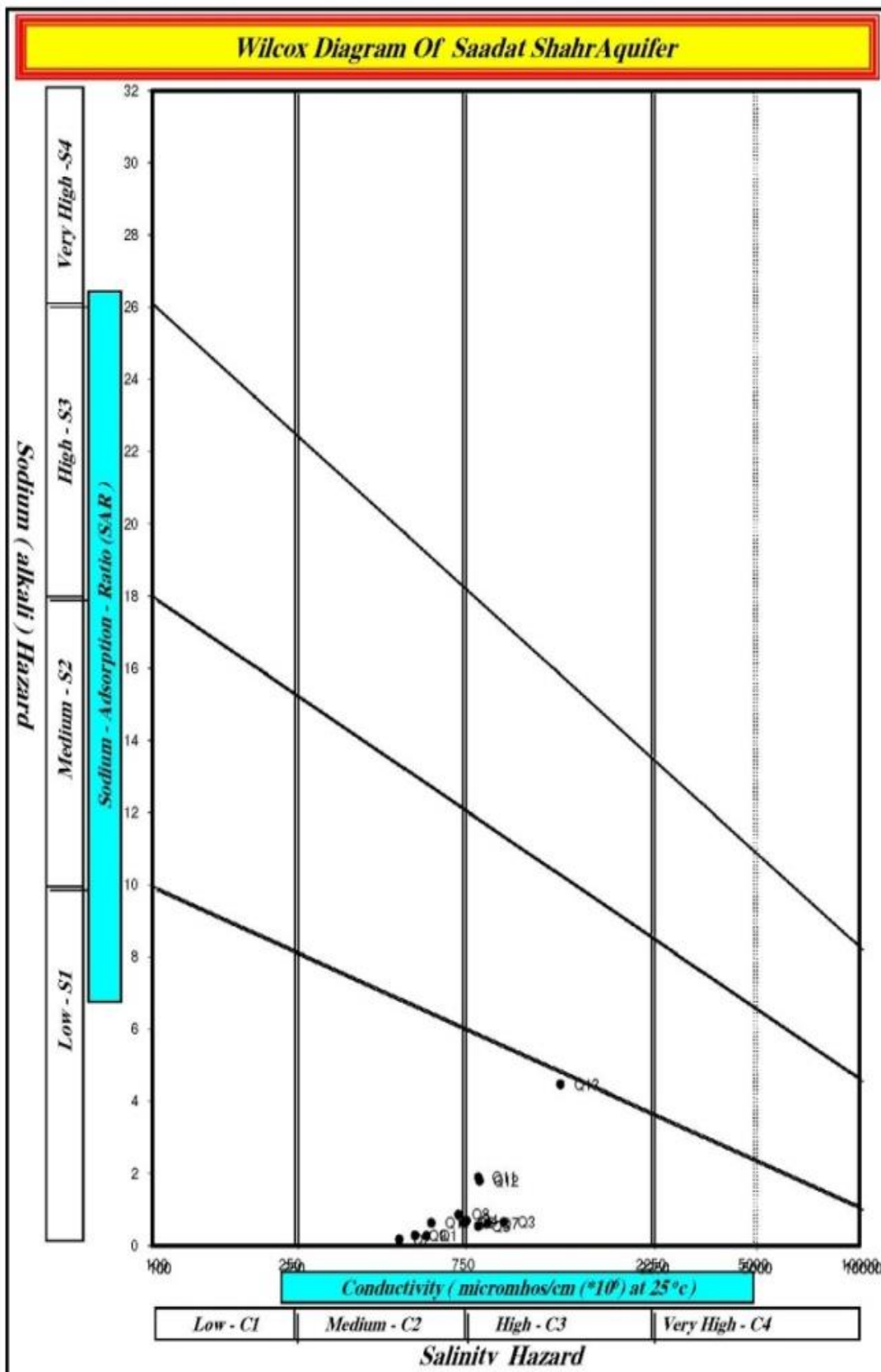
| Sample | Calcite | Dolomite | Gypsum | Halite |
|--------|---------|----------|--------|--------|
| Q1 | 0.25 | -0.02 | -1.91 | -8.01 |
| Q2 | 0.34 | 0.38 | -2.73 | -8.56 |
| Q3 | 0.43 | 1.1 | -1.71 | -7.44 |
| Q4 | 0.52 | 0.82 | -2.2 | -7.28 |
| Q5 | 0.59 | 1.01 | -1.9 | -7.43 |
| Q6 | 0.59 | 0.84 | -2.17 | -7.36 |
| Q7 | 0.44 | 0.71 | -1.58 | -7.43 |
| Q8 | 0.68 | 1.29 | -2.36 | -7.1 |
| Q9 | 0.44 | 0.27 | -2.1 | -8.31 |
| Q10 | 0.53 | 0.77 | -2.15 | -7.59 |
| Q11 | 0.36 | 0.24 | -1.56 | -7.07 |
| Q12 | 0.57 | 0.84 | -1.77 | -6.98 |
| Q13 | 0.28 | 0.63 | -1.61 | -6.23 |

۴-۳-۵- بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف

آب زیرزمینی، در دشت سعادت‌شهر تأمین‌کننده اصلی آب برای مصارف مختلف می‌باشد. کیفیت مناسب آب، به منظور استفاده از آن در بسیاری از مصارف، شرط اولیه و اصلی استفاده از آن است. بنابراین، در این بخش به بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف پرداخته می‌شود.

الف) طبقه‌بندی آب از نظر مصرف کشاورزی

جهت تعیین کیفیت آبهای زیرزمینی از نظر کشاورزی از نمودار ویلکوکس (Wilcox) استفاده می‌شود. این نمودار بر اساس دو معیار هدایت الکتریکی (خطر شوری) و نسبت جذب سدیم (خطر سدیم) به ۱۶ رده تقسیم شده است. رده C1S1 بهترین کیفیت و رده C4S4 بدترین کیفیت را برای مصارف کشاورزی دارا می‌باشند. شکل (۴-۲۰) نمودار ویلکوکس نمونه‌های مربوط به آبهای زیرزمینی سعادت‌شهر را نشان می‌دهد. جدول (۴-۷) نیز وضعیت نمونه‌ها را به تفکیک نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴-۲۰)، مشاهده می‌شود که نمونه‌ها در محدوده‌های C2-S1 و C3-S1 قرار دارند که برای کشاورزی مناسب می‌باشند.



شکل ۴-۲۰- نمودار ویلکوکس نمونه‌های دشت سعادت شهر

جدول ۴-۷- بررسی نمونه‌ها برای مصرف کشاورزی

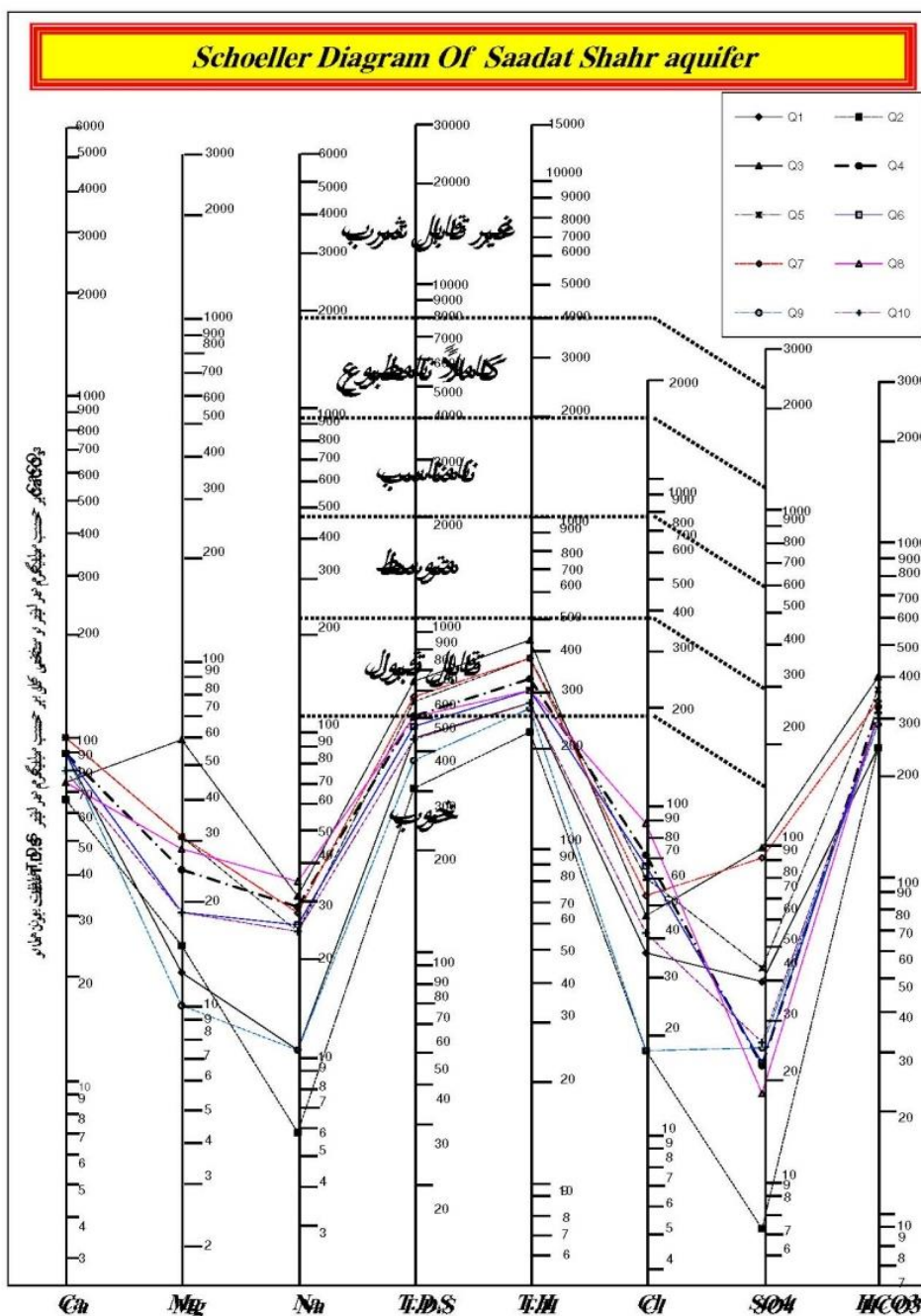
| ردیف | محل نمونه برداری | علامت اختصاری | SAR | EC | کلاس آب | کیفیت آب برای کشاورزی |
|------|------------------|---------------|------|------|---------|---------------------------------|
| 1 | تنگ سعادت شهر | Q1 | 0.27 | 596 | C2-S1 | کمی شور - مناسب برای کشاورزی |
| 2 | جیسقان | Q2 | 0.17 | 499 | C2-S1 | کمی شور - مناسب برای کشاورزی |
| 3 | حسن آباد | Q3 | 0.65 | 986 | C3-S1 | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| 4 | بوکان | Q4 | 0.69 | 774 | C3-S1 | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| 5 | علی آباد کمین | Q5 | 0.54 | 835 | C3-S1 | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| 6 | کوشکک | Q6 | 0.63 | 759 | C3-S1 | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| 7 | دولت آباد | Q7 | 0.62 | 888 | C3-S1 | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| 8 | همت آباد | Q8 | 0.86 | 734 | C2-S1 | کمی شور - مناسب برای کشاورزی |
| 9 | ابوالمهدی | Q9 | 0.28 | 553 | C2-S1 | کمی شور - مناسب برای کشاورزی |
| 10 | قوام آباد ۱ | Q10 | 0.63 | 615 | C2-S1 | کمی شور - مناسب برای کشاورزی |
| 11 | قوام آباد ۲ | Q11 | 1.89 | 835 | C3-S1 | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| 12 | رحمت آباد | Q12 | 1.8 | 842 | C3-S1 | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| 13 | اکبر آباد | Q13 | 4.47 | 1426 | C3-S1 | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |

الف) طبقه‌بندی آب از نظر شرب

نمودار معمول برای بررسی کیفیت آب از نظر شرب نمودار شولر (Schoeller) است. این نمودار از جهت نمایش تعداد زیادی نمونه و سرعت تفسیر برای این منظور مناسب است. در واقع نمودار شولر، به منظور بررسی سریع کیفیت نمونه‌های شیمیایی است که با توجه به استانداردهای موجود، محدوده‌های مختلف کیفیتی روی آن مشخص شده است. نمودار شولر نمونه‌های آبخوان مورد مطالعه در شکل (۴-۲۱) نشان داده شده است.

با توجه به نمودار شولر نمونه‌های دشت، تمامی نمونه‌ها در محدوده خوب تا قابل قبول قرار می‌گیرند. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که نمونه‌ها از نظر سختی میزان بالایی دارند که با توجه به طبیعت کربناته آبخوان طبیعی است. سختی آب با توجه به میزان یون‌های کلسیم و منیزیم دشت تعیین می‌شود. در طبقه‌بندی آب به منظور شرب، علاوه بر یون‌های اصلی برخی یون‌های نادر آب نیز اهمیت دارند. یون‌های نیترات و عناصری چون آرسنیک به دلیل اهمیت از نظر سمی بودن، باید میزان

کنترل شده‌ای در آب شرب داشته باشند. بر این اساس تصمیم‌گیری در مورد استفاده شرب در یک دشت فقط با استفاده از عناصر عمده، کاملاً صحیح نیست. با توجه به گسترش کشاورزی و حجم بالای آبهای نفوذی از آبیاری و آلودگی آنها در نتیجه استفاده از کودهای مختلف، آلودگی آبخوان توسط به آلاینده‌ها، به خصوص یون نیترات دور از انتظار نمی‌باشد.



شکل ۴-۲۱- نمودار شولر نمونه‌های دشت سعادت شهر

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

همانطور که دیده شد آبخوان سعادت شهر آبخوانی آزاد است که به میزان قابل توجهی مورد برداشت قرار گرفته است. کیفیت آب در آبخوان به منظور کشاورزی که استفاده کننده اصلی آب در آبخوان است، مناسب بوده و پاسخگوی نیازهاست. در این فصل به طور مختصر به نتایج حاصله از این تحقیق پرداخته شده و پیشنهادهایی ارائه خواهد گردید.

۵-۱- خصوصیات آبخوان

دشت سعادت شهر که درون یک ناودیس تشکیل شده است، دارای یک آبخوان آزاد است که تغذیه آن از طریق ارتفاعات کربناته اطراف آن و همچنین رودخانه سیوند صورت می پذیرد. جنس رسوبات این دشت با توجه به ارتفاعات اطراف آن عمدتاً کربناته و دانه بندی آن تحت تأثیر فاصله از ارتفاعات و همچنین رودخانه سیوند، در بخش غربی و همچنین در بخش شرقی (در زیر شهر سعادت شهر) دانه درشت تر و در مرکز دانه ریزتر می باشند. عمق سنگ کف در این دشت از حاشیه ها به سمت مرکز افزایش می یابد.

۵-۲- هیدروژئولوژی آبخوان

بررسی های صورت گرفته در خصوص هیدروژئولوژی آبخوان دشت سعادت شهر با توجه به ۱۶ حلقه چاه که به عنوان پیرومتر مورد استفاده بوده اند، صورت پذیرفته است. با توجه به نقشه های تهیه شده از آبخوان، جهت عمومی حرکت آب زیرزمینی از شرق به غرب بوده و آبخوان توسط کلیه ارتفاعات

اطراف خود در حال تغذیه است. در بخش غربی دشت شرایط از نظر کمی مناسب بوده و دشت توسط ارتفاعات و همچنین رودخانه سیوند در حال تغذیه است که با توجه به دانه درشت بودن رسوبات، تغذیه به خوبی صورت می‌پذیرد. میزان افت در این قسمت از همه نقاط کمتر بوده و در برخی نقاط افقی مشاهده نمی‌شود. در بخش مرکزی دشت، علاوه بر دانه ریز بودن بافت آبخوان، برداشت زیادی نیز از دشت صورت می‌پذیرد که باعث افت سطح ایستابی شده است. بخش شرقی دشت با توجه به تغذیه کمتر نسبت به سایر نقاط بیشترین افت را متحمل شده است. میزان افت در این بخش به ۱۶ متر نیز می‌رسد که حداکثر میزان در سراسر دشت است. گرادیان هیدرولیکی در قسمت مرکزی آبخوان حداقل است که به دلیل ریزدانه بودن مواد آبخوان می‌باشد. پارامترهای هیدرولیکی آبخوان با توجه تعداد کم آزمایشات پمپاژ قابل درون‌یابی نیستند، ولی در سه موردی که انجام شده‌اند، با سایر پارامترها مانند شیب هیدرولیکی همخوانی دارند. تغذیه مناسب دشت از ارتفاعات اطراف آن از نکات قابل توجه در دشت است. عمق سطح ایستابی در بخش شرقی به ۳۳ متر، در مرکز دشت به ۱۲ متر و در بخش غربی به ۳۰ متری سطح زمین می‌رسد.

۵-۳- تغییرات سطح ایستابی در بلندمدت

به منظور بررسی تغییرات بلندمدت سطح ایستابی در نقاط مختلف دشت، از هیدروگراف استفاده شده است. بررسی هیدروگراف‌ها نشان می‌دهد که در بخش شرقی دشت نسبت به بخش غربی تغییرات بیشتر بوده و در بخش شرقی نوسانات کمتر است. به منظور بررسی تغییرات سطح ایستابی در دشت، مساحت آبخوان به دو بخش تقسیم شد که بخش غربی با میانگین ۳/۳۴ متر و بخش شرقی با میانگین ۱۱/۰۳ متر افت مشخص شدند. همانگونه که ذکر گردید، به دلیل تغذیه مناسب در بخش غربی وضعیت این بخش مناسب‌تر است. بررسی هیدروگراف واحد دشت، نشان‌دهنده سیر نزولی سطح ایستابی می‌باشد. افزایش اندک بارندگی تأثیری بر این روند نداشته است. در چند سال گذشته نیز کاهش‌های سطح ایستابی در نتیجه کاهش بارندگی در دشت اتفاق افتاده است که با افزایش بارندگی جبران شده است. سیر نزولی سطح ایستابی در دوره دارای آمار دشت از نظر شیب هیدروگراف بی-سابقه است.

۴-۵- بیلان آب زیرزمینی

محاسبات بیلان مربوط به سال ۱۳۸۴ است، که تا حد امکان با استفاده از داده‌های آمار برداری سال ۱۳۸۹ به روز شده است. با توجه به این محاسبات، میزان کاهش آب آبخوان در حدود ۱۳ میلیون متر مکعب برآورد شده است. با توجه به بیلان منفی دشت، برداشت از آبخوان بیش از میزان ورودی‌های دشت است. لزوم مدیریت صحیح آبخوان به منظور کاهش این رقم ضروری به نظر می‌رسد.

۵-۵- هیدروژئوشیمی آبخوان

بررسی‌های هیدروژئوشیمی آبخوان با استفاده از ۱۳ نمونه صورت گرفته است. این نمونه‌ها مربوط به شهریورماه ۱۳۸۹ می‌باشند. به منظور بررسی صحت این داده‌ها همبستگی آنها با اندازه‌گیری‌های سال‌های قبل انجام شده است. با بررسی هیدروژئوشیمی آبخوان مشخص گردید که میزان مواد محلول آب شدیداً تحت تأثیر زمین‌شناسی و مناطق تغذیه آبخوان است. نتایج بررسی‌های مختلف به صورت زیر هستند:

الف) بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی در منطقه

روند تغییرات هدایت الکتریکی دشت با توجه به نقشه هدایت الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این نقشه، مقدار هدایت الکتریکی از کناره‌های دشت به سمت مرکز افزایش می‌یابد. این روند از جهت جریان آب زیرزمینی تبعیت نمی‌کند و پس از عبور از بخش مرکزی آبخوان با ورود رودخانه سیوند به دشت شروع به کاهش می‌کند. کیفیت مناسب آب موجود در سفره‌های کارستی مجاور باعث شده که آب موجود در آبخوان کیفیت مناسبی داشته باشد، به طوری که بیشینه هدایت الکتریکی از ۱۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند و در اکثر نواحی این عدد زیر هزار است. در نقشه هدایت الکتریکی دشت اثر تغذیه از سازندهای آهکی اطراف واضح است. از نکات قابل توجه دیگر موجود در نقشه هدایت الکتریکی کاهش فاصله خطوط در بخش مرکزی دشت، یعنی افزایش سرعت افزایش املاح موجود در آب در بخش مرکزی است که با افزایش خطوط هم‌پتانسیل که نشان‌دهنده کاهش سرعت حرکت آب است، هماهنگی دارد.

ب) بررسی تغییرات سایر یونها

برای بررسی هیدروژنوشیمی آبخوان، علاوه بر نقشه هدایت الکتریکی، نقشه برخی یونهای مهم مانند سدیم، کلر و بیکربنات نیز ترسیم شده است. روند کلی تغییرات این یونها نیز از تغییرات هدایت الکتریکی تبعیت می‌نماید. یون کلر به دلیل عملکرد محافظ کارانه و عدم شرکت در واکنش‌های شیمیایی فرضیه کاهش هدایت الکتریکی در نتیجه تغذیه را تأیید می‌نماید. با استفاده از نسبت این یون به مجموع آنیونها منشأ انحلالی این یون تأیید شد. کاتیون سدیم که وابستگی آن با آنیون کلر نشان‌دهنده انحلال کانی‌هالیت در مواد آبخوان است، نیز روند تغییراتی مشابه با دو مورد قبل را نشان می‌دهد. نرخ تغییرات این یون با یون‌های قبلی اندکی متفاوت است که در نتیجه تبادل یونی و جانشینی کلسیم در آب زیرزمینی است. یون بیکربنات نیز که آنیون غالب در آب آبخوان است روند فوق را نشان می‌دهد.

ج) بررسی هیدروژنوشیمی آبخوان با توجه به نمودارهای ترکیبی

نمودارهای ترکیبی به منظور بررسی فرآیندهای تأثیرگذار بر تکامل هیدروژنوشیمی آبخوان و تفسیر آنها استفاده شده است. نمودارهایی که به این منظور استفاده شدند نمودارهای کلسیم در برابر سولفات، سدیم در برابر کلر، مجموع کلسیم و منیزیم در برابر سولفات و بیکربنات، و $[Na+K-Cl]$ در برابر $[(Ca+Mg)-(HCO_3+SO_4)]$ می‌باشند. نتایج حاصل از این نمودارها حاکی از آن است که انحلال ژپس نقش چندانی در هیدروژنوشیمی آبخوان ندارد و انحلال کلسیت و دولومیت منشأ اصلی کلسیم و منیزیم دشت است. همچنین منشأ سدیم و کلر از انحلال هالیت است. نسبت این دو یون و همچنین نمودار $[Na+K-Cl]$ در برابر $[(Ca+Mg)-(HCO_3+SO_4)]$ حاکی از روی دادن فرآیندهای تبادل یونی در برخی مناطق دشت است. تغییرات این نمونه‌ها اختلاط آب را دلیل تفاوت هیدروژنوشیمی بخش غربی و شرقی دشت نشان می‌دهند.

د) جمع‌بندی نتایج هیدروژئوشیمی دشت

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، به نظر می‌رسد که آبخوان سعادت‌شهر از ارتفاعات اطراف خود در تمامی قسمت‌ها در حال تغذیه است. املاح موجود در آب زیرزمینی طی حرکت خود در دشت از غرب به شرق، تا مرکز دشت افزایش یافته و پس از آن با ورود به بخش غربی دشت، تحت تأثیر جریان‌های ورودی از رودخانه و همچنین ارتفاعات اطراف خود قرار می‌گیرد به صورتی که کیفیت بسیار مناسب آبهای ورودی هدایت الکتریکی را به شدت کاهش می‌دهد. همچنین در مرکز دشت به دلیل دانه ریز بودن رسوبات و جنس آنها فرآیند تبادل یونی صورت می‌پذیرد که شواهد آن در آبهای اختلاط یافته نیز مشاهده می‌شود.

ه) ارزیابی آب برای مصارف مختلف

آب زیرزمینی در دشت سعادت‌شهر به طور کلی کیفیت مناسبی دارد. با توجه به مصارف مختلف و استانداردهای موجود برای آنها، آب موجود در آبخوان مورد بررسی قرار گرفت. در بخش شرب، کیفیت آب خوب تا قابل قبول می‌باشد. این بررسی تنها بر اساس یون‌های اصلی و پارامترهای وابسته به آن صورت پذیرفت و برخی استانداردهای مورد نیاز از نظر سایر یون‌ها بررسی نشده است. در بخش کشاورزی نیز کیفیت آبها در محدوده کمی شور تا شور قرار می‌گیرد و برای کشاورزی مناسب است.

۶-۵- پیشنهادها

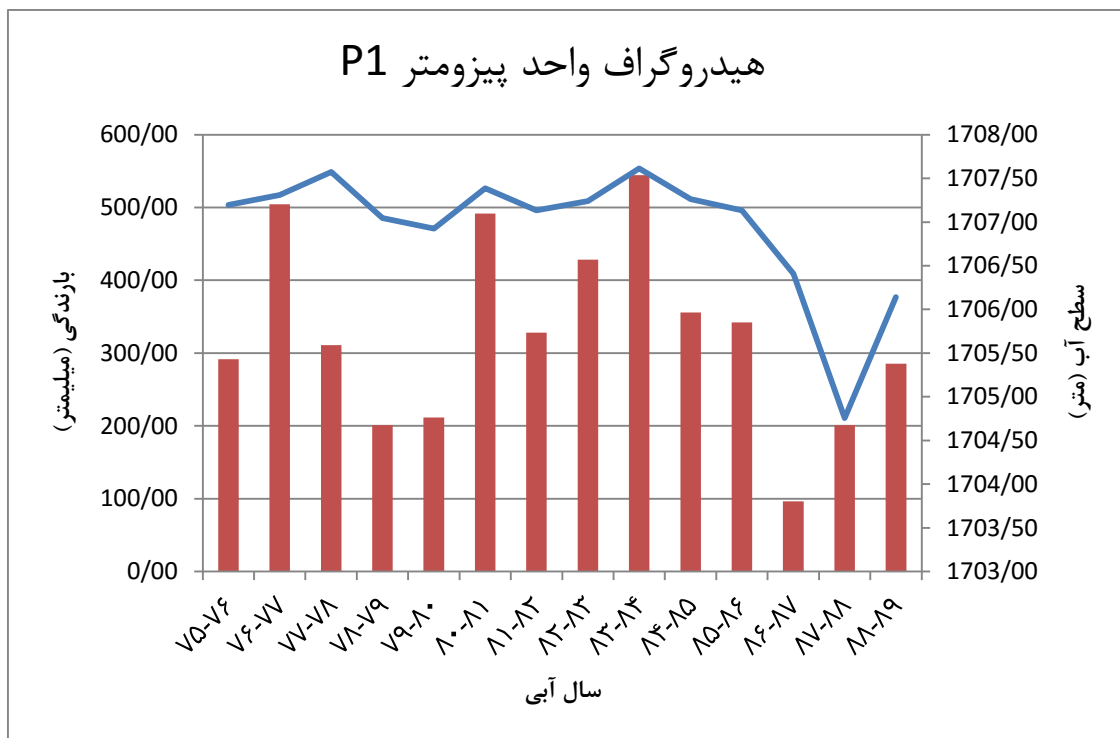
به منظور بررسی دقیق‌تر و شناسایی جامع‌تر آبخوان، و همچنین استفاده بهتر از آب زیرزمینی موجود در آبخوان پیشنهادهای زیرارائه می‌شود:

- طراحی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای بیشتر در منطقه به منظور بررسی دقیق‌تر سطح آب در آبخوان
- نمونه‌برداری هیدروژئوشیمی گسترده‌تر به منظور مشخص شدن کیفیت شیمیایی آب به صورت دقیق‌تر به خصوص در مرکز دشت
- انجام تعداد بیشتری آزمایش پمپاژ در دشت، به منظور تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی در

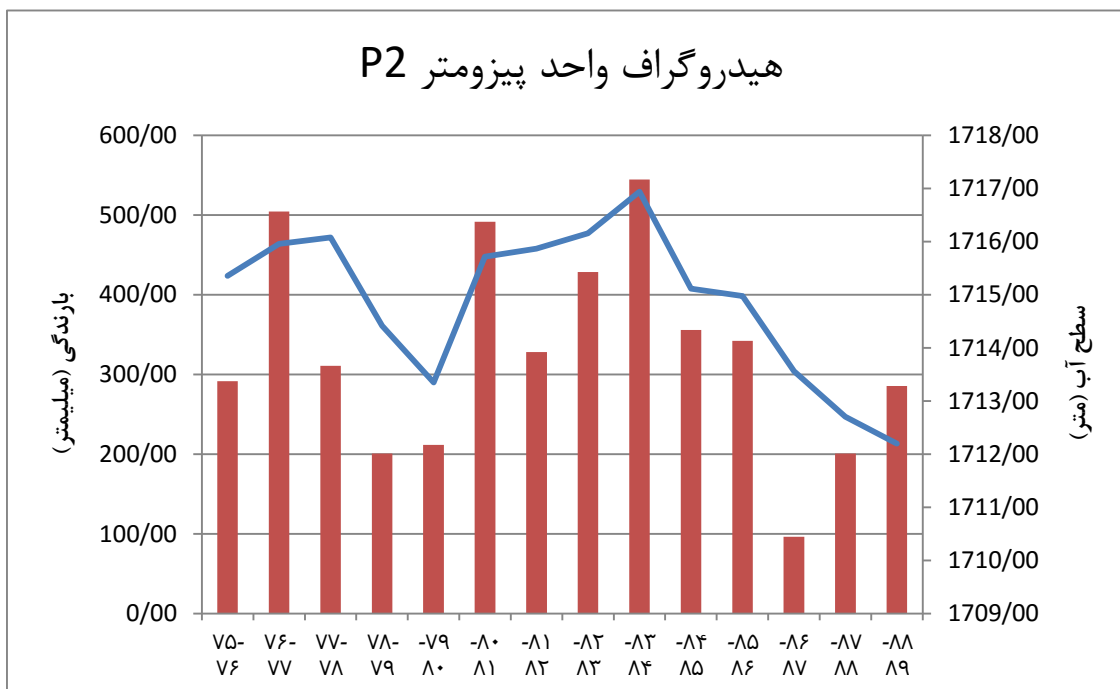
نقاط مختلف دشت

- مدیریت برداشت آب از آبخوان به خصوص در مرکز و شرق دشت که افت سطح ایستابی شدیدتر است؛ به این منظور می توان آب را از بخش غربی به بخش شرقی دشت منتقل نمود.
- تعیین منشأ یون ها به روش بیلان جرمی، می تواند برای درک و تفسیر بهتر هیدروژئوشیمی دشت انجام شود.
- با توجه به کیفیت مناسب آب، به خصوص در حواشی دشت می توان از آبهای زیرزمینی به عنوان آبهای شرب مناسب استفاده نمود.

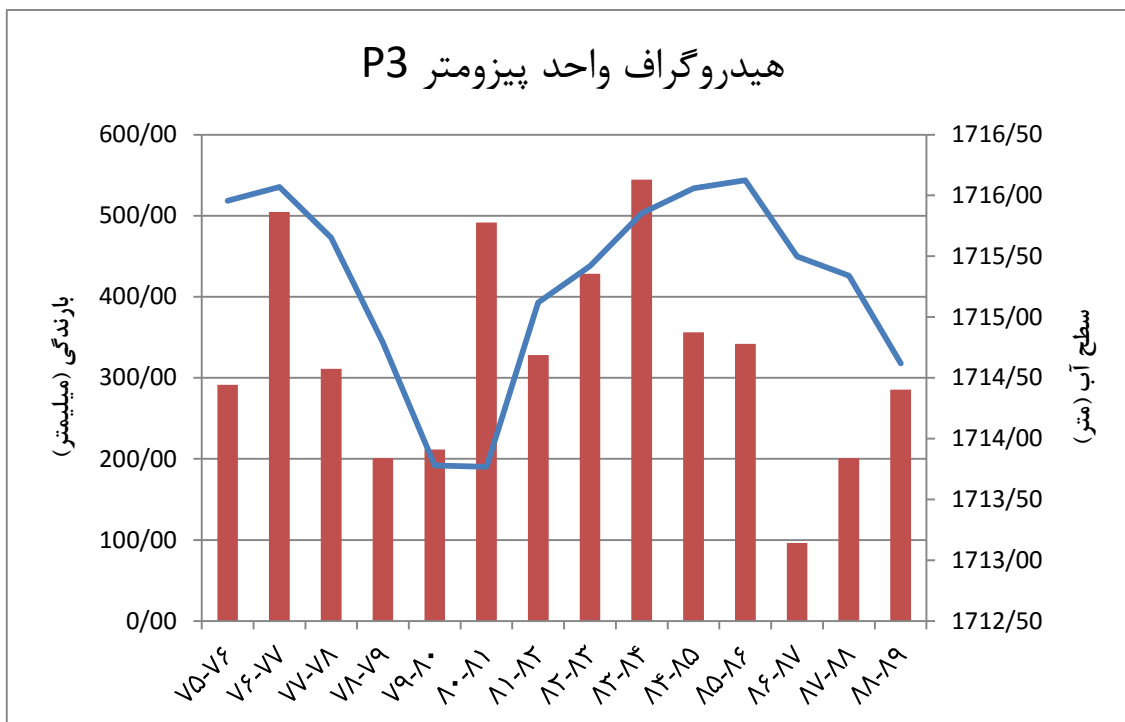
پیوست‌ها



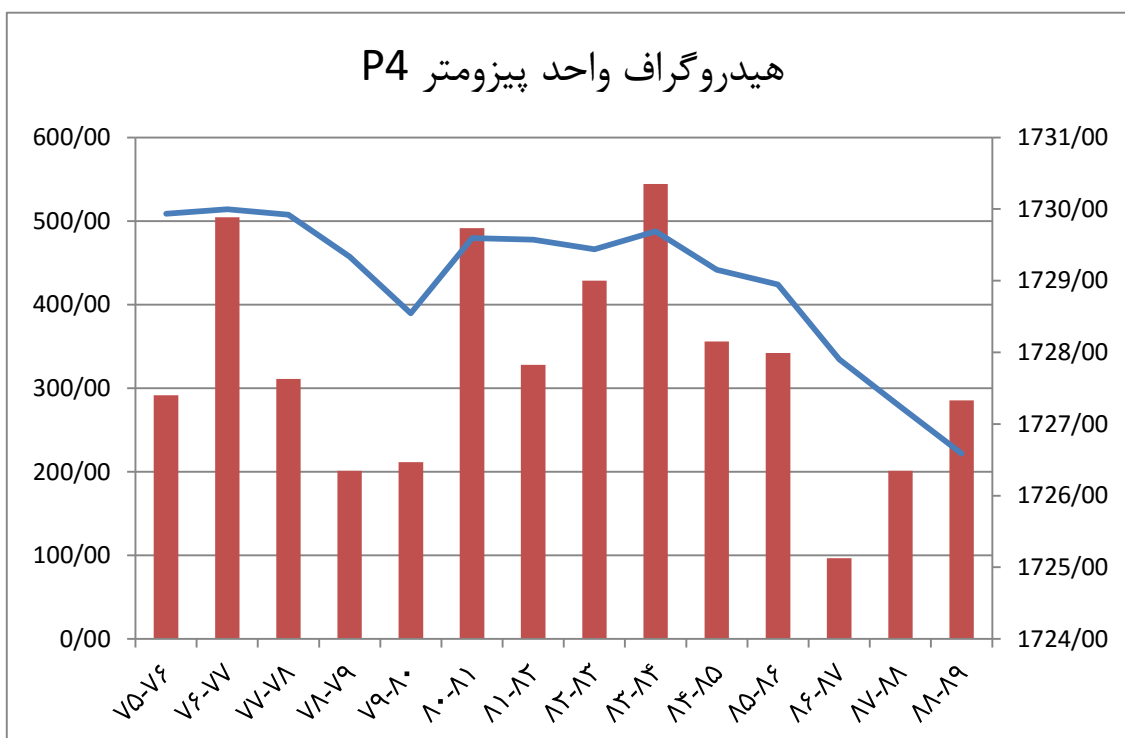
شکل پیوست ۱ - هیدروگراف واحد پیزومتر P1



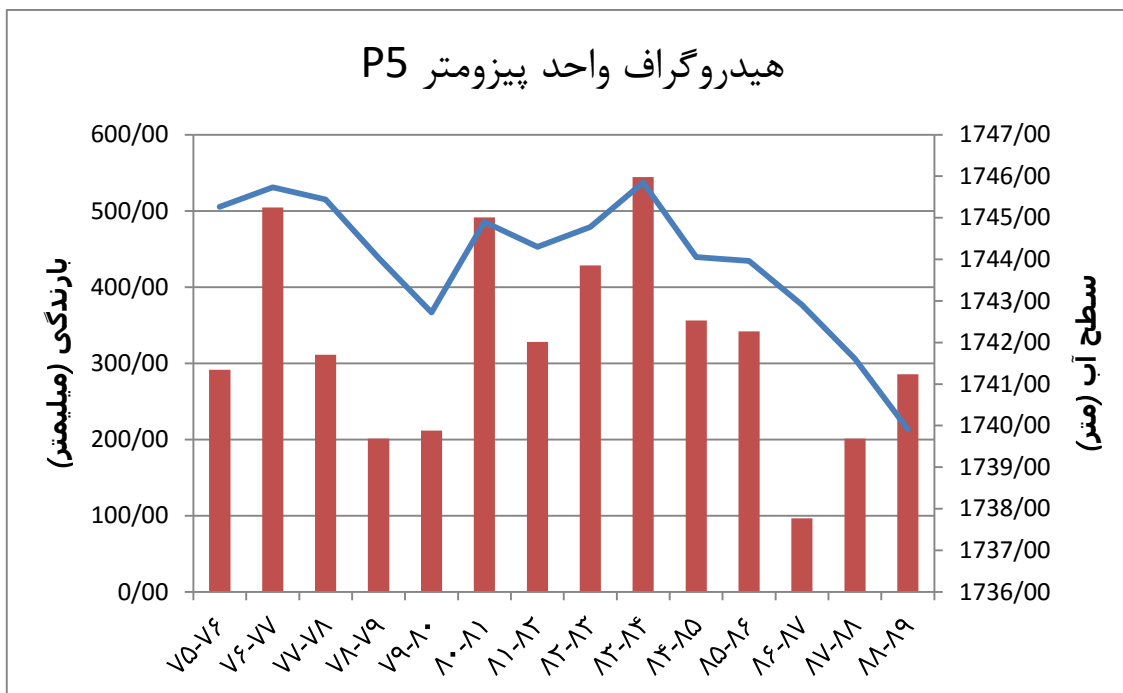
شکل پیوست ۲ - هیدروگراف واحد پیزومتر P2



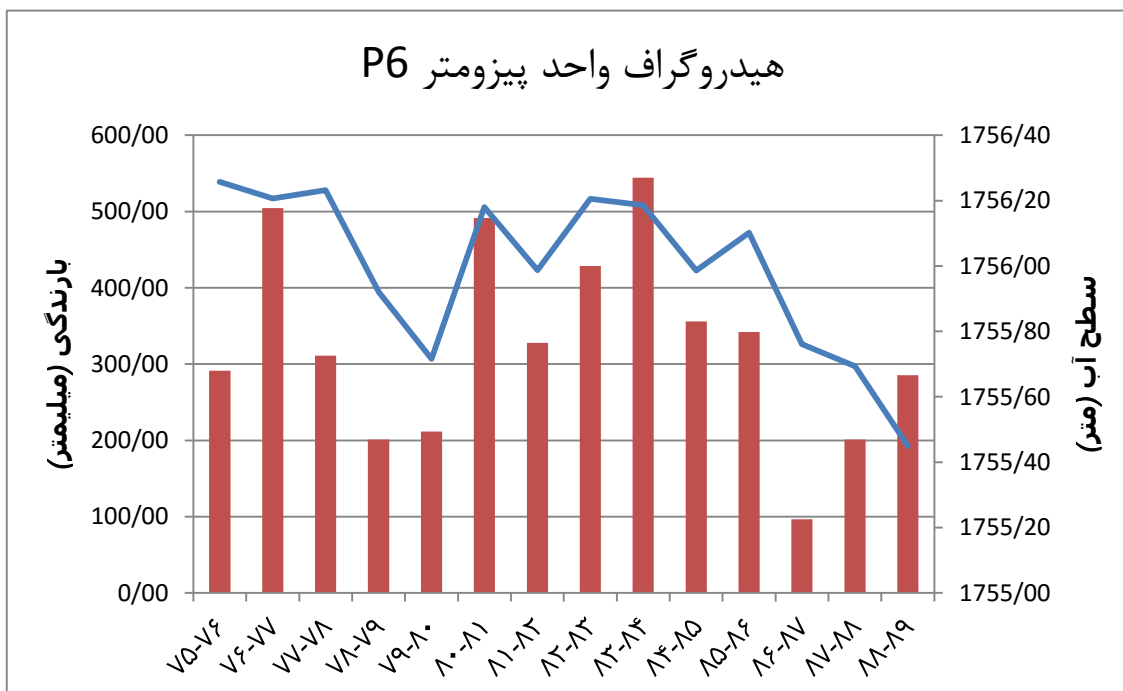
شکل پیوست ۳ - هیدروگراف واحد پیزومتر P3



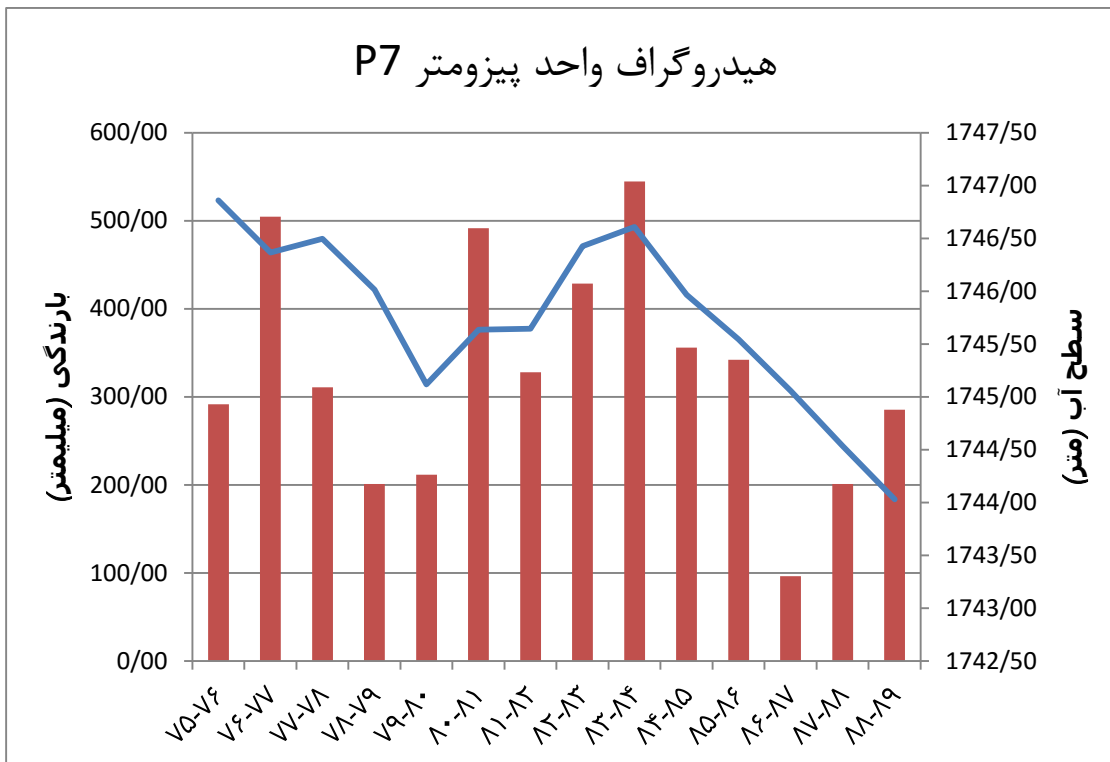
شکل پیوست ۴ - هیدروگراف واحد پیزومتر P4



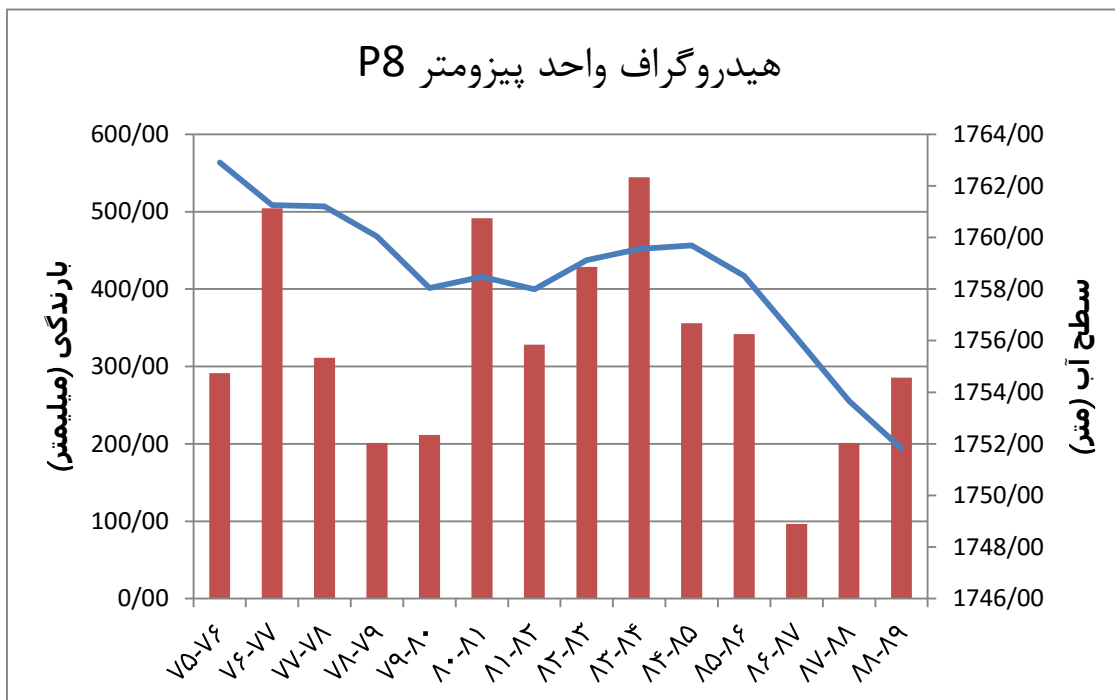
شکل پیوست ۵ - هیدروگراف واحد پیزومتر P5



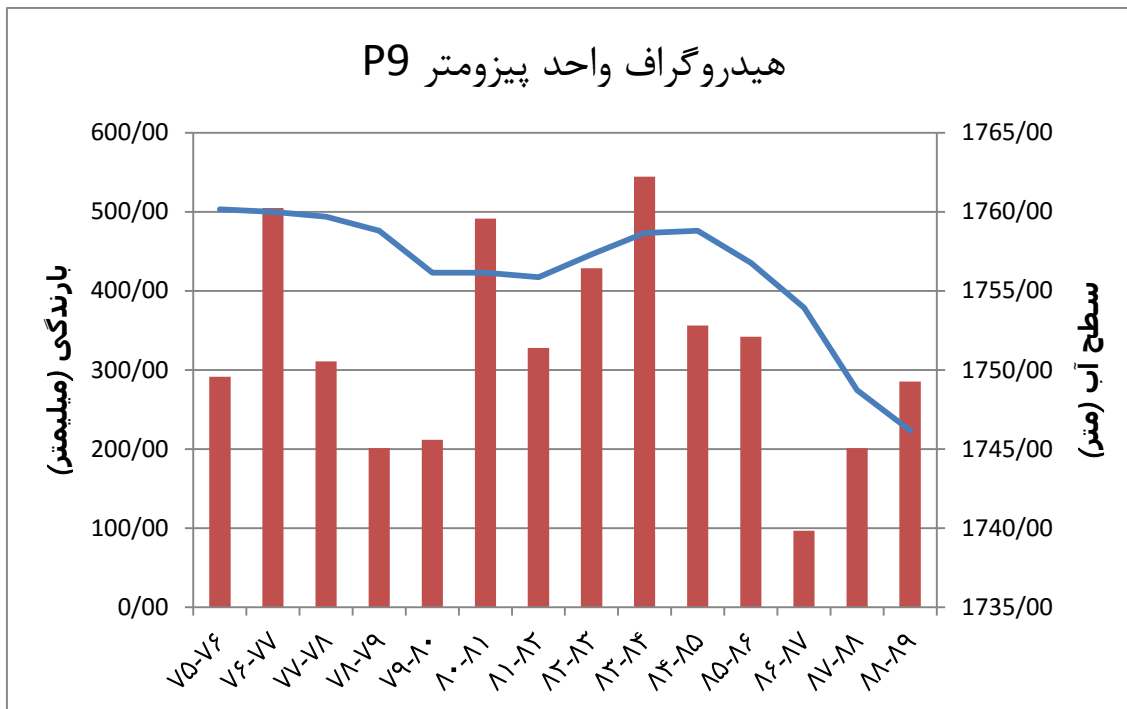
شکل پیوست ۶ - هیدروگراف واحد پیزومتر P6



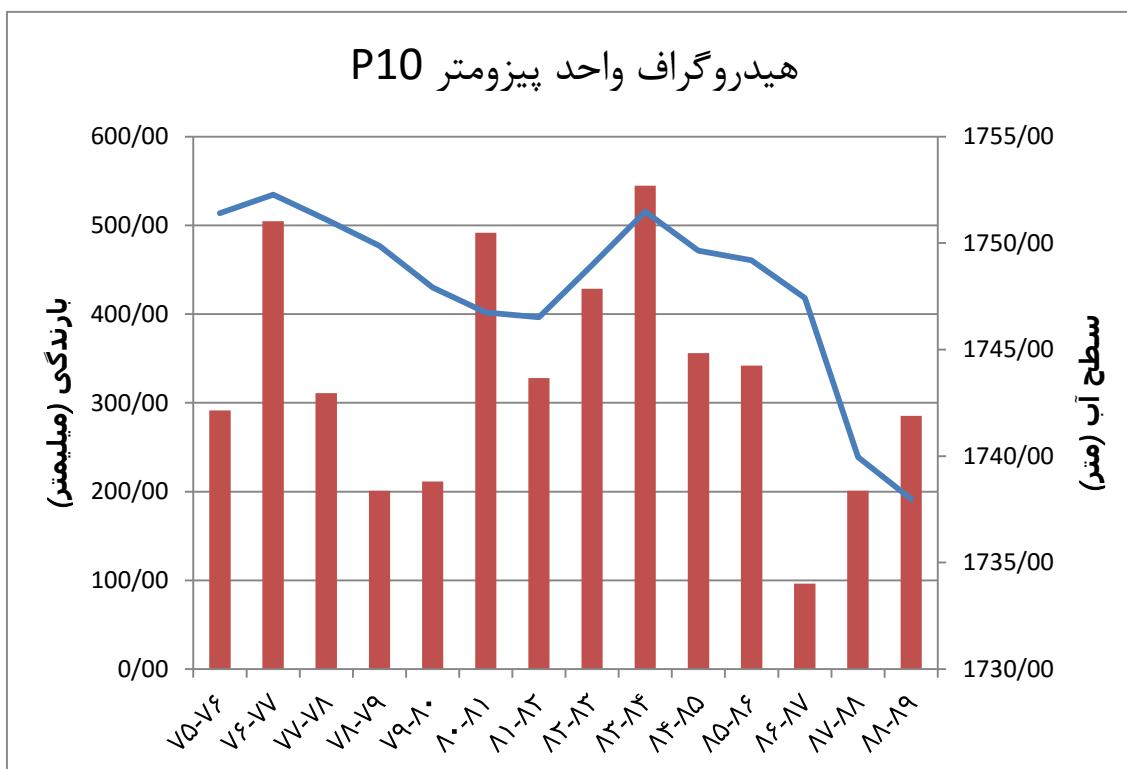
شکل پیوست ۷ - هیدروگراف واحد پیزومتر P7



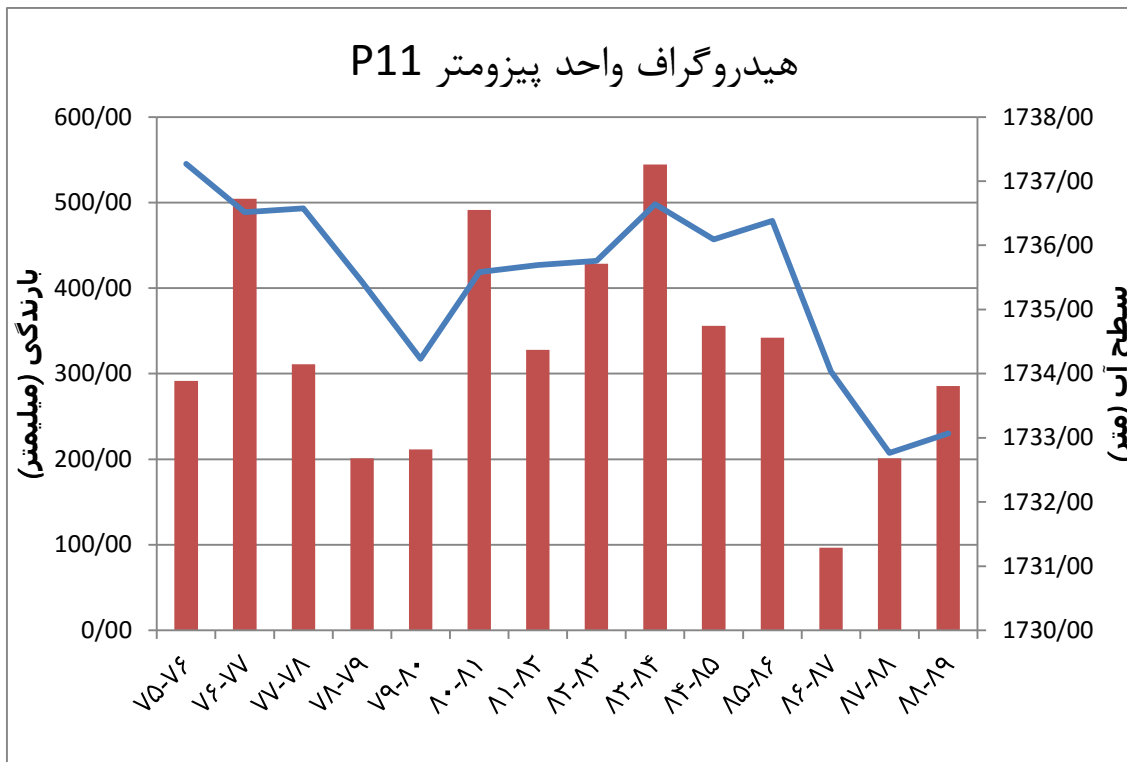
شکل پیوست ۸ - هیدروگراف واحد پیزومتر P8



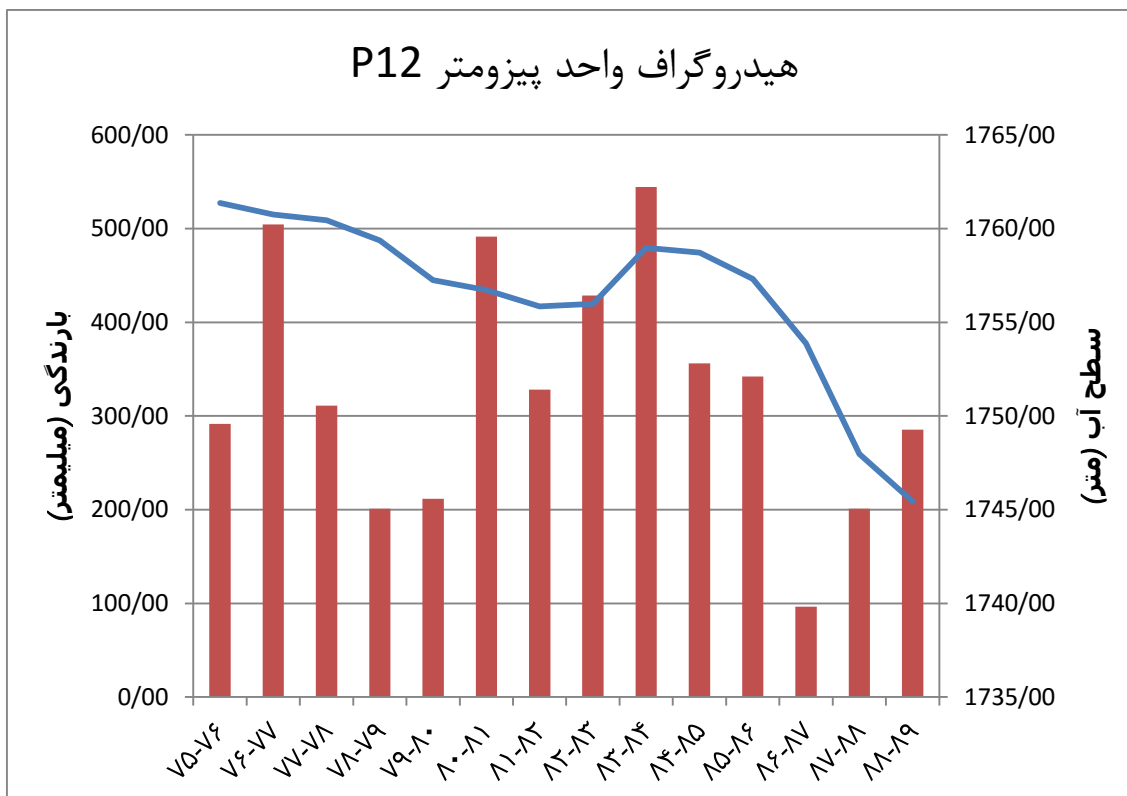
شکل پیوست ۹ - هیدروگراف واحد پیزومتر P9



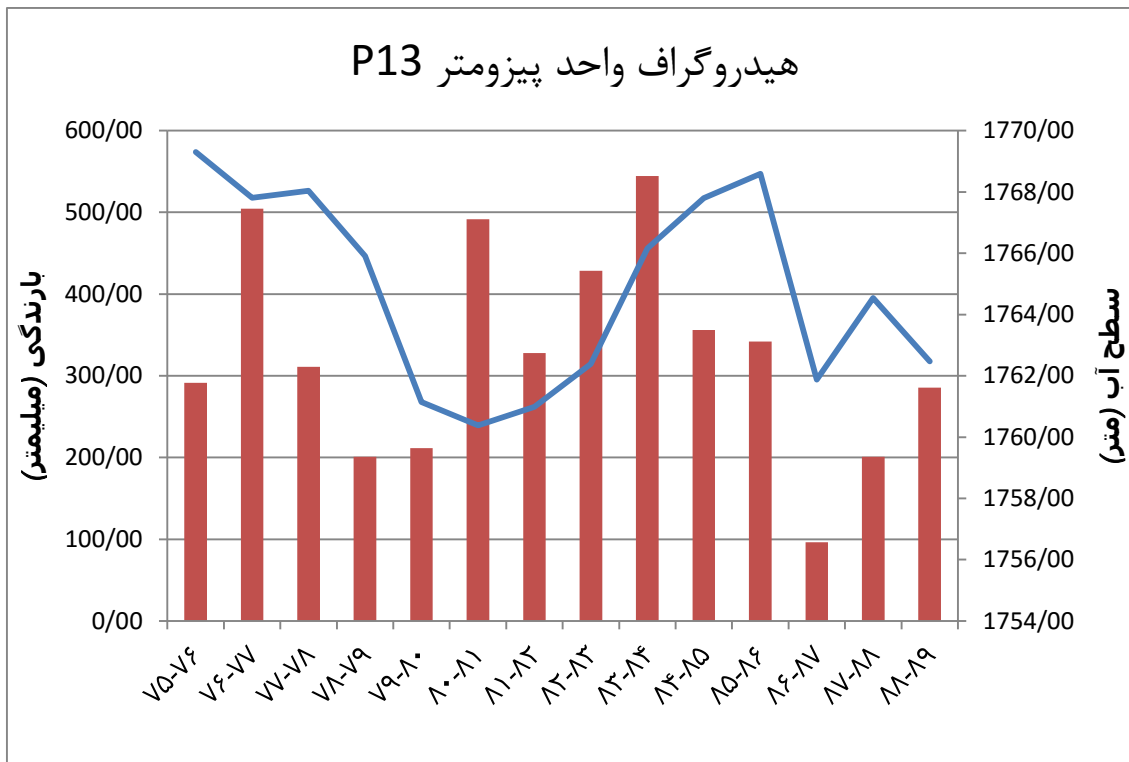
شکل پیوست ۱۰ - هیدروگراف واحد پیزومتر P10



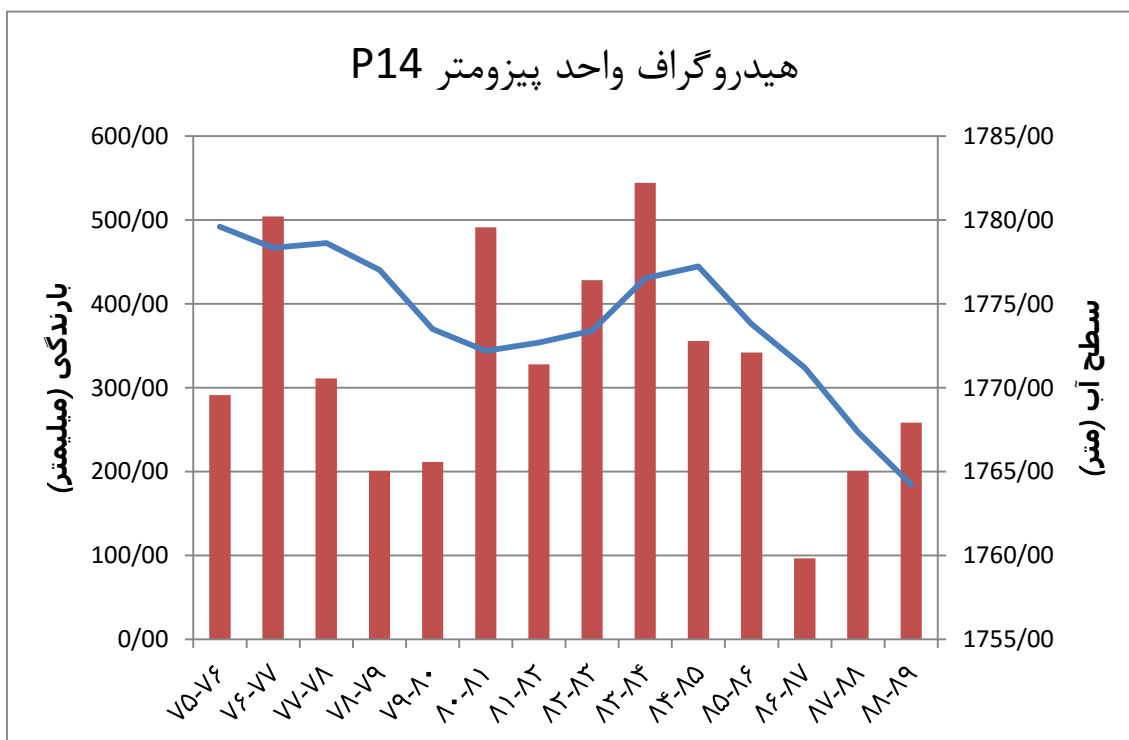
شکل پیوست ۱۱ - هیدروگراف واحد پیزومتر P11



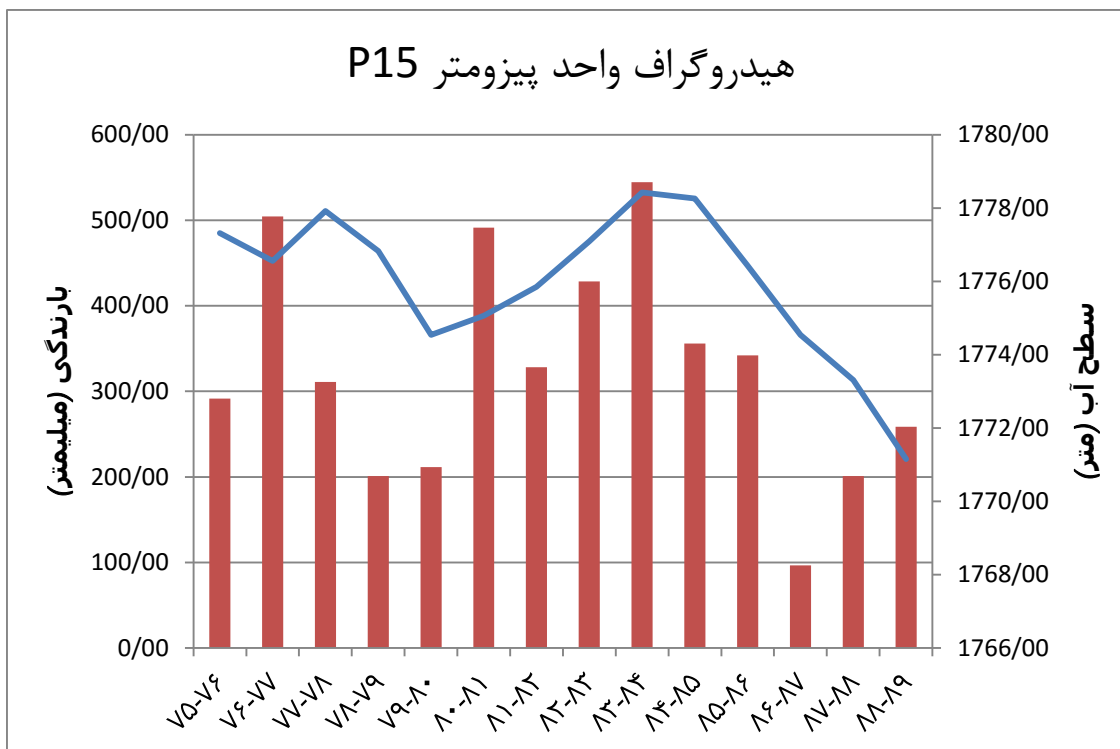
شکل پیوست ۱۲ - هیدروگراف واحد پیزومتر P12



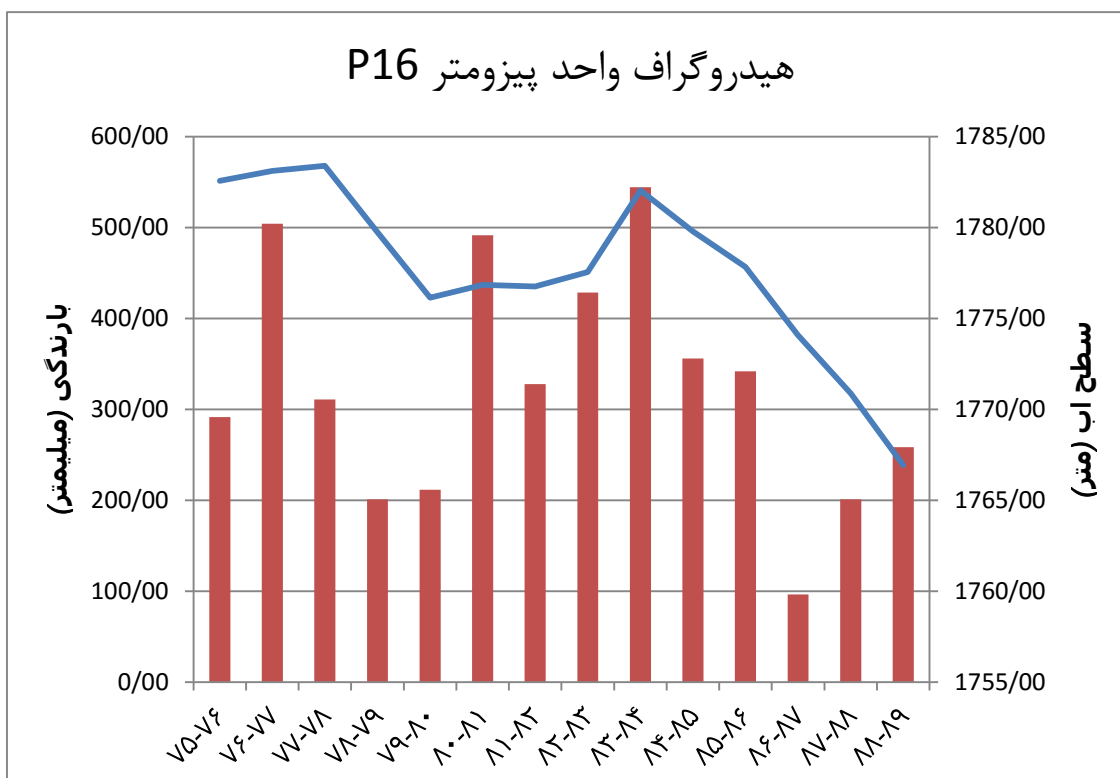
شکل پیوست ۱۳ - هیدروگراف واحد پیزومتر P13



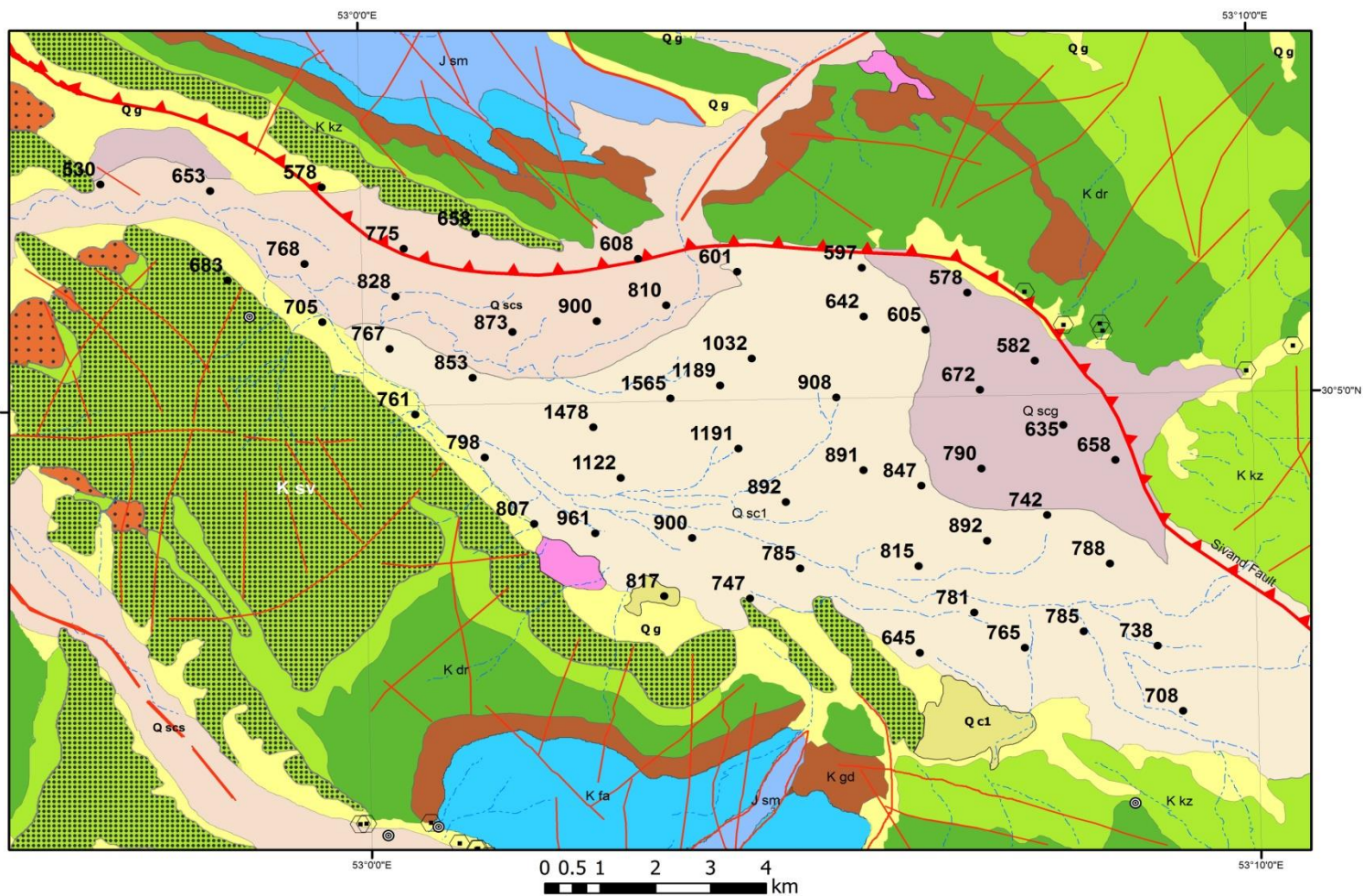
شکل پیوست ۱۴ - هیدروگراف واحد پیزومتر P14



شکل پیوست ۱۵ - هیدروگراف واحد پیزومتر P15



شکل پیوست ۱۶ - هیدروگراف واحد پیزومتر P16



شکل پیوست ۱۷ - مقادیر هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در منطقه

جدول پیوست ۲ - مختصات جغرافیایی مقادیر هدایت الکتریکی

| Number | UTMx | UTMy | EC | Number | UTMx | UTMy | EC | Number | UTMx | UTMy | EC |
|--------|--------|---------|------|--------|--------|---------|------|--------|--------|---------|-----|
| 1 | 702831 | 3328198 | 847 | 19 | 696932 | 3327291 | 961 | 37 | 704704 | 3325109 | 765 |
| 2 | 701785 | 3328496 | 891 | 20 | 696894 | 3329312 | 1478 | 38 | 693467 | 3332718 | 775 |
| 3 | 696961 | 3331334 | 900 | 21 | 699192 | 3330110 | 1189 | 39 | 691673 | 3332425 | 768 |
| 4 | 699764 | 3330625 | 1032 | 22 | 694713 | 3330256 | 853 | 40 | 691995 | 3331317 | 705 |
| 5 | 699731 | 3326049 | 747 | 23 | 705396 | 3329356 | 635 | 41 | 691981 | 3333890 | 578 |
| 6 | 700638 | 3326621 | 785 | 24 | 703890 | 3330028 | 672 | 42 | 689965 | 3333816 | 653 |
| 7 | 703788 | 3325782 | 781 | 25 | 703662 | 3331879 | 578 | 43 | 694769 | 3333001 | 658 |
| 8 | 697394 | 3328346 | 1122 | 26 | 693318 | 3331806 | 828 | 44 | 687978 | 3333943 | 530 |
| 9 | 702780 | 3326668 | 815 | 27 | 693212 | 3330805 | 767 | 45 | 693678 | 3329556 | 761 |
| 10 | 706244 | 3326716 | 788 | 28 | 704882 | 3330581 | 582 | 46 | 705768 | 3325424 | 785 |
| 11 | 702804 | 3325012 | 645 | 29 | 698217 | 3331640 | 810 | 47 | 690280 | 3332114 | 683 |
| 12 | 707564 | 3323907 | 708 | 30 | 703915 | 3328528 | 790 | 48 | 704022 | 3327148 | 892 |
| 13 | 698178 | 3326092 | 817 | 31 | 701292 | 3329880 | 908 | 49 | 701790 | 3331423 | 642 |
| 14 | 695431 | 3331131 | 873 | 32 | 699521 | 3328908 | 1191 | 50 | 701753 | 3332353 | 597 |
| 15 | 700378 | 3327885 | 892 | 33 | 698686 | 3327202 | 900 | 51 | 706342 | 3328692 | 658 |
| 16 | 695829 | 3327469 | 807 | 34 | 699497 | 3332278 | 601 | 52 | 705106 | 3327643 | 742 |
| 17 | 694934 | 3328735 | 798 | 35 | 702908 | 3331172 | 605 | 53 | 707105 | 3325150 | 738 |
| 18 | 698291 | 3329861 | 1565 | 36 | 697706 | 3332523 | 608 | 54 | 698217 | 3331640 | 810 |

منابع فارسی

۱. آباد، م.، اونق، م.، مساعدی، ا.، و زین الدینی، ع. (۱۳۸۵). بررسی اثر افت سطح ایستابی در شوری آبهای زیرزمینی منطقه زید آباد سیرجان. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال سیزدهم، شماره دوم*، نسخه آنلاین.
۲. آقاناتی، ع.، (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۳. اصغری مقدم، ا.، و فیجانی، ا. (۱۳۸۶). *مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی آبخوانهای بازالتی و کارستی منطقه ماکو در ارتباط با سازندهای منطقه*. دانشگاه تبریز: پایان نامه کارشناسی ارشد.
۴. بساکی، م.، کرمی، غ.، و حافظی مقدس، ن. (۱۳۸۹). *بررسی اختلاف کمی و کیفی آب زیرزمینی در بخش‌های شرقی و غربی آبخوان کردکوی*. دانشگاه صنعتی شاهرود: پایان نامه کارشناسی ارشد.
۵. بساکی، م.، کرمی، غ.، و حافظی مقدس، ن. (۱۳۸۹). *بررسی تقلیل کیفیت آب در بعضی قسمتهای آبخوان کردکوی*. همایش ملی آب پاک با رویکرد منطقه ای. تهران.
۶. جودوی، ع.، زارع، م.، و اعتمادی، ب. (۱۳۸۷). *هیدروژئوشیمی و منشأ شوری آب زیرزمینی دشت فیض آباد*. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، (ص. ۴۱۱-۴۱۵). اهواز.
۷. حاجی زاده، ه.، کرمی، غ.، و سعادت، س. (۱۳۸۵). *ارزیابی زیست محیطی آبهای زیرزمینی در فیروزآباد شاهرود*. مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. دانشگاه تربیت مدرس: ۲۰۷۳-۲۰۸۱.
۸. خدابخش، س (۱۳۸۳) *راهنمای تدوین پایان‌نامه برای دانشجویان علوم پایه*، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
۹. رئیسی، ع. ا. (۱۳۷۴). *اثر گنبد نمکی گزطویله بر روی آبهای کارستی و آبرفتی مجاور*. مجموعه مقالات نخستین همایش علمی انجمن زمین شناسی ایران، (ص. ۱۲۵-۱۲۹). تهران.
۱۰. زارعی، ح.، و اژدری، ع. (۱۳۸۵). *کیفیت شیمیایی منابع آب حوضه آبریز سد ابولفارس و تاثیر سازند گچساران بر آن*. مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، (ص. ۷۰-۸۰).

دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۱۱. شریف زاده، ب.، محمدی، ض.، و زارع، م. (۱۳۸۷). بررسی فرآیندهای تاثیر گذار بر آبهای زیرزمینی دشت آبدان بوشهر. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، (ص. ۲۴۳-۲۵۰). اهواز.

۱۲. صداقت، م. (۱۳۸۲). زمین و منابع آب (آبهای زیرزمینی). انتشارات دانشگاه پیام نور.

۱۳. کاظمی گلپان، ر.، کمالی، م.، و محمدی گلرنگ، ب. (۱۳۸۲). بررسی رفتار آبخوان های آبرفتی با استفاده از هیدروگراف چاه های پیژومتری (مطالعه موردی دشت شیروان - قوچان). مجموعه مقالات هفتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه اصفهان، (ص. ۱۱۲-۱۲۲). اصفهان.

۱۴. گزارش بیان محدوده مطالعاتی سعادت آباد در سال ۱۳۸۵-۱۳۸۴ (منتشر شده در ۱۳۸۷)، مهندسین مشاور فارساب صنعت به سفارش شرکت سهامی آب منطقه ای فارس، شیراز

۱۵. آماربرداری محدوده مطالعاتی سعادت آباد (داده های خام) (۱۳۹۰)، شرکت مهندسین مشاور پویاب فارس، شیراز

۱۶. علیزاده، ا. (۱۳۸۹). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا. (۸۷۰ص)

۱۷. نقشه راه های ایران با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰ (۱۳۸۵) موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی

۱۸. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سعادت شهر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۱۹. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سیوند، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۲۰. نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ اقلید، سازمان زمین شناسی کشور

۲۱. نقشه عملیات مشترک (زمینی) اقلید با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان جغرافیایی ارتش

منابع لاتين

1. Abid, K., Zouari, K., Dulinski, M., Chkir, N., & Abidi, B. (2010). Hydrologic and geologic factors controlling groundwater geochemistry in the Turonian aquifer (southern Tunisia). *Hydrogeology journal, Published Online: 11 Nov. 2010* .
2. Allen, D., Mackie, D., & Wei, M. (2004). Groundwater and climate change: a sensitivity analysis for the Grand Forks aquifer, southern British Columbia. Canada. *Hydrogeology Journal No.12* , 270–290.
3. Anuraga, T., Ruiz, L., Kumar, M. M., Sekhar, M., & Leijnse, A. (2006). Estimating groundwater recharge using land use and soil data: A case study in South India. *Agriculturall water management No. 84* , 65-76.
4. Arnold, T. L., & Friedel, M. J. (2000). *Effects of Land Use on Recharge Potential of Surficial and Shallow Bedrock Aquifers in the Upper Illinois River Basin*. Urbana, Illinois: Water-Resources Investigations Report 00–4027, United States Geological Survey.
5. Bouraoui, F., Vachaud, L., HLe, T., & Chen, T. (1999). Evaluation of the impact of climate changes on water storage and groundwater recharge at the watershed scale. *Climate Dynamics, Vol.2, No.15*, 153–161.
6. Calera-Belmonte, A. M. (1999). GIS tools applied to the sustainable management of water resources: application to the aquifer system. *Agricultural Water Management No. 40* , 207–220.
7. Cardena, J., Benavente, J., & Cruz-Sanjulián, J. (1994). Chemical evolution of groundwater in Triassic gypsum-bearing carbonate aquifers (Las Alpujarras, southern Spain). *Journal of Hydrogeolog, Vol. 161*, 3-30.
8. Chan, H. J. (2001). Effect of landuse and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. *Journal of Hydrology* , 194-210.
9. Cheboratev, I. I. (1955). Metamorphism of natural water in the crust of weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 22-32.
10. Cloutier, V., Lefebvre, R., Savard, M. M., Bourque, E. d., & Therrien, R. (2006). Hydrogeochemistry and groundwater origin of the Basses-Laurentides sedimentary rock aquifer system, St. Lawrence Lowlands, Qu´ ebec, Canada. *Hydrogeology journal* , 573–590.
11. Custodio, E. (2002). Aquifer overexploitation: what does it mean? *Hydrogeology*

Journal, Vol. 10 , 254–277.

12. Dellar, J. (1998). *The handbook of groundwater engineering*. West Lafayette, Indiana: CRC Press LLC.
13. Devlin, J. F., & Sophocleous, M. (2005). The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability. *Hydrogeology Journal, Vol. 13 , 549–554.*
14. Fitts, C. R. (2001). *Groundwater Science*. London: Academic Press.
15. Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
16. Hounslow, A.W. (1995). *Water quality data analysis and interpretation*. Lewis publishers, CKC press, LLC, 378 pp.
17. Hem, J. D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological survey water-supply no.2254. 272 p.
18. Hanshaw, B., & Back, W. (1979). Major Geochemical Processes in the Evolution of Carbonate-Aquifer Systems. *Developments in Water Science, Volume 12 , 287-312.*
19. Huizar-Alvarez, R., Carrillo-Rivera, J. J., Angeles-Serrano, G., Hergt, T., & Cardona, A. (2004). Chemical response to groundwater extraction southeast of Mexico City. *Hydrogeology journal, Vol. 12 , 436-449.*
20. Iqbal, M. (2000). Effect of heterogeneity in subsurface geologic materials on solute transport under field conditions: a case study from northeastern of Iowa, USA. *Hydrogeology journal, Vol. 8 , 257-270.*
21. J. Y. Chen, C. Y. (2002). Groundwater flow and geochemistry in the lower reaches of the Yellow River: a case study in Shandong Province, China. *Hydrogeology journal , 587-599.*
22. Kao, S.-C., & Govindaraju, R. S. (2010). A copula-based joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology No.380 , 121–134.*
23. Maréchal, J., Dewandel, B., Ahmed, S., Galeazzi, A., & Zaidi, F. (2006). Combined estimation of specific yield and natural recharge in a semiarid groundwater basin with irrigated agriculture. *Journal of Hydrology No. 329 , 281–293.*
24. Martínez-Santos, P., & Martínez-Alfaro, P. (2010). Estimating groundwater withdrawals in areas of intensive agricultural pumping in central Spain. *Agricultural water management No. 98 , 178-181.*
25. Mazor, E., (2004). *Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology, Third Edition*. John Wiley & Sons, New York, 274P.

26. Meyback, M. (1987). Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. *American journal of science* , 401-428.
27. Okkonen, J., Jyrkama, M., & Kløve, B. (2009). A conceptual approach for assessing the impact of climate change on groundwater and related surface waters in cold regions (Finland). *Hydrogeology Journal, Published Online: 06 October 2009* .
28. Piper, A.m., (1944). A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Transaction of the American Geophysical Union*, 25, 6, 914-923.
29. Price, M. (2002). Who needs sustainability? *Sustainable Groundwater Development, Special Publications 193, Geological Society, London* , 75–81.
30. Rajmohan, N., & Elango, L. (2004). Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India. *Environmental Geology* , 47-61.
31. Shah, T. (2005). Groundwater and human development: challenges and opportunities in livelihoods and environment. *Water Science and Technology No. 51* , 27-37.
32. Smith, A. J. (2008). Rainfall and irrigation controls on groundwater rise and salinity risk in the Ord River Irrigation Area, northern Australia. *Hydrogeology Journal, Vol. 12* , 1159-1174.
33. Stiff, H.A. (1951) “The interpretation of chemical water analysis by means of pattern, S.I. petrol tech 3.p.p. 15-17.
34. Subrahmanyam, K., & Yadaiah, P. (2001). Assessment of the impact of industrial effluents on water quality in Patancheru and environs, Medak district, Andhra Pradesh, India. *Hydrogeology Journal, Vol. 9* , 297–312.
35. Todd, D.K., Mays, L.W., (2005) *Groundwater Hydrology*, John Wiley and sons, New York, 652 p.
36. Vaccaro, J. (2002). Sensitivity of groundwater recharge estimates to climate variability and change, Columbia Plateau, Washington. *Journal of Geophysic Reasearches No. 97 (D3)* , 2827–2833.
37. Wilcox, LV. (1955). Classification and use of irrigation water. USDA, Circular 969. Washington, DC., USA.
38. Xi, H., Feng, Q., Si, J., Chang, Z., & Cao, S. (2010). Impacts of river recharge on groundwater level and hydrochemistry . *Hydrogeology journal, Vol. 18* , 791-801.

Abstract:

Saadat Shahr plain with area about 130 km² is located beside of Saadat Shahr city at 120 km North East of Shiraz. There is a water table aquifer in this plain that its containing water is extracting by 678 pumping wells, mainly for agricultural consumption. Hydrogeological investigations shows that aquifer is under recharge of it's environ mountain and also Sivand river. Also it had seen that groundwater flow direction is from east to west. Depletion of groundwater was about 16 meters at east of plain and it receives to about zero at west of aquifer at the 13 years study period. A Hydrogeochemical investigation of groundwater was based on electrical conductivity of water and also major anions and cations. It was seen that quality of groundwater in the aquifer is depends on recharge from carbone formations, Sivand river and also discharge of aquifer. It was seen that increase of total anion and cations in ground water is usual from east to centre of plain, and in the centre district due to pumpings at high volumes, common flow of groundwater becomes weak and due to this total dissolved ions obviously is more than beginning of plain. Recharge from Sivand River and carbonate formations causes to decrease in the dissolved ions, in continuing the groundwater flow.

Keyword: water table, Saadat Shahr, Hydrogeological, Hydrochemical



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences
Hydrogeology and Environmental Geology Group
M. Sc. Thesis

**Evaluation of the quantity and quality of groundwater in the
Saadat Shahr plain at Fars Province**

Morteza Javidi

Supervisor:

Dr. Gholam Hossein Karami

Advisor:

Dr. Zargham Mohammadi

July 2011