

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

## بررسی هیدروژئولوژی و نفوذ آب شور به سفره ساحلی میناب

نگارنده: فرشاد رنجبری مازغی

استاد راهنما:

دکتر رحیم باقری

دی ۱۳۹۹

تقدیم بہ:

پدر فداکار  
❖

و

مادر مہربانم

## مشمکر و قدردانی

با حمد و سپاس به درگاه خداوند متعال که علم و دانش را چراغ راه زندگی انسان قرار داد، حال که با عنایت خداوند متعال انجام این پایان نامه به اتمام رسید، بر خود لازم می دانم تا از زحمات آنان که به نور علم و معرفت خویش، روشم را هم بودند، مشمکر و قدردانی نمایم.

از خانواده خوبم، پدر و مادر فداکار و مهربانم که شرایط مناسبی را مهیا نموده و اینجانب را در پیشبرد و انجام کارهایم یاری رسانند، مشمکر می نمایم.

از رهنمودها و نظرات استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر رحیم باقری که راهنمایی پایان نامه ام را بر عهده داشته و در تمام مراحل انجام پایان نامه زحمات فراوانی را متحمل شدند، کمال مشمکر را دارم.

از اساتید گرانمایه جناب آقایان دکتر غلامحسین کرمی و دکتر مهدی جعفری که از محضر پر فیض تدریستان، بهره برده ام کمال مشمکر را دارم و بر خود لازم می دانم در کسوت شاگردی از زحمات این اساتید که افتخار تقدیر و تشکر نمایم.

از مدیریت محترم دفتر مطالعات پایه منابع آب سازمان آب منطقه ای هرمزگان و مدیریت منابع آب شهرستان میناب و کارکنان محترم سازمان آب منطقه ای هرمزگان خصوصاً آقایان دکتر حمیدی، مهندس زرنگاری و مهندس دهقانی که با نظرات و کمک های بی دریغشان مرا یاری کردند کمال مشمکر و قدردانی دارم.

در پایان از تمام دوستان و همکارانی که در این راه نهایت کمک و همیاری را در حق اینجانب نمودند مشمکر می کنم.

فرشاد رنجبری

مازنی

آذرماه ۱۳۹۹

## تعهدنامه

اینجانب فرشاد رنجبری مازغی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی گرایش آب‌شناسی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان **بررسی هیدروژئولوژی و نفوذ آب‌شور به سفره ساحلی میناب تحت راهنمایی آقای دکتر رحیم باقری** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام‌شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج و پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج از این پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده‌شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

### تاریخ

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده) مربوط به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوط ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده:

پیشروی آب‌شور در سفره‌های ساحلی پدیده مهم و قابل توجهی است که به شور شدن آب زیرزمینی شیرین می‌انجامد. دشت میناب واقع در استان هرمزگان و در مجاورت ساحل خلیج فارس، یکی از مهم‌ترین دشت‌های ساحلی جنوب کشور است که تحت تأثیر نفوذ آب‌شور قرار گرفته است. جهت بررسی هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی دشت میناب با توجه به دولایه بودن آبخوان دشت میناب، از اطلاعات سطح آب ۳۹ پیزومتر در آبخوان آزاد و ۱۲ پیزومتر در آبخوان تحت فشار و همچنین ۶۷ نمونه آب برداشتی از چاه‌های بهره‌برداری موجود در دشت و دریا استفاده شده است. نقشه هم‌پتانسیل و جهت جریان دشت نشانگر تغذیه بیشتر آبخوان از بخش شمالی و بخشی از ارتفاعات موجود در شمال شرقی منطقه و ارتفاعات قسمت جنوبی دشت می‌باشد و جریان به سمت مرکز دشت است. در سال‌های اخیر با اضافه برداشت و افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری به خصوص در بخش شرقی و مرکز دشت، گرادیان در بخش جنوبی و مرکز دشت بیشتر شده است؛ بنابراین باعث تغییر جهت جریان به خصوص در بخش غربی و جنوبی گردیده است و در نتیجه باعث هجوم آب‌شور دریا شده است. بر اساس هیدروگراف معرف دشت برای سفره آزاد و سفره تحت فشار، متوسط سطح آب پیزومترها روند نزولی داشته که حاکی از بیلان منفی می‌باشد. با توجه به نقشه هم افت ترسیم شده برای دشت میناب، بیشترین میزان افت مربوط به قسمت شرقی و مرکز دشت به دلیل کیفیت بهتر آب زیرزمینی و کمترین میزان افت مربوط به بخش‌های شمالی و غربی دشت به دلیل کیفیت نامطلوب می‌باشد. با توجه به نقشه پراکندگی هدایت الکتریکی، در بخش‌های شمالی، شمال شرقی، جنوب و قسمت‌هایی از شمال غربی بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مشاهده شد و کمترین مقدار هدایت الکتریکی به میزان ۱۰۲۵ میکروموس بر سانتی‌متر، مربوط به چاه‌های محدوده مرکزی و شرقی دشت می‌باشد که نقش به سزایی در تأمین آب شرب و کشاورزی شهرستان نیز دارد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که علت شوری چاه‌های محدوده شمالی و قسمت‌هایی از محدوده شرقی دشت انحلال نمک و نفوذ آب‌شور از سازندهای تبخیری مجاور دشت می‌باشد. مطالعات هیدروشیمیایی و ایزوتوپی در دشت میناب نیز رخداد پدیده اختلاط و انحلال نمک و نفوذ آب‌شور دریا را به عنوان منشأ شوری تأیید کرده است.

**کلیدواژه:** نفوذ آب‌شور، سفره ساحلی، انحلال نمک، ایزوتوپی، کفه نمکی، دشت میناب

## فهرست مطالب

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| فصل اول: مقدمه.....                                            | ۱  |
| ۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق.....                      | ۲  |
| ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های ارتباطی..... | ۳  |
| ۳-۱- آب و هوای منطقه.....                                      | ۵  |
| ۴-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....                         | ۵  |
| ۵-۱- چینه نگاری منطقه مورد مطالعه.....                         | ۸  |
| ۱-۵-۱- واحدهای سنگی مزوزوئیک.....                              | ۸  |
| ۱-۱-۵-۱- واحدهای سنگی کرتاسه پسین.....                         | ۸  |
| ۲-۵-۱- واحدهای سنگی سنوزوئیک.....                              | ۸  |
| ۱-۲-۵-۱- واحد سبز (میوسن).....                                 | ۹  |
| ۲-۲-۵-۱- واحدهای سنگی مکران (پلیوسن).....                      | ۹  |
| ۳-۲-۵-۱- مارن گیوشی.....                                       | ۹  |
| ۴-۲-۵-۱- کنگلومرای میناب.....                                  | ۱۰ |
| ۵-۲-۵-۱- ماسه‌سنگ خکو.....                                     | ۱۰ |
| ۶-۲-۵-۱- کنگلومرای پالامی.....                                 | ۱۱ |
| ۷-۲-۵-۱- کنگلومرای پلیوسن.....                                 | ۱۱ |
| ۳-۵-۱- رسوبات کواترنری.....                                    | ۱۱ |
| ۶-۱- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه مورد مطالعه.....                | ۱۲ |
| ۱-۶-۱- گسل میناب.....                                          | ۱۴ |
| ۲-۶-۱- گسل زندان.....                                          | ۱۵ |
| ۳-۶-۱- گسل پالامی.....                                         | ۱۵ |
| ۷-۱- چین‌های موجود در منطقه مورد مطالعه.....                   | ۱۶ |
| ۸-۱- زمین ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....                    | ۱۷ |
| ۹-۱- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه.....                          | ۱۸ |
| ۱۰-۱- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه.....                      | ۱۹ |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین.....                                             | ۲۳ |
| ۱-۲ - مقدمه.....                                                                 | ۲۴ |
| ۲-۲ - عوامل مؤثر بر کمیت و کیفیت آب.....                                         | ۲۴ |
| ۱-۲-۲ - اثر عوامل زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی.....                           | ۲۵ |
| ۲-۲-۲ - اثر عوامل اقلیمی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی.....                        | ۲۷ |
| ۳-۲-۲ - اثر برداشت بیش‌ازحد بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی.....                     | ۲۸ |
| ۴-۲-۲ - نفوذ آب شور.....                                                         | ۳۰ |
| ۵-۲-۲ - پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی.....                                      | ۳۰ |
| ۳-۲ - مطالعات مختلفی که در مورد نفوذ آب‌شور به سفره‌های ساحلی انجام‌شده است..... | ۳۱ |
| فصل سوم: روش انجام کار.....                                                      | ۳۷ |
| ۱-۳ - مقدمه.....                                                                 | ۳۸ |
| ۲-۳ - جمع‌آوری آمار و اطلاعات موردنیاز از منطقه موردنظر.....                     | ۳۸ |
| ۳-۳ - تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه.....                                            | ۴۰ |
| ۴-۳ - مطالعات صحرایی و انجام نمونه‌برداری.....                                   | ۴۰ |
| ۵-۳ - اندازه‌گیری مقادیر ایزوتوپی.....                                           | ۴۰ |
| ۶-۳ - اندازه‌گیری یون‌های اصلی.....                                              | ۴۰ |
| ۷-۳ - اطمینان از صحت نتایج.....                                                  | ۴۱ |
| ۸-۳ - داده‌های هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه.....                             | ۴۱ |
| ۱-۸-۳ - رسم هیدروگراف معرف دشت.....                                              | ۴۴ |
| ۲-۸-۳ - تهیه نقشه هم‌پتانسیل و هم‌افت آبخوان میناب.....                          | ۴۴ |
| ۳-۸-۳ - بررسی بیلان آب زیرزمینی دشت میناب.....                                   | ۴۴ |
| ۹-۳ - تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه.....                      | ۴۵ |
| ۱-۹-۳ - نقشه هم‌هدایت الکتریکی و سری زمانی داده‌های کیفی منطقه مورد مطالعه.....  | ۴۵ |
| ۲-۹-۳ - ترسیم نمودارهای کیفی آبخوان.....                                         | ۴۵ |
| ۳-۹-۳ - نمودارهای ترکیبی و داده‌های ایزوتوپی.....                                | ۴۶ |
| فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت میناب.....          | ۴۷ |
| ۱-۴ - مقدمه.....                                                                 | ۴۸ |
| ۲-۴ - هیدروژئولوژی آبخوان دشت میناب.....                                         | ۴۸ |

|     |                                                                  |
|-----|------------------------------------------------------------------|
| ۴۸  | ۱-۲-۴- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه.....          |
| ۵۹  | ۲-۲-۴- ارزیابی هیدروژئولوژیکی دشت بر اساس افت طولانی مدت.....    |
| ۶۲  | ۳-۲-۴- هیدروگراف واحد دشت میناب.....                             |
| ۶۵  | ۴-۲-۴- هیدروگراف واحد آبخوان آزاد دشت میناب.....                 |
| ۶۶  | ۵-۲-۴- هیدروگراف واحد آبخوان تحت فشار دشت میناب.....             |
| ۶۷  | ۴-۲-۴- بررسی وضعیت بیلان منطقه مورد مطالعه.....                  |
| ۶۸  | ۱-۴-۲-۴- عوامل تغذیه آبخوان.....                                 |
| ۶۹  | ۲-۴-۲-۴- عوامل تخلیه آبخوان:.....                                |
| ۷۱  | ۵-۲-۴- محاسبه تغییرات حجم مخزن.....                              |
| ۷۲  | ۳-۴-۳- بررسی رفتار و تکامل هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت میناب..... |
| ۷۲  | ۱-۳-۴- جمع‌آوری داده‌های هیدرووشیمیایی و ایزوتوپی.....           |
| ۷۷  | ۲-۳-۴- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی.....                         |
| ۸۱  | ۳-۳-۴- بررسی تغییرات یون کلر.....                                |
| ۸۲  | ۴-۳-۴- بررسی تغییرات یون سولفات.....                             |
| ۸۵  | ۵-۳-۴- ارزیابی تغییرات غلظت سایر یون‌ها.....                     |
| ۸۵  | ۱-۵-۳-۴- یون کلسیم.....                                          |
| ۸۵  | ۲-۵-۳-۴- یون منیزیم.....                                         |
| ۸۵  | ۳-۵-۳-۴- یون سدیم.....                                           |
| ۸۹  | ۴-۴- تعیین رخساره‌های هیدرووشیمیایی منطقه.....                   |
| ۸۹  | ۱-۴-۴- نمودار پایپر.....                                         |
| ۹۳  | ۲-۴-۴- نمودار شولر.....                                          |
| ۹۶  | ۳-۴-۴- نمودار استیف.....                                         |
| ۹۹  | ۴-۴-۴- شاخص اشباع.....                                           |
| ۱۰۱ | ۵-۴- بررسی تکامل ژئوشیمیایی دشت میناب.....                       |
| ۱۰۹ | ۱-۵-۴- بررسی اختلاط آب شور در نمونه‌های دشت میناب.....           |
| ۱۱۰ | ۶-۴- مطالعات ایزوتوپی منابع آب دشت میناب.....                    |
| ۱۱۴ | ۷-۴- ارزیابی منابع آب آبخوان میناب از لحاظ کشاورزی.....          |
| ۱۱۷ | فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....                            |

۱۱۸ ..... ۱-۵ - نتیجه گیری

۱۱۹ ..... ۲-۵ - پیشنهادها

۱۲۱ ..... منابع

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن ..... ۴
- شکل ۲-۱: زون‌های ساختاری اصلی در نقشه زمین‌شناسی ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه ..... ۶
- شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ دشت میناب ..... ۷
- شکل ۴-۱: تصویر ماهواره لندست نشان‌دهنده موقعیت مکانی گسل‌های موجود در منطقه ..... ۱۶
- شکل ۵-۱: نمایی از سد استقلال میناب ..... ۱۹
- شکل ۶-۱: تصویر سه بعدی از سنگ کف آبخوان دشت میناب ..... ۲۰
- شکل ۱-۳: موقعیت چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه ..... ۳۹
- شکل ۲-۳: موقعیت پیزومترها در آبخوان آزاد منطقه مورد مطالعه ..... ۴۲
- شکل ۳-۳: موقعیت پیزومترها در آبخوان محبوس منطقه مورد مطالعه ..... ۴۳
- شکل ۱-۴: موقعیت پیزومترها و نقشه هم‌پتانسیل سفره آزاد دشت میناب در خرداد ۱۳۸۷ ..... ۵۳
- شکل ۲-۴: موقعیت پیزومترها و نقشه هم‌پتانسیل سفره آزاد دشت میناب در خرداد ۱۳۹۶ ..... ۵۴
- شکل ۳-۴: موقعیت پیزومترها و نقشه هم‌پتانسیل سفره محبوس دشت میناب در شهریور ۱۳۸۴ ..... ۵۵
- شکل ۴-۴: موقعیت پیزومترها و نقشه هم‌پتانسیل سفره محبوس دشت میناب در خرداد ۱۳۹۶ ..... ۵۶
- شکل ۵-۴: مقطع هیدرولیکی تغییرات مکانی و زمانی تراز سطح آب در سفره آزاد و محبوس دشت ..... ۵۸
- شکل ۶-۴: نقشه هم‌افت سفره آزاد دشت میناب ..... ۶۰
- شکل ۷-۴: نقشه هم‌افت سفره محبوس دشت میناب ..... ۶۱
- شکل ۸-۴: نقشه تیسن بندی آبخوان آزاد دشت میناب ..... ۶۳
- شکل ۹-۴: نقشه تیسن بندی آبخوان تحت فشار میناب ..... ۶۴
- شکل ۱۰-۴: هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان آزاد میناب ..... ۶۶
- شکل ۱۱-۴: هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان تحت فشار میناب ..... ۶۷
- شکل ۱۲-۴: موقعیت چاه‌های نمونه برداری شده جهت بررسی منابع کیفی آبخوان میناب ..... ۷۶
- شکل ۱۳-۴: نقشه تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در دشت میناب در سال ۱۳۸۸ (مقدار بر اساس  $\mu\text{S/cm}$ ) ..... ۷۹
- شکل ۱۴-۴: نقشه تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در دشت میناب در سال ۱۳۹۸ (مقدار بر اساس  $\mu\text{S/cm}$ ) ..... ۸۰

- شکل ۴-۱۵: تغییرات مکانی مقادیر هدایت الکتریکی و گروه‌بندی آن‌ها در چاه‌های دشت میناب  
 ۸۱ ..... (۱۳۹۸)
- شکل ۴-۱۶: نقشه پراکندگی غلظت کلر در نمونه‌های آب دشت میناب در آبان ۱۳۹۸ ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۷: نقشه پراکندگی غلظت سولفات در نمونه‌های آب دشت میناب در آبان ۱۳۹۸ ..... ۸۴
- شکل ۴-۱۸: نقشه پراکندگی غلظت یون کلسیم در نمونه‌های آب دشت میناب در آبان ۱۳۹۸ ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۹: نقشه پراکندگی غلظت یون منیزیم در نمونه‌های آب دشت میناب در آبان ۱۳۹۸ ..... ۸۷
- شکل ۴-۲۰: نقشه پراکندگی غلظت یون سدیم در نمونه‌های آب دشت میناب در آبان ۱۳۹۸ ..... ۸۸
- شکل ۴-۲۱: نمودار پایپر مربوط به نمونه های آب زیرزمینی دشت میناب ..... ۹۱
- شکل ۴-۲۲: رابطه بین  $(Na+K)-(Ca+Mg)$  در مقابل  $(SO_4+Cl)-(HCO_3+CO_3)$  برای منطقه  
 مورد مطالعه ..... ۹۲
- شکل ۴-۲۳: نمودار شولر نمونه‌های آب در دشت میناب (گروه اول با هدایت الکتریکی کمتر از  
 ۲۰۰۰) ..... ۹۴
- شکل ۴-۲۴: نمودار شولر نمونه‌های آب در دشت میناب (گروه دوم با هدایت الکتریکی بین ۲۰۰۰ تا  
 ۴۰۰۰) ..... ۹۵
- شکل ۴-۲۵: نمودار شولر نمونه‌های آب در دشت میناب (گروه سوم با هدایت الکتریکی بیشتر از  
 ۴۰۰۰) ..... ۹۶
- شکل ۴-۲۶: گراف استیف برای نمونه‌های آب دریا (SW)، کفه نمکی (SP)، گنبد نمکی (Sd) و آب  
 سطحی (dam) ..... ۹۷
- شکل ۴-۲۷: گروه‌بندی نمونه‌های منطقه بر اساس نمودار استیف. گروه اول که دارای رفتاری مشابه با  
 نمونه آب دریا دارند. .... ۹۸
- شکل ۴-۲۸: گروه‌بندی نمونه‌های منطقه بر اساس نمودار استیف. گروه دوم که دارای رفتاری مشابه با  
 نمونه آب کفه نمکی دارند. .... ۹۹
- شکل ۴-۲۹: رابطه نمایه‌های مختلف اشباع در منابع آب دشت میناب ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۳۰: دیاگرام HFE برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت میناب ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۳۱: نسبت یونی  $Na/Cl$  به  $Cl$  در آب‌های زیرزمینی دشت میناب ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۳۲: رابطه بین غلظت عناصر با هدایت الکتریکی دشت میناب ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۳۳: رابطه  $Ca$  با  $SO_4$  در منابع آب مختلف دشت میناب ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۳۴: رابطه بین یون  $Mg$  با  $SO_4$  در منابع آب مختلف دشت میناب ..... ۱۰۵

- شکل ۴-۳۵: رابطه بین  $(Ca+Mg)/HCO_3$  با Cl در منابع آب مختلف دشت میناب ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۶: رابطه بین نسبت Ca/Mg در مقابل Cl در منابع آب مختلف دشت میناب ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۳۷: نسبت Ca+Mg در مقابل  $SO_4+HCO_3$  در منابع آب مختلف دشت میناب ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۳۸: رابطه بین  $(Ca+Mg)/(SO_4+HCO_3)$  در مقابل نسبت Na/Cl در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت میناب ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۳۹: سهم آب‌شور دریا در نمونه‌های ساحلی در طی اختلاط آب شیرین با آب‌شور دشت میناب ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۴۰: مقادیر نسبت ایزوتوپ  $2H$  در مقابل  $18O$  در نمونه آب‌های دشت میناب ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۴۱: مقادیر نسبت ایزوتوپ  $2H$  در مقابل  $18O$  در نمونه آب‌های دشت میناب ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۴۲: ارتباط بین  $18O$  با غلظت کلر در نمونه‌های آب دشت میناب ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۴۳: ارتباط بین  $2H$  با غلظت کلر در نمونه‌های آب دشت میناب ..... ۱۱۴
- شکل ۴-۴۵: تعیین کیفیت آب برای کشاورزی با استفاده از دیاگرام ویلکاکس برای منابع آب زیرزمینی دشت میناب ..... ۱۱۶

## فهرست جداول

- جدول ۴-۱: مختصات، تراز سطح آب و میزان افت ۲۴ ساله در پیژومترهای موجود در سفره آزاد ..... ۴۹
- ادامه جدول ۴-۱: مختصات، تراز سطح آب و میزان افت ۲۴ ساله در پیژومترهای موجود در سفره آزاد ..... ۵۰
- جدول ۴-۲: مختصات، تراز سطح آب و میزان افت ۱۲ ساله در پیژومترهای موجود در سفره محبوس ..... ۵۱
- جدول ۴-۳: خلاصه اجزاء بیلان آبخوان آبرفتی میناب ..... ۷۱
- جدول ۴-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب دشت میناب آبان ماه ۱۳۹۸ ..... ۷۳
- ادامه جدول ۴-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب دشت میناب آبان ماه ۱۳۹۸ ..... ۷۴
- ادامه جدول ۴-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب دشت میناب آبان ماه ۱۳۹۸ ..... ۷۵
- جدول ۴-۵: مقادیر ایزوتوپ‌های  $^2\text{H}$  و  $^{18}\text{O}$  نمونه‌های دشت میناب ..... ۷۵
- جدول ۴-۶: رده‌بندی آب زیرزمینی بر اساس شوری و ارزیابی کیفیت آن در آبیاری (Mills, 2003) .. ۱۱۵

# فصل اول:

## مقدمه

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

یکی از منابع مهمی که برای تأمین آب موردنیاز برای مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد، منابع آب‌های زیرزمینی است. با توجه به آنکه بخشی از آب‌های شیرین زیرزمینی در مجاورت آب‌های شور دریاها و شمال و جنوب ایران قرار گرفته‌اند، در شرایط خاص پیشروی آب‌شور در سفره‌های ساحلی از اهمیت بسزایی برخوردار می‌گردد. مواد جامد محلول آب دریا به‌طور متوسط ۳۵۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است که مخلوط شدن مقدار کمی از این آب با آب شیرین می‌تواند آب شیرین را غیرقابل شرب کند.

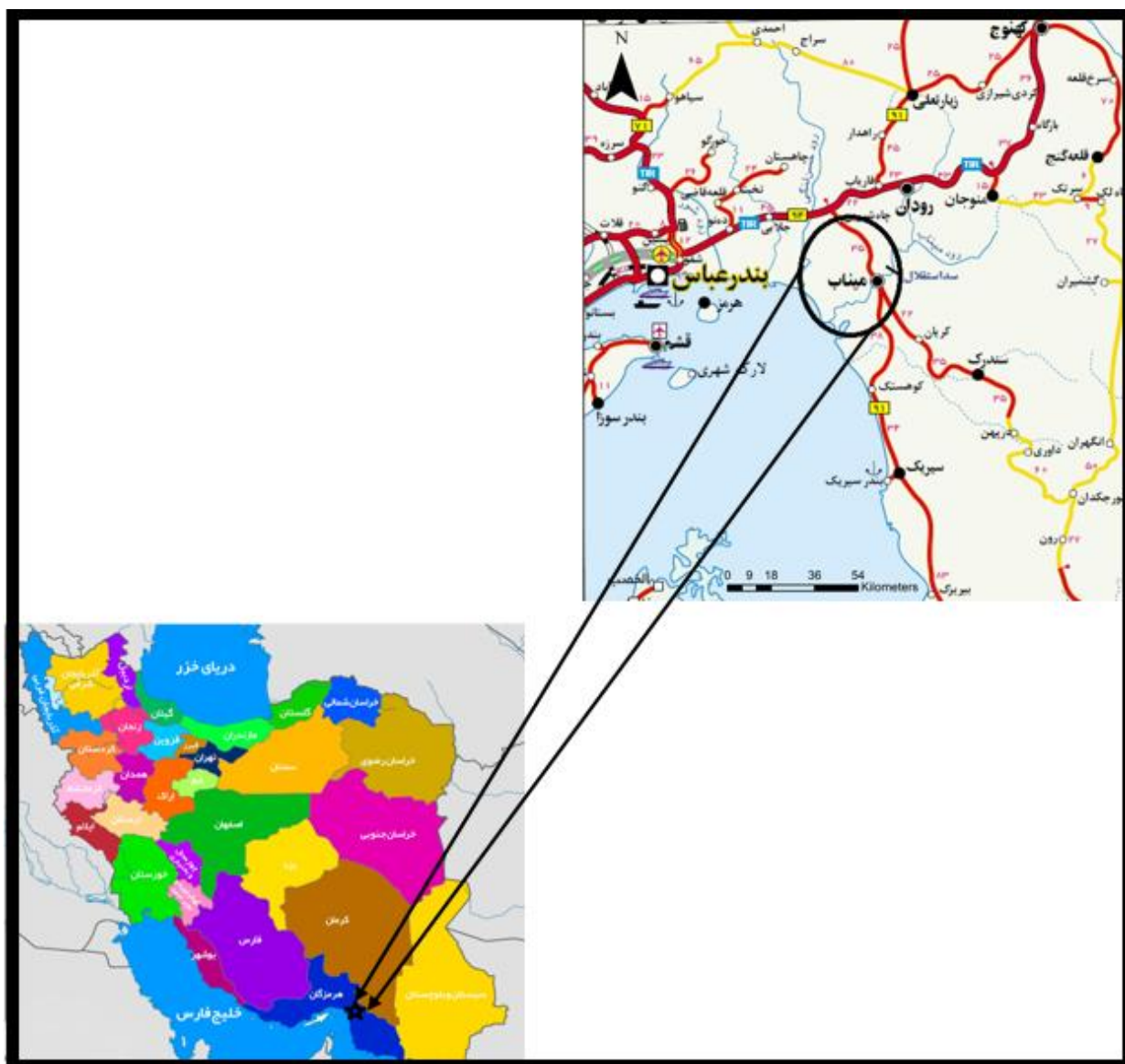
پیشروی آب‌شور در سفره‌های ساحلی پدیده مهم و قابل توجهی است که به شور شدن آب زیرزمینی شیرین حتی به بیشتر از میزان استانداردهای مجاز آب آشامیدنی و کشاورزی می‌انجامد. به دلیل رشد جمعیت و این حقیقت که ۵۰ درصد از مردم در حاشیه دریاها و اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند، آلودگی آب زیرزمینی در نواحی ساحلی به یک مسئله جدی تبدیل شده است. در شرایط طبیعی، آب‌های زیرزمینی شیرین موجود در سفره‌های آبدار آزاد و یا تحت فشار ساحلی به دریاها یا دریاچه‌ها تخلیه می‌شوند و خط تماس متحرکی بین آب‌های شیرین و شور ایجاد می‌شود. تا زمانی که بار فشاری آب شیرین در سفره واقع در خشکی حفظ شود آب شیرین به‌سوی اقیانوس تخلیه‌شده و ناحیه تماس با آب‌شور در فاصله مجاور ساحل برقرار خواهد بود. بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌های ساحلی بر روی گرادیان هیدرولیکی تأثیر گذاشته و سبب می‌گردد تا آب دریا در سفره‌های آب‌های زیرزمینی پیشروی نماید و علت اصلی پدیده پیشروی آب‌شور می‌باشد.

در ایران، آلودگی شوری آب زیرزمینی به‌خصوص در مناطق جنوبی کشور به دلیل کمبود منابع آب شیرین از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. یکی از دشتهای مهم جنوب کشور، دشت میناب بوده که در مجاورت ساحل خلیج فارس قرار گرفته است. با افزایش توسعه شهری و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی این دشت در سال‌های اخیر، باعث بهم خوردن تعادل هیدرولیکی بین آب شیرین

آبخوان و فشار ناشی از غلظت بیشتر آب شور شده و گرادیان آب زیرزمینی در نواحی ساحلی تغییر کرده است. در اثر این پدیده گوه آب شور به داخل آبخوان نفوذ کرده و در نتیجه آب چاه‌های مورد استفاده در این نواحی شور شده است. همچنین وجود کفه‌های نمکی در برخی نواحی این مناطق خشک، باعث تغییر کیفی آب زیرزمینی مجاور آن‌ها شده است. با توجه اینکه مقدار بارندگی در این نواحی کم بوده و آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع آب شیرین برای شرب و صنعت است، بنابراین بررسی هیدروژئولوژی، علت شور شدن سفره و نفوذ و میزان پیشروی آب شور به سفره ساحلی میناب بسیار اهمیت داشته و از اهداف مهم این تحقیق می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند جهت شناخت کامل آبخوان در راستای اتخاذ تصمیمات مدیریتی در جهت حفظ و برداشت پایدار آبخوان استفاده گردد.

## ۱-۲ - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های ارتباطی

منطقه مورد مطالعه در جنوب ایران و از نظر تقسیمات کشوری در استان هرمزگان، شهرستان میناب واقع شده است. شهرستان میناب از سمت شمال به شهرستان رودان، از سمت شمال غرب و غرب به شهرستان بندرعباس و دریای خلیج فارس، از سمت شرق به استان کرمان و از سمت جنوب به شهرستان‌های سیریک و جاسک و تنگه هرمز محدود می‌شود. دشت میناب بین طول‌های ۵۶ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و عرض‌های ۲۶ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی واقع شده، وسعت کل آن تقریباً ۱۳۷۸ کیلومتر مربع و وسعت دشت حدود ۷۷۸ کیلومتر مربع می‌باشد. از نظر توپوگرافی دشت میناب یک دشت بسیار هموار می‌باشد که با یک شیب بسیار کم (۵/۰ درصد) به دریا ختم می‌شود. حداکثر ارتفاع دشت ۹۰ متر و حداقل آن صفر در نزدیکی ساحل خلیج فارس است، رودخانه اصلی آن رودخانه میناب است که شاخه‌های آن از ارتفاعات رودان، منوجان، فاریاب و ... سرچشمه می‌گیرند. دشت میناب از شمال به محدوده شهرهای شمیل، تخت و رودان، از شرق به محدوده شهرهای جغین و توکهور و از سمت جنوب و غرب به سواحل خلیج فارس محدود می‌شود (شکل ۱ - ۱).



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

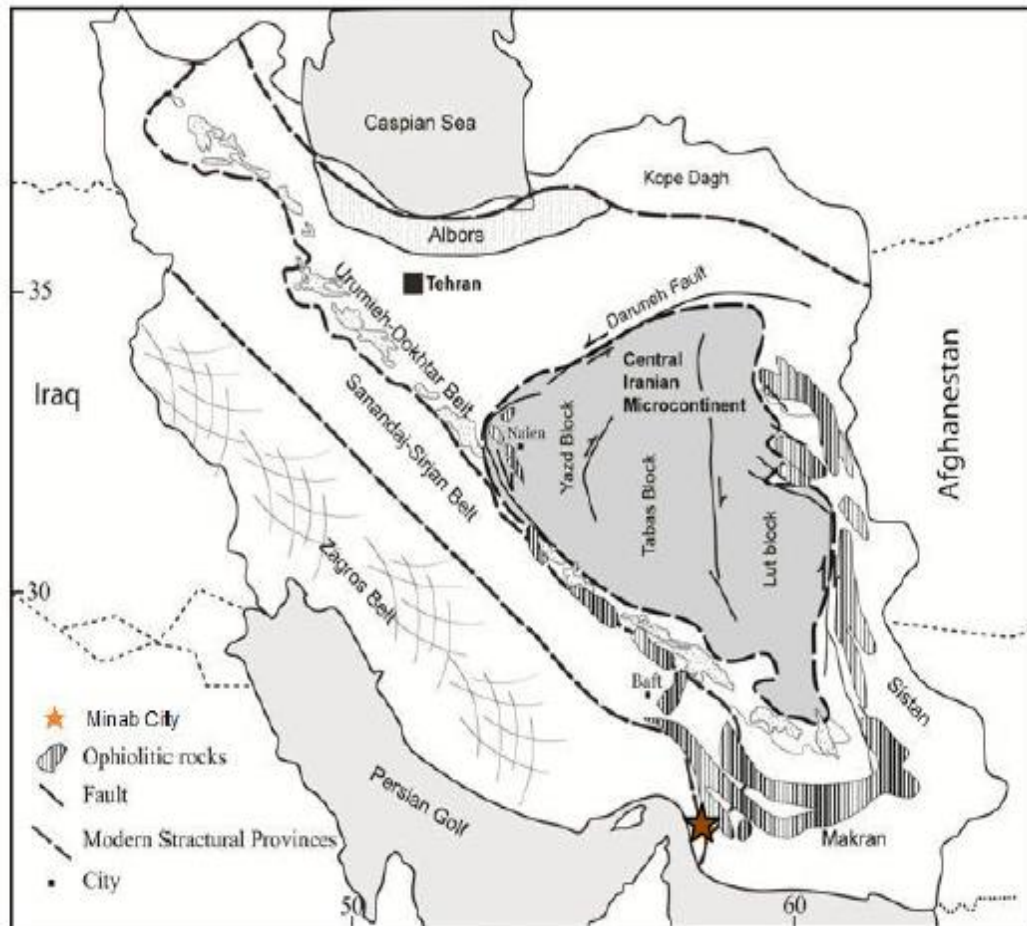
### ۱-۳ - آب و هوای منطقه

بررسی پارامترهای هواشناسی از قبیل بارندگی و حرارت در شناسایی منابع آب بسیار مؤثر هستند. بر اساس مطالعات انجام شده، آب و هوای این منطقه که در نواحی ساحلی قرار گرفته گرم و مرطوب می باشد و توده های هوایی که منطقه میناب را تحت تأثیر قرار می دهند مربوط به توده های مدیترانه ای، جریان هوایی اقیانوس هند و جریان هوایی عربستان می باشد. بیشترین درجه حرارت منطقه در تابستان ۵۰ درجه بالای صفر و کمترین آن در زمستان ۵ درجه بالای صفر است و رطوبت نسبی آن حدود ۶۰ درصد می باشد که حداکثر آن در ماه های دی، بهمن و اسفند و حداقل آن در ماه های اردیبهشت و خرداد رخ می دهد. حداکثر بارش منطقه مورد مطالعه حدود ۳۷۸ میلی متر در شمال و شمال شرقی منطقه و حداقل بارش ها در قسمت غربی و مرکز محدوده مورد مطالعه به میزان ۱۱۳ میلی متر است. متوسط بارش های منطقه مطالعاتی نیز حدود ۲۲۶ میلی متر می باشد؛ به طوری که بیشترین مقدار بارندگی ماهانه در منطقه، در دی ماه و کمترین مقدار بارندگی در فصل تابستان رخ می دهد. میانگین تبخیر در این منطقه در حدود ۱۹۰۰ میلی متر در سال می باشد.

### ۱-۴ - زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

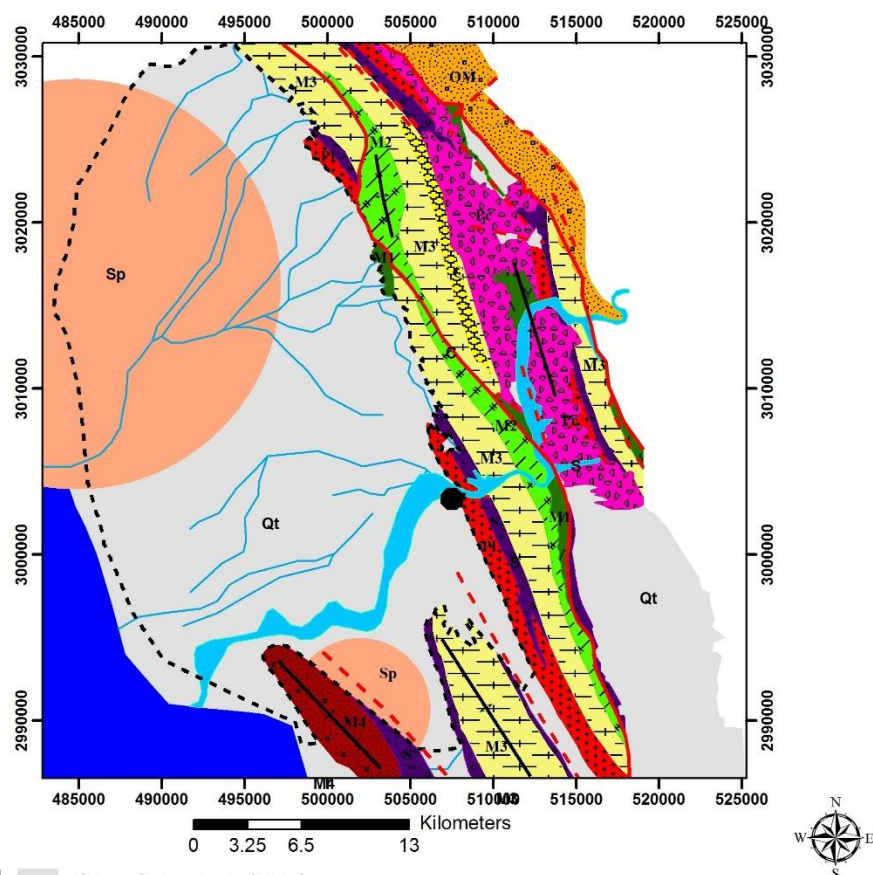
محدوده مورد مطالعه از لحاظ ساختاری در بین زون های زاگرس و مکران در حدفاصل رشته کوه چین خورده زاگرس در باختر و شمال باختری از یک سو و رشته کوه مکران از سوی دیگر واقع شده است (شکل ۱-۲). روند عمده ساختارها (گسل ها و محور چین ها) در این منطقه تقریباً شمالی جنوبی بوده در حالی که روند ساختارها در مکران خاوری - باختری و در زاگرس خاوری باختری تا شمال باختری - جنوب خاوری می باشد. اکثر رخنمون های سطحی در مکران شامل سکانس ستبری از فلیش های دوران سوم می باشد در حالی که به سمت باختر و شمال باختر رسوبات عمدتاً مربوط به

دوران سوم با رخنمون‌های چندی از رسوبات دوران اول و دوم قابل مشاهده می‌باشد (قرشی، ۱۹۸۵).  
(شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱: زون‌های ساختاری اصلی در نقشه زمین‌شناسی ایران (تلفیقی از علوی، ۱۹۹۴ و بربریان، ۱۹۸۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه با علامت ستاره بین زون زاگرس و مکران مشخص شده است.

## Geological map of Minab



### Legend

| CENOZOIC | QUATERNARY                                                                          |                                                                                     |  | Qt                                                                      | Quaternery deposits    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|          | TERTIARY                                                                            | Pliocene                                                                            |  | Sp                                                                      | Coastal salt plain     |
|          |                                                                                     |                                                                                     |  | Pc                                                                      | Polymictic conglomerat |
|          |                                                                                     |  | Pl                                                                                  | MINAB CONGELOMERATE, Polymictic conglomerate, pebble beds and sandstone |                        |
|          |                                                                                     |  | S                                                                                   | Sandstone facies - shaly and pebbly sandstone                           |                        |
|          |                                                                                     |  | M4                                                                                  | TIAB UNIT, sndston,limestonand mudstone                                 |                        |
|          |                                                                                     |  | C                                                                                   | Palami conglomerate                                                     |                        |
| Miocene  |  | M3                                                                                  | KHEKU SANDSTONE, sandstone with siltstone & minor conglomerate                      |                                                                         |                        |
|          |  | M2                                                                                  | Gry Marl, with thin sandstone beds                                                  |                                                                         |                        |
|          |  | M1                                                                                  | GUSHI MARL, Gypsiferous & calcareous marl with minor, thinly bedded sandstone       |                                                                         |                        |
|          | Oligocene                                                                           |  | OM                                                                                  | Mussively bedded                                                        |                        |

### Symbols

|              |            |             |                  |
|--------------|------------|-------------|------------------|
| Persian Gulf | Drainage   | Minor fault | City             |
| Minab river  | Main fault | Anticline   | Aquifer boundary |

شکل ۱-۳: نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ دشت میناب

## ۱-۵ - چینه نگاری منطقه مورد مطالعه

بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی چاپ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مانند نقشه میناب با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ورقه‌های میناب با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (مورگان، ۱۳۶۴) و چهارگوش طاهروئی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (مک کال، ۱۳۶۴) و مطالعات موردی چینه نگاری در منطقه، وجود توالی‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک با راستای گسترش کلی شمالی - جنوبی به اثبات رسیده است. مجموعه آمیزه رنگی به سن کرتاسه به عنوان قدیمی‌ترین سنگ‌ها و نهشته‌های کواترنری به عنوان جوان‌ترین واحدهای منطقه برونزد دارند.

### ۱-۵-۱ - واحدهای سنگی مزوزوئیک

#### ۱-۵-۱-۱ - واحدهای سنگی کرتاسه پسین

الف) **cm1** که از مجموعه رسوبی (رسوباتی مانند)، ماسه‌سنگ، سیلتستون، آهک، فیلیت، چرت‌های رادیولردار، کنگلومرا و در بخش‌های اندکی سنگ‌های آذرین تشکیل شده است.

ب) **cm2** این واحد از بازالت و آندزیت، پیلولاوا با رسوب پلاژیک و فیلیت تشکیل شده است.

البته قابل ذکر است که این توالی معمولاً به دلیل اختلاط تکتونیکی به طور کامل دیده نمی‌شود.

### ۱-۵-۲ - واحدهای سنگی سنوزوئیک

سنگ‌های سنوزوئیک ناحیه مورد مطالعه شامل کنگلومرا، مارن، ماسه‌سنگ، سیلتستون و رسوبات رودخانه‌ای می‌باشد.

#### ۱-۵-۲-۱ - واحد سبز (میوسن)

این واحد از حدود ۶۰۰۰ متر گل سنگ آهکی خاکستری، سبز، ماسه سنگ آهکی توده‌ای و کنگلومرای قهوه‌ای تشکیل شده که به داشتن مقداری ژئوپس و بلوک‌های بیگانه شاخص است. این واحد به‌طور جانبی به دیگر واحدهای فیلیش مکران تبدیل می‌شود و هم‌ارز زمانی آن‌ها به شمار می‌رود. افزون بر اویستر، دوکفه‌ای و سر کوسه، در منطقه طاهروئی گل‌سنگ‌های نرم واحد سبز سرشار از روزنه داران پلانگتون میوسن پیشین تا میانی است (آقانباتی، ۱۳۸۵).

#### ۱-۵-۲-۲ - واحدهای سنگی مکران (پلیوسن)

نهشته‌های پلیوسن مکران، رسوباتی از نوع مارن‌های ژئوپس‌دار، ماسه سنگ، شیل و کنگلومرا که درگذشته (هوبر، ۱۹۵۲) گروه مکران و در سال‌های اخیر (مک کال، ۱۹۸۵) واحد مکران نامیده شده‌اند. سن واحد مکران محدود به پلیوسن نیست، بلکه تغییرات سنی آن از میوسن پسین تا پلیوسن است. گفتنی است که از نگاه اشتوکلین (۱۹۵۳) گروه مکران شامل ردیف‌های میوسن - پلیوسن تمام مکران است. ولی مک کال (۱۹۸۵) واحد مکران را محدود به رسوبات واقع در باختر گسل زندان کرده و برای خاور گسل میناب از نام‌های تاهتون و پالامی استفاده کرده است (آقانباتی، ۱۳۸۵).  
واحد مکران دارای چهار زیر واحد مارن گیوشی، ماسه سنگ خکو، کنگلومرای میناب و ماسه سنگ تیاب می‌باشد.

#### ۱-۵-۲-۳ - مارن گیوشی

این زیر واحد که هوبر (۱۹۵۲) آن را مارن گروه مکران میانی و مارن مکران می‌نامد، ردیفی از گل‌سنگ ژئوپس‌دار خاکستری، مارن و شیل با میان لایه‌های نازک ماسه سنگ و گاه کنگلومرا است. خرده صدف در گل‌سنگ‌ها و ماسه سنگ‌ها پراکنده‌اند. مارن گیوشی در آب کم‌عمق نزدیک به ساحل

با تبخیر شدید نهشته شده است. به احتمال بخش محدود حوضه به شکل کولاب و بخش باز آن به شکل سبزا بوده است. زیر واحد گیوشی بین زون زیستی *Globovalia acostensis* و زون *Globovalia humerosa* قرار گرفته و سن میوسن پسین دارد (آقانباتی، ۱۳۸۵).

#### ۱-۵-۲-۴ - کنگلومرای میناب

کنگلومرای میناب ۱۳۵۵ متر، کنگلومرای چند زادی، نارس با خمیر فراوان، به رنگ سرخ قهوه‌ای است که به تدریج به تناوبی از ماسه سنگ و لایه‌ای رنگی می‌رسد. کنگلومرای میناب به لحاظ قرارگیری درروی ماسه سنگ خکو نمی‌تواند قدیمی‌تر از پلیوسن پیشین باشد. کنگلومرای میناب با منشأ دلتایی دریایی هم‌ارز کنگلومرای پالامی و بخش بالایی واحد تاهتون با منشأ رودخانه‌ای و قاره‌ای است (آقانباتی، ۱۳۸۵).

#### ۱-۵-۲-۵ - ماسه سنگ خکو

این واحد توالی از ماسه سنگ سیلتی بارنگ خاکستری روشن و لایه‌های نازک ماسه سنگی زرد - قهوه‌ای که شامل مادستون به صورت فرعی و اندکی از عناصر سنگ آهک و کنگلومرای ریگی است. توسعه این واحد روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ میناب اغلب به سمت شمال است. نام آن برگرفته از کوه خکو می‌باشد و حداکثر ضخامت آن احتمالاً حدود ۲۰۰۰ متر در ناودیس کام سفید است. ماسه سنگ خکو اساساً ترکیبی از ماسه سنگ خاکستری روشن، قهوه‌ای و نارنجی‌رنگ، لایه‌بندی توده‌ای در واحدهای ضخیم - لایه‌های خاص که بیش از ۱۵ متر ضخامت دارند وجود دارد. به‌طور کلی ماسه سنگی با دامنه‌ای از سنگ‌ریزه درشت تا ماسه سنگ سیلتی دانه‌ریز، شامل اندکی لایه‌های بی‌قاعده و نامنظم کنگلومرای ریگی است (مک کال، ۱۳۶۴).

#### ۱-۵-۲-۶ - کنگلومرای پالامی

پالامی نام کوهی است که از این کنگلومرا تشکیل شده است. این واحد کنگلومرا دانه درشت، با لایه بندی خوب و یکنواخت و با خمیره ماسه ای است و با ۴۵۰۰ متر ضخامت با تمام واحدهای کهن تر ارتباط دگر شیب دارد. ویژگی های رسوبی این واحد نشان گر ته نشست سریع، در حوضه ای در حال فرونشست در یک سیستم رودخانه ای بریده بریده است.

از نظر سنی، ارتباط ناپیوسته بین واحد ماسه سنگ خکو (میوسن بالایی - پلیوسن زیرین) سن واحد پالامی را به پلیوسن پیشین محدود می کند. با وجود این، به طور محلی کنگلومرا می تواند از نظر سنی تا میوسن پسین گسترش داشته باشد (آقناباتی، ۱۳۸۵).

#### ۱-۵-۲-۷ - کنگلومرای پلیوسن

این واحد توالی از کنگلومرای پلی مکتایک (چند زادی) و ماسه سنگ است.

#### ۱-۵-۳ - رسوبات کواترنری

در نواحی بندرعباس و مکران آبرفت های کواترنر به دو گروه تقسیم می شوند که عبارت اند از آبرفت های قدیم تر یا آبرفت سدیج و آبرفت های جدیدتر که سازند میناب نامیده می شوند. سازند سدیج یا آبرفت سدیج شامل یک سری رسوبات دانه درشت در بالا و یک بخش دانه ریز ماسه ای در قسمت زیرین به رنگ خاکستری است و سازند میناب با ضخامت حدود ۵ متر از سیلت های بسیار دانه ریز به رنگ خاکستری تشکیل شده که در داخل آن باقیمانده های زغال ناقص و تورب وجود دارد که سن رادیومتری آن ۱۲۵۰ سال قبل است (درویش زاده، ۱۳۸۵).

## Q<sup>t1</sup>

آبرفت‌های قدیمی و تراس‌های رودخانه‌ای متراکم و سیمانی شده هستند. این واحدها شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و مارن گراولی است. دانه‌بندی این رسوبات با شیب توپوگرافی نسبت مستقیم دارد به‌طوری‌که در دامنه‌ی ارتفاع، رسوبات گراولی با قطعات به قطر چند متر و در دشت‌ها نهشته‌های ماسه‌ای و حتی سیل‌تی تشکیل گردیده است. در رسوبات آبرفتی قدیم اثری از لایه‌بندی حاصل از چین‌خوردگی دیده نشده و لایه‌های رسوبی افقی می‌باشند.

## Q<sup>t2</sup>

این واحد شامل پادگانه‌های آبرفتی جوان و رسوبات آبرفتی (آبرفت‌های جوان تراکم نیافته) است. ذرات تشکیل‌دهنده این رسوبات آبرفتی شامل رسوبات گراولی از جنس سنگ‌های محیط تشکیل آن‌ها بوده و بدون هیچ سیمانی بر روی هم انباشته شده و تراکم آن‌ها نسبت به پادگانه‌های قدیمی کمتر است.

## Q<sup>al</sup>

این واحد شامل آبرفت‌های عهد حاضر و رسوبات رودخانه‌ها (رسوبات کانال رودخانه) می‌باشد. جنس این رسوبات به‌طور عمده از شن و ماسه و بخش‌هایی از سیلت و رس می‌باشد - مواد بر جای گذاشته شده به هنگام افت دبی سیلاب این رسوبات کواترنر در گستره موردبررسی در پهنه‌های سیلابی رودخانه رودان و رودخانه میناب و نیز در بستر این رودخانه‌ها دیده می‌شود.

## ۱-۶ - زمین‌شناسی ساختمانی منطقه مورد مطالعه

در بررسی وضعیت چینه‌شناسی منطقه مشخص شد منطقه مورد مطالعه از نظر زمین ساختی در دو زون زاگرس و مکران می‌باشد و این دو زون به‌وسیله گسل میناب از یکدیگر جدا شده است. در زون زاگرس ردیف‌های کربناتی ژوراسیک کرتاسه بالایی که در سکوی قاره‌ای اقیانوس تتیس جوان انباشته شده‌اند و امروزه، به‌ویژه بخش کرتاسه آن، در هسته تاقدیس‌ها برونزد دارند. توالی‌های هم‌زمان با کوهزایی سنوزوئیک که ممکن است دریایی یا غیر دریایی باشند. بخش پایینی این توالی

کربنات‌های پلاتفرمی ائوسن و اولیگوسن (سازند جهرم و آسماری) هستند که هسته‌ی پاره‌ای از این تاقدیس‌های بلند منطقه را می‌سازند سنگ‌های میوسن بیشتر سکانس‌های آواری هم‌زمان با کوهزایی‌اند که در محیط‌های دریایی پس‌رونده، به سمت جنوب، رسوب‌کرده‌اند و در فرهنگ چینه‌شناسی زاگرس گروه فارس نام دارند. گروه فارس با انباشته‌های گچی سازند گچساران و یا هم‌ارزهای آواری آن (سازند رازک) آغاز می‌شود و در پی آن مارن‌های دریایی سازند میشان و بالاخره انباشته‌های آواری قرمزرنگ سازند آغاچاری قرار دارد. جوان‌ترین سنگ‌های این مجموعه انباشته‌های کنگلومرایی سازند بختیاری است که در نواحی کم ارتفاع تاقدیس‌ها و یا در هسته ناودیس‌ها رخنمون دارد از نگاه تکتونیکی، ساختارهای ناحیه بیشتر تناوبی از تاقدیس‌ها و ناودیس‌های موازی‌اند که روند عمومی آن‌ها کم‌وبیش شرقی - غربی است. در نواحی شمال - شمال غربی و منطقه، عوامل مؤثر در چین‌خوردگی کماکان پویا هستند به همین دلیل زمین حرکت‌های رو به بالا دارد که با فشردگی و کوتاه شدگی پوسته و در نتیجه تمرکز انرژی همراه است. رها شدن انرژی تقریباً دائمی است به همین لحاظ تکان‌های زمین به صورت زمین‌لرزه زیاد است که گاهی، نظیر زمین‌لرزه، با ویرانی زیاد و تلفات انسانی همراه می‌باشد.

شرق منطقه بخشی از پهنه ساختاری رسوبی مکران بوده و ویژگی‌های بی‌سنگی و الگوی ساختاری ویژه‌ای حاکم است که با سایر نواحی منطقه تفاوت‌های آشکار دارد. در این بخش، برخلاف بخش مربوط به زاگرس، پی‌سنگ از نوع پوسته‌های اقیانوسی است که با توالی نسبتاً ضخیمی (حدود ۱۰۰۰۰ متر) از نهشته‌های فلیشی و مولاسی کرتاسه پسین - پلیوسن پوشیده شده‌اند. بخش افیولیتی پی‌سنگ در حاشیه شمالی و رسوب‌های فلیشی - مولاسی در قسمت‌های میانی و جنوبی رخنمون دارد. پوسته اقیانوسی پی‌سنگ شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های اولترامافیک دگرگونه نظیر پریدوتیت، گابرو، دیاباز به همراه رسوبات رادیولاریتی و کربنات‌های پلاژیک است که به شدت با یکدیگر مخلوط شده و با آمیزه‌های رنگین سایر نواحی ایران قابل قیاس می‌باشند. فلیش‌ها و مولاس - های ترشیاری که پوشش رویی پی‌سنگ را تشکیل می‌دهند؛ و تا سواحل دریای عمان را زیرپوشش

دارند. این سنگ‌ها، در یک‌روند شمال به جنوب سن کمتری دارند. جوان‌ترین آن‌ها توالی‌های سست و کم سیمان آواری‌های پلیوسن است که به‌ویژه نواحی نزدیک به ساحل مکران را پوشانده‌اند. اکثر گسل‌های موجود در منطقه، گسل‌های محلی بوده و نحوه سازوکار دقیقی برای آن‌ها ذکر نشده است و از آنجاکه گسل میناب، زندان و پالامی از گسل‌های مهم منطقه به شمار می‌آید به معرفی گسل میناب و زندان و پالامی پرداخته می‌شود.

### ۱-۶-۱ - گسل میناب

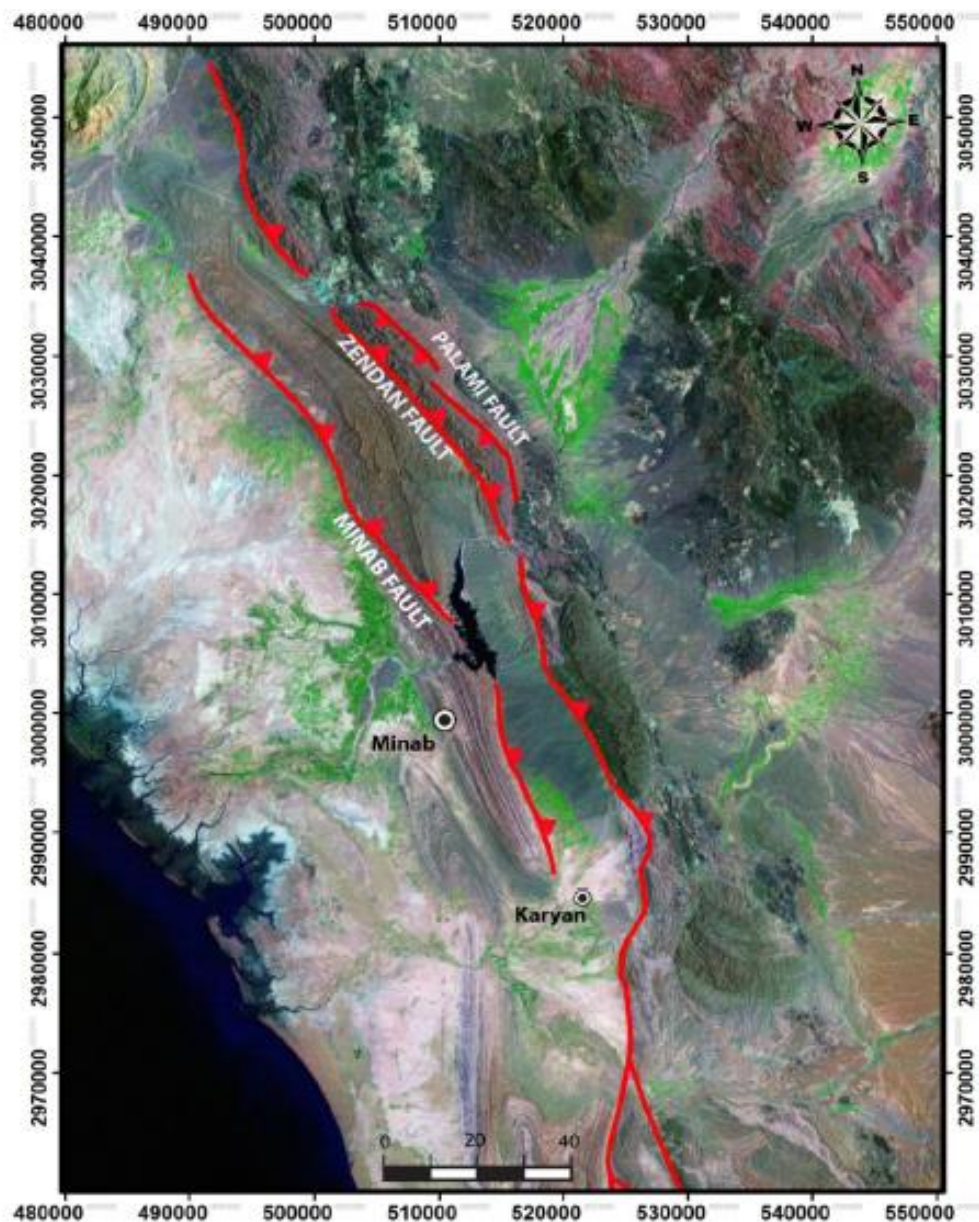
پهنه گسلی میناب دارای ۵۸ کیلومتر طول و راستای N12W شامل یک دسته از قطعات ناپیوسته از گسل‌های راندگی با شیب به‌سوی خاور می‌باشد که طبقات سنوزوئیک بالایی (ترشیری) و نهشته‌های کواترنری را تحت تأثیر قرار داده است. این گسل در شمال شهر میناب ماسه‌سنگ‌های نئوژن و مارن-های گیوشی (Gushi marl) متعلق به میوسن پایینی را بر روی رسوبات پلیستوسن میانی رانده است. گسل میناب ارتباط نزدیکی با چین‌خوردگی، خصوصاً در جاهایی که به‌موازات گسل زندان قرار می‌گیرد دارد (Regard et al, 2004). درواقع این گسل در نواحی شمالی، حد جنوب باختر تاقدیس میناب را مشخص می‌کند و به سمت جنوب، تاقدیس میناب را در نزدیکی شهر میناب و در محدوده مخزن سد استقلال میناب قطع می‌کند. این گسل در پایانه شمالی به دو قطعه تقسیم می‌شود که قطعه باختری مخروط افکنه‌های پلیستوسن بالایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و قطعه خاوری که یک راندگی با شیب به سمت شمال خاور است تاقدیس میناب را به‌صورت مایل قطع می‌کند. با توجه به شواهد مورفولوژیکی، نرخ لغزش بر روی این گسل  $0.13 \pm 0.09$  mm/yr تعیین‌شده و این گسل، یک گسل تقریباً معکوس محض می‌باشد (Regard et al, 2004) (شکل ۱-۴).

## ۱-۶-۲ - گسل زندان

گسل زندان با راستای شمال - شمال باختری و با شیب به سمت خاور با مرز اصلی سنگ‌شناسی بین زاگرس و مکران مطابقت می‌کند. این گسل، گسلی مایل لغز با مؤلفه راندگی می‌باشد. در بخش مرکزی پهنه گسلی زندان، عملکرد گسل به صورت افرازه‌های گسلی در رسوبات کواترنری مشخص می‌شود (شکل ۴-۱).

## ۱-۶-۳ - گسل پالامی

گسل پالامی گسلی مایل لغز با مؤلفه راندگی و تقریباً به موازات گسل زندان می‌باشد. در ادامه به سمت شمال و نزدیک راندگی اصلی زاگرس این گسل به وضوح دیده نمی‌شود. نزدیک میناب، گسل پالامی در ۵ کیلومتری خاور گسل زندان قرار دارد و به سمت جنوب، این گسل در فاصله ۲۰ کیلومتری گسل زندان واقع شده است. این گسل نسبت به گسل زندان دارای قطعات کمتری بوده و طول میانگین قطعات آن حدود ۲۵ کیلومتر می‌باشد. بیشترین طول قطعات به ۴۱ کیلومتر می‌رسد. گسل پالامی مخروط افکنه‌های کواترنری را تحت تأثیر قرار داده است. این گسل، گسل بزرگ زاویه با شیب به سمت غرب - جنوب غرب می‌باشد که به طرف جنوب به دو پهنه گسلی تقسیم می‌شود که یکی رسوبات ساحلی اطراف جاسک را می‌برد در حالی که پهنه دیگری به منشور دگر ریختی مکران متصل می‌شود (Regard et al, 2004) (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱: تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک ۳۰ متر نشان‌دهنده موقعیت مکانی گسل‌های میناب، زندان و پالامی (کردوانی، ۱۳۹۰)

## ۷-۱ - چین‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

چین‌های موجود در منطقه در چهره تاقدیس و ناودیس‌های عادی و برگشته ظاهر شده‌اند که به دودسته چین‌های زاگرس و مکران می‌توان دسته‌بندی کرد در بررسی نقشه ساختاری منطقه مشخص شد چین‌های زون زاگرس عمدتاً دارای راستای شرقی - غربی بوده و در زون مکران محور چین‌ها

عمدتاً در راستای شمال غرب - جنوب شرق می‌باشند. با توجه به اینکه چین‌ها، عمود بر استرس‌های اصلی در یک منطقه تشکیل می‌شوند در نتیجه می‌توان بیان داشت که جهت غالب اصلی استرس وارد بر منطقه از سمت جنوب غرب - شمال شرق می‌باشد. با توجه به این که اکثر تاقدیس و ناودیس‌های عادی منطقه در بخش‌های شمالی و غربی منطقه وجود داشته و با حرکت به سمت شرق، چین‌ها در زون مکران اکثراً برگشته می‌باشند که می‌توان بیان نمود رسوبات شرق مکران در دوره ائو-الیگوسن تحت تأثیر چین‌خوردگی واقع شده و ارتفاع پیدا کرده است در ادامه در اثر فرسایش این واحدها باعث رسوب‌گذاری در بخش‌های جنوبی حوضه مکران گردیده است؛ و در میوسن میانی در اثر فاز کوهزایی آن زمان (پاسادنین) باعث گردیده تا رسوبات بخش جنوبی یک مرحله چین‌خورده شده و در ادامه در بخش‌های شمالی، چین‌خوردگی مجدد باعث برگشتگی چین‌ها شده است.

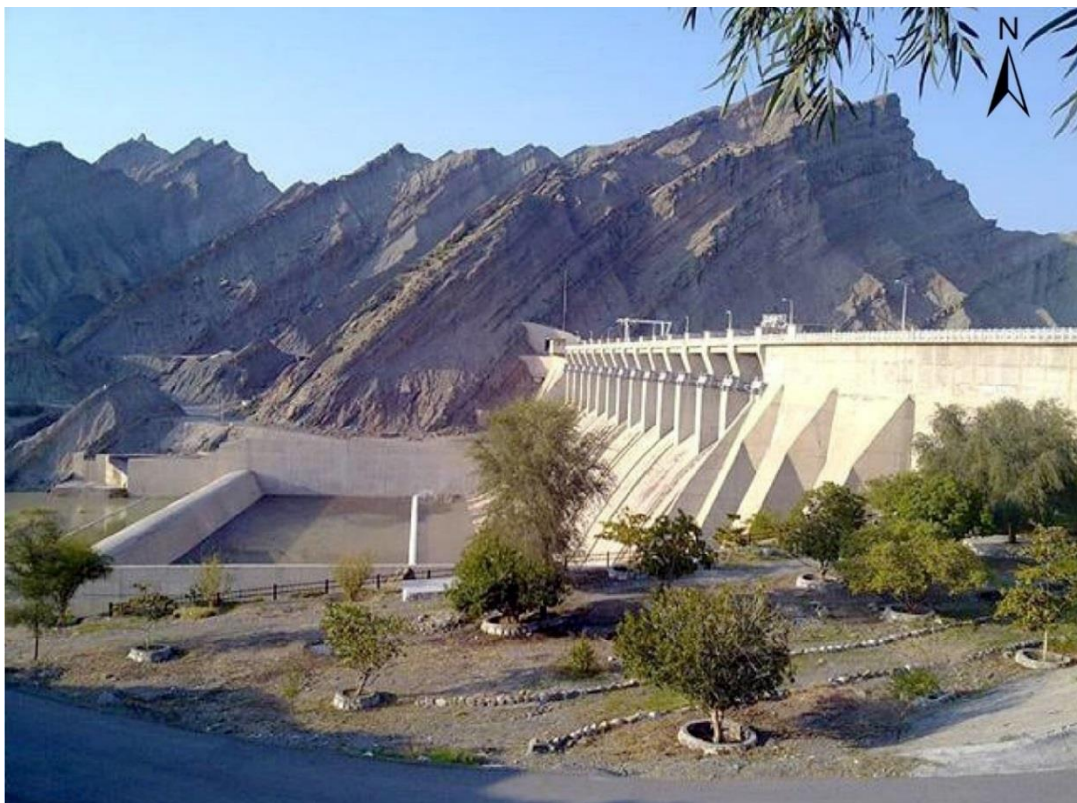
اکثر محور چین‌ها در این منطقه توسط گسل‌های فرعی که عمدتاً دارای روند شمال شرق - جنوب غرب می‌باشند قطع شده است. از تاقدیس‌های مهم منطقه می‌توان به تاقدیس میناب، تاقدیس کهتک، تاقدیس تیاب و ... اشاره نمود.

## ۸-۱ - زمین‌ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه

دشت میناب که در ۱۰۰ کیلومتری شمال شرق بندرعباس واقع شده، یکی از حاصلخیزترین دشت‌های کشور به شمار می‌رود که از سمت شرق به رشته ارتفاعات میناب و از سمت غرب به خلیج فارس منتهی می‌شود. از نظر توپوگرافی دشت بسیار هموار می‌باشد که با یک شیب بسیار کم (۵/۰ درصد) به دریا ختم می‌شود. حداکثر ارتفاع دشت ۹۰ متر و حداقل آن صفر است؛ و همچنین کفه نمکی نیز در دشت وجود دارد؛ که به سبب تبخیر آب سطحی و رسوب زایی نمک در سطح زمین، بر روی تصاویر ماهواره‌ای بارنگ متمایل به سفید مشخص و فاقد پوشش گیاهی است.

## ۹-۱ - هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه

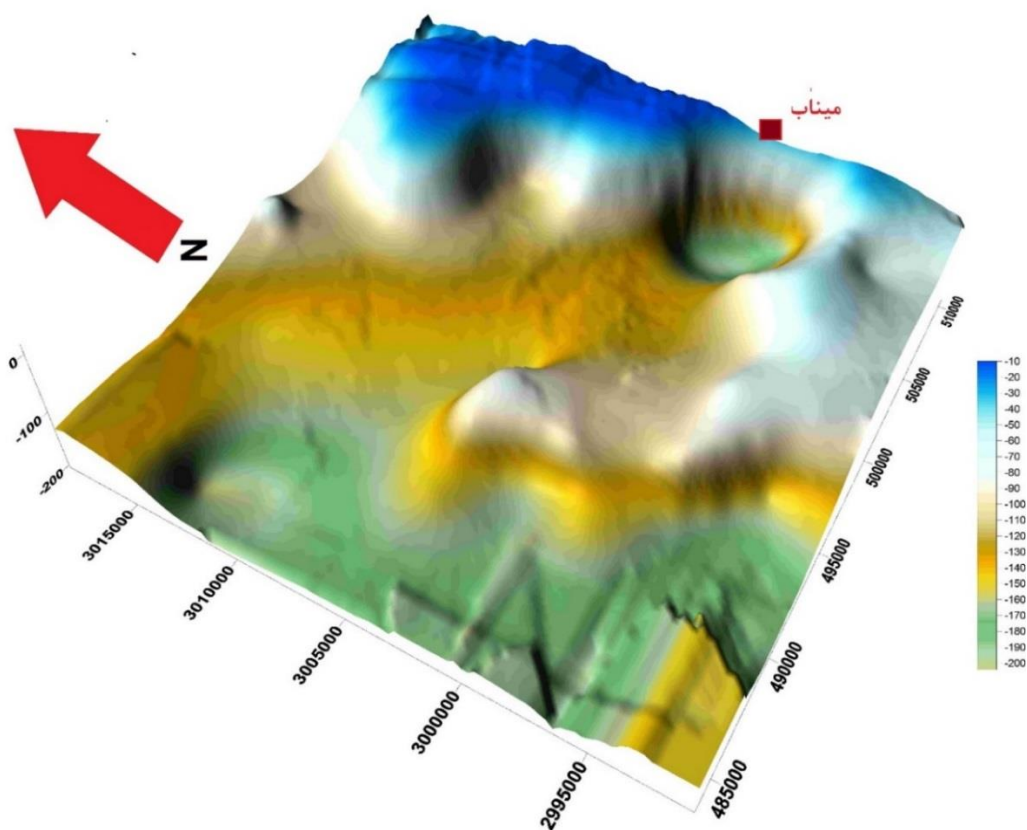
مهم‌ترین رودخانه دشت میناب، رودخانه میناب می‌باشد که حوضه آبریز این رودخانه در مناطق وسیعی از استان کرمان شامل شهرستان‌های جیرفت، کهنوج و شهرستان‌های رودان و میناب در استان هرمزگان واقع شده است. هنگامی که دوشاخه عمده رودخانه میناب به نام‌های رودخانه رودان و جغین در حوالی روستای برنطین به هم می‌پیوندند، رودخانه میناب تشکیل می‌شود. شاخه‌های رودخانه رودان از کوه‌های باغ برج واقع در ۷۸ کیلومتری جنوب غربی جیرفت و رودخانه جغین از کوه‌های بشاگرد واقع در شمال شرقی و شرق میناب سرچشمه می‌گیرند. رودخانه میناب پس از اتصال شاخه‌های مذکور در جهت جنوب غربی جریان می‌یابد. از میان تپه‌های کم ارتفاع گذشته و وارد جلگه میناب می‌شود. از میان شهر میناب می‌گذرد و در جنوب بندر کوچک کلاهی وارد دریا می‌شود. رودخانه میناب دارای آب دائمی است و رژیم آبی رودخانه بارانی و سیلابی است. سد استقلال در سمت شرق و ورودی دشت بر روی رودخانه میناب احداث شده است. آب رودخانه در ابتدا وارد دریاچه سد استقلال میناب شده و در آنجا ذخیره می‌شود و سپس در طول سال به مصرف شرب بندرعباس و کشاورزی دشت میناب می‌رسد (شکل ۱-۵). بخشی از جریان‌های حاصل از بارش بر سطح حوضه دشت وارد دریاچه سد می‌گردد و بخشی از جریان‌های حاصله از طریق تعدادی مسیل که از ارتفاعات شمالی حوضه سرچشمه می‌گیرند با جهت شرقی غربی جریان یافته و در نزدیکی آبادی‌های چاه شیرین و گوربند در سطح دشت پخش می‌شوند و در نهایت در قسمت انتهایی دشت باهم یکی شده و به دریا می‌ریزد. علاوه بر این، تعدادی مسیل نیز از ارتفاعات شمال غربی حوضه سرچشمه گرفته و با جهت شمال جنوب امتداد یافته و در سطح دشت پخش شده و باعث تغذیه دشت می‌شود.



شکل ۱-۵: نمایی از سد استقلال میناب

## ۱۰-۱ - هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

مطالعات ژئوالکتریک دشت میناب در چارچوب مطالعات دشت‌های آبرفتی کشور توسط گروه ژئوفیزیک دفتر بررسی‌های منابع آب وزارت نیرو در سال ۱۳۶۷ انجام شده است. روند تغییرات سنگ کف دشت به‌طور کلی از شرق و جنوب شرق به سمت غرب و شمال غرب افزایش می‌یابد. در شرق آبخوان و در مجاورت ارتفاعات عمق سنگ کف در حدود ۱۰ متر به استثنا محدوده شهر میناب که عمق سنگ کف به‌شدت افزایش یافته و به بیش از ۱۵۰ متر می‌رسد. در ادامه و به سمت مرکز دشت عمق افزایش یافته و به ۱۰۰ متر هم می‌رسد و به سمت غرب آبخوان و در مجاورت دریا عمق سنگ کف به بیش از ۲۰۰ متر می‌رسد (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶: تصویر سه بعدی از سنگ کف آبخوان میناب (شرکت مهندسی آبان رود تدبیر، ۱۳۹۵)

بررسی لاگ‌های حفاری منطقه و رفتار چاه‌های بهره‌برداری در هنگام حفاری، وجود دو آبخوان آزاد و محبوس را در این محدوده تأیید نموده است؛ اما گسترش محدوده آبخوان محبوس در سرتاسر زیر آبخوان آزاد نیست اما وسیع نیز می‌باشد. مساحت آبخوان میناب حدود ۷۱۷ کیلومترمربع تخمین زده شده که با توجه به بررسی لاگ‌های زمین‌شناسی و موقعیت زمین‌شناسی منطقه، پیش‌بینی می‌شود که گسترش آبخوان محبوس صرفاً در بخش شمالی و جنوبی آبخوان احتمالاً به‌طور محدود وجود ندارد. لایه تفکیک‌کننده این دو آبخوان، از جنس رس - سیلتی می‌باشد. در آبخوان میناب تعداد ۳۹ حلقه پیزومتر حفر شده و از سال ۱۳۶۵ تاکنون سطح آب زیرزمینی به‌صورت منظم در آن‌ها برداشت می‌شود؛ و در آبخوان تحت‌فشار میناب ۱۲ پیزومتر حفر شده است. تقریباً در پیزومترهایی که

عمق بیش از ۵۰ متر دارند، در لاگ‌ها نشان می‌دهد که وارد سفره محبوس شده‌اند. بیشترین عمق سطح آب در آبخوان در بخش شرقی آبخوان و در حدود ۵۰ متر بوده و کم‌ترین عمق نیز در بخش غربی و حدود ۴ متر است. عمق سطح آب در آبخوان از سمت غرب به سمت شرق افزایش می‌یابد و در حوالی شهر میناب به بیشترین مقدار خود می‌رسد. سیستم بهره‌برداری منطقه بیشتر به صورت چاه می‌باشد.



## فصل دوم:

### مروری بر مطالعات پیشین

## ۲-۱ - مقدمه

مطالعه آبخوان‌های ساحلی به خاطر نفوذ آب شور در این آبخوان‌ها و اثرات زیست‌محیطی آن از جمله شوری منابع آب و خاک، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و کمبود منابع آب شیرین از اهمیت بالایی برخوردار است. وضعیت تهاجم آب شور به عوامل مختلفی از جمله اندازه و مقیاس، خصوصیات آبخوان، جریان ورودی و خروجی آب زیرزمینی، پیشروی گوهی آب شور بر اثر پمپاژ از چاه‌ها، نوسانات جزر و مدی سطح دریا و تغییرات اقلیمی مانند بالا آمدن آب دریا و یا تغییرات نرخ تغذیه بستگی دارد (کتابچی و عطایی آشتیانی، ۱۳۹۴). در این فصل به بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات خواص هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌های آبرفتی و خصوصیات آبخوان‌های ساحلی که توسط محققین دیگر بررسی شده است پرداخته می‌شود و شامل بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت و کمیت آبخوان‌های آبرفتی و بررسی خواص آبخوان‌های ساحلی می‌باشد.

## ۲-۲ - عوامل مؤثر بر کمیت و کیفیت آب

منشأ اصلی آب‌های سطحی و زیرزمینی، نزولات جوی است. مقدار مواد محلول در آب به این صورت می‌باشد که در نزدیکی سواحل دریا مقدار مواد محلول بیشتر و در مناطق کوهستانی مقدار آن کمتر می‌باشد. کیفیت آب، به شرایط طبیعی شیمیایی و فیزیکی آب و تغییراتی که توسط فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود بستگی دارد (Price, 2004). کیفیت آب زیرزمینی حاصل فرایندها و واکنش‌هایی است که از زمان تراکم آب در اتمسفر تا هنگام برداشت از چاه، چشمه و... بر آن تأثیر می‌گذارند. ترکیب شیمیایی، بیولوژیکی، مقدار مواد محلول و دما شاخص‌های کیفیت آب و نمایانگر منشأ و مسیر حرکت آن می‌باشند (Alley, 1993). در تعیین اینکه آیا آب به‌منظور مصارف آشامیدنی، کشاورزی و صنعت با توجه به فاکتورهای مربوط به هر یک مناسب است یا نه، بسیار اهمیت داشته و نیازمند مطالعه دقیق و جامع در این زمینه می‌باشد (Bouwer, 1978). با استفاده از داده‌های کیفی آب می‌توان تا حدودی به مناطق تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی و نیز سرعت و جهت جریان آن پی برد

(Walton, 1970). عوامل مختلفی در ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی مؤثر هستند که در ادامه به شرح مهم‌ترین آن‌ها پرداخته می‌شود.

## ۲-۱-۲- اثر عوامل زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی

شیمی آب زیرزمینی در هر منطقه به نوع سنگ‌هایی بستگی دارد که آب از درون آن‌ها عبور می‌کند. عبور آب از سازندهای دربرگیرنده با لیتولوژی مختلف باعث انحلال در سازندها در مسیر حرکت آب-های زیرزمینی می‌شود که بالتبع باعث ایجاد تغییرات فیزیکی و شیمیایی در آب زیرزمینی می‌گردند. مهم‌ترین سنگ‌هایی که در تماس با آب زیرزمینی دچار انحلال می‌شوند کانی‌های تبخیری هستند. انحلال کانی‌های تبخیری همچون ژپس و هالیت و سنگ‌های کربناته همچون آهک و دولومیت سبب از بین رفتن کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. منشأ یابی و تعیین علل شوری آب زیرزمینی نیز از جمله اقدامات محققان بوده است.

محمدی در سال ۱۳۸۰ علل شوری سفره‌های آب زیرزمینی دشت شبستر را بررسی کرده و با جمع‌آوری داده‌های هیدروژئولوژیکی قبلی و نمونه‌برداری‌های متعدد از چاه‌های موجود در منطقه دو گروه آب‌شور با ترکیب شیمیایی کاملاً متفاوت را در منطقه تشخیص داد: (۱) دارای مقادیر پایینی از نسبت‌های  $Na/Cl$  و  $SO_4/Cl$  بوده و درصد عناصر قلیایی در این گروه از نسبت بالایی برخوردار است و آب‌شور قسمت‌های مرکزی دشت را در برمی‌گیرد. (۲) دارای مقادیر بالایی از نسبت‌های  $SO_4/Cl$  و  $Na/Cl$  می‌باشد و درصد عناصر قلیایی خاکی در این گروه نسبت به گروه اول پایین و آب‌شور قسمت‌های جنوب شرقی و جنوبی دشت را در برمی‌گیرد؛ و مشخص کرد که نفوذ آب‌شور به سفره‌های آب زیرزمینی در دشت در سه ناحیه (مرکزی، حاشیه جنوبی و قسمت‌های جنوب شرقی دشت) دیده می‌شود. در آب‌شور قسمت‌های مرکزی نسبت‌های  $Cl$  و  $SO_4$  به مجموع آنیون‌ها همخوانی خوبی با نسبت‌های مذکور در آب دریاچه ارومیه دارند در نتیجه منشأ آب‌شور در این مناطق را می‌توان به دریاچه ارومیه نسبت داد. ولی شوری قسمت‌های جنوب شرقی و جنوبی متفاوت از آب

دریاچه ارومیه است و عامل شوری آن‌ها را می‌توان به تبخیر آب زیرزمینی، نفوذ از رودخانه‌های مجاور شور و انحلال نهشته‌های تبخیری در منطقه دانست.

بهبهانی در سال ۱۳۸۲ وضعیت هیدروشیمیایی آب زیرزمینی دشت عباس را مورد بررسی قرارداد و علل شوری آب این دشت را انحلال نمک‌های تبخیری، تبخیر از آب سطحی، تراوش نمک و نفوذ آب‌شور از مناطق مجاور عنوان کردند.

قره بگلو در سال ۱۳۸۷ هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی آبخوان دشت سلماس را مورد بررسی قرار داده است که مشخص شده کیفیت آب زیرزمینی دشت تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و در قسمت شمال غربی تحت تأثیر نیتрат حاصل از کشاورزی قرار گرفته است و در قسمت خروجی دشت نیز کاهش کیفیت آب را ناشی از احتمال نفوذ آب‌شور دانسته‌اند.

ماری و ونگوش (Marie and Vengosh, 2001)، با توجه به وجود مشکل افزایش شوری آب زیرزمینی دره اردن، منشأ شوری آب‌های زیرزمینی ناحیه Jericho، در این دره را مورد مطالعه قراردادند. با بررسی تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای شیمیایی مختلف و با استفاده از نمودارهای ترکیبی، منشأ پتانسیل شوری را در دو آبخوان در این ناحیه مشخص نمودند. همچنین بیان نمودند که افزایش شوری را در هر دو آبخوان، ناشی از اختلاط آب‌های نفوذی با شورابه‌های عمقی ناشی از حرکت آب توسط سیستم گسل می‌باشد.

ایادی و همکاران (Ayadi et al, 2017)، با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار و رادیوژنیک به بررسی منشأ و مکانیسم تغذیه در جنوب شرقی تونس پرداختند. با توجه به نتایج، منشأ شوری در آب‌های زیرزمینی واکنش آب - سنگ و انحلال کانی‌های تبخیری و تبادل یونی باکانی رس می‌باشد.

## ۲-۲-۲ - اثر عوامل اقلیمی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی

بارندگی در هر منطقه با توجه به داشتن شرایط لازم می‌تواند تأثیر زیادی در مقدار آب موجود در آبخوان‌ها داشته باشد. تأثیر بارندگی‌ها در کمیت آب‌های زیرزمینی امری بدیهی است و عامل تعیین‌کننده‌ای در میزان تغذیه آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. کمبود بارش در تمام سیستم هیدرولوژیکی باعث می‌شود که خشکسالی در منطقه غیراشباع، اشباع و آب‌های سطحی رخ دهد. خشکسالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی و از جمله رخدادهایی است که هر ساله خسارت‌های زیادی را باعث می‌شود. این پدیده از ویژگی‌های اصلی و تکرارشونده تمامی اقلیم‌ها به شمار می‌آید. اثرات خشکسالی صرفاً به نواحی خشک و نیمه‌خشک محدود نبوده و می‌تواند اثرات زیان‌آوری بر منابع آب زیرزمینی هر منطقه داشته باشد. از خشکسالی به‌عنوان بی‌سر و صداترین بلای طبیعی نام‌برده می‌شود. این در حالی است که خطر و خسارات ناشی از خشکسالی به‌مراتب بیشتر و گسترده‌تر از سایر بلایای طبیعی مانند سیل، طوفان، آتش‌فشان و حتی زلزله است. از نقطه‌نظر هیدرولوژیکی خشکسالی زمانی به وقوع می‌پیوندد که نه‌تنها نزولات جوی، بلکه جریان رودخانه، رواناب سطحی و آب ذخیره‌شده نیز با کمبود روبه‌رو شود. به‌منظور مدیریت بهینه و آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی لازم است از نوسانات سطح آب زیرزمینی بررسی‌های دقیقی انجام شود و برای یافتن اثرات بارندگی و بررسی تغییرات آن بر روی سطح آب زیرزمینی ضروری می‌باشد.

کلانتری و همکاران در سال ۱۳۸۸ به بررسی هیدروشیمیایی دشت میان آب با استفاده از روش‌های آماری، نمودارهای هیدروشیمیایی و منطق فازی پرداختند و با این نتیجه رسیدند که ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی به‌شدت تحت تأثیر تغذیه رودخانه، رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان و تبخیر از سطح آب زیرزمینی قرار گرفته است.

شریف و همکاران (Sherif et al, 1999)، تأثیر تغییر آب‌وهوا بر پدیده پیشروی آب‌شور را مورد بررسی قرار دادند. گرم شدن عمومی زمین و تغییر آب‌وهوا، اجزاء سیکل هیدرولوژی را در مکان، زمان و

فرکانس تغییر می‌دهد که این تغییر دو جنبه کیفی و کمی را در برمی‌گیرد. از لحاظ کمی گرم شدن عمومی زمین باعث افزایش ارتفاع سطح آب دریا‌های آزاد خواهد شد. این افزایش ارتفاع، تبعات کیفی را در بردارد. آن‌ها سه سناریو را در مطالعات خود مورد بررسی قرار دادند و در این سناریوها با افزایش ارتفاع سطح آب دریا و همچنین افزایش نرخ پمپاژ پدیده پیشروی آب‌شور را مورد بررسی قرار دادند. مطالعات او و همکارانش نشان داد که افزایش ارتفاع سطح آب دریا باعث نفوذ هر چه بیشتر آب دریا به آبخوان می‌گردد. ولی تأثیر پمپاژ و کاهش شیب هیدرولیکی آب شیرین مؤثرتر از افزایش ارتفاع آب دریا می‌باشد.

## ۲-۲-۳- اثر برداشت بیش‌ازحد بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی

با توجه به کمبود منابع آب سطحی و نیز رشد سریع جمعیت و گسترش شهرنشینی، منابع آب زیرزمینی نقش مهمی را در زندگی بشر امروز ایفا می‌نمایند. از آنجاکه فعالیت‌های انسانی در بسیاری از موارد به توازن موجود در طبیعت آسیب وارد می‌کند، پمپاژ بیش‌ازحد از سفره آب زیرزمینی، پیامدهای زیست‌محیطی فراوانی همچون تغییر کیفیت آب زیرزمینی، افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی، افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی، نشست زمین و ایجاد درز و شکاف در سطح زمین و همچنین هجوم آب‌های شور بخصوص در مناطق ساحلی به دنبال دارد. همچنین برداشت بی‌رویه از چاه‌های کشاورزی اطراف دریاچه علاوه بر کاهش سطح آب زیرزمینی و شوری بیشتر آب باعث حرکت آب زیرزمینی به سمت چاه‌های اطراف شده است. در صورتی که حجم آب خروجی از آبخوان‌ها از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق یا خروجی‌های طبیعی بیشتر از حجم ورودی آن شود؛ سطح آب سفره پایین می‌افتد و اگر در فصول غیر زراعی آب‌های ورودی ناشی از نفوذ رواناب‌های سطحی و تغذیه‌های طبیعی، افت به وجود آمده در سفره را جبران نکند، سفره با کسری حجم مخزن روبرو می‌شود و در صورت تکرار این روند در سال‌های بعد آبخوان با خطر نابودی مواجه می‌گردد.

صنوبر در سال ۱۳۷۲ تأثیر پیشروی آب‌شور دریاچه ارومیه در شور کردن سفره آب زیرزمینی دشت قلعه چای را بررسی کرده و نشان داده که افزایش بی‌رویه چاه‌ها برداشت و تغییر الگوی کشت کشاورزان به علت مبانی اقتصادی از محصولات با نیاز آبی کم به محصولات با نیاز آبی بیشتر باعث بهره‌برداری بیش از ظرفیت از سفره آب زیرزمینی شده است و این برداشت تا حدی است که در حاشیه روستاهای پسیان، نانساء، باعث ایجاد مخروط افته شده که منجر به جریان آب‌شور به لایه‌های آب شیرین در خشکی گردیده است و بررسی‌ها نشان می‌دهد آب موردنیاز دشت را می‌توان با استفاده از منابع آب سطحی حوضه قلعه چای تأمین نمود.

جعفر زاده و همکاران در سال ۱۳۸۶ با مطالعه و بررسی تأثیر آب‌شور دریاچه ارومیه بر روی کیفیت آب زیرزمینی دشت ملکان نشان دادند که بهره‌برداری بیش‌ازحد مجاز از سفره آب زیرزمینی باعث افت و نزول کیفیت آب زیرزمینی در مناطق ساحلی و هم‌جوار با آب‌شور دریاچه ارومیه نظیر دشت ملکان شده و این مسئله باعث هجوم آب‌شور به سمت سفره آب زیرزمینی شده و شوری آب سفره در مناطق ساحلی را به دنبال داشته است و نسبت آنیون‌های نمونه‌های برداشت‌شده در مناطق ساحلی همخوانی خوبی با آب دریاچه ارومیه دارد.

جهانشاهی و زارع در سال ۱۳۹۴ ارزیابی هیدروشیمیایی برای مشخص نمودن نفوذ آب‌شور در آبخوان ساحلی دریاچه مهارلو را انجام دادند؛ که نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داد که با توجه به برداشت بیش‌ازحد آب زیرزمینی از این آبخوان، شیب سطح ایستابی از دریاچه به سمت آبخوان است؛ بنابراین آب‌های شور به آبخوان مهاجرت می‌کنند و باعث تخریب کیفیت آب زیرزمینی می‌شود.

کامرا و همکاران (Kamra et al, 2000)، مطالعاتی را در بلوک گوهانا واقع در استان هاویانا هند انجام دادند و مشخص شد که در این ناحیه لایه‌های آب شیرین بر روی زون‌های آب‌شور قرار گرفته‌اند و پمپاژ بیش‌ازحد آب زیرزمینی باعث ورود آب‌شور به لایه‌های آب شیرین می‌شود و کیفیت آب را تخریب می‌کند.

ال موجب و همکاران (El Moujabber et al, 2006)، برای بررسی شوری آب زیرزمینی به وسیله نفوذ آب شور در سواحل لبنان، از شش حلقه چاه در منطقه نمونه برداری انجام دادند؛ و نفوذ آب شور را به وسیله روابط متقابل بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی بررسی کردند و مشخص گردید که نفوذ شوری به طور مستقیم به طول مدت و شدت پمپاژ وابسته بوده و ارتباط ضعیفی با مقدار بارش باران دارد.

## ۲-۲-۴- نفوذ آب شور

نفوذ آب شور از مهم ترین عواملی است که منجر به کاهش کیفیت آب شرب و آبیاری می گردد. در بسیاری از مناطق ساحلی آب زیرزمینی به عنوان مهم ترین منبع تأمین آب مورد نیاز مصارفی چون کشاورزی، شرب و صنعت تلقی می شود. در این نواحی منابع آب شیرین در معرض نفوذ آب های شور و لب شور قرار دارند و همین امر همواره موجب ایجاد نگرانی هایی در این مناطق می شود (Melloul and Goldenberg, 1998). تداخل و نفوذ آب شور در آبخوان های ساحلی به دلیل افت سطح آب زیرزمینی صورت می گیرد و باعث تخریب کیفیت آب زیرزمینی می شود (Barker et al, 1998) آب زیرزمینی هنگام عبور از خاک، مواد انحلال پذیر ناشی از هوازدگی خاک را به خود می افزاید. آب مازاد آبیاری هم مقدار زیادی نمک را وارد آب زیرزمینی می کند. غلظت نمک در آب هایی که از منطقه ریشه گیاهان عبور می کند چندین برابر آبی است که برای آبیاری به کار می رود که این افزایش به این علت است که با افزایش تبخیر و تعرق غلظت نمک در آب افزایش می یابد.

## ۲-۲-۵- پساب های شهری، صنعتی و کشاورزی

عوامل انسان زاد با رشد جمعیت، توسعه شهری، پساب های صنعتی، خانگی، کشاورزی و برداشت بی- رویه آب زیرزمینی باعث آلودگی و کاهش کیفیت آب ها می شود. آلودگی های انسان زاد برای مدت زیادی در منابع آب زیرزمینی باقی می ماند، زیرا حرکت آب در آبخوان به کندی پیش می رود. آلاینده های دارای منبع نقطه ای (فاضلاب های خانگی و صنعتی) را می توان قبل از ورود به آب

زیرزمینی تصفیه کرد. پساب‌های کشاورزی که حاوی کودهای شیمیایی‌اند و منبع غیر نقطه‌ای به شمار می‌روند را به‌سختی می‌توان تصفیه کرد، بنابراین پساب کشاورزی نسبت به فاضلاب‌های شهری و صنعتی نقش مهم‌تری بر کاهش کیفیت آب زیرزمینی دارد دفع فاضلاب‌های شهری و مواد مضر خطرناک خروجی از کارخانه‌ها و صنایع تولیدی، از مسائل مهم جهان امروز است. دفع نادرست فاضلاب در بسیاری از شهرهای کشورهای توسعه‌نیافته محیط را به‌گونه‌ای آلوده کرده که مردم در معرض بیماری‌های عفونی، انگلی و بیماری‌های ناشی از عناصر سمی قرار گرفته‌اند. بااینکه بسیاری از مواد شیمیایی به‌صورت طبیعی در آب وجود دارند اما در غلظت‌های بالا باعث آلودگی آب می‌شوند (El-sayed and Salem, 2015).

## ۲-۳- مطالعات مختلفی که در مورد نفوذ آب‌شور به سفره‌های ساحلی انجام شده است

قره محمد لو و همکاران در سال ۱۳۸۷ جهت بررسی هیدروژئوشیمی آبخوان دشت ساری از اطلاعات مربوط به دو دوره نمونه‌برداری در پاییز ۱۳۸۳ و بهار ۱۳۸۴ استفاده نمودند. در این مطالعه بر اساس نمودار پایپر، وجود سه نوع رخساره هیدروژئوشیمی آب شیرین، ترکیبی و شور در آب زیرزمینی به اثبات رسید. به‌علاوه از دو روش نمودارهای ترکیبی و رول برای اثبات نفوذ آب‌شور در آبخوان مورد مطالعه استفاده شد. نمودارهای ترکیبی رسم شده بین یون‌های اصلی، نشان از روند خطی واضحی بین سدیم و کلر داشت. این موضوع بیانگر آن است که اختلاط بین آب‌شور و شیرین با نسبت‌های مختلف صورت گرفته است. این پژوهش بیانگر نفوذ آب‌شور حاوی کلر در برخی از چاه‌های شهر ساری بود.

قره محمد لو و ناصری در سال ۱۳۸۷ به‌منظور بررسی کمی و کیفی آبخوان شهر ساری و اثبات نفوذ آب‌شور دریا و آب فسیلی، از اطلاعات مربوط به دو دوره نمونه‌برداری در آذرماه ۱۳۸۲ و فروردین‌ماه ۱۳۸۳ استفاده کردند. بر اساس ماتریس همبستگی بین یون‌های اصلی آب زیرزمینی در هر دوره،

بیشترین همبستگی بین کلر و سدیم به ترتیب ۰/۹۰۹ برای آذرماه و ۰/۹۷۲ برای فروردین ماه موجود بود. برای اطمینان بیشتر از نفوذ آب شور دریا، از دو روش رول و نمودارهای ترکیبی نیز استفاده شد. نمودارهای ترکیبی رسم شده یون‌های اصلی نیز نشان از روند خطی بین سدیم و کلردارند. این در حالی است که بقیه یون‌ها از روندی اتفاقی پیروی می‌کنند. این موضوع نیز بیان‌کننده‌ی آن است که اختلاط بین آب شور و شیرین با نسبت‌های مختلف صورت گرفته است.

آقازاده و همکاران در سال ۱۳۸۹ باهدف بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی، ارزیابی نفوذ آب شور به سفره ساحلی دریاچه ارومیه و مشخص کردن فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی غالب در آبخوان قالقاچی مطالعه‌ای انجام دادند. برای این منظور پارامترهایی مانند EC و اسیدیته و غلظت آنیون و کاتیون‌های اصلی موجود در آب زیرزمینی منطقه را تعیین و سپس از طریق داده‌های هیدروژئوشیمیایی، نسبت‌های مختلف یونی و محاسبه اندیکس‌ها، ارزیابی نفوذ آب شور دریاچه به سفره آب زیرزمینی منطقه را انجام دادند. بررسی‌ها نشان داد که تیپ آب‌های منطقه به‌طور عمده کربناته‌کلسیک و کلروکلسیک می‌باشد و هر چه به نوار ساحلی نزدیک‌تر شویم تیپ آب در اثر نفوذ آب شور کلروسدیک می‌گردد.

بساکی و همکاران در سال ۱۳۸۹ به‌منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی در آبخوان ساحلی کردکوی و مشخص نمودن مرز آب شور و شیرین، ۱۵ ایستگاه را برای نمونه‌برداری و انجام آنالیزها انتخاب نمودند. آن‌ها از روش رول و نمودارهای ترکیبی برای اثبات نفوذ آب شور در این آبخوان استفاده کردند. نتایج نشان داد که بر طبق نمودارهای ترکیبی، روند خطی میان یون‌های سدیم و کلر در آب زیرزمینی موجود بود، بر اساس روش رول بیشترین مقدار نسبت یون کلر به مجموع یون‌های کربنات و بی‌کربنات مربوط به چاه بهره‌برداری دامداری عبدوی و کم‌ترین میزان آن متعلق به چاه‌های سرطاق و باغو کناره بود.

طاهری و همکاران در سال ۱۳۹۰ به‌منظور بررسی نفوذ آب شور دریای خزر به آبخوان‌های آبرفتی ساحلی در محدوده شهرستان‌های بهشهر و گلوگاه از نتایج داده‌های فیزیکوشیمیایی مربوط به

نمونه‌برداری آب زیرزمینی از چاه‌ها در دو فصل تر و خشک که توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مازندران برداشت‌شده بود، استفاده کردند و با استفاده از روش‌های هیدروژئوشیمیایی مانند روش رول، نفوذ آب‌شور را به آبخوان‌های ساحلی در منطقه اثبات کردند.

سجادی و همکاران در سال ۱۳۹۱ آبخوان عسلویه را مورد مطالعه قرار دادند. نمودارهای ترکیبی رسم شده بین یون‌های اصلی نشان از روندی خطی بین سدیم و کلر دارد. این در حالی است که بقیه یون‌ها از روندی اتفاقی پیروی می‌کنند. این موضوع بیان‌کننده‌ی آن است که اختلاط بین آب‌شور (حاوی یون‌های سدیم و کلر) و شیرین با نسبت‌های مختلف صورت گرفته است. بر اساس روش رول بیشترین مقدار نسبت یون کلر به مجموع یون‌های بی‌کربنات و کربنات، مربوط به چاه بهره‌برداری اخند بود که این روش نیز بیانگر نفوذ آب‌شور حاوی کلر در آبخوان عسلویه است.

هاکس هج (Hoxhaj, 2005)، بر اساس مشاهدات غلظت یون کلر در پنج چاه رفتار سنجی و مطالعات هیدروژئوشیمی توانست نفوذ آب‌شور را در آبخوان شمالی آلبانی به اثبات برساند. گیبسون و راندال (Gibbison and Randall, 2006)، در بررسی مشکل نفوذ آب‌شور در جنوب شرقی جورجیا، ابتدا با استفاده از نقشه‌های هم‌میزان، تغییرات مکانی و زمانی یون‌ها را مورد مطالعه قرار دادند، سپس توانستند به‌وسیله نمودارهای دومتغیره (نمودارهای ترکیبی) نفوذ آب‌شور را اثبات نمایند.

جابری و همکاران (Djabri et al, 2007)، منشأ شوری دریاچه و آبخوان ساحلی را در شمال شرقی الجزایر بررسی کردند و برای ارزیابی آب منطقه از دیاگرام پایپر استفاده کرده و پس از تعیین رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه علل شوری آب را سه دلیل بیان کرده‌اند: (۱) به خاطر عمل انحلال در کوه ادو و گولما که جریان آب باعث شوری می‌شود. (۲) واکنش بین دریا و آبخوان نیز باعث افزایش شوری می‌شود. (۳) شرایط اقلیمی به‌خصوص خشک‌سالی منشأ دیگر شوری هستند.

عبدالعزیز و طاهر حسین (Abdulaziz and Tahir Hussein, 2008)، در جنوب غربی عربستان به‌منظور بررسی نفوذ آب‌شور و آنالیزهای شیمیایی مانند TDS و یون‌های اصلی از تعداد ۶۵ نمونه آب

زیرزمینی به روش ژئو الکتریکی و هیدروشیمیایی استفاده کردند. نتایج نشان از تغییر مقاومت الکتریکی در جهت دریای سرخ داشت. توزیع کلر و TDS نیز همین نتیجه را داشت.

سدائو و همکاران (Sdao et al, 2009)، علت شوری بالای آب زیرزمینی در حوضه Geropotamos را بررسی کردند. در این مطالعه تأثیر دو عامل نفوذ آب دریا و واکنش متقابل آب با تبخیری‌های میوسن بررسی شد. در پایان بررسی این نتیجه حاصل شد که نفوذ آب دریا علت اصلی شوری آبخوان است. کانالس (Canales, 2010)، در ارزیابی خطر نفوذ آب‌شور در شمال شرقی مکزیکو، ابتدا با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی، موقعیت زون شور را در آبخوان مشخص کرد، سپس با استفاده از مطالعات هیدروژئوشیمی، افزایش غیرعادی هدایت الکتریکی (EC) و یون کلرید (Cl) را در برخی از چاه‌های ساحلی را نفوذپذیری آب‌شور در آبخوان ذکر کرد.

شریف و همکاران (Sherif et al, 2011)، جهت نم‌زدایی از آب زیرزمینی، مطالعه‌ای روی آبخوان ساحلی شمال شرقی امارات متحده عربی انجام دادند. در این تحقیق تلاش شد تا به‌عنوان یک گام اصلی در جهت تشخیص مکان استخراج آب نیمه شور، کیفیت آب زیرزمینی در این آبخوان ساحلی ارزیابی شود. در این مطالعه تغییرات زمانی و مکانی آب زیرزمینی در این منطقه مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ۲۴۵ نمونه از ۲۶ چاه مختلف بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۶ جمع‌آوری شد و مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج نشان داد اگرچه پیش از سال ۲۰۰۰ علت اصلی شوری آب منطقه، پیشروی آب‌شور از دریا نبوده است در سال‌های بعد از ۲۰۰۰ این پدیده مهم‌ترین عامل در شوری آب زیرزمینی منطقه بوده است. در این مطالعه برای تشخیص منشأ شوری از معیارهای مختلفی از جمله نسبت Na/Cl و همچنین Ca/Mg و برای بررسی کیفیت آب و تحلیل یون‌ها از نمودارهای پایپر و ویلکاکس استفاده شد.

ساترانی و همکاران (Satriani et al, 2012)، جهت تفکیک آب‌شور و شیرین و نفوذ آب‌شور به داخل آب‌های شیرین، در نزدیکی جنگل‌های ماتاپنتوم در جنوب ایتالیا به کمک بررسی‌های هیدروشیمیایی پژوهشی انجام دادند و نفوذ آب‌شور را به اثبات رساندند.

امتونی و همکاران (Mtoni et al, 2013)، مطالعه‌ای روی آبخوان ساحلی دارالسلام در تونس انجام دادند. هدف از این مطالعه تعیین فرآیندهای شیمیایی اصلی کنترل‌کننده کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه و همچنین بررسی اینکه آیا پیشروی آب‌شور کیفیت آب زیرزمینی منطقه را تهدید می‌کند یا خیر، بود. تحلیل نمونه‌های به‌دست‌آمده نشان داد چهار عامل اساسی بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه تأثیر می‌گذارند: انحلال کلسیت و دولومیت، فرسایش مواد معدنی سیلیکاتی بر اثر هوازدگی، پیشروی آب‌شور در اثر برداشت بیش‌ازحد و همچنین استفاده از سپتیک تانک‌ها. غلظت بالای Na و Cl و همچنین اثر این یون‌ها در دیاگرام پایپر، نشان‌دهنده پیشروی آب‌شور در این آبخوان ساحلی بود.

کیم و همکاران (Kim et al, 2013)، یک آبخوان ساحلی در کره را مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از آنالیزهای هیدروشیمیایی و ایزوتوپی، علت شوری آب زیرزمینی را نفوذ آب دریا دانستند و علت تغییرات آب را ناشی از فرایند شور شدن که مرتبط با واکنش‌های تبادل یونی است، معرفی کردند. زخم و همکاران در سال ۲۰۰۷، هجوم آب‌شور به داخل آبخوان ساحلی در سوریه را با استفاده از ایزوتوپ‌های محیطی بررسی کردند. ارتباط  $^2\text{H}$  و  $^{18}\text{O}$  یک خط اختلاط آب‌شور و شیرین با شیب ۵/۵۵ را نشان داد.

محمدي و همکاران در سال ۱۳۹۰ به منظور بررسی منشأ شوری در یک آبخوان ساحلی در بوشهر از ایزوتوپ‌های پایدار  $^2\text{H}$  و  $^{18}\text{O}$  استفاده کردند. نتایج حاصل از این پژوهش، افزایش شوری آب زیرزمینی از منطقه تغذیه آبخوان به سمت مناطقی با سطح ایستابی کم عمق و نزدیک به ساحل خلیج فارس را به علت تبخیر و نفوذ مستقیم آب دریا با ترکیب دودویی (باینری)، محتوای ایزوتوپ پایدار و نسبت Br/Cl تأیید کرد. همچنین نتایج نشان داد که الگوی جریان به دلیل افزایش پمپاژ از آبخوان تغییر کرده است و آب‌شور به داخل آب شیرین هجوم آورده است. حداکثر نسبت اختلاط در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه با توجه به غلظت کلرور ۱۵ درصد برآورد شد.



# فصل سوم:

## روش انجام کار

### ۳-۱- مقدمه

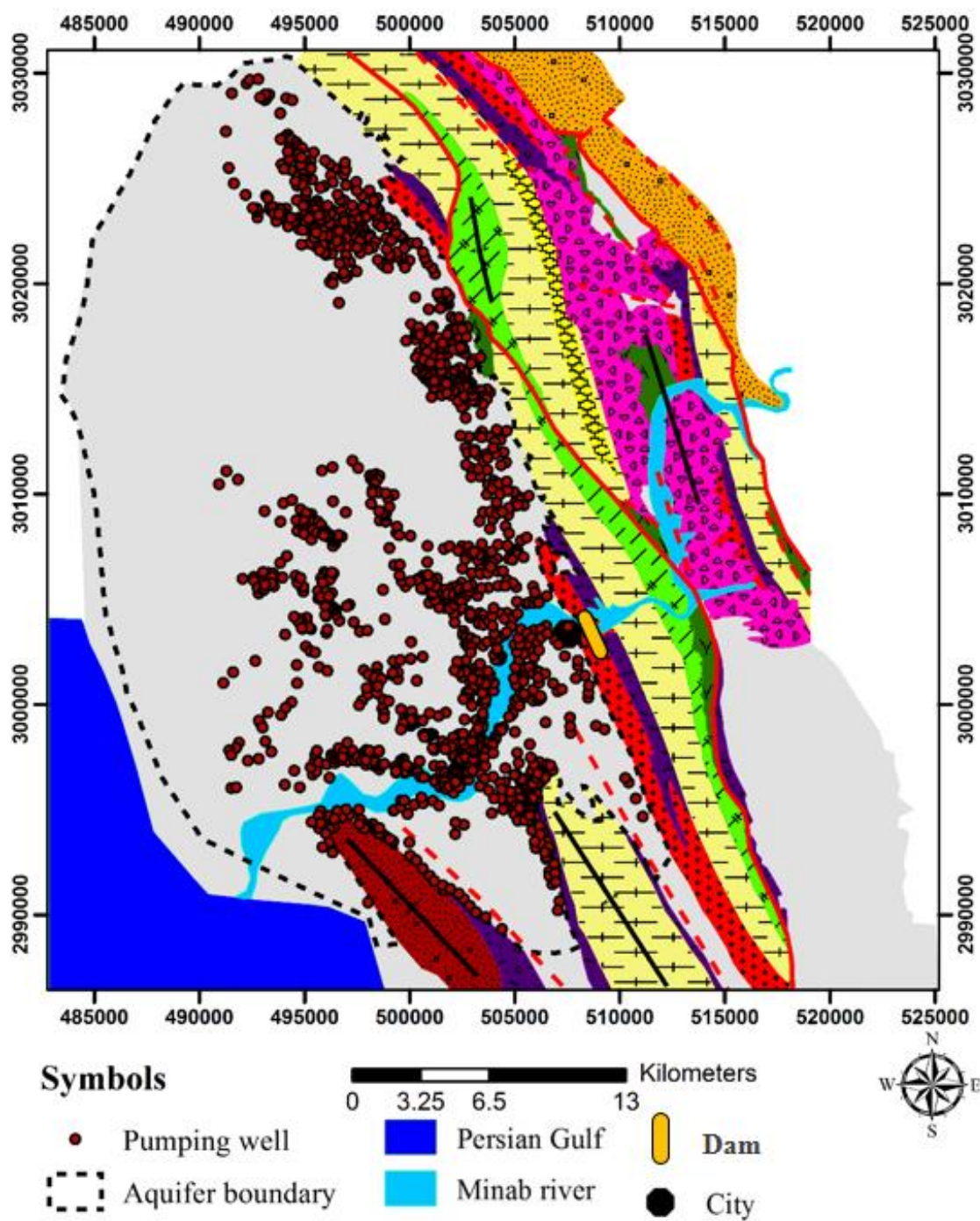
در این فصل کلیه اقدامات انجام شده به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و نفوذ آب شور به سفره ساحلی میناب ارائه می شود. به طور کلی کلیه فعالیت های انجام گرفته برای انجام این تحقیق به صورت زیر دسته بندی می شود:

۱. جمع آوری داده ها، اطلاعات و گزارش های موجود در دشت میناب در ارتباط با کیفیت و کمیت آب های زیرزمینی از طریق آب منطقه ای هرمزگان.
۲. تهیه نقشه زمین شناسی منطقه مورد نظر با استفاده از نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ میناب و بندرعباس.
۳. بررسی هیدروژئولوژی منطقه شامل ترسیم جهت جریان، نقشه هم افت و هیدروگراف واحد و محاسبه بیلان آبی دشت
۴. نمونه برداری از تعدادی از چاه های موجود در منطقه با پراکندگی مناسب در کل دشت.
۵. اندازه گیری پارامترهای هیدروشیمیایی در محل نمونه برداری (EC، pH و T)
۶. اندازه گیری یون های اصلی در آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود
۷. ارسال نمونه ها به شرکت مصباح انرژی به منظور اندازه گیری ایزوتوپ های  $^2\text{H}$  و  $^{18}\text{O}$
۸. تجزیه و تحلیل داده ها و تفسیر نقشه ها و نمودارهای ترسیم شده
۹. تعیین منشأ شوری و عامل تخریب کیفی آب زیرزمینی دشت بحرانی میناب

### ۳-۲- جمع آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز از منطقه

اولین گام در انجام تحقیق، جمع آوری اطلاعات و داده های موجود مرتبط با دشت مورد نظر می باشد. دشت میناب منبع اصلی آب جهت کشاورزی منطقه محسوب می شود و دارای تعداد زیادی چاه بهره برداری می باشد (شکل ۳-۱). اطلاعات کیفی مربوط به این چاه ها از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۳۹۷ اخذ شده و مورد بررسی قرار گرفته است. دشت میناب دارای یک آبخوان دولایه است که دارای ۳۹ حلقه پیزومتر در سفره آزاد و ۱۲ حلقه پیزومتر در سفره تحت فشار می باشد که سطح آب زیرزمینی

به صورت ماهانه توسط شرکت آب منطقه‌ای اندازه‌گیری می‌شود. اطلاعات مربوط به سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۳-۱: موقعیت چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

### ۳-۳- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه

نقشه زمین‌شناسی راهی برای شناخت هر چه بهتر وضعیت منطقه مورد مطالعه می‌باشد. جهت دقت بیشتر در بررسی واحدهای مختلف، تطبیق نقشه زمین‌شناسی منطقه با تصاویر موجود در نرم‌افزار Google Earth انجام شد. به منظور مطالعات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی منطقه، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ از منطقه میناب با نرم‌افزار Arc Gis 10 تهیه گردید.

### ۳-۴- مطالعات صحرایی و انجام نمونه‌برداری

بعد از مطالعه جامع در خصوص زمین‌شناسی و محدوده سفره آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری در پاییز ۱۳۹۷ از چاه‌های نمونه‌برداری به صورت انتخابی انجام گرفت که در نهایت تعداد ۶۴ نمونه آب مربوط به چاه‌ها و دو نمونه از آب دریا و یک نمونه آب سد جهت آنالیزهای مختلف نمونه‌برداری شد. پارامترهای هیدروژئوشیمیایی (EC، pH و T) در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری گردید.

### ۳-۵- اندازه‌گیری مقادیر ایزوتوپی

تعداد ۱۱ نمونه آب برای آنالیز مقادیر  $^2\text{H}$  و  $^{18}\text{O}$  در ظرف PVC تیره به شرکت مصباح انرژی تهران فرستاده شد.

### ۳-۶- اندازه‌گیری یون‌های اصلی

تعداد ۶۷ نمونه آب در بطری‌های تیره یک لیتری برای اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی فرستاده شد. مقدار کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات به ترتیب توسط محلول‌های تیتراکننده EDTA، نیترات نقره و اسیدسولفوریک به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. تعیین غلظت سولفات به کمک دستگاه توربیدی متر صورت گرفت. علاوه بر این آنالیز یون‌های پتاسیم و سدیم توسط دستگاه فلیم فتومتر شعله‌ای انجام شد.

### ۷-۳- اطمینان از صحت نتایج

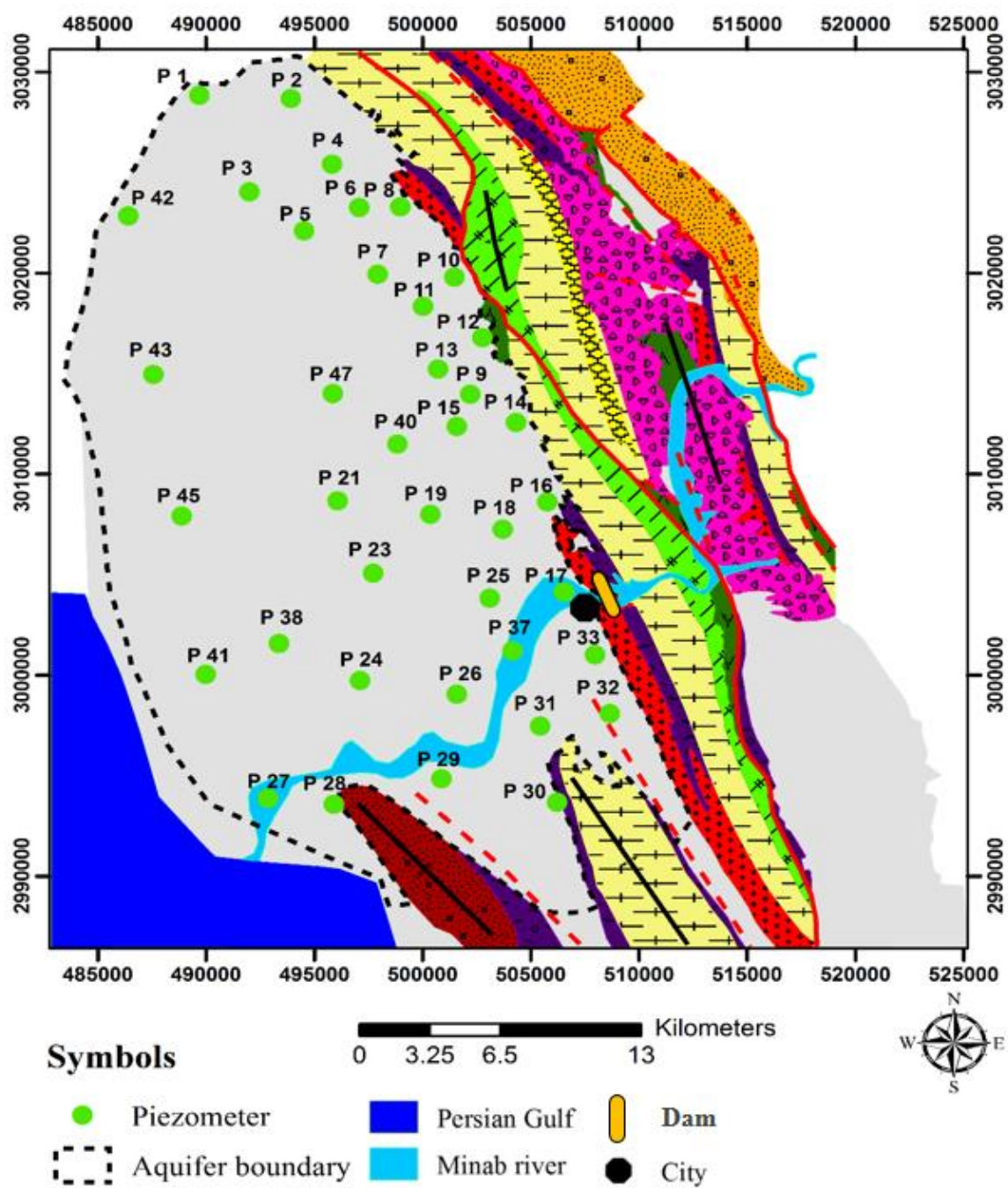
اولین کار بعد از اتمام آنالیزهای هیدروشیمیایی اطمینان از درستی و صحت نتایج به دست آمده می باشد. صحت نتایج از طریق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\%Error = \{ |(\sum Cations - \sum Anions)| / (\sum Cations + \sum Anions) \} \times 100 \quad \text{معادله (۱-۳)}$$

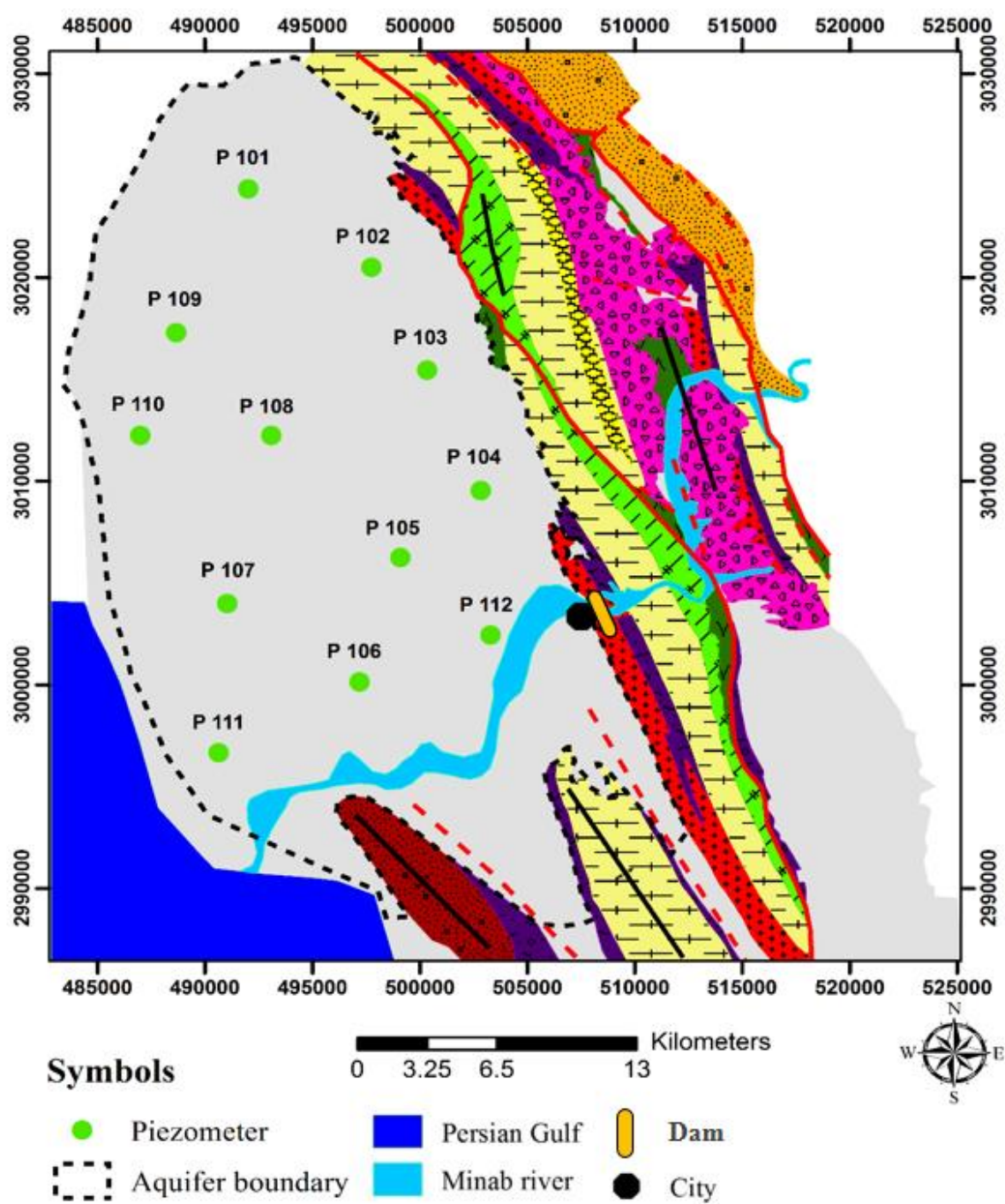
تمامی مقادیر بر اساس میلی اکی والان بر لیتر در نظر گرفته می شوند. مقدار خطا باید کمتر از ۵ درصد باشد.

### ۸-۳- داده های هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه بر پایه اطلاعات مربوط به داده های سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت می باشد. به منظور بررسی کمی آبخوان دشت میناب، از داده های ۱۰ ساله سطح آب زیرزمینی طی سال های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ در ۳۹ حلقه پیزومتر آزاد (شکل ۳-۲) و ۱۲ حلقه پیزومتر تحت فشار (شکل ۳-۳) استفاده شده است. از مهم ترین ارزیابی های کمی که انجام می شود می توان به ترسیم نقشه هم پتانسیل به منظور بررسی جهت جریان آب زیرزمینی، ترسیم نقشه هم افت و رسم هیدروگراف واحد و محاسبه بیلان آبی سفره مورد مطالعه در منطقه اشاره کرد.



شکل ۳-۲: موقعیت پیزومترها در آبخوان آزاد منطقه مورد مطالعه



شکل ۳-۳: موقعیت پیزومترها در آبخوان محبوس منطقه مورد مطالعه

### ۳-۸-۱- رسم هیدروگراف معرف دشت

برای ترسیم هیدروگراف معرف آبخوان ابتدا با استفاده از نرم افزار Arc Gis 10 نقشه تیسن آبخوان دشت میناب ترسیم گردید. سپس با استفاده از نقشه تیسن، مساحت هر یک از چندضلعی‌ها محاسبه شده و برای ترسیم هیدروگراف معرف آبخوان دشت میناب مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین به منظور بررسی ارتباط بین تغییرات سطح آب زیرزمینی و بارندگی، میزان بارندگی نیز به صورت میانگین سالانه بر روی نمودار پلات شده است.

### ۳-۸-۲- تهیه نقشه هم‌پتانسیل و هم‌افت آبخوان میناب

به منظور تعیین جهت حرکت آب زیرزمینی در سفره آبرفتی منطقه و بررسی مناطق تخلیه و تغذیه، نقشه هم‌پتانسیل دشت تهیه شده است. نقشه هم‌پتانسیل در ابتدا به صورت دستی ترسیم و سپس با استفاده از نرم افزار Arc Gis 10 رقومی شده و تهیه گردید. همچنین برای بررسی و مقایسه تغییرات سطح آب در درازمدت، نقشه هم‌پتانسیل در سه سال مختلف تهیه و با یکدیگر مقایسه شد.

### ۳-۸-۳- بررسی بیلان آب زیرزمینی دشت میناب

جهت بررسی هر چه دقیق تر و روشن تر شدن وضعیت آبخوان میناب، بیلان اجمالی آن با استفاده از معادله (۲-۳) محاسبه شده است:

$$[Q_{in} + Q_p + Q_R + Q_I] - [Q_{out} + Q_{Ex} + Q_{ET}] = \pm \Delta V \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

$Q_{in}$ : میزان جریان‌های ورودی به محدوده بیلان

$Q_p$ : میزان نفوذ مؤثر حاصل از ریزش‌های جوی

$Q_R$ : حجم نفوذ مؤثر حاصل از جریان‌های سطحی

$Q_I$ : جریان برگشتی از آبیاری باغات و زمین‌های کشاورزی

$Q_{out}$ : میزان جریان‌های خروجی از محدوده بیلان

$Q_{Ex}$ : میزان آب تخلیه شده توسط چاه‌ها

$Q_{ET}$ : مقدار آب تبخیر شده از سفره آب زیرزمینی

$\Delta V \pm$ : تغییرات حجم ذخیره سفره آب زیرزمینی در محدوده بیلان

### ۳-۹- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه

به منظور تعیین منشأ و علل شوری و بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی دشت میناب، نمودارها و نقشه‌ها و گراف‌های مربوطه ترسیم شده است. بدین جهت داده‌های تهیه شده از ۶۴ حلقه چاه، دو نمونه آب دریا و یک نمونه آب مخزن سد مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. به منظور تحلیل داده‌ها مراحل ذیل انجام شده است:

#### ۳-۹-۱- نقشه هم هدایت الکتریکی و سری زمانی داده‌های کیفی منطقه

##### مورد مطالعه

به منظور بررسی تغییرات یون‌های اصلی منطقه و همچنین تغییرات درازمدت این یون‌ها، نقشه‌های هم هدایت هیدرولیکی، هم سولفات و هم کلر و ... در زمان‌های مختلف ترسیم گردید. همچنین سری زمانی طولانی مدت پارامتر EC در منابع مختلف ترسیم و تفسیر شده است.

#### ۳-۹-۲- ترسیم نمودارهای کیفی آبخوان

از نمودارهای استیف، شولر، ویلکاکس و پایپر جهت تفسیر کیفی آب زیرزمینی و همچنین جهت تعیین رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی و مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی، مقایسه و گروه‌بندی نمونه‌ها، تعیین تیپ، سختی و قابلیت شرب در دشت میناب استفاده شده است.

### ۳-۹-۳ - نمودارهای ترکیبی و داده‌های ایزوتوپی

نمودارهای ترکیبی، به منظور تعیین فرایندهای تأثیرگذار بر شیمی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این نمودارها می‌توان به نمودارهای نسبت یونی، نسبت شاخص اشباع به کاتیون‌ها و آنیون‌ها و ... اشاره کرد.

از نمودارهای Na/Cl و غلظت عناصر اصلی نسبت به هدایت الکتریکی برای بررسی تکامل هیدروژئوشیمیایی و تعیین منشأ نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شده است. ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن ابزار مفیدی جهت انجام مطالعات هیدروژئولوژی و هیدرووشیمیایی می‌باشد. جهت بررسی تکمیلی منشأ شوری نمونه‌های آب زیرزمینی دشت میناب و تعیین منشأ و مقایسه نمونه‌ها از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن استفاده شده است.

# فصل چهارم:

ارزیابی سیدروژنولوژی و

سیدروژنوشیمیایی آ.نحوان دشت میناب

#### ۴-۱- مقدمه

محدوده مطالعاتی میناب دارای وسعتی معادل ۱۳۷۸ کیلومترمربع می‌باشد که حدود ۷۷۸ کیلومترمربع آن وسعت دشت می‌باشد. به دلیل مجاورت کفه نمکی و دریا در قسمت‌هایی از دشت، چالش‌هایی از حیث تأثیرات نامطلوب آن‌ها روی کیفیت منابع آب را به همراه داشته است. در این فصل با استفاده از اطلاعات آماری و نتایج آنالیزهای مختلف، روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی منطقه تفسیر گردیده است. همچنین جهت بررسی منشأ شوری آب زیرزمینی از ایزوتوپ‌های  $^{18}\text{O}$  و  $^2\text{H}$  نیز استفاده شده است.

#### ۴-۲- هیدروژئولوژی آبخوان دشت میناب

بررسی لاگ‌های حفاری منطقه و رفتار چاه‌های بهره‌برداری در هنگام حفاری، وجود دو آبخوان آزاد و محبوس را در این محدوده تأیید نموده است؛ اما گسترش محدوده آبخوان محبوس در سرتاسر زیر آبخوان آزاد نیست اما وسیع نیز می‌باشد. مساحت آبخوان میناب حدود ۷۱۷ کیلومترمربع تخمین زده شده که با توجه به بررسی لاگ‌های زمین‌شناسی و موقعیت زمین‌شناسی منطقه، پیش‌بینی می‌شود که گسترش آبخوان محبوس صرفاً در بخش شمالی و جنوبی آبخوان احتمالاً به‌طور محدود وجود ندارد. لایه تفکیک‌کننده این دو آبخوان، از جنس رس - سیلتی می‌باشد. تقریباً در پیزومترهایی که عمق بیش از ۵۰ متر دارند، در لاگ‌ها نشان می‌دهد که وارد سفره محبوس شده‌اند. در این بخش با استفاده از نقشه‌های هم‌پتانسیل، زون بندی دشت بر اساس افت، ترسیم هیدروگراف معرف و محاسب بیلان اجمالی به بررسی و ارزیابی هیدروژئولوژیکی دشت میناب پرداخته شده است.

#### ۴-۲-۱- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه

به‌منظور تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان دشت میناب، مشخص کردن مناطق تخلیه و تغذیه آب زیرزمینی، تفسیر داده‌های هیدروشیمی، محاسبه شیب هیدرولیکی، تعیین وضعیت

تبادل آب زیرزمینی با منابع آب سطحی و تشکیلات زمین‌شناسی اطراف دشت، نقشه‌ی هم‌پتانسیل تهیه شده است. بدین منظور اطلاعات تغییرات سطح آب زیرزمینی مربوط به پیزومترهای موجود در منطقه در یک دوره ۲۴ ساله از اداره آب منطقه هرمزگان گردآوری شد. در محدوده مورد مطالعه تعداد ۳۹ حلقه پیزومتر در سفره آزاد و ۱۲ حلقه پیزومتر در سفره محبوس حفر شده است که مختصات آن‌ها و همچنین تراز آب در آن‌ها در تاریخ‌های مختلف و همچنین میزان افت در این دوره در جدول (۱-۴) و جدول (۲-۴) ارائه شده است.

جدول ۱-۴: مختصات، تراز سطح آب و میزان افت ۲۴ ساله در پیزومترهای موجود در سفره آزاد

| علامت<br>اختصاری | UTM X  | UTM Y   | تراز سطح آب در<br>اردیبهشت ۱۳۷۲<br>(متر) | تراز سطح آب در<br>اردیبهشت ۱۳۹۶<br>(متر) | مقدار افت<br>۲۴ ساله<br>(متر) |
|------------------|--------|---------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
| P1               | 489690 | 3028852 | 22.91                                    | 16.95                                    | 5.96                          |
| P2               | 493923 | 3028699 | 22.56                                    | 16.19                                    | 6.37                          |
| P3               | 492012 | 3024049 | 22.24                                    | 14.29                                    | 7.95                          |
| P4               | 495827 | 3025429 | 22.97                                    | 13.26                                    | 9.71                          |
| P5               | 494529 | 3022110 | 22.63                                    | 12.77                                    | 9.86                          |
| P6               | 497075 | 3023265 | 24.13                                    | 12.35                                    | 11.78                         |
| P7               | 497936 | 3019956 | 20.00                                    | 10.50                                    | 9.50                          |
| P8               | 498985 | 3023310 | 22.87                                    | 12                                       | 10.87                         |
| P9               | 502215 | 3013983 | 19.33                                    | -0.21                                    | 19.54                         |
| P10              | 501487 | 3019805 | 21.20                                    | 6.33                                     | 14.87                         |
| P11              | 500026 | 3018358 | 19.48                                    | 6.83                                     | 12.65                         |
| P12              | 502778 | 3016792 | 20.68                                    | 3.55                                     | 17.13                         |
| P13              | 500722 | 3015232 | 18.75                                    | 2.20                                     | 16.55                         |
| P14              | 504337 | 3012580 | 20.22                                    | -2.35                                    | 22.57                         |
| P15              | 501592 | 3012379 | 17.39                                    | -                                        | -                             |
| P16              | 505768 | 3008633 | 24.65                                    | 16.44                                    | 8.21                          |
| P17              | 506542 | 3004144 | 17.26                                    | -18.45                                   | 35.71                         |

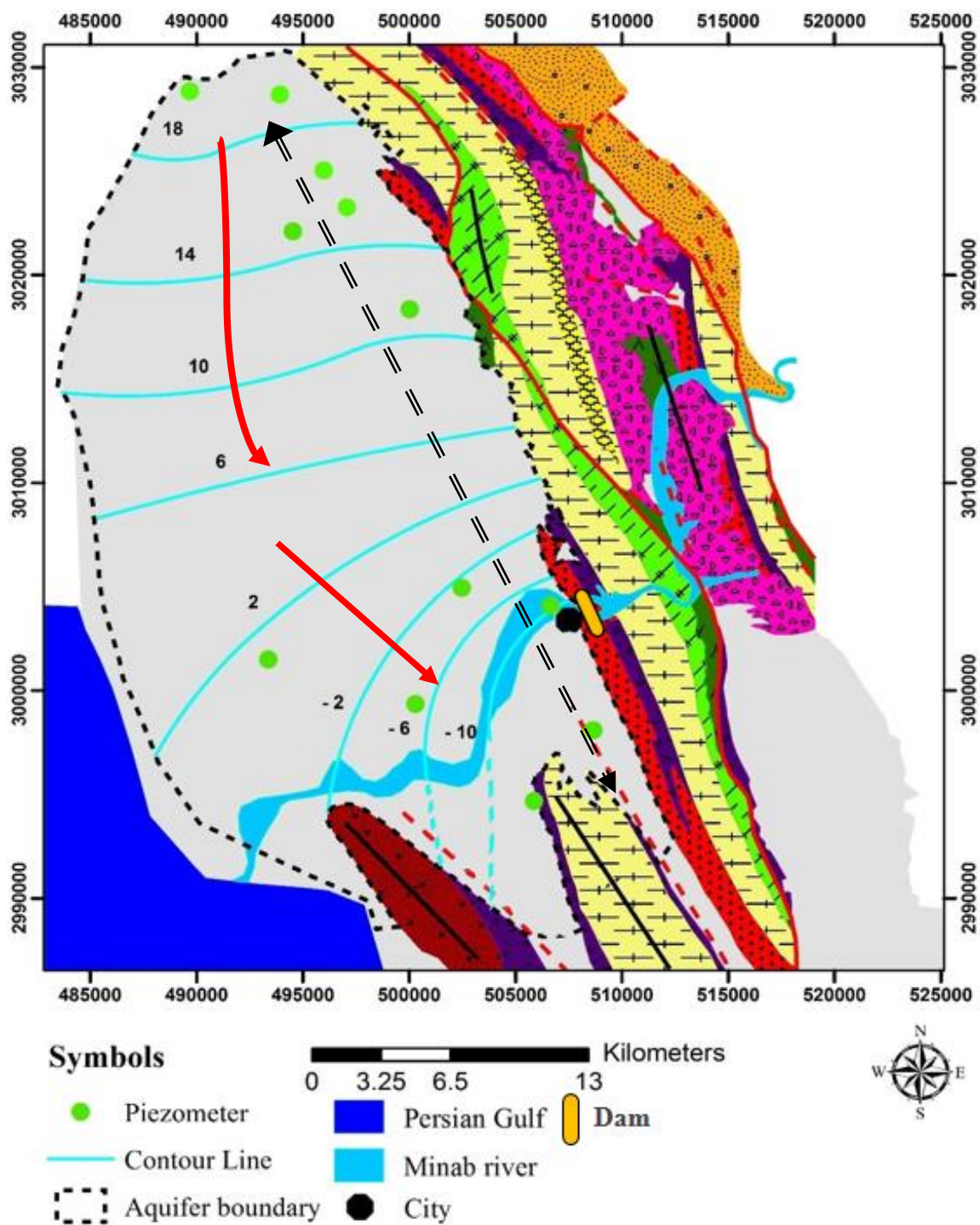
ادامه جدول ۴-۱: مختصات، تراز سطح آب و میزان افت ۲۴ ساله در پیزومترهای موجود در سفره آزاد

| مقدار افت<br>۲۴ ساله<br>(متر) | تراز سطح آب در<br>اردیبهشت ۱۳۹۶<br>(متر) | تراز سطح آب در<br>اردیبهشت ۱۳۷۲<br>(متر) | UTM Y   | UTM X  | علامت<br>اختصاری |
|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|---------|--------|------------------|
| 32.5                          | -16.24                                   | 16.26                                    | 3007265 | 503717 | <b>P18</b>       |
| 13.97                         | 0.37                                     | 14.34                                    | 3008003 | 500378 | <b>P19</b>       |
| 6.30                          | 2.87                                     | 9.17                                     | 3008674 | 496079 | <b>P21</b>       |
| 11.37                         | -2.49                                    | 8.88                                     | 3005082 | 497722 | <b>P23</b>       |
| 14.34                         | -9.60                                    | 4.74                                     | 2999745 | 497113 | <b>P24</b>       |
| 31.39                         | -15.05                                   | 16.34                                    | 3003836 | 503109 | <b>P25</b>       |
| -                             | -                                        | 14.58                                    | 2999061 | 501592 | <b>P26</b>       |
| -                             | -                                        | 2.45                                     | 2993882 | 492860 | <b>P27</b>       |
| 8.85                          | -3.59                                    | 5.26                                     | 2993722 | 496705 | <b>P28</b>       |
| 5.52                          | 3.34                                     | 8.86                                     | 2994853 | 500866 | <b>P29</b>       |
| 19.37                         | -8.68                                    | 10.69                                    | 2993682 | 506219 | <b>P30</b>       |
| 26.22                         | -12.46                                   | 13.76                                    | 2997478 | 505441 | <b>P31</b>       |
| 25.80                         | -10.83                                   | 14.97                                    | 2998100 | 508660 | <b>P32</b>       |
| 34.23                         | -17.70                                   | 16.53                                    | 3001022 | 507982 | <b>P33</b>       |
| 33.91                         | -17.66                                   | 16.25                                    | 3001222 | 504165 | <b>P37</b>       |
| 10.73                         | -6.82                                    | 3.91                                     | 3001579 | 493381 | <b>P38</b>       |
| 7.47                          | 2.73                                     | 10.32                                    | 3011506 | 498847 | <b>P40</b>       |
| -                             | -                                        | 0.79                                     | 3000052 | 489988 | <b>P41</b>       |
| -                             | -                                        | 13.16                                    | 3022857 | 486414 | <b>P42</b>       |
| 1.98                          | 3.95                                     | 5.93                                     | 3014969 | 487574 | <b>P43</b>       |
| -                             | -                                        | 3.59                                     | 3007920 | 488879 | <b>P45</b>       |
| 4.46                          | 6.04                                     | 10.50                                    | 3014014 | 495859 | <b>P47</b>       |

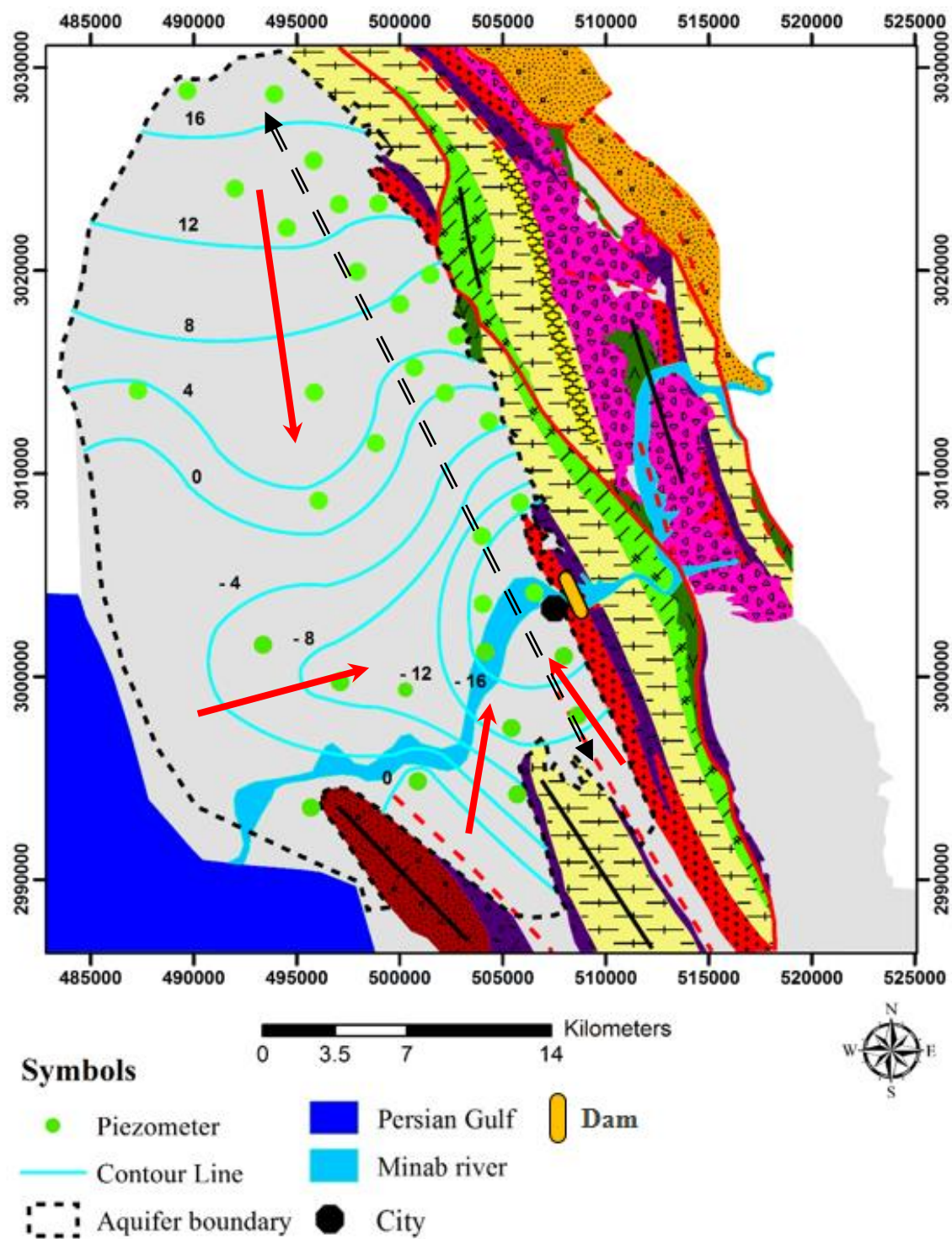
جدول ۴-۲: مختصات، تراز سطح آب و میزان افت ۱۲ ساله در پیزومترهای موجود در سفره محبوس

| علامت اختصاری | UTM X  | UTM Y   | تراز سطح آب<br>در شهریور ۱۳۸۴<br>(متر) | تراز سطح آب<br>در شهریور ۱۳۹۶<br>(متر) | مقدار افت ۱۲<br>ساله (متر) |
|---------------|--------|---------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|
| <b>P101</b>   | 492025 | 3024350 | 18.19                                  | 14.30                                  | 3.89                       |
| <b>P102</b>   | 497750 | 3020500 | 16.86                                  | 11.94                                  | 4.92                       |
| <b>P103</b>   | 500350 | 3015450 | 11.95                                  | 1.77                                   | 10.18                      |
| <b>P104</b>   | 502850 | 3009550 | 0.63                                   | -14.67                                 | 15.30                      |
| <b>P105</b>   | 499100 | 3006250 | 0.05                                   | -8.26                                  | 8.31                       |
| <b>P106</b>   | 497200 | 3000150 | 1.14                                   | -11.89                                 | 13.03                      |
| <b>P107</b>   | 491050 | 3004000 | -0.86                                  | -6.25                                  | 5.39                       |
| <b>P108</b>   | 493100 | 3012250 | 4.61                                   | -1.85                                  | 6.46                       |
| <b>P109</b>   | 488671 | 3017300 | 8.58                                   | 6.02                                   | 2.56                       |
| <b>P110</b>   | 487000 | 3012250 | 3.71                                   | 1.53                                   | 2.18                       |
| <b>P111</b>   | 490650 | 2996675 | 2.35                                   | -0.25                                  | 2.60                       |
| <b>P112</b>   | 503300 | 3002450 | —                                      | -9.98                                  | —                          |

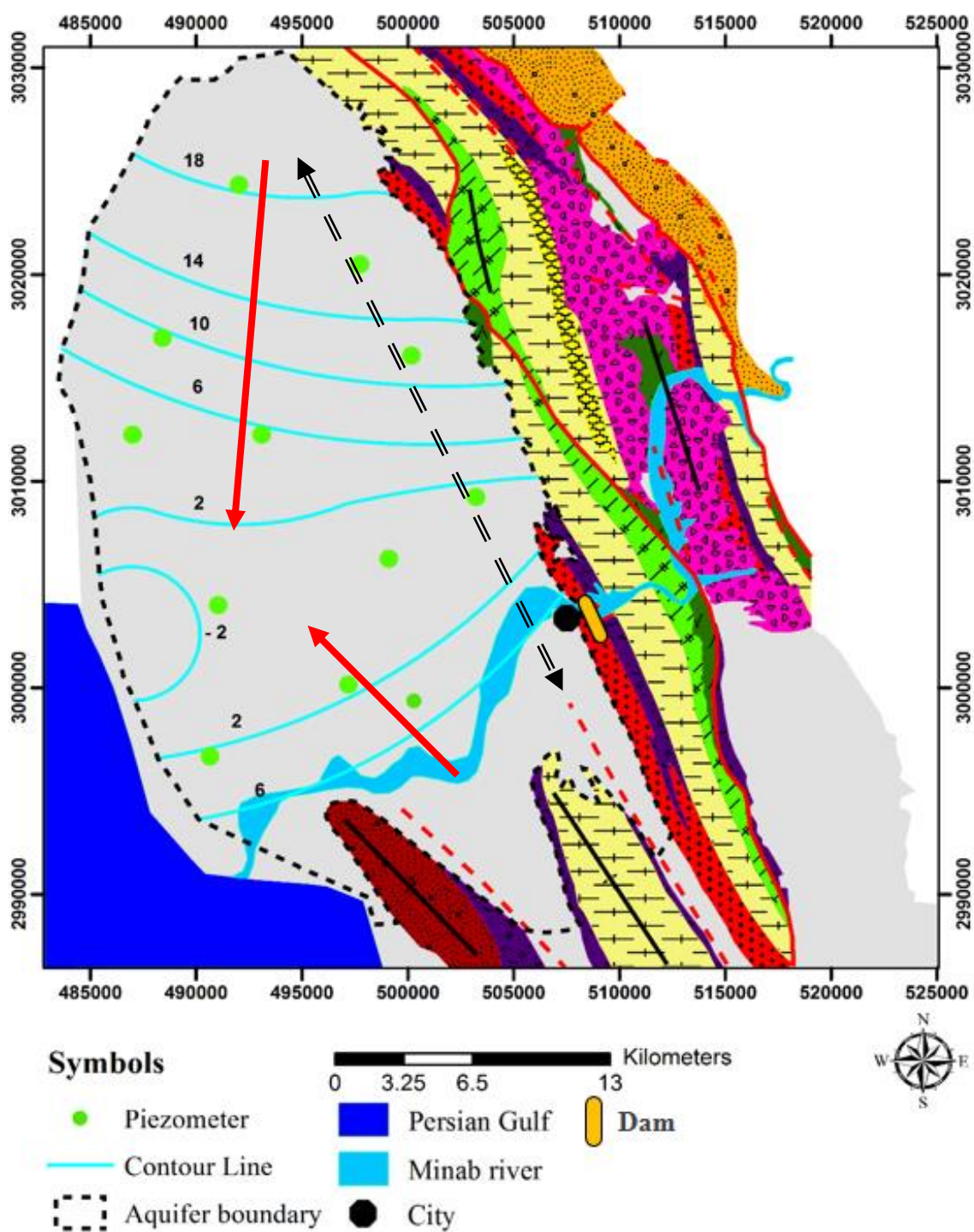
از آنجا که آبخوان دشت میناب یک آبخوان دولایه می باشد، نقشه همپتانسیل مربوط به دشت برای هر دو سفره به صورت جداگانه تهیه شده است. شکل های (۱-۴) و (۲-۴) نقشه همپتانسیل آب زیرزمینی مربوط به سفره آزاد به ترتیب در سال های آبی ۱۳۸۷ و ۱۳۹۶ و شکل های (۳-۴) و (۴-۴) نقشه همپتانسیل آب زیرزمینی مربوط به سفره محبوس در سال های آبی ۱۳۸۴ و ۱۳۹۶ را نشان می دهند. بیشترین تراز سطح آب در بخش شمال و شمال شرقی دشت و کمترین آن در قسمت مرکز و شرق دشت می باشد. تغذیه عمده دشت بیشتر از بخش شمالی دشت و بخشی از ارتفاعات موجود در شمال شرقی منطقه و ارتفاعات قسمت جنوبی دشت می باشد و جریان به سمت مرکز و شرق دشت می باشد. در بخش شمالی منطقه، دشت شکیل قرار دارد که تغذیه کننده دشت میناب می باشد. در سال ۸۷ در سفره آزاد، گرادیان در بخش های جنوبی کم بوده است؛ اما در سال های اخیر با اضافه برداشت و گذشت زمان و افزایش تعداد چاه های بهره برداری بخصوص در بخش شرقی و مرکز دشت، گرادیان در بخش جنوبی و مرکز دشت بیشتر شده است؛ بنابراین باعث تغییر جهت جریان بخصوص در بخش غربی و جنوبی شده است و در نتیجه باعث هجوم آب شور دریا نیز شده است. با توجه به نزدیک بودن منشأ شوری به چاه های برداشتی، افزایش اندکی در مقدار دبی چاه ها باعث نفوذ آب شور از اطراف به سمت سفره شده است. در سفره محبوس نیز با مقایسه نقشه همپتانسیل در دو زمان مختلف می توان مشاهده کرد که در سال ۸۴ جهت جریان عمومی از سمت شمال و جنوب به سمت مرکز دشت می باشد. در قسمت جنوبی دشت یکسری ارتفاعات آهکی وجود دارد که می تواند باعث تغذیه هر دو آبخوان گردد. در سال های اخیر با اضافه برداشت و کاهش ذخیره سفره، جهت جریان تغییر کرده و در بخش های جنوبی به دلیل تمرکز چاه ها، جریان عمدتاً به سمت مرکز و شرق متمایل شده است. در سال های اخیر جهت جریان سفره آزاد و پایینی تقریباً یکسان شده است که احتمالاً می تواند نشانگر ارتباط هیدرولیکی هر دو سفره و تأثیر آن ها بر یکدیگر باشد؛ بنابراین سفره تحت فشار پایینی یک سفره نشتی بوده که اضافه برداشت در سفره بالایی می تواند بر سفره پایینی نیز تأثیر گذارد. البته این مسئله نیاز به بررسی بیشتر دارد.



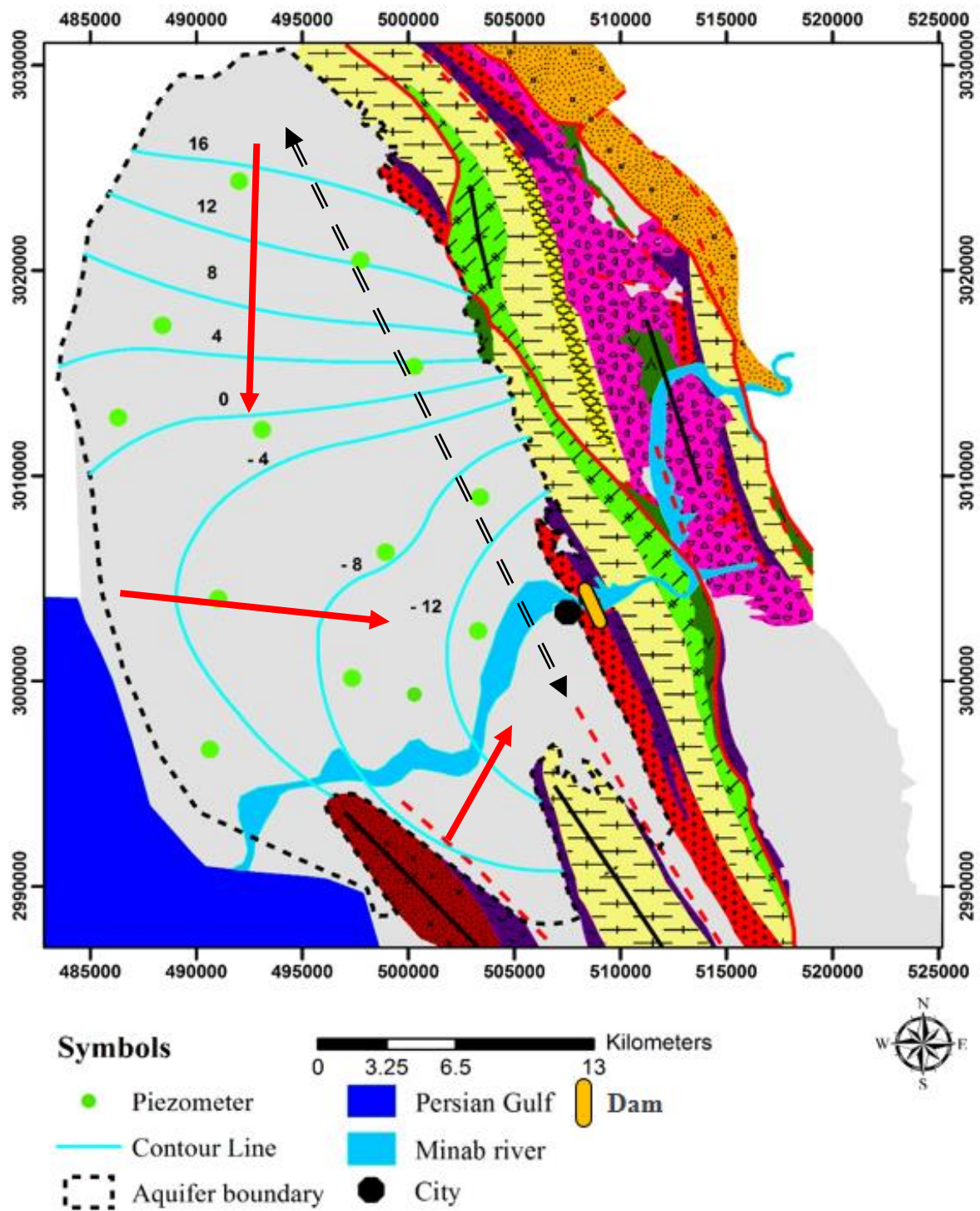
شکل ۴-۱: موقعیت پیزومترها و نقشه هم‌پتانسیل سفره آزاد دشت میناب در خرداد ۱۳۸۷. فلش ممتد قرمز رنگ جهت جریان آب زیرزمینی و فلش خط چین سیاه مسیر مقطع پلات شده می‌باشد.



شکل ۴-۲: موقعیت پیزومترها و نقشه هم‌پتانسیل سفره آزاد دشت میناب در خرداد ۱۳۹۶. فلش ممتد قرمز رنگ جهت جریان آب زیرزمینی و فلش خط‌چین سیاه مسیر مقطع پلات شده می‌باشد.



شکل ۳-۴: موقعیت پیزومترها و نقشه همپتانسیل سفره محبوس دشت میناب در شهریور ۸۴. فلش ممتد قرمز رنگ جهت جریان آب زیرزمینی و فلش خط چین سیاه مسیر مقطع پلات شده می باشد.



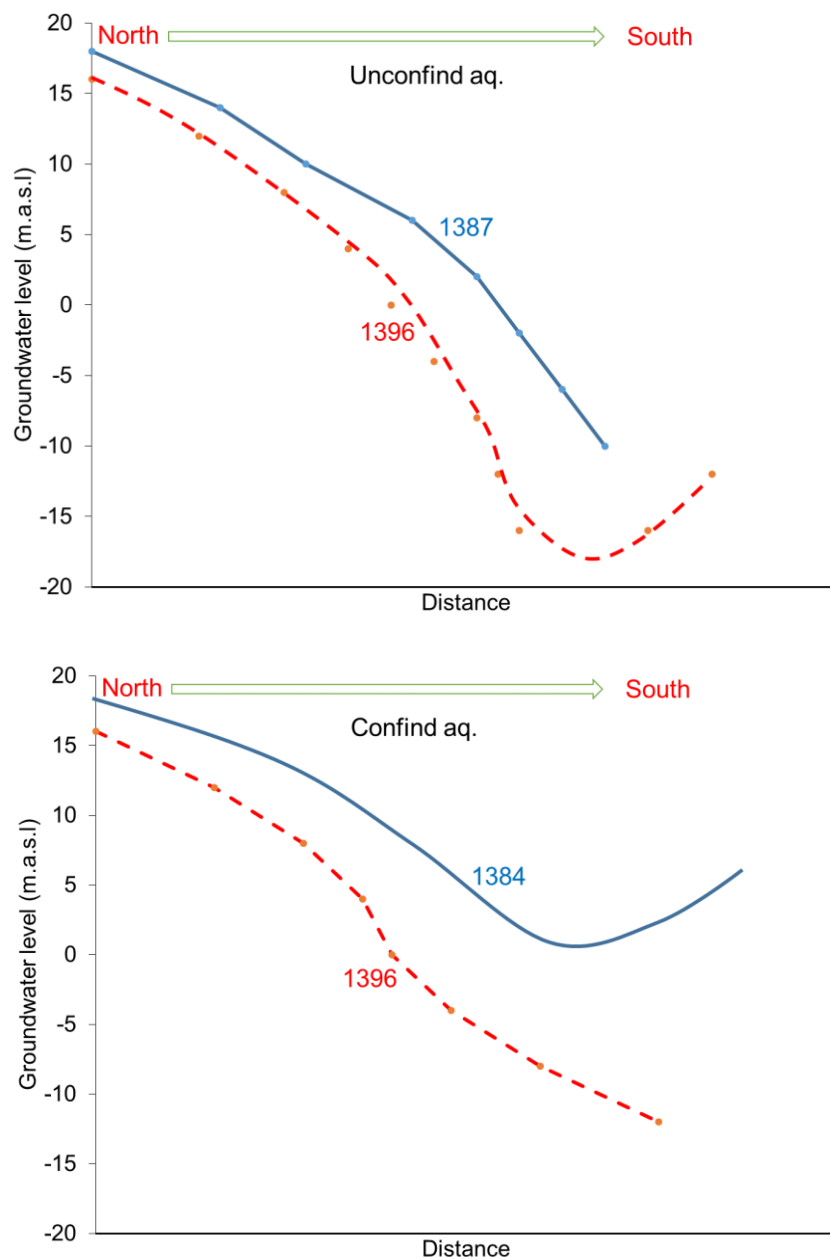
شکل ۴-۴: موقعیت پیزومترها و نقشه هم‌پتانسیل سفره محبوس در خرداد ۱۳۹۶. فلش ممتد قرمز رنگ جهت جریان آب زیرزمینی و فلش خط چین سیاه مسیر مقطع پلات شده می‌باشد.

بخشی از بارش‌ها و جریان‌ات سطحی در طول فصل بارش از نواحی شمالی و شرقی بر روی دشت جریان یافته و به سمت قسمت‌های مرکزی دشت هدایت می‌شوند. در این مناطق مرکزی به دلیل دانه‌درشت بودن آبرفت، بخشی از این جریان‌ات می‌تواند باعث تغذیه دشت و بالتبع افزایش کیفیت آب زیرزمینی در این بخش گردد. در قسمت شرقی دشت نیز یک سد بر روی رودخانه شرقی-غربی میناب احداث شده است. در طول زمان قبل از احداث سد، رودخانه دائمی میناب از سمت شرق به غرب جریان داشته و باعث تغذیه آبخوان می‌شده است؛ اما با احداث سد و کاهش جریان در طول بستر رودخانه، میزان تغذیه کاهش یافته است. کاهش تغذیه در طول مسیر رودخانه در اثر احداث سد می‌تواند یکی دیگر از علل تغییر جهت جریان و کاهش ذخیره دشت باشد؛ اما به‌طور کلی در این نواحی مرکزی و شرقی دشت به دلیل تغذیه در طول فصول بارش و همچنین جریان آب در بستر رودخانه دشت در اثر باز کردن دریچه سد در مقاطع زمانی مختلف در طول سال برای کشاورزی، کیفیت آب بهتر می‌باشد. رودخانه میناب در این دشت بر اساس نقشه هم‌پتانسیل در نقش رودخانه آگیر را دارد؛ اما به‌طور کلی تراز آب زیرزمینی پایین‌تر از تراز کف رودخانه است و عمده چاه‌ها در طول مسیر رودخانه به دلیل دانه‌درشت بودن حفاری شده و برداشت صورت می‌گیرد، بنابراین آنومالی‌های نقشه هم‌پتانسیل در بخش مرکزی دشت و تغییر جهت جریان به سمت رودخانه در اصل به دلیل کاهش تراز سطح آب و تشکیل well field در این نواحی در طی اضافه برداشت می‌باشد. مقدار تغییر ذخیره و بیلان اجمالی دشت در ادامه محاسبه شده است.

باگذشت زمان و ادامه پیدا کردن برداشت بی‌رویه و عدم اعمال برنامه مدیریتی برای حفظ این آبخوان مهم در منطقه خشک و کم باران که آب شرب بسیار ارزشمند می‌باشد، باعث کسری زیاد مخزن و عدم جبران آن در این نواحی و ایجاد دواير متحدالمرکز بزرگ خطوط هم‌پتانسیل و درنهایت کاهش کیفیت آن‌ها می‌گردد.

شکل ۴-۵ مقاطع هیدرولیکی تغییرات مکانی تراز سطح آب زیرزمینی در سفره آزاد و محبوس در دو زمان مختلف می‌باشند. محل مقاطع در شکل‌های قبلی نشان داده شده است. همان‌طور که قبلاً نیز

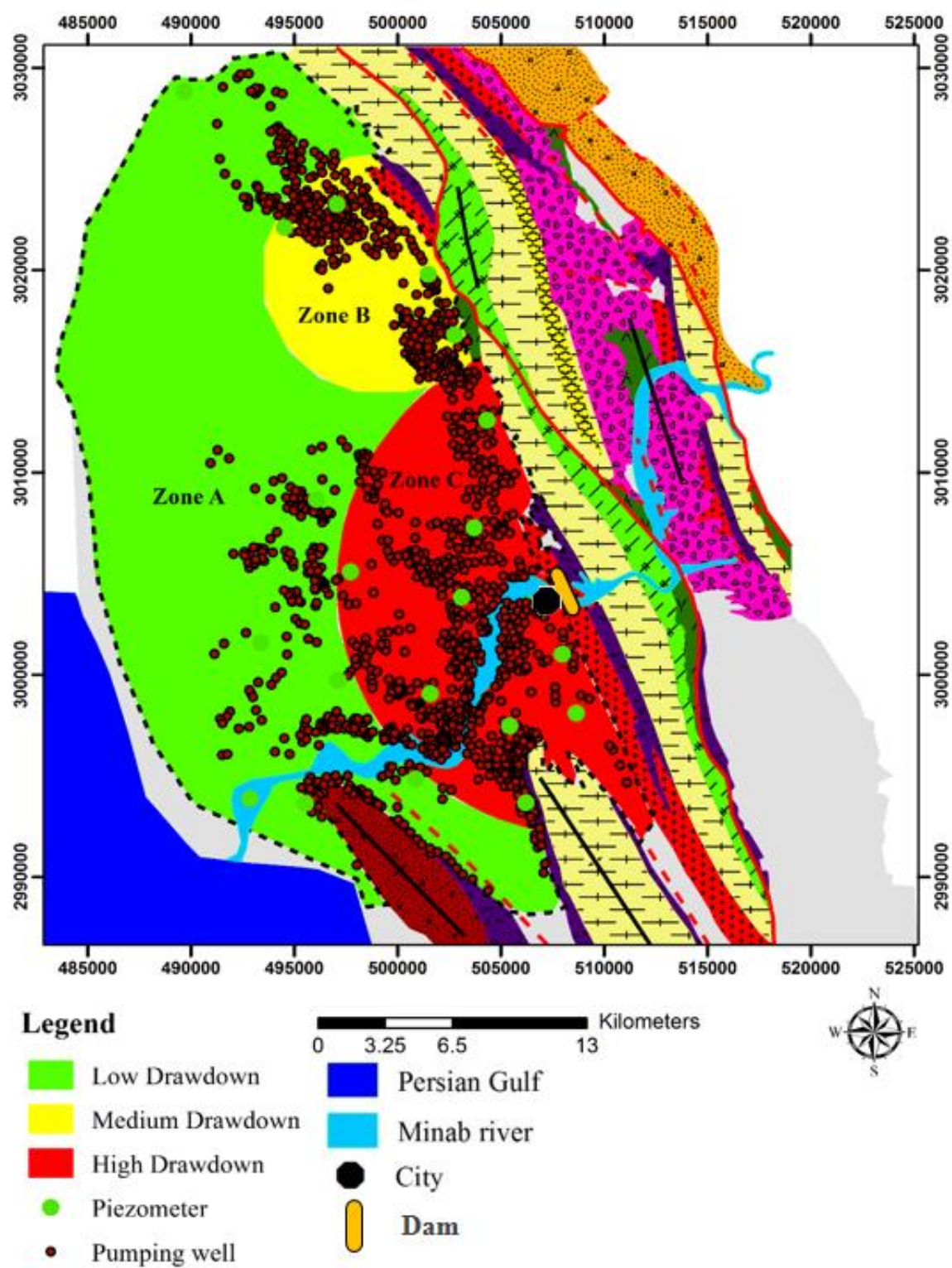
بیان شده است، در سفره آزاد در زمان گذشته تراز از شمال به سمت جنوب کاهش می‌یابد و از منطقه شمال تغذیه و در بخش جنوبی و جنوب شرقی تخلیه می‌گردد؛ اما در سال‌های اخیر جهت جریان و همچنین گرادیان هیدرولیکی بخصوص در بخش جنوبی تغییر کرده و باعث هجوم آب شور دریا به سمت سفره و کاهش کیفیت در بخش‌های ساحلی شده است. در سفره محبوس نیز تغییرات گرادیان و جهت جریان مشاهده می‌گردد.



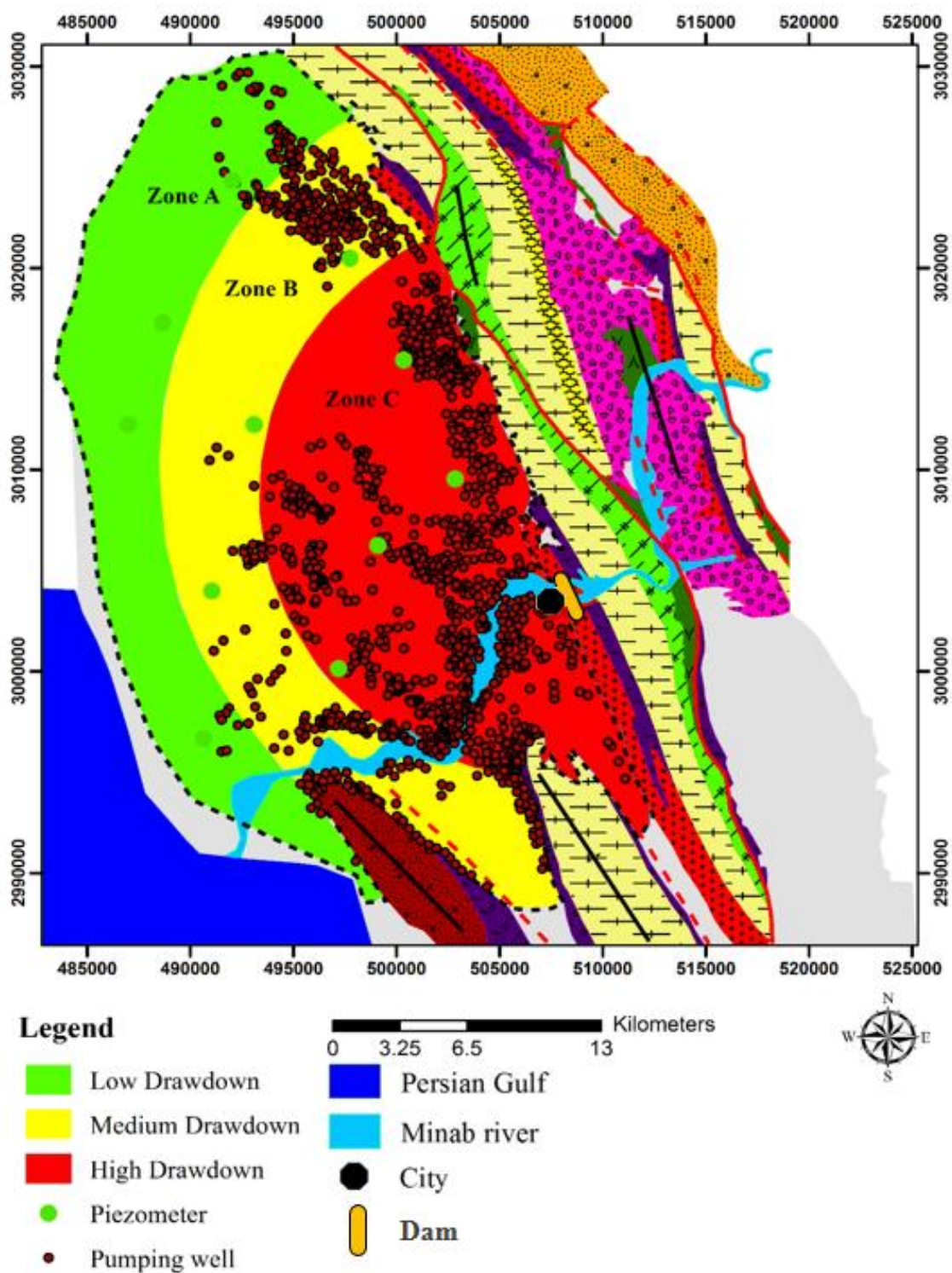
شکل ۴-۵: مقطع هیدرولیکی تغییرات مکانی و زمانی تراز سطح آب در سفره آزاد (بالا) و محبوس (پایین) منطقه

#### ۴-۲-۲- ارزیابی هیدروژئولوژیکی دشت بر اساس افت طولانی مدت

با استفاده از داده‌های آماری طولانی مدت تغییرات سطح آب زیرزمینی در سفره آزاد در سال آبی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶، دشت میناب بر اساس میزان افت ۲۴ ساله، به سه زون A، B و C تقسیم‌بندی شده است (شکل ۴-۶). همچنین با استفاده از داده‌های آماری تغییرات سطح آب زیرزمینی در سفره محبوس در سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶، دشت بر اساس میزان افت ۱۲ ساله، به سه زون A، B و C تقسیم‌بندی شده است (شکل ۴-۷). لازم به ذکر است که این زون بندی فقط جنبه‌ی مقایسه‌ای دارد و در یک دشت نمی‌توان به‌طور دقیق این زون بندی را انجام داد. کم‌ترین مقدار افت مربوط به پیژومترهایی است که در قسمت شمالی و غربی دشت قرار گرفته‌اند (زون A). در این زون بهره‌برداری از چاه‌ها به دلیل کیفیت نامطلوب آب زیرزمینی و خاک کاهش یافته است؛ بنابراین دلیل کمینه‌ی افت در منطقه را می‌توان به این موضوع نسبت داد. بخش شرقی دشت میناب و نزدیک به مرکز شهر به دلیل کیفیت بهتر آب زیرزمینی و شوری کمتر، تمرکز چاه‌های بهره‌برداری افزایش یافته و بالتبع افزایش برداشت صورت گرفته است، بنابراین بیشترین افت در این قسمت (زون C) صورت گرفته است. قسمت شرقی دشت به دلیل نزدیکی به رودخانه و پایین دست بودن سد از کیفیت بالاتری برخوردار می‌باشد. ضخامت اشباع سفره و بالتبع حجم ذخیره آبخوان در این منطقه احتمالاً کم بوده و با کمی برداشت افت زیادی ایجاد می‌شود. با توجه به میزان تغذیه و برداشت در زمان‌های مختلف در دشت، سطح آب زیرزمینی می‌تواند تغییراتی داشته باشد؛ و زون B بین زون A و C قرار دارد. در سال‌های اخیر به دلیل شوری بالا و کیفیت نامطلوب آب در این نواحی (B) برداشت کمتر شده است. بالتبع مقدار افت در این بخش نسبت به بخش شرقی، کمتر است.



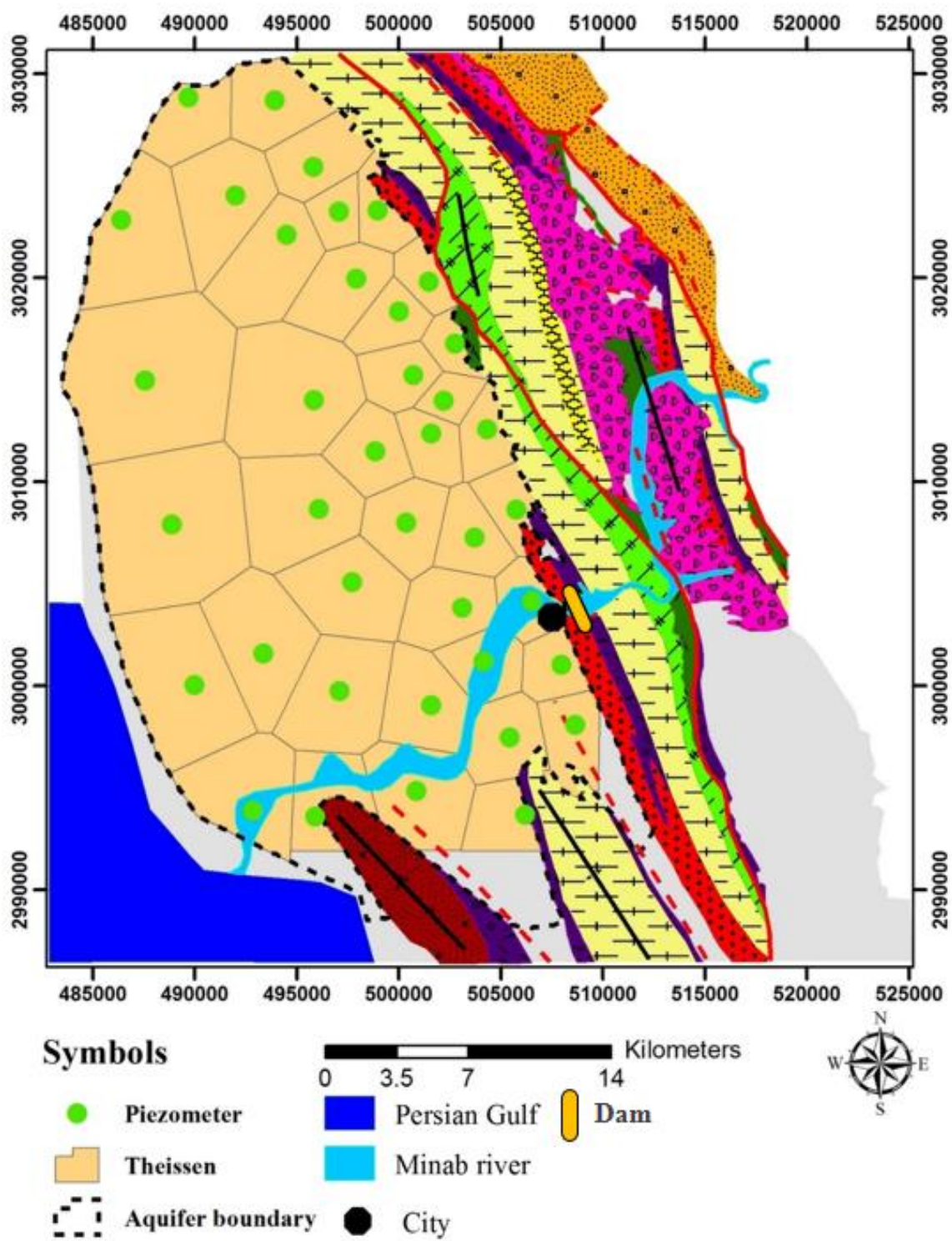
شکل ۴-۶: نقشه هم افت سفره آزاد دشت میناب



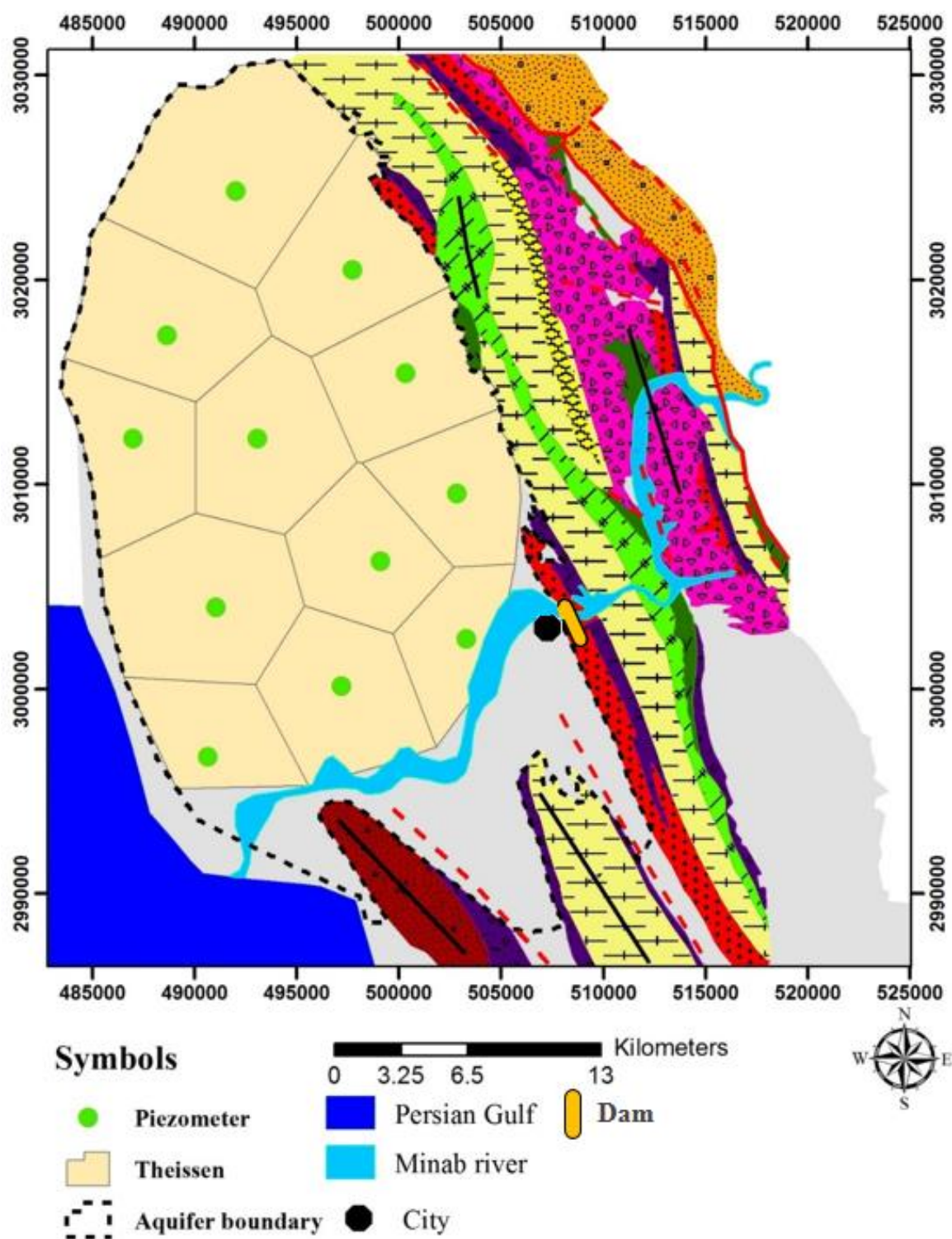
شکل ۴-۷: نقشه هم افت سفره محبوس دشت میناب

#### ۴-۲-۳- هیدروگراف واحد دشت میناب

با توجه به میزان تخلیه و برداشت در زمان‌های مختلف در دشت، سطح آب زیرزمینی می‌تواند تغییراتی داشته باشد. هیدروگراف واحد دشت میانگینی از سطح ایستابی در نقاط مختلف دشت بوده و مرسوم‌ترین روش ارزیابی تغییرات درازمدت سطح آب زیرزمینی می‌باشد. هیدروگراف واحد دشت زمان‌هایی که سطح آب افزایش یا کاهش داشته (ترسالی و خشک‌سالی) را به ما نشان خواهد داد. از آنجاکه تغییرات سطح آب زیرزمینی در یک پیزومتر نمی‌تواند معرف خوبی برای تغییرات حجم آب زیرزمینی در یک آبخوان باشد، لازم است جهت نشان دادن تغییرات سطح آب زیرزمینی در کل آبخوان، هیدروگراف واحد آبخوان ترسیم گردد. اصولاً تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی، ناشی از عوامل طبیعی و مصنوعی دخیل در تخلیه و تغذیه آب از آبخوان می‌باشد. عوامل تغذیه‌ای شامل ریزش‌های جوی، رودخانه‌های تغذیه‌کننده، سیلاب، آب برگشتی کشاورزی، تغذیه از آبخوان‌های مجاور و ... می‌باشد. عوامل تخلیه شامل برداشت از آبخوان از طریق چاه‌های بهره‌برداری، تخلیه آب به آبخوان‌های مجاور، رودخانه‌های تخلیه‌کننده و تبخیر از سطح آب زیرزمینی و ... می‌باشد. درواقع تقابل بین این عوامل تخلیه‌کننده و تغذیه‌کننده در یک آبخوان آب زیرزمینی است که باعث شکل‌گیری شاخه‌های صعودی و نزولی تراز آب زیرزمینی در هیدروگراف آبخوان می‌گردد. در ترسیم هیدروگراف دشت مورد مطالعه از شبکه‌بندی تیسن که نشان‌دهنده مساحت مؤثر هر پیزومتر می‌باشد استفاده شده است و هیدروگراف سطح آب زیرزمینی برای هر دو آبخوان آزاد و تحت فشار به صورت مجزا ترسیم شده است (شکل‌های ۴-۸ و ۴-۹).



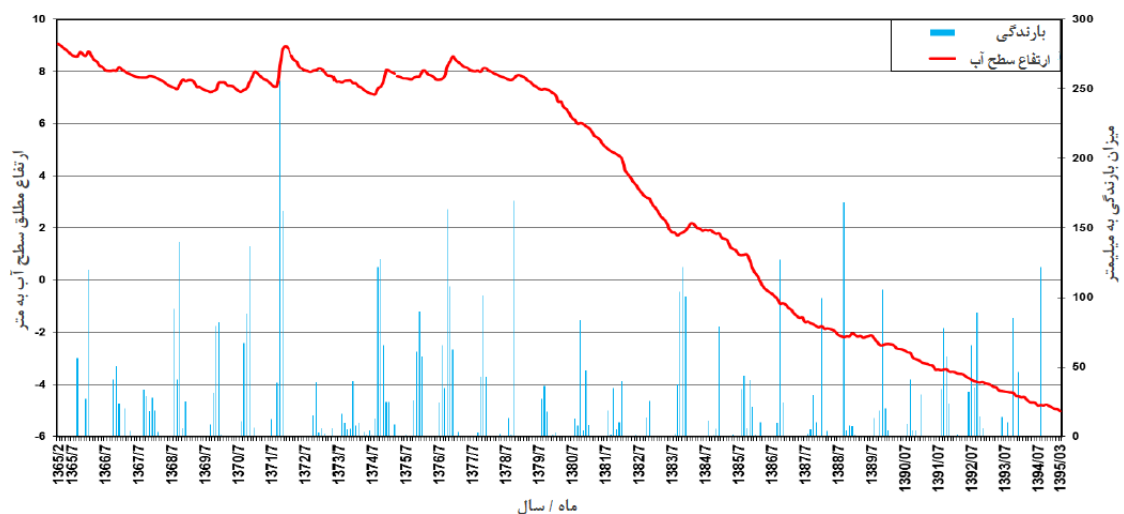
شکل ۴-۸: تیسن بندی آبخوان آزاد دشت میناب



شکل ۴-۹: تیسن بندی آبخوان تحت فشار میناب

## ۴-۲-۴- هیدروگراف واحد آبخوان آزاد دشت میناب

شکل (۴-۱۰) هیدروگراف ترسیمی سطح آب زیرزمینی برای آبخوان آزاد دشت میناب می‌باشد؛ که یک دوره‌ی ۲۹ ساله (سال‌های آبی ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۴) را نشان می‌دهد. متوسط سطح آب در سال ۱۳۶۵ در حدود ۸/۶۳ متر بالاتر از سطح دریا بوده و در سال ۱۳۸۰ (فروردین) به ۶/۳۱ متر می‌رسد و تغییرات سطح آب در این هیدروگراف نیز در بازه ۱۵ ساله دارای تغییرات افزایشی و کاهشی بوده ولی روند کلی آن نشان‌دهنده افزایش سطح آب زیرزمینی بوده است. به‌طورکلی از ابتدای دوره بیلان تا اوایل سال آبی ۷۱-۷۰ که متوسط ارتفاع بارندگی طی این پنج سال حدود ۱۹۵ میلی‌متر بوده، روند متعادل تراز سطح آب دشت از ۷ تا حدود ۹ متر مشاهده می‌شود. هم‌زمان با بارندگی‌های مناسب و مؤثر سال آبی ۷۱-۷۲ با بیش از ۳۰۰ میلی‌متر، هیدروگراف روند افزایشی ملایمی را تا رقوم ۸/۹ متری را طی کرده است. بعدازاین تاریخ، دشت با کاهش بارندگی روبرو بوده است و بالتبع تراز سطح آب نیز روند کاهشی ملایمی داشته است و با کاهش ذخیره آب سد و تقلیل بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری در طول مسیر رودخانه، افت بیشتر مخزن زیرزمینی تا ارتفاع ۷/۱۳ متری در آبان ماه سال آبی ۷۴-۷۵ مشاهده می‌گردد. سال آبی ۷۶-۷۵ با ریزش‌های مناسب همراه بوده و باعث افزایش مجدد ذخیره آب سد و گسترش بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری دشت را در پی داشته و این روند کم‌وبیش تا پایان سال آبی ۷۹-۷۸ ادامه یافته است. آثار سوء خشک‌سالی‌های اخیر از سال آبی ۷۸-۷۷ شروع شده و با کاهش بارندگی و توزیع نامناسب آن در سال‌های بعد به‌تدریج شدت گرفته است که این باعث کاهش میزان بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری دشت میناب و افزایش بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی در سال اخیر شده است و این تغییر برداشت در هیدروگراف معرف نمایان می‌باشد. از سال ۸۴ تا سال ۹۴، هیدروگراف روند نزولی را داشته و سطح آب به تراز ۴/۷۰- متری رسیده است. اختلاف سطح آب زیرزمینی در این آبخوان در طی ۲۹ سال آماربرداری (از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۴) ۱۲/۴۷ متر و متوسط افت سطح آب در هر سال در حدود ۴۱ سانتی‌متر بوده است.



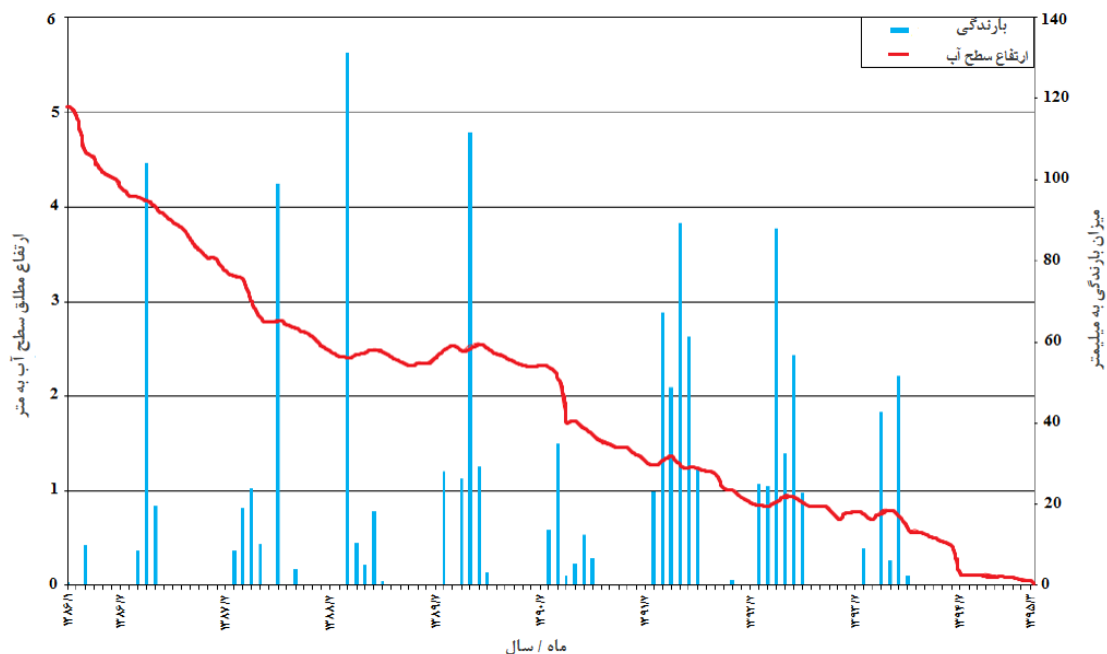
شکل ۴-۱۰: هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان آزاد میناب

کل افت ۱۵ ساله از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ در آبخوان آزاد دشت میناب در حدود ۱۰/۵۳ متر بوده و به طور متوسط حدود ۷۱ سانتی متر در هر سال افت داشته است؛ و نشان دهنده افت بسیار زیاد بوده و مهم ترین عامل آن وجود دوره خشک سالی، برداشت بیش از حد در آبخوان میناب و آبخوان شمیل (به عنوان تغذیه کننده این آبخوان)، باعث به وجود آمدن یک افت مضاعف در این آبخوان شده است. همان گونه که مشاهده می شود کلیه افت رخ داده شده در طول این هیدروگراف مربوط به سال ۱۳۸۰ به بعد می باشد.

#### ۴-۲-۵- هیدروگراف واحد آبخوان تحت فشار دشت میناب

در نواحی مرکزی و شمالی دشت میناب، سفره تحت فشار تشکیل شده و از فروردین ماه سال ۱۳۸۶ شبکه چاه های پیزومتری برای سفره تحت فشار ایجاد گردیده است. شکل (۴-۱۱) هیدروگراف ترسیمی سطح آب زیرزمینی برای آبخوان تحت فشار دشت میناب در بازه ۹ ساله می باشد. هیدروگراف در این آبخوان از فروردین ۱۳۸۶ تا خرداد ۱۳۹۵ ترسیم شده است. بر طبق این هیدروگراف تراز سطح آب زیرزمینی در ابتدای اندازه گیری ۵/۰۷ متر بالاتر از سطح آب دریا بوده و در خرداد ماه ۱۳۹۵ تراز آب به ۰/۵۲ متر می رسد. به طور کلی روند تراز سفره دوم (تحت فشار) میناب از ابتدای دوره

اندازه‌گیری کاملاً نزولی می‌باشد؛ و افتی برابر ۵/۰۲ متر را نشان می‌دهد. متوسط افت سالانه ۵۵ سانتی‌متر در سال می‌باشد.



شکل ۴-۱۱: هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان تحت فشار میناب

#### ۴-۲-۴- بررسی وضعیت بیلان منطقه مورد مطالعه

ارزیابی بیلان چیزی جز موازنه ماده نیست که در آن تمام ورودی‌ها، خروجی‌ها و تغییر در ذخیره در محدوده‌ای با مرزهای مشخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با توجه به موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در محدوده مطالعاتی، سطح بیلان ۲۷۱/۸۳ کیلومترمربع در نظر گرفته شده است. به‌منظور بررسی وضعیت پتانسیلی منابع آب و اعمال مدیریت بهینه در راستای بهره‌برداری مناسب از آبخوان آبرفتی میناب، بیلان یک‌ساله دشت محاسبه شده و هر یک از عوامل مؤثر مذکور در معادله به‌طور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته شد.

$$\Delta V = I - Q$$

معادله (۴-۱)

$$[Q_{in} + Q_p + Q_R + Q_I] - [Q_{out} + Q_{EX} + Q_{ET}] = \pm \Delta V$$

طبق معادله بالا، ورودی‌ها (I) شامل: میزان نفوذ مؤثر حاصل از ریزش‌های جوی ( $Q_P$ )، حجم نفوذ از جریان‌های سطحی ( $Q_R$ )، میزان جریان‌های زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان ( $Q_{in}$ )، حجم آب برگشتی از کشاورزی، شرب و صنعت ( $Q_i$ ) و خروجی‌ها (Q) شامل: میزان جریان‌های خروجی از محدوده بیلان ( $Q_{out}$ )، حجم آب زیرزمینی بهره‌برداری شده ( $Q_{EX}$ )، حجم آب تبخیرشده از سفره آب زیرزمینی ( $Q_{ET}$ ) و  $\Delta V$  تغییر در میزان ذخیره آبخوان در طول دوره بیلان است.

#### ۴-۲-۴-۱ عوامل تغذیه آبخوان

- جریان‌های ورودی آب زیرزمینی

یکی از منابع تأمین‌کننده آب زیرزمینی در آبخوان‌ها، آب‌هایی است که از سازندهای مجاور وارد آبخوان‌های آبرفتی می‌شود که جهت تعیین مقادیر آن در مقاطع مختلف از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$Q = T.I.L \times 365 \quad \text{معادله (۴-۲)}$$

که در این رابطه Q دبی برحسب مترمکعب بر سال، T قابلیت انتقال (متر بر روز)، I شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی و L طول مقاطع ورودی آب زیرزمینی می‌باشد. آبخوان میناب به‌طور کلی از سه مقطع شمالی و شرقی و جنوبی تغذیه می‌شود. مقدار قابلیت انتقال در دشت بر اساس نتایج پمپاژ و لاگ حفاری پی‌زومترها در حدود ۱۲۰۰ مترمربع بر روز برآورد شده است. مقدار گرادیان هیدرولیکی بین ۰/۰۰۱ در نواحی شمالی تا حدود ۰/۰۰۱۵ در نواحی جنوبی متغیر می‌باشد. ضخامت آبخوان نیز در دشت بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر متغیر است. در مجموع حجمی برابر با ۱۹/۷۶ میلیون مترمکعب در سال آب از سازندها و آبخوان مجاور، سازند میناب را تغذیه می‌کنند.

- آب نفوذی از بارندگی

بر طبق محاسبات انجام‌شده متوسط بارندگی منطقه حدود ۲۲۴ میلی‌متر در سال می‌باشد که با احتساب مساحت آبخوان میناب که در حدود ۲۷۱/۸۳ کیلومترمربع و ضریب نفوذ بارندگی در حدود ۱۰ درصد، در مجموع ۶/۲۰ میلیون مترمکعب آب از بارندگی در طول سال به آبخوان نفوذ می‌کند.

## - آب برگشتی کشاورزی و شرب

با توجه به نفوذپذیری سطحی آبرفت و سیستم آبیاری غرقابی سالانه حدود ۱۵ درصد از آب مصرفی در بخش کشاورزی به آبخوان آبرفتی برمی‌گردد. حجم آب مصرفی در محدوده بیلان ۱۱۴/۱۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که از طریق چاه‌های پمپاژ و همچنین رودخانه میناب تأمین می‌گردد. در نتیجه سالانه حدود ۱۷/۱۲ میلیون مترمکعب از آب کشاورزی به آبخوان آبرفتی برمی‌گردد. همچنین با توجه به جمع میزان آب مصرفی شرب و بهداشت (داخل دشت) که ۱۸/۸۴ میلیون مترمکعب بوده و نیز ورود پساب آن‌ها به چاه‌های جذبی و در نظر گرفتن متوسط ۳۰ درصد نفوذ آن‌ها، حجم آب تزریقی به سفره از این طریق برابر ۵/۶۲ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد؛ بنابراین در مجموع در حدود ۲۲/۷۴ میلیون مترمکعب حجم آب تزریقی به سفره از طریق آب برگشتی کشاورزی و شرب می‌باشد.

## - آب نفوذی از بستر رودخانه

همان‌طور که قبلاً اشاره شده، تنها رودخانه مهم این دشت رودخانه دائمی میناب می‌باشد که با توجه به وجود سد استقلال، ورودی دشت و رودخانه در دوره بیلان برابر میزان خروجی از سد بوده که از طریق دریچه‌های سرریز و دریچه‌های تخلیه کننده کف در مسیر رودخانه جریان یافته و در نهایت به دریا ریخته است. نهایتاً مجموع آب وارده به دشت از طریق جریانات رودخانه‌ای برابر ۷۵/۷۲ میلیون مترمکعب در سال است که با لحاظ ۱۵ درصد نفوذ رودخانه‌ای، میزان نفوذ به آبخوان از این طریق معادل ۱۰/۴۰ میلیون مترمکعب می‌باشد.

## ۲-۴-۲-۴- عوامل تخلیه آبخوان:

### - آب خروجی از مقاطع زیرزمینی

با توجه به وضعیت جهت جریان آب زیرزمینی در این آبخوان مشخص گردید که هیچ‌گونه آبی از این آبخوان خارج نمی‌شود و در صورت خروج، مقدار آن به حدی نیست که بر سطح آب زیرزمینی تأثیر چندانی بگذارد لذا میزان خروجی صفر در نظر گرفته شده است.

### - برداشت آب توسط چاه‌ها

در محدوده آبخوان میناب مهم‌ترین منابع که از آب زیرزمینی برداشت می‌کنند چاه‌هایی هستند که آب برداشتی آن‌ها به مصرف شرب، صنعت و کشاورزی می‌رسد. بر اساس آمار، حجم آب برداشتی از آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت در مجموع ۶۷/۵ میلیون مترمکعب سالانه از این آبخوان می‌باشد.

### - میزان تبخیر و تعرق از آبخوان:

تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی به عمق سطح آب زیرزمینی، نوع و بافت خاک، درجه حرارت خاک، درجه حرارت محیط، شدت باد، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی هوا غلظت املاح بستگی دارد. بررسی نقشه‌های هم عمق سطح آب زیرزمینی ترسیم‌شده برای محدوده بیلان نشان می‌دهد کمترین عمق سطح آب زیرزمینی حدود ۸ متر است. از آنجایی که تبخیر و تعرق در عمق کمتر از ۵ متر صورت می‌گیرد، بنابراین میزان تبخیر و تعرق از آبخوان نادیده گرفته شده است.

در جدول (۳-۴)، نتایج محاسبه مؤلفه‌های مختلف بیلان ارائه شده است. با توجه به نتیجه بیلان، میزان کسری مخزن حدود ۸/۴۰ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است (گزارش تمدید ممنوعیت دشت میناب، سازمان آب منطقه ای هرمزگان، ۱۳۹۵).

جدول ۳-۴ خلاصه اجزاء بیلان آبخوان آبرفتی میناب

| جدول محاسبه اجزای بیلان          |                         |                        |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------|
| شرح اجزای بیلان آب زیرزمینی      | تغذیه (میلیون مترمکعب)  | تخلیه (میلیون مترمکعب) |
| حجم ورودی آب زیرزمینی            | ۱۹/۷۶                   |                        |
| حجم آب نفوذ یافته از نزولات جوی  | ۶/۲۰                    |                        |
| حجم آب برگشتی به آبخوان          | ۲۲/۷۴                   |                        |
| آب نفوذی از بستر رودخانه         | ۱۰/۴۰                   |                        |
| حجم جریان خروجی از آب زیرزمینی   |                         | ۰                      |
| حجم بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی |                         | ۶۷/۵۰                  |
| میزان تبخیر و تعرق از آبخوان     |                         | ۰                      |
| حجم زهکش از آبخوان               |                         | ۰                      |
| جمع                              | ۵۹/۱۰                   | ۶۷/۵۰                  |
| تغییرات حجم (Mm <sup>3</sup> )   | $۵۹/۱۰ - ۶۷/۵۰ = -۸/۴۰$ |                        |

#### ۴-۲-۵- محاسبه تغییرات حجم مخزن

مقدار کسری و کاهش حجم مخزن از طریق معادله زیر با توجه به میزان افت تراز آب در زمینی در کل مساحت دشت در دوره بیلان و مقدار ضریب ذخیره نیز محاسبه شده است. با توجه به هیدروگراف واحد آبخوان، میزان متوسط افت سطح آب زیرزمینی در طول مدت یک سال بیلان در حدود ۰/۴۲

متر بوده است. مساحت سفره آب زیرزمینی در محدوده بیلان ۲۷۱/۸۳ کیلومترمربع و میزان متوسط ضریب ذخیره دشت برابر با ۷ درصد در نظر گرفته شده است؛ بنابراین با توجه به فرمول زیر، میزان کسری سالانه مخزن برابر ۸ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

$$v_w = \Delta h . A . S_y \quad \text{معادله (۳-۴)}$$

$$v_w = 273 / 83 \times 10^6 \times (0/42) \times (0/07) = 8 \text{ Mm}^3$$

در معادله فوق،  $S_y$  ضریب ذخیره،  $v_w$  حجم آب تخلیه شده از آبخوان برحسب میلیون مترمکعب،  $A$  مساحت آبخوان برحسب کیلومترمربع،  $\Delta h$  متوسط افت سالانه دشت برحسب متر می باشد. این مقدار با مقدار کسری مخزن از طریق فرمول بیلان در بالا، تقریباً در یک حدود می باشد که نشانگر این است که مؤلفه های بیلان درست برآورد شده است (گزارش تمديد ممنوعيت دشت میناب، سازمان آب منطقه ای هرمزگان، ۱۳۹۵).

### ۳-۴- بررسی رفتار و تکامل هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت میناب

#### ۳-۴-۱- جمع آوری داده های هیدرووشیمیایی و ایزوتوپی

به منظور ارزیابی هیدرووشیمیایی و بررسی کیفی سفره زیرزمینی دشت میناب، نمونه برداری به مدت ۷ روز در پاییز ۱۳۹۸ از چاه های بهره برداری به صورت انتخابی و پراکنده در دشت انجام گرفت که در نهایت، ۶۴ نمونه مربوط به چاه ها، یک نمونه از آب سد و دو نمونه آب دریا گرفته شده است. برای تمامی نمونه ها پارامترهای هیدرووشیمی (T، pH، EC) در محل نمونه برداری اندازه گیری شد. نمونه ها به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود جهت آنالیزهای مختلف ارسال گردید. برای تفسیر نتایج هیدرووشیمیایی، از نقشه ها، گراف ها و نسبت های یونی مختلف استفاده شده است. نتایج آنالیزهای شیمیایی و موقعیت چاه های نمونه برداری شده در سال ۹۸ در جدول (۴-۴) و شکل (۴-۱۲) ارائه شده است. در جدول (۴-۵) نیز نتایج ایزوتوپی  $^2\text{H}$  و  $^{18}\text{O}$  ارائه شده است.

جدول ۴-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب دشت میناب آبان ماه ۱۳۹۸

| غلظت آنیون ها meq/L |       |        | غلظت کاتیون ها meq/L |       |        |      | EC<br>µs/cm | pH   | مختصات |         | شماره<br>نمونه |
|---------------------|-------|--------|----------------------|-------|--------|------|-------------|------|--------|---------|----------------|
| HCO3                | SO4   | Cl     | Ca                   | Mg    | Na     | K    |             |      | X utm  | Y utm   |                |
| 4.70                | 5.55  | 42.80  | 8.00                 | 15.00 | 27.00  | 0.20 | 4770        | 7.36 | 506796 | 2991446 | W1             |
| 3.70                | 8.51  | 64.20  | 9.00                 | 18.00 | 41.00  | 0.29 | 6720        | 7.60 | 507263 | 2991801 | W2             |
| 3.90                | 5.05  | 29.20  | 6.70                 | 8.30  | 21.00  | 0.20 | 3800        | 7.75 | 505491 | 2994487 | W3             |
| 4.60                | 26.31 | 213.60 | 22.00                | 73.60 | 120.00 | 0.64 | 21400       | 7.54 | 509069 | 2996823 | W4             |
| 5.60                | 2.29  | 9.80   | 5.00                 | 7.00  | 8.13   | 0.14 | 1878        | 7.64 | 507818 | 2999694 | W5             |
| 3.00                | 2.84  | 26.00  | 6.50                 | 9.50  | 17.20  | 0.13 | 3100        | 7.65 | 503496 | 2996453 | W6             |
| 3.70                | 2.02  | 8.40   | 5.20                 | 1.40  | 6.50   | 0.12 | 1476        | 7.77 | 504283 | 2998871 | W7             |
| 2.20                | 2.07  | 24.20  | 10.50                | 3.00  | 12.46  | 0.15 | 2790        | 7.50 | 502441 | 2997894 | W8             |
| 2.40                | 1.93  | 17.40  | 3.50                 | 5.50  | 10.38  | 0.27 | 2220        | 7.65 | 498371 | 2996871 | W9             |
| 4.30                | 1.81  | 8.10   | 3.90                 | 4.70  | 7.00   | 0.27 | 1400        | 7.93 | 496126 | 2996431 | W10            |
| 3.80                | 1.35  | 6.30   | 4.40                 | 1.50  | 5.30   | 0.10 | 1140        | 7.87 | 502591 | 2999301 | W11            |
| 7.20                | 3.19  | 12.20  | 12.60                | 3.60  | 8.63   | 0.17 | 2230        | 7.58 | 506506 | 3001459 | W12            |
| 4.60                | 1.96  | 11.00  | 7.00                 | 2.90  | 9.00   | 0.13 | 1762        | 7.76 | 506206 | 3001569 | W13            |
| 7.60                | 3.34  | 13.10  | 12.40                | 3.40  | 11.05  | 0.18 | 2430        | 7.50 | 503614 | 3000263 | W14            |
| 5.40                | 2.65  | 10.80  | 9.20                 | 3.20  | 9.00   | 0.15 | 1962        | 7.67 | 503571 | 3000591 | W15            |
| 5.10                | 2.67  | 10.40  | 7.40                 | 2.20  | 9.59   | 0.15 | 1928        | 7.92 | 503551 | 3000844 | W16            |
| 6.50                | 3.43  | 12.30  | 11.00                | 3.80  | 7.50   | 0.17 | 2250        | 7.64 | 503670 | 3001126 | W17            |
| 5.40                | 2.46  | 9.20   | 7.00                 | 3.70  | 8.30   | 0.17 | 1810        | 7.64 | 504088 | 3002135 | W18            |
| 3.90                | 2.65  | 12.60  | 10.30                | 3.20  | 8.20   | 0.16 | 2010        | 7.70 | 504208 | 3002668 | W19            |
| 5.90                | 3.05  | 12.50  | 11.70                | 3.40  | 9.60   | 0.15 | 2010        | 7.53 | 502978 | 3002471 | W20            |
| 2.60                | 1.36  | 6.40   | 4.00                 | 1.50  | 6.10   | 0.10 | 1150        | 7.98 | 502037 | 3002373 | W21            |
| 4.30                | 1.63  | 6.20   | 4.60                 | 1.30  | 7.53   | 0.11 | 1130        | 8.06 | 500626 | 3002277 | W22            |
| 2.70                | 1.43  | 6.20   | 4.30                 | 1.30  | 6.40   | 0.09 | 1150        | 7.93 | 500059 | 3002180 | W23            |
| 4.00                | 1.74  | 6.20   | 4.30                 | 1.20  | 7.51   | 0.10 | 1200        | 7.95 | 500333 | 3001144 | W24            |
| 4.20                | 2.38  | 6.20   | 5.20                 | 1.70  | 7.20   | 0.10 | 1260        | 7.92 | 499981 | 3001754 | W25            |
| 3.40                | 1.99  | 6.40   | 4.60                 | 2.00  | 6.20   | 0.12 | 1277        | 7.84 | 499572 | 3002102 | W26            |
| 3.40                | 2.90  | 6.60   | 5.00                 | 1.80  | 7.40   | 0.12 | 1437        | 7.83 | 499468 | 3002365 | W27            |
| 4.20                | 1.33  | 5.70   | 2.90                 | 1.00  | 6.23   | 0.18 | 1065        | 7.84 | 499232 | 3002055 | W28            |
| 3.70                | 3.32  | 11.80  | 4.50                 | 4.20  | 10.46  | 0.19 | 2720        | 7.68 | 498686 | 3000364 | W29            |
| 4.00                | 1.29  | 5.10   | 5.00                 | 1.50  | 5.30   | 0.19 | 1045        | 8.10 | 498188 | 3000700 | W30            |
| 7.50                | 1.90  | 7.20   | 7.50                 | 3.80  | 6.30   | 0.15 | 1441        | 7.92 | 498046 | 3001421 | W31            |

ادامه جدول ۴-۴ نتایج آنالیز کیفی منابع آب دشت میناب آبان ماه ۱۳۹۸

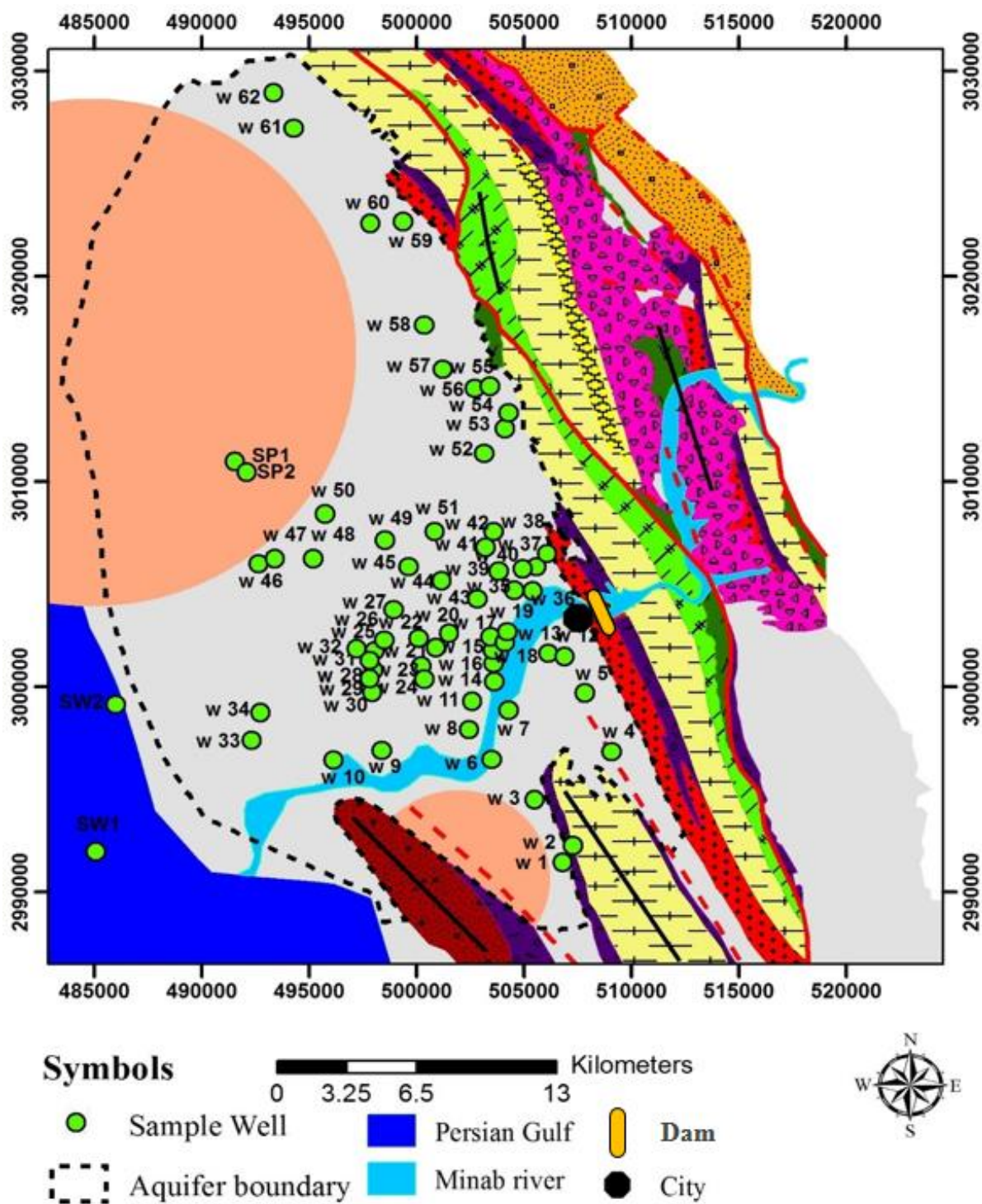
| غلظت آنیون ها meq/L |                 |       | غلظت کاتیون ها meq/L |       |       |      | EC<br>μs/cm | pH   | مختصات |         | شماره<br>نمونه |
|---------------------|-----------------|-------|----------------------|-------|-------|------|-------------|------|--------|---------|----------------|
| HCO <sub>3</sub>    | SO <sub>4</sub> | Cl    | Ca                   | Mg    | Na    | K    |             |      | X utm  | Y utm   |                |
| 3.40                | 2.04            | 6.60  | 5.00                 | 2.00  | 6.55  | 0.12 | 1300        | 7.77 | 497820 | 3001562 | W32            |
| 5.20                | 9.63            | 37.40 | 8.20                 | 15.00 | 25.30 | 0.65 | 4950        | 8.27 | 492309 | 2997383 | W33            |
| 3.60                | 3.45            | 28.00 | 6.50                 | 9.50  | 16.78 | 0.53 | 3600        | 8.17 | 492727 | 2998737 | W34            |
| 2.00                | 2.22            | 9.00  | 5.30                 | 1.50  | 7.64  | 0.12 | 1420        | 7.65 | 504777 | 3003784 | W35            |
| 5.70                | 2.94            | 12.90 | 9.20                 | 3.20  | 10.74 | 0.17 | 2280        | 7.66 | 505415 | 3004680 | W36            |
| 7.20                | 4.29            | 14.20 | 13.00                | 3.50  | 11.20 | 0.20 | 2550        | 7.61 | 505976 | 3005318 | W37            |
| 7.20                | 4.41            | 18.50 | 13.70                | 3.80  | 13.93 | 0.19 | 3000        | 7.59 | 506064 | 3006478 | W38            |
| 7.30                | 3.37            | 12.80 | 9.40                 | 3.20  | 13.06 | 0.17 | 2390        | 7.50 | 505347 | 3005632 | W39            |
| 7.80                | 3.38            | 12.50 | 12.40                | 3.50  | 10.20 | 0.18 | 2470        | 7.54 | 504935 | 3005758 | W40            |
| 7.80                | 3.91            | 14.10 | 9.20                 | 3.00  | 12.40 | 0.15 | 2620        | 7.68 | 504425 | 3006344 | W41            |
| 8.80                | 3.80            | 14.30 | 9.50                 | 3.00  | 13.30 | 0.18 | 2500        | 7.50 | 503968 | 3006725 | W42            |
| 10.90               | 3.99            | 15.70 | 13.50                | 4.00  | 11.73 | 0.20 | 2650        | 7.46 | 503908 | 3004977 | W43            |
| 5.90                | 3.53            | 15.60 | 12.50                | 3.90  | 11.78 | 0.19 | 2510        | 7.53 | 502611 | 3005317 | W44            |
| 5.20                | 2.65            | 12.40 | 5.30                 | 2.10  | 10.68 | 0.15 | 2100        | 7.67 | 499630 | 3005854 | W45            |
| 6.40                | 2.59            | 11.40 | 8.00                 | 3.00  | 10.63 | 0.23 | 1945        | 7.86 | 492630 | 3006001 | W46            |
| 3.70                | 2.23            | 13.50 | 7.50                 | 2.00  | 11.46 | 0.31 | 2100        | 7.85 | 493388 | 3006242 | W47            |
| 4.10                | 2.23            | 11.60 | 6.50                 | 2.20  | 10.37 | 0.21 | 1915        | 7.63 | 495181 | 3006247 | W48            |
| 2.00                | 1.82            | 16.60 | 6.80                 | 2.20  | 11.84 | 0.12 | 2000        | 7.57 | 498523 | 3007165 | W49            |
| 3.70                | 2.83            | 16.20 | 3.90                 | 1.60  | 14.14 | 0.50 | 2370        | 8.04 | 495728 | 3008441 | W50            |
| 6.20                | 3.77            | 17.10 | 9.30                 | 4.50  | 13.17 | 0.17 | 2740        | 7.67 | 501620 | 3007404 | W51            |
| 11.60               | 4.47            | 15.30 | 12.80                | 3.90  | 14.93 | 0.15 | 2800        | 7.76 | 503128 | 3011358 | W52            |
| 3.70                | 4.84            | 21.40 | 9.20                 | 5.30  | 13.93 | 0.15 | 3100        | 8.45 | 504088 | 3012600 | W53            |
| 3.40                | 6.50            | 20.50 | 13.20                | 3.50  | 13.98 | 0.17 | 3280        | 7.82 | 504283 | 3013337 | W54            |
| 5.60                | 6.17            | 24.20 | 8.50                 | 2.60  | 21.20 | 0.15 | 3630        | 7.88 | 502701 | 3014245 | W55            |
| 3.90                | 5.86            | 20.80 | 12.10                | 3.90  | 13.98 | 0.17 | 3210        | 7.76 | 503411 | 3014646 | W56            |
| 3.30                | 6.45            | 28.40 | 7.50                 | 4.30  | 21.20 | 0.17 | 3960        | 7.58 | 502218 | 3015398 | W57            |
| 3.30                | 11.10           | 57.30 | 15.80                | 7.20  | 46.20 | 0.24 | 6640        | 7.42 | 500332 | 3017626 | W58            |
| 2.20                | 2.61            | 36.80 | 10.20                | 5.30  | 29.50 | 0.28 | 3960        | 7.56 | 499345 | 3022683 | W59            |
| 2.90                | 4.84            | 38.00 | 13.90                | 6.10  | 27.20 | 0.23 | 4000        | 7.34 | 497835 | 3022587 | W60            |
| 2.50                | 8.31            | 54.90 | 21.00                | 6.30  | 46.30 | 0.24 | 6000        | 7.40 | 494255 | 3027212 | W61            |

ادامه جدول ۴-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب دشت میناب آبان ماه ۱۳۹۸

| غلظت آنیون‌ها meq/L |                 |        | غلظت کاتیون‌ها meq/L |        |        |      | EC<br>µs/cm | pH   | مختصات |         | شماره<br>نمونه          |
|---------------------|-----------------|--------|----------------------|--------|--------|------|-------------|------|--------|---------|-------------------------|
| HCO <sub>3</sub>    | SO <sub>4</sub> | Cl     | Ca                   | Mg     | Na     | K    |             |      | X utm  | Y utm   |                         |
| 2.20                | 6.66            | 59.10  | 18.90                | 6.00   | 48.20  | 0.25 | 6140        | 7.52 | 493326 | 3028969 | W62                     |
| 2.00                | 30.64           | 655.00 | 25.70                | 125.00 | 560.00 | 1.10 | 46400       | 7.82 | 485042 | 2991978 | SW1                     |
| 2.30                | 29.80           | 632.00 | 26.90                | 124.00 | 555.00 | 1.20 | 50000       | 7.87 | 486735 | 2999119 | SW2                     |
| 2.20                | 1.18            | 1.50   | 2.00                 | 1.00   | 1.98   | 0.05 | 410         | 7.45 | 511352 | 3004688 | Dam                     |
| 4.60                | 9.97            | 26.20  | 9.00                 | 4.00   | 25.00  | 0.33 | 3310        | 7.77 | 491536 | 3010980 | Salt<br>Playa1<br>(SP1) |
| 4.40                | 9.05            | 21.60  | 8.00                 | 3.00   | 19.91  | 0.38 | 2860        | 7.66 | 491850 | 3010708 | Salt<br>Playa2<br>(SP2) |

جدول ۴-۵: مقادیر ایزوتوپ‌های  $^{18}\text{O}$  و  $^2\text{H}$  نمونه‌های دشت میناب

| $^{18}\text{O}\text{‰}$ | $^2\text{H}\text{‰}$ | شماره نمونه |
|-------------------------|----------------------|-------------|
| -2.31                   | -0.87                | W28         |
| -2.33                   | 1.82                 | W11         |
| -2.27                   | 2.60                 | W5          |
| -2.54                   | 0.71                 | W49         |
| -2.30                   | 2.45                 | W19         |
| -2.21                   | 0.35                 | W47         |
| -1.85                   | 6.14                 | W40         |
| -2.50                   | -2.00                | W34         |
| -2.35                   | -0.16                | W58         |
| -2.01                   | 1.25                 | W2          |
| 0.87                    | 6.24                 | SW1         |



شکل ۴-۱۲: موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده جهت بررسی منابع کیفی آبخوان میناب

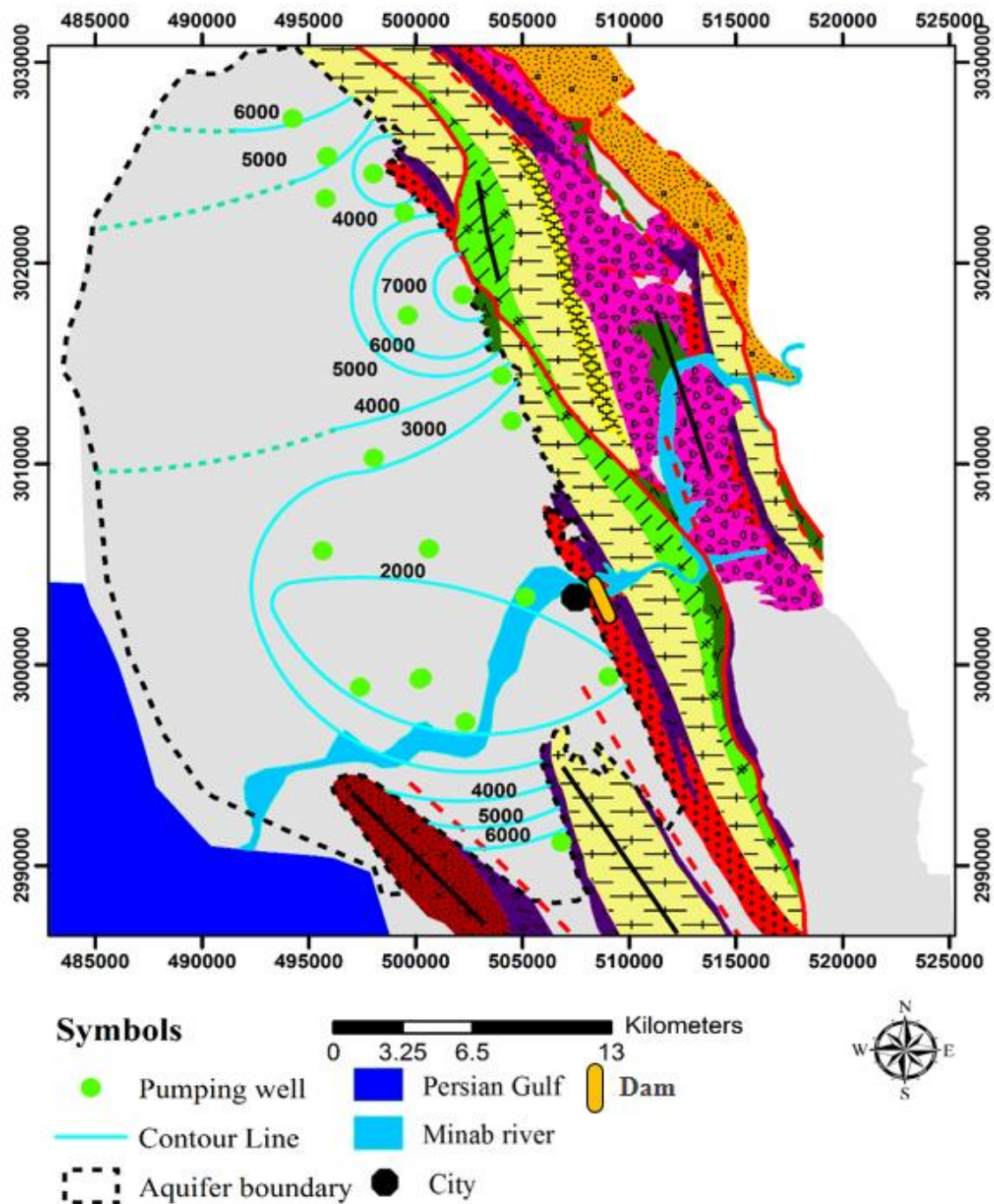
## ۴-۳-۲- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی

با بررسی تغییرات پارامتر هدایت الکتریکی، می‌توان به تغییرات غلظت یون‌ها در مسیر حرکت جریان پی برد. عوامل بسیاری از جمله مقدار بارش، میزان برداشت از سفره آب زیرزمینی، لیتولوژی آبخوان و سازندهای هم‌جوار، زمان ماندگاری آب، سرعت حرکت آب زیرزمینی، زه آب‌های کشاورزی، ورود فاضلاب‌ها و نفوذ آب‌شور بر روی مقادیر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تأثیرگذار می‌باشند (نصرتی، ۱۳۹۵). به‌منظور بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در محدوده مورد مطالعه، نقشه پراکندگی مقادیر هدایت الکتریکی با استفاده از داده‌های چاه‌های بهره‌برداری در طی آبان ماه سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۸ ترسیم گردید (شکل ۴-۱۳ و ۴-۱۴).

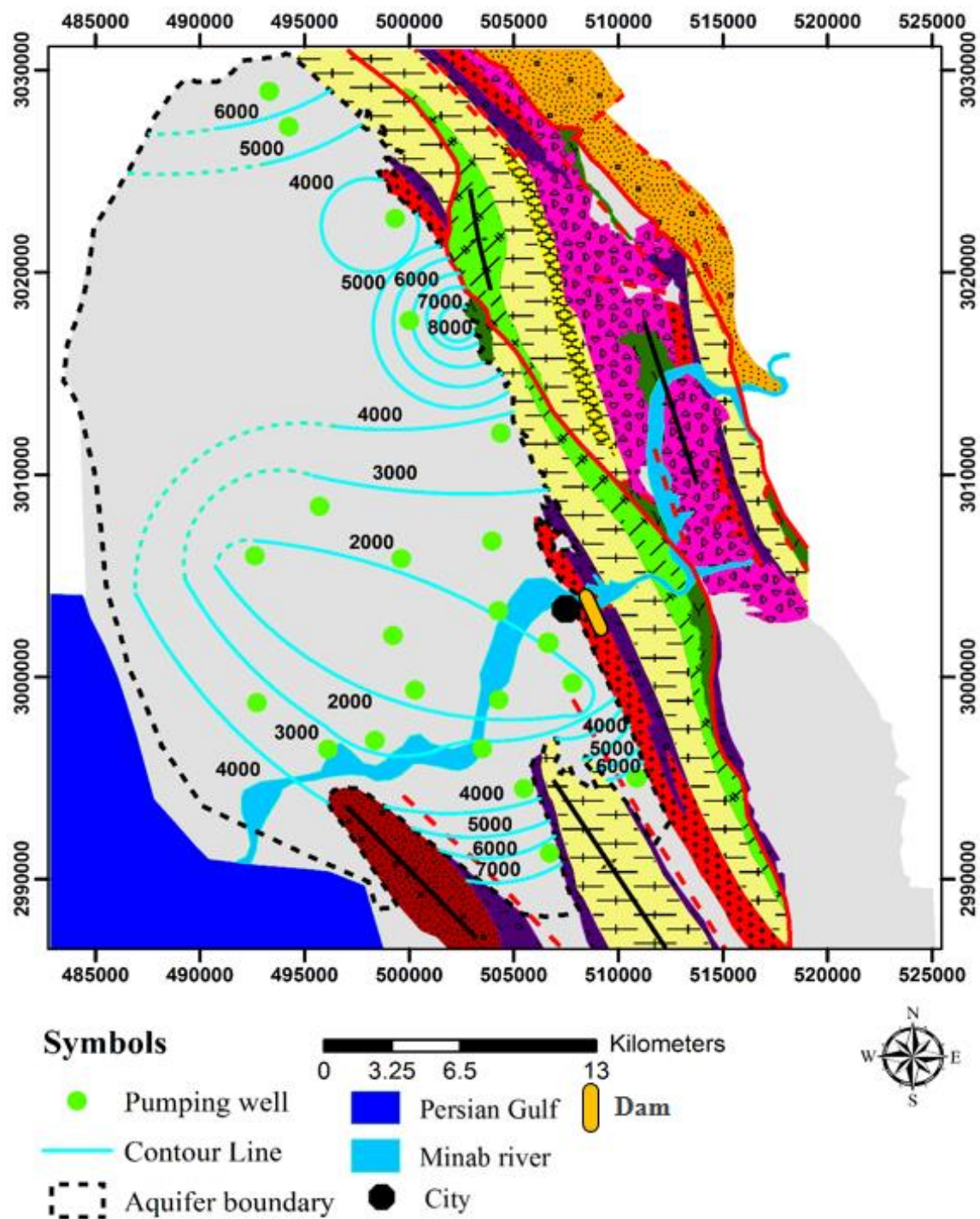
با توجه به نقشه‌ی پراکندگی هدایت الکتریکی، در بخش‌های شمالی، شمال شرقی، جنوبی و قسمت-هایی از شمال غربی بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مشاهده می‌شود. این مناطق جبهه‌ی ورودی دشت محسوب شده و تغذیه‌کننده بخش‌هایی از آبخوان می‌باشند. کم‌ترین مقدار هدایت الکتریکی به میزان ۱۰۲۵ میکروموس بر سانتی‌متر، مربوط به چاه‌های محدوده مرکزی و شرقی دشت می‌باشد که نقش بسزایی در تأمین آب شرب و کشاورزی شهرستان نیز دارد. بیشترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به مناطق جنوبی و شمالی دشت بوده که تا مقدار بیش از  $21000 \mu S/cm$  مربوط به چاه نزدیک ساحل (W4) در بخش جنوب شرقی دشت نیز اندازه‌گیری شده است؛ بنابراین مقدار هدایت الکتریکی در جهت جریان روند طبیعی نداشته و از منطقه تغذیه به سمت مناطق تخلیه انتظار می‌رود میزان هدایت الکتریکی افزایش یابد، اما قسمت مرکزی دشت کمترین مقدار هدایت الکتریکی را داشته و به سمت بخش‌های شمالی و جنوبی میزان هدایت الکتریکی افزایش یافته است. در بخش جنوبی، آبخوان مجاور سواحل دریا و در بخش شمالی مجاور کفه‌های نمکی و در بخش شمال شرقی مجاور سازندهای تبخیری و مخرب قرار دارد. با توجه به تغذیه بخشی دشت از این مناطق، مقدار شوری در این بخش‌ها افزایش یافته است. در بخش مرکزی دشت خطوط هم هدایت الکتریکی دارای انحنا بوده و به شکل نیم‌دایره و دوایری در آمده است که حاکی از رخداد پدیده‌ای همچون نفوذ آب

شیرین در این بخش می‌باشد. مقدار هدایت الکتریکی در بخش مرکزی کمتر از اطراف دشت شده است. نفوذ جبهه‌های آب‌شور عمدتاً از نواحی شمالی دشت، از طرف کفه‌های نمکی موجود در این بخش و همچنین از سمت جنوبی دشت به صورت نفوذ آب دریا صورت می‌گیرد. بیشترین تعداد چاه‌های بهره‌برداری در بخش‌های مرکزی دشت تمرکز داشته و تشکیل چاه‌های متمرکز را داده و در نتیجه باعث ازدیاد برداشت و ایجاد گرادیان زیاد به سمت مرکز دشت، می‌باشد. در اثر تغییر الگوی طبیعی جهت جریان در این بخش، آب‌های شور موجود در اطراف و دریا به سمت بخش‌های مجاور دشت نفوذ کرده و باعث افزایش شوری شده است. در بخش مرکزی دشت به علت دانه‌درشت بودن و بستر رودخانه، میزان تغذیه در اثر بارش مستقیم و همچنین جاری شدن آب در مقاطع زمانی مختلف در بستر رودخانه در طی باز کردن دریاچه سد برای کشاورزی زیاد می‌باشد. به همین دلیل روند تغییرات هدایت الکتریکی از شمال به سمت مرکز کمتر شده است. میزان هدایت الکتریکی آب سطحی (مخزن سد) در حدود ۴۱۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. همچنین با توجه به وجود مخزن آب شیرین در سفره تحت فشار زیرین و ایجاد مخروط افت در سفره بالایی، احتمالاً می‌تواند مقداری نشت و جریان به سمت بالا صورت گرفته باشد و موجب تغذیه و کاهش شوری در مناطق مرکزی شده باشد که البته این موضوع یک فرضیه بوده و نیاز به بررسی بیشتر و اطلاعات دقیق‌تر دارد. با توجه به نزدیک بودن منشأ شوری به چاه‌های برداشتی، افزایش اندکی در مقدار دبی چاه‌ها باعث نفوذ بیشتر آب‌شور دریا به سمت سفره در آینده خواهد شد. در سال‌های اخیر به دلیل کاهش کیفیت آب به خصوص در شمال و غرب دشت، به اجبار مقدار برداشت کاهش یافته است. این عامل سبب کندتر شدن پیشروی آب‌شور و کاهش کمتر حجم ذخیره آبخوان شده است. جهت بررسی تغییرات زمانی مقادیر هدایت الکتریکی، نقشه هم هدایت الکتریکی برای دو دوره مختلف در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۸ در شکل‌های (۴-۱۳) و (۴-۱۴) ترسیم گردید. با توجه به نقشه‌ها، مقدار هدایت الکتریکی در حاشیه‌های شرقی و غربی تغییر اندکی داشته و شوری خیلی افزایش نیافته است؛ بنابراین با کاهش اجباری دبی برداشتی باگذشت زمان، آبخوان هنوز در شرایط نامطلوبی قرار دارد.

به طوری که حتی با افزایش مقدار کم دبی برداشتی، مقدار شوری می تواند به سرعت افزایش یابد. وجود دواير متحدالمركز EC در مرکز وابسته به تمرکز چاه ها و ایجاد مخروط افت و نحوه انتقال شوری و همچنین نوع منبع شوری دارد.

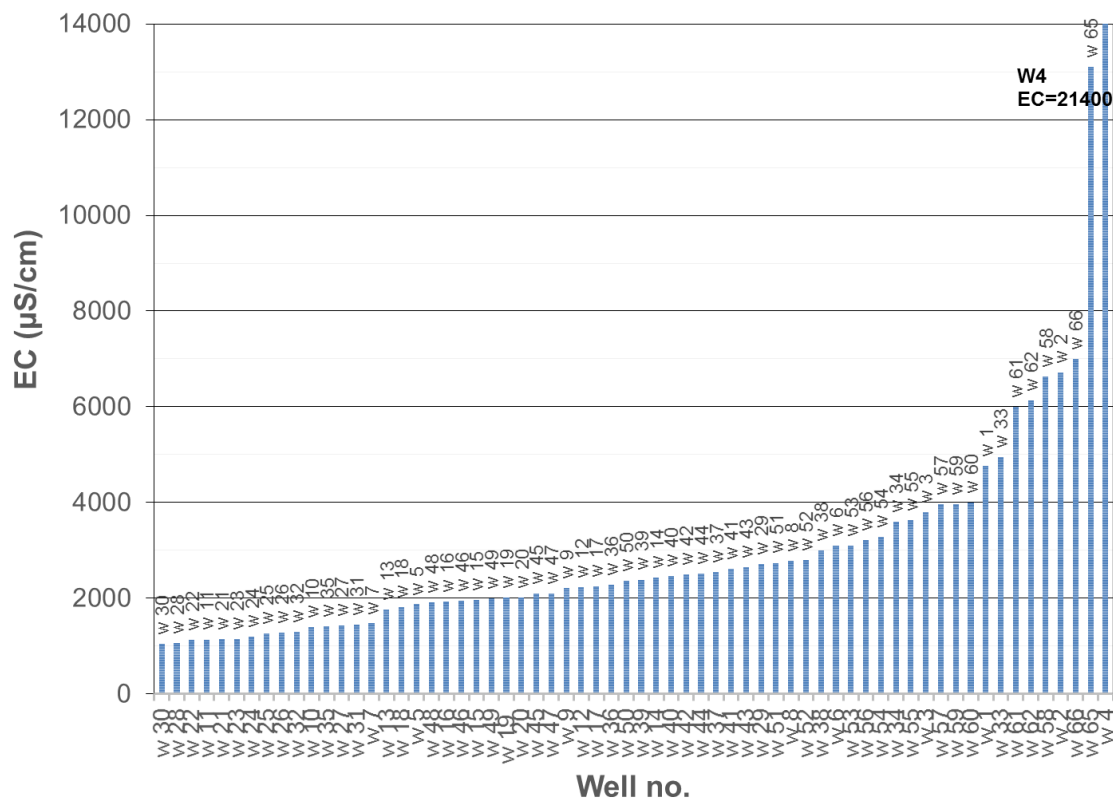


شکل ۴-۱۳: نقشه تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در دشت میناب در سال ۱۳۸۸ (مقدار بر اساس  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )



شکل ۴-۱۴: نقشه تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در دشت میناب در سال ۱۳۹۸ (مقدار بر اساس  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

نمونه‌های آب زیرزمینی بر اساس میزان هدایت الکتریکی به ۳ گروه تقسیم شده‌اند. نمونه‌های گروه اول تا EC به میزان ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر، گروه دوم تا ۴۰۰۰ و گروه سوم نمونه‌های شور با هدایت الکتریکی بیشتر از ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشند شکل (۴-۱۵). این تقسیم‌بندی جنبه مقایسه‌ای و گروه‌بندی جهت تفکیک و تفسیر نتایج دارد.



شکل ۴-۱۵: تغییرات مکانی مقادیر هدایت الکتریکی و گروه‌بندی آن‌ها در چاه‌های دشت میناب (۱۳۹۸)

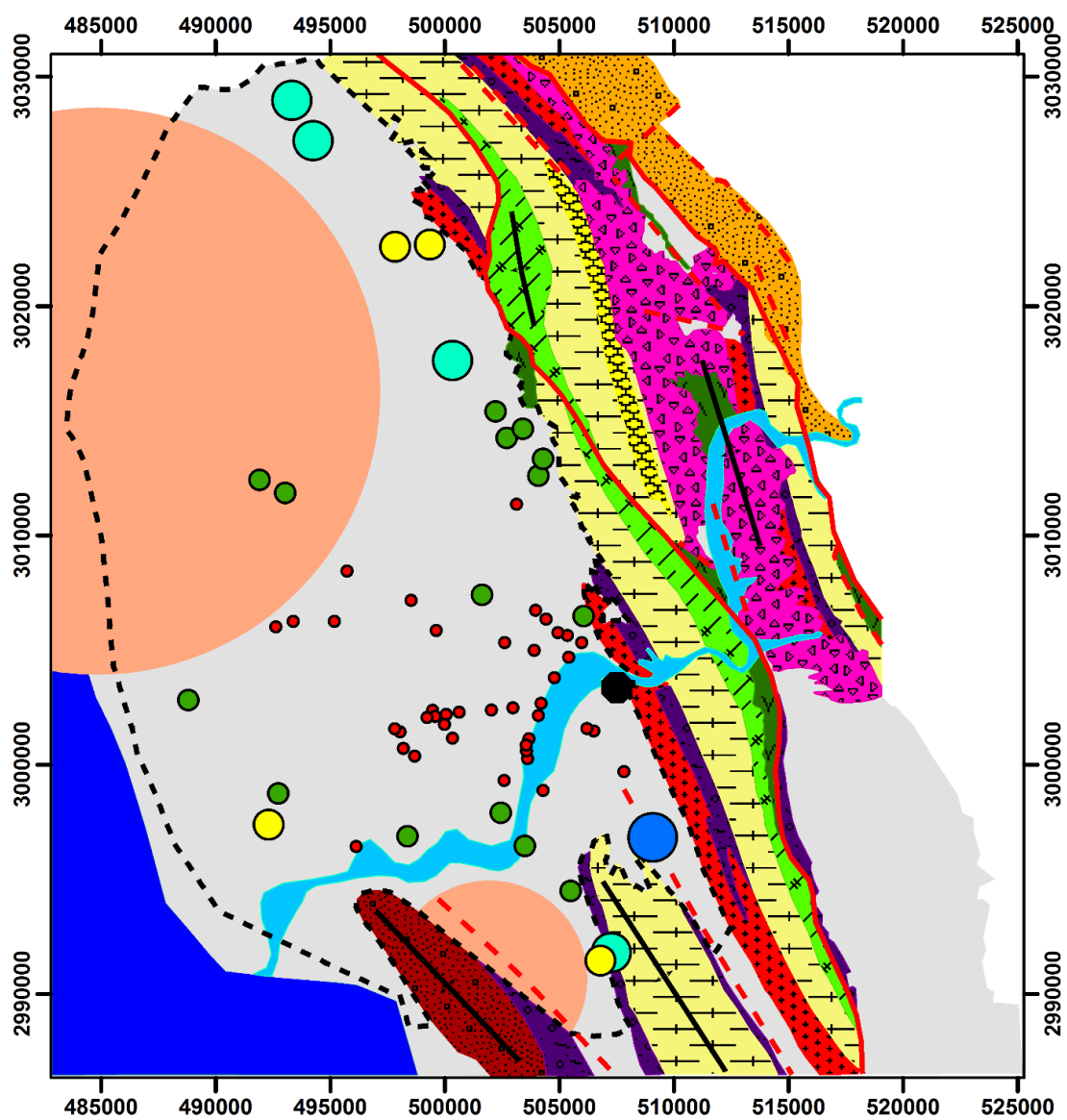
#### ۴-۳-۳- بررسی تغییرات یون کلر

مطالعه یون کلر، به‌عنوان منشأ شوری در آب زیرزمینی حائز اهمیت است. منشأ یون کلر مربوط به نفوذ آب شور، انحلال هالیت و یا تبخیر می‌باشد (Hounslow, 1995). به‌منظور بررسی هیدروشیمیایی، کیفیت منابع آب و وجود یا عدم ارتباط هیدرولیکی بین منابع آب زیرزمینی در دشت میناب نقشه تغییرات مکانی یون کلر نیز مورد بررسی قرار گرفت. طبق نقشه پراکندگی غلظت یون کلر، حداکثر

غلظت یون کلر در بخش‌های شمالی و جنوبی و حداقل غلظت یون کلر در بخش مرکزی و شرقی دشت مشاهده می‌شود که با نقشه هم‌هدایت الکتریکی هم‌خوانی دارد (شکل ۴-۱۶).

#### ۴-۳-۴- بررسی تغییرات یون سولفات

آنیون سولفات عمدتاً به‌صورت سولفات‌های منیزیم، کلسیم و پتاسیم یافت می‌شود. از منابع سولفات می‌توان به کانی پیریت ( $\text{FeS}_2$ )، ژیپس ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) و انیدریت ( $\text{CaSO}_4$ ) اشاره کرد از سینک‌های رایج سولفات نیز می‌توان، پیریت، ژیپس و احیاء سولفات را نام برد. درواقع مهم‌ترین منبع ورود این یون در آب‌های طبیعی، سولفیدهای فلزی و تبخیری‌هاست. این سولفیدها در شرایط جوی و رطوبت، اکسیدشده و به سولفات تبدیل می‌شوند. شکل (۴-۱۷) نقشه پراکندگی یون سولفات برای آبان ماه سال ۹۸ را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه پراکندگی یون سولفات کمترین میزان سولفات مربوط به قسمت مرکزی و شرقی دشت می‌باشد که مطلوب‌ترین کیفیت آب را دارند. در قسمت‌هایی از شمالی دشت به دلیل وجود کانی‌های تبخیری و نفوذ آب‌شور از قسمت بالایی دشت و همچنین بخش‌های از جنوب دشت به دلیل نفوذ آب‌شور، بیشترین میزان سولفات را دارند.



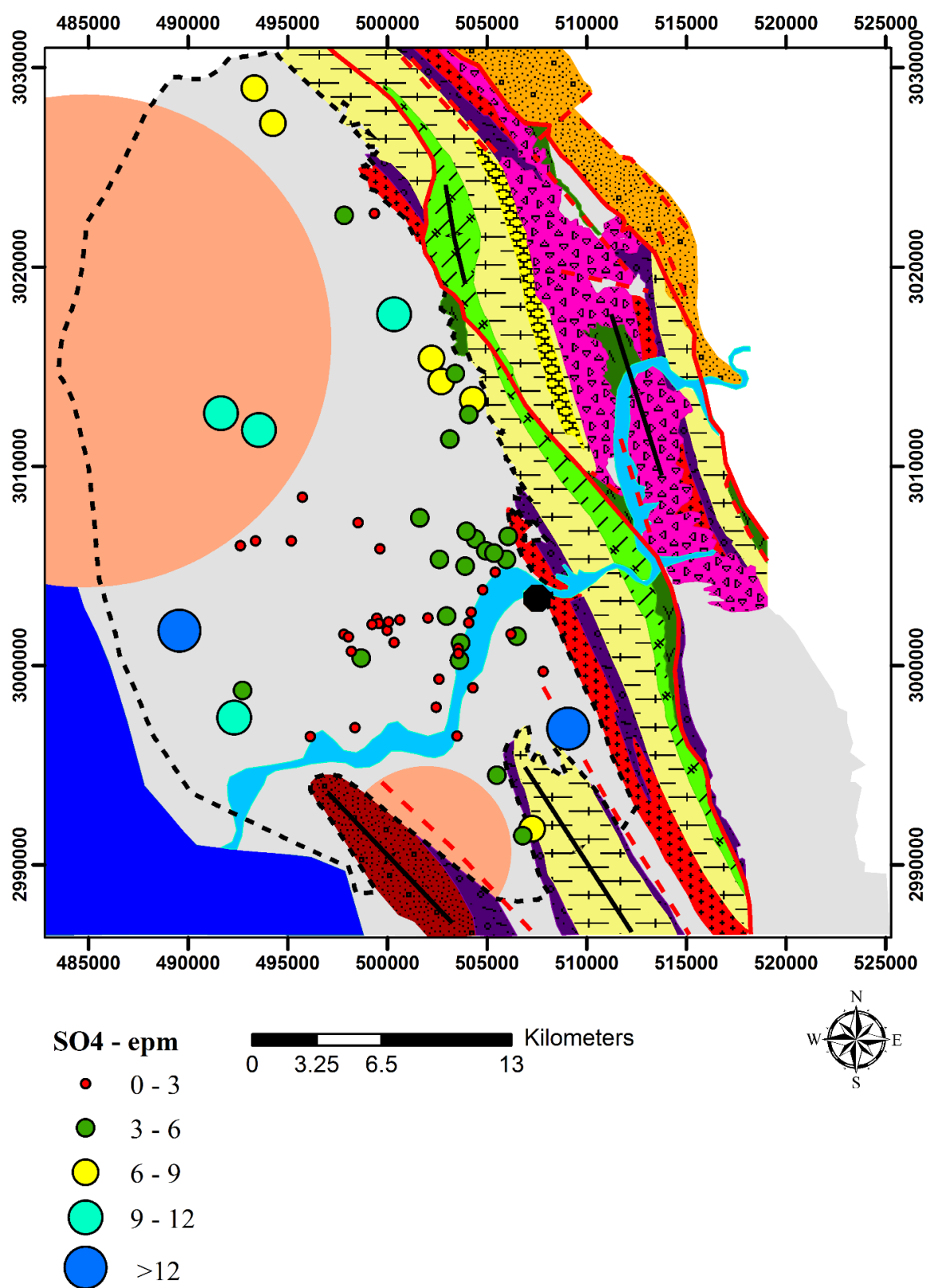
Cl - ppm

- 0 - 17
- 17 - 34
- 34 - 51
- 51 - 68
- >68

0 3.25 6.5 13 Kilometers



شکل ۴-۱۶: نقشه پراکندگی غلظت کلر در نمونه‌های آب دشت میناب در آبان ۱۳۹۸



۱۷-۴: نقشه پراکندگی غلظت سولفات در نمونه‌های آب دشت میناب در آبان ۱۳۹۸

#### ۴-۳-۵- ارزیابی تغییرات غلظت سایر یون‌ها

##### ۴-۳-۵-۱- یون کلسیم

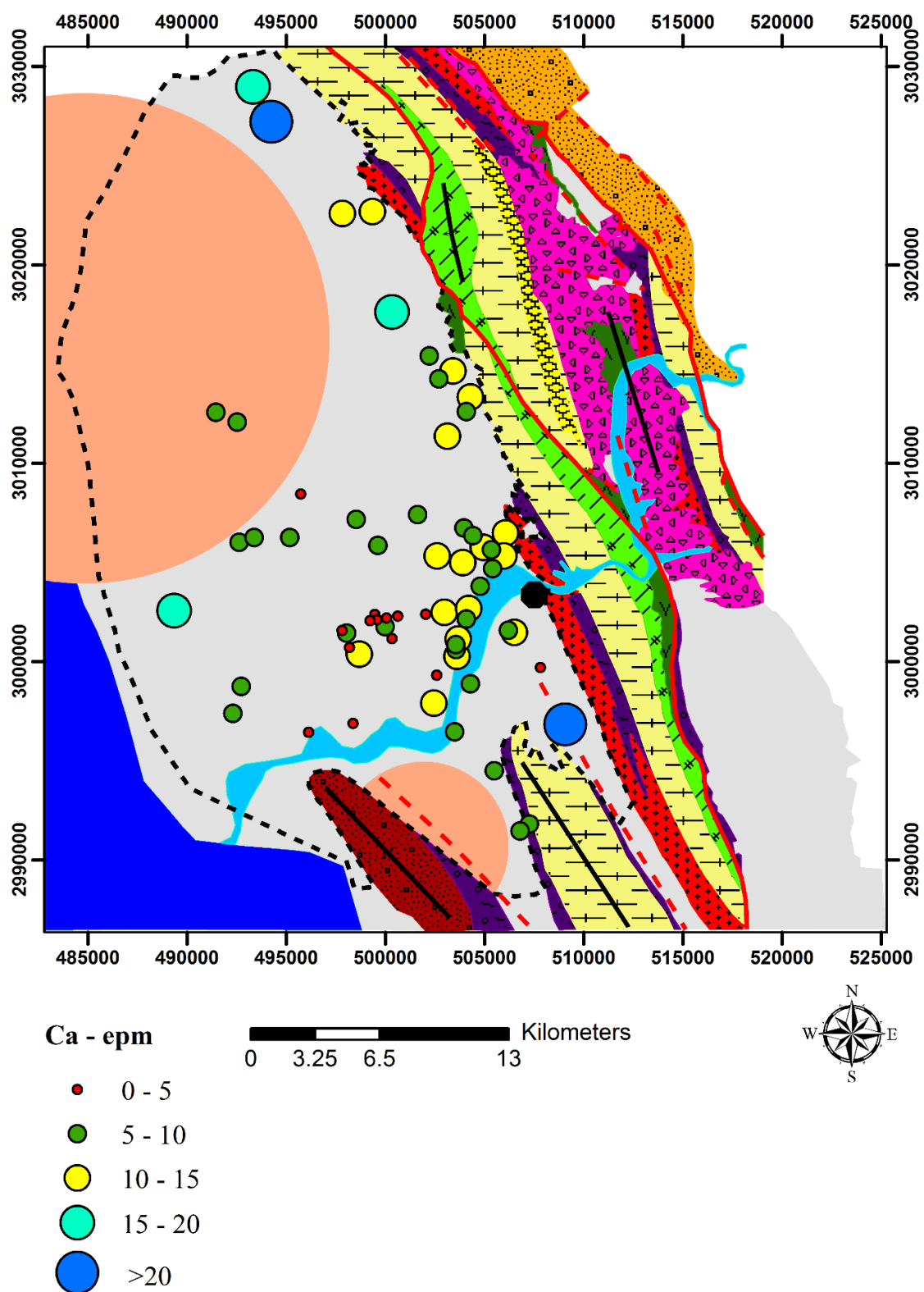
کلسیم یکی از یون‌های غالب در آب‌های زیرزمینی می‌باشد. منبع ورود این یون در آب‌های زیرزمینی عمدتاً به سنگ‌های آهکی، دولومیتی و سنگ گچ مربوط می‌شود (Hounslow, 1995). شکل (۴-۱۸) تغییرات غلظت یون کلسیم را در دشت میناب نشان می‌دهد. بیشترین میزان کلسیم در قسمت شمال و بخش‌هایی از مرکز و شرق دشت مشاهده می‌شود. غلظت بالای کلسیم در بخش‌های شمالی و مرکز و شرق دشت نیز مربوط به تغذیه اندک از این نواحی می‌باشد. انحلال کانی‌های تبخیری ژپس و کربناته می‌تواند منشأ احتمالی کانی کلسیم باشد. افزایش مقدار EC در قسمت شمالی دشت می‌تواند به علت انحلال تبخیری‌ها به‌خصوص ژپس از سازندهای بالادست دشت باشد که با افزایش سولفات و کلسیم مطابقت دارد.

##### ۴-۳-۵-۲- یون منیزیم

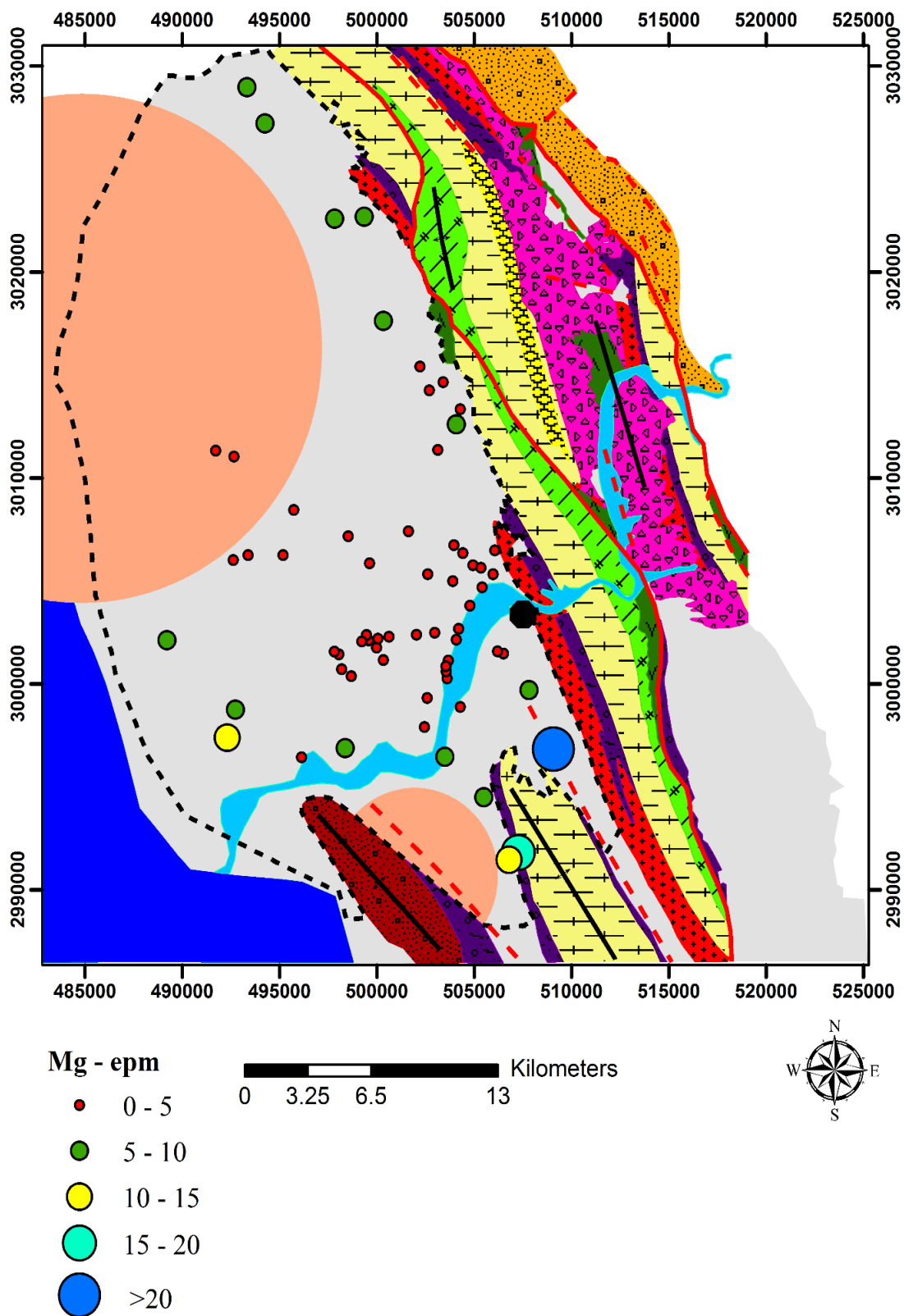
شکل (۴-۱۹) پراکندگی غلظت یون منیزیم را در منابع آبی دشت میناب نشان می‌دهد. مقدار غلظت یون منیزیم کمتر از مقدار کلسیم در دشت می‌باشد؛ و بیشترین میزان یون منیزیم همانند یون کلسیم در قسمت شمالی و جنوبی دشت مشاهده می‌شود.

##### ۴-۳-۵-۳- یون سدیم

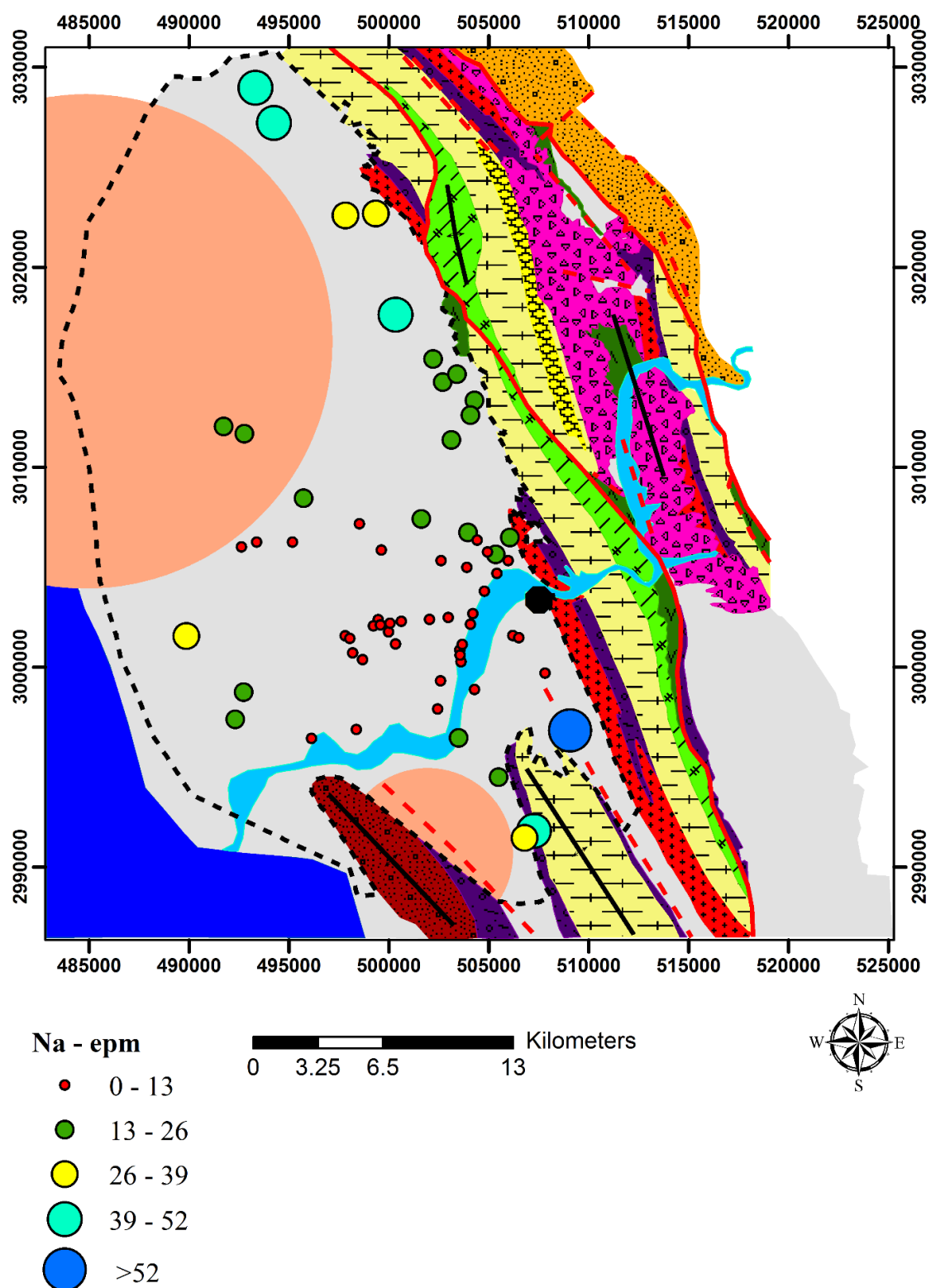
از مهم‌ترین و فراوان‌ترین فلزات قلیایی که تأثیر بسزایی در میزان شوری آب دارد، می‌توان سدیم را نام برد. نقشه غلظت یون سدیم روند مشابهی با غلظت کلر داشته و در مناطقی که غلظت یون کلر بالا می‌باشد، میزان غلظت یون سدیم نیز زیاد است (شکل ۴-۲۰). غلظت یون سدیم در بخش شمالی و جنوبی دشت بیشتر از سایر نقاط است که دلیل واضحی برای نفوذ آب‌شور از قسمت‌های شمالی و جنوبی دشت به این نواحی می‌باشد.



شکل ۴-۱۸: نقشه پراکندگی غلظت یون کلسیم در نمونه‌های آب دشت میناب در آبان ۱۳۹۸



شکل ۴-۱۹: نقشه پراکندگی غلظت یون منیزیم در نمونه‌های آب دشت میناب در آبان ۱۳۹۸



شکل ۴-۲۰: نقشه پراکندگی غلظت یون سدیم در نمونه‌های آب دشت میناب در آبان ۱۳۹۸

#### ۴-۴- تعیین رخساره‌های هیدروشیمیایی منطقه

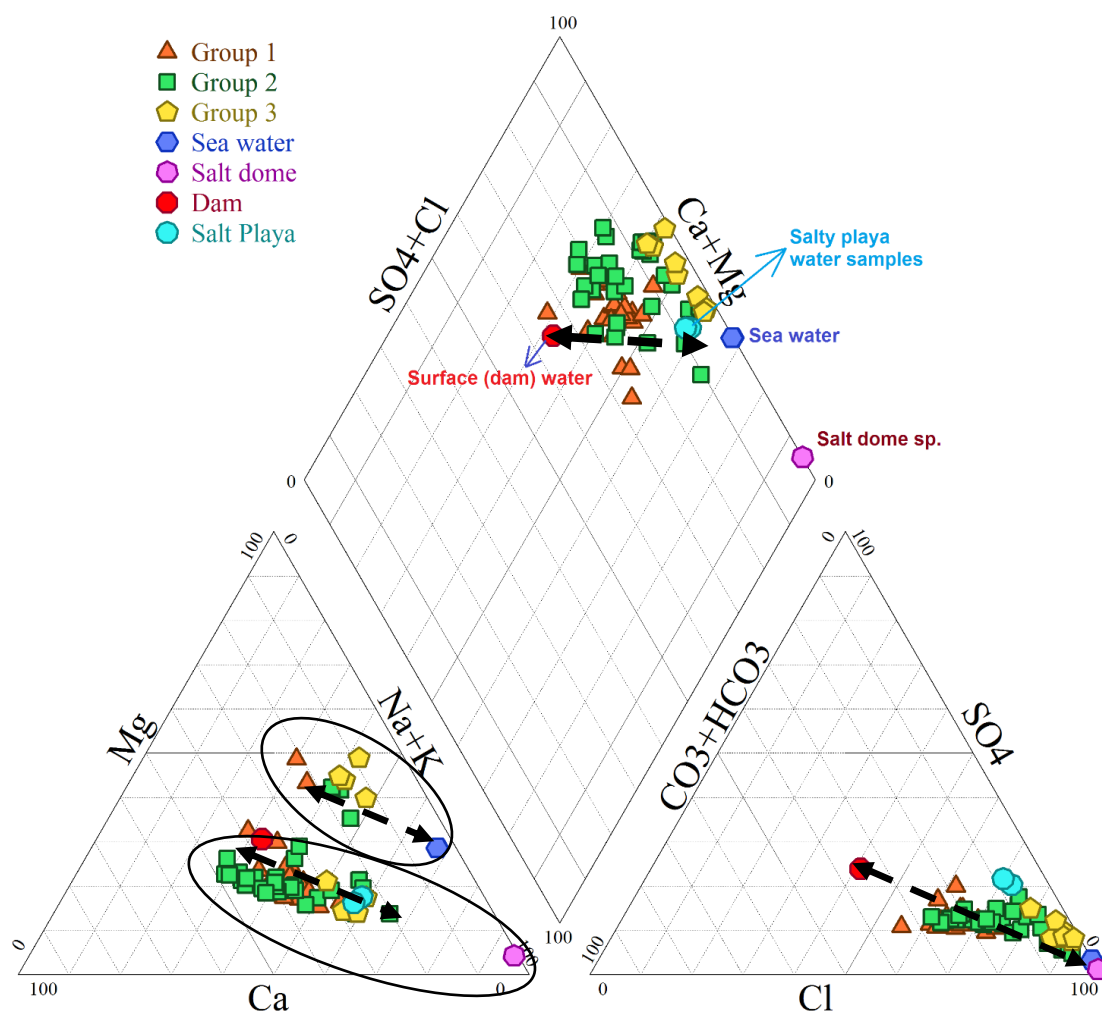
به‌منظور بررسی و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی آبخوان دشت میناب و تعیین رخساره و نوع آب در نقاط مختلف دشت، از روش‌های مختلفی نظیر ترسیم نمودارهای پایپر، شولر و استیف استفاده شده است. جهت تفسیر و مقایسه نتایج، دو نمونه از آب دریا (SW) در جنوب و همچنین دو چاه حفر شده در کفه نمکی شمال دشت (SP1, SP2) به‌عنوان نماینده‌های منابع شوری دشت میناب و یک نمونه از چشمه شور خروجی از گنبد نمکی به‌عنوان نماینده انحلال نمک جهت مقایسه نیز استفاده و پلات شده است.

#### ۴-۴-۱- نمودار پایپر

نمودار پایپر، یکی از نمودارهای متداول جهت بررسی رفتار هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Piper, 1994). در این نمودار موقعیت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در دو مثلث تعیین می‌شوند و اطلاعات کلی حاصل از این دو مثلث در یک لوزی قرار می‌گیرند. با توجه به موقعیت نمونه‌ها روی نمودار پایپر، می‌توان به‌طور تجربی منشأ نمونه آب را مشخص کرد (Hounslow, 1995). با این نمودار علاوه بر تعیین تیپ، رخساره‌های نمونه آب، وقوع فرآیندهایی چون ته‌نشینی یا انحلال، اختلاط آب و تبادل یونی را نیز پیش‌بینی کرد. نمودار پایپر برای نمونه‌های دشت میناب، با استفاده از نرم افزار Diagram ترسیم شده است (شکل ۴-۲۱). با توجه به دیاگرام پایپر، نمونه‌های محدوده میناب در مثلث کاتیونی در دو گروه تقریباً مجزا پلات شده‌اند. اکثر نمونه‌ها در گروه اول قرار گرفته که یون‌های کلسیم و سدیم در آن‌ها نسبت به منیزیم غالب می‌باشد. در این گروه نمونه‌ها تقریباً در یک مسیر بین رأس کلسیم به سمت سدیم پلات شده، به‌طوری‌که میزان شوری آن‌ها نیز به سمت یون سدیم بیشتر می‌گردد؛ اما در گروه دوم که تعداد کمتری نمونه در آن قرار گرفته است، دارای مقدار منیزیم بیشتر، کلسیم کمتر و مقدار سدیم تقریباً برابر نسبت به گروه قبلی دارد. در این گروه نمونه‌ها در کنار نمونه آب دریا پلات شده و رفتاری مشابه آب دریا نشان می‌دهند. آب دریا نیز مقدار منیزیم بیشتری نسبت

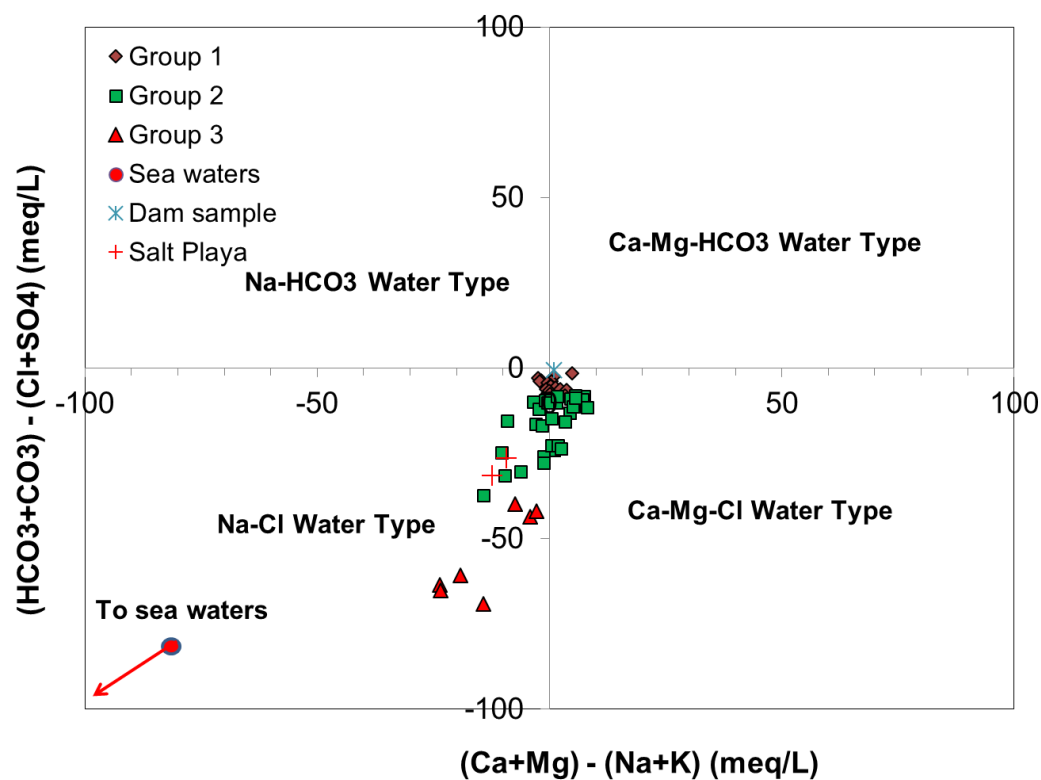
به کلسیم دارد؛ بنابراین احتمالاً این نمونه‌ها که در مناطق نزدیک‌تر به ساحل برداشت‌شده است، بیشتر تحت تأثیر نفوذ آب دریا قرار گرفته‌اند و رفتاری مشابه آن دارند. نمونه‌های شور این گروه بین مسیر اختلاط آب شیرین و شور دریا قرار گرفته‌اند؛ اما با توجه به گروه اول، اکثریت نمونه‌های منطقه در زون اختلاط بین آب شیرین (آب سطحی و یا چاه‌های شیرین) و زون آب‌شور با رفتاری مشابه انحلال نمک پلات شده‌اند. در این شکل، نمونه‌های گرفته‌شده از کفه نمکی و همچنین گنبد نمکی رفتاری مشابه انحلال نمک نشان می‌دهند و می‌توانند به‌عنوان نماینده شوری با منشأ انحلال نمک باشند؛ بنابراین با توجه به وجود کفه نمکی در بخش شمالی و همچنین لایه‌های تبخیری در بخش‌های شرق و شمال شرقی منطقه، می‌توان نتیجه گرفت که اکثر نمونه شور منطقه واقع در بخش شمالی دشت، تحت تأثیر انحلال نمک قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است نمونه آب‌شور گنبد نمکی از منطقه‌ای خارج از منطقه مورد مطالعه برداشت‌شده است و در اینجا فقط جهت مقایسه منشأ شوری با انحلال نمک پلات شده است. با توجه به مثلث آنیونی، تمامی نمونه‌ها تقریباً در یک گروه و در یک مسیر اختلاط قرار گرفته و رفتاری متفاوت نسبت به کاتیون‌ها نشان می‌دهند؛ زیرا در دو منشأ شوری آب دریا و انحلال نمک، یون‌های مشابه کلر و تا حدودی سولفات عامل افزایش شوری می‌باشند؛ بنابراین هر دو منشأ شوری در یک محل و در رأس یون کلر پلات شده‌اند. به همین دلیل تمامی نمونه‌ها در یک گروه قرار گرفته‌اند. نمونه‌ها در مثلث آنیونی در مسیر اختلاط بین آب شیرین با رفتاری مشابه آب سطحی (آب سد) و منشأ شوری با منشأ دریایی یا انحلال نمک قرار گرفته‌اند. در لوزی پایپر، نمونه‌های آب‌شور منطقه تقریباً در نزدیکی نمونه آب دریا و نمونه کفه نمکی پلات شده‌اند؛ اما نمونه‌های آب شیرین در کمی فاصله از بقیه در مرکز لوزی قرار دارند. تقریباً در این لوزی، تمامی نمونه‌ها در یک گروه قرار گرفته‌اند. نمونه آب شیرین و شور رفتار مشابه دارند؛ زیرا اختلاف شوری آن‌ها زیاد نمی‌باشد. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در یک مسیر اختلاط بین نمونه شور دریا و کفه نمکی و نمونه‌های آب شیرین تقریباً پلات شده‌اند. انحراف آن‌ها از خط اختلاط می‌تواند به دلیل منشأهای مختلف شوری و همچنین رخداد فرایندهای ثانویه در منطقه باشد.

در منطقه مورد مطالعه با توجه به دیاگرام پایپر، اسیدهای قوی بر اسیدهای ضعیف و همچنین فلزات قلیایی نسبت به فلزات قلیایی خاکی غالب هستند؛ به طوری که میزان غلظت یونهای سولفات و کلر خیلی بیشتر از بیکربنات و همچنین غلظت سدیم کمی بیشتر از غلظت کلسیم و منیزیم می باشد. نمونه آب دریا و گنبد نمکی در زون شورابه قرار داشته و دارای تیپ غالب کلروره-سدیک می باشند. نمونه های آب شور منطقه نیز در نزدیکی زون شورابه پلات شده و تیپ غالب کلروره-سدیک دارد. نمونه های آب نیمه شور و شیرین در منطقه نیز با کمی فاصله از زون شورابه قرار دارند و دارای تیپ کلروره-سدیک-کلسیک و کلروره-سدیک-منیزیک می باشند.



شکل ۴-۲۱: نمودار پایپر مربوط به نمونه های آب زیرزمینی دشت میناب. نمونه آب دریا، چشمه گنبد نمکی و آب سطحی منطقه نیز برای مقایسه پلات شده است.

جهت تعیین تیپ آب از نمودار شکل (۴-۲۲) نیز استفاده شده است در این نمودار میزان غلظت  $(Ca+Mg)-(Na+K)$  در مقابل  $(HCO_3+CO_3)-(SO_4+Cl)$  برای تمامی نمونه‌ها پلات شده است. با توجه به گراف نمونه دارای تیپ غالب کلروره-سدیک و کلروره-کلسیک-منیزیک می‌باشند. این نشانگر این است که تقریباً اثر شوری در تمامی نمونه مشاهده می‌شود و هیچ نمونه رفتار آب شیرین را ندارد؛ بنابراین این خطر در منطقه احساس می‌شود که با افزایش برداشت و کاهش ذخیره سفره، اثر نفوذ آب شور در دشت بیشتر مشاهده خواهد شد و میزان شوری آب زیرزمینی منطقه افزایش خواهد یافت.

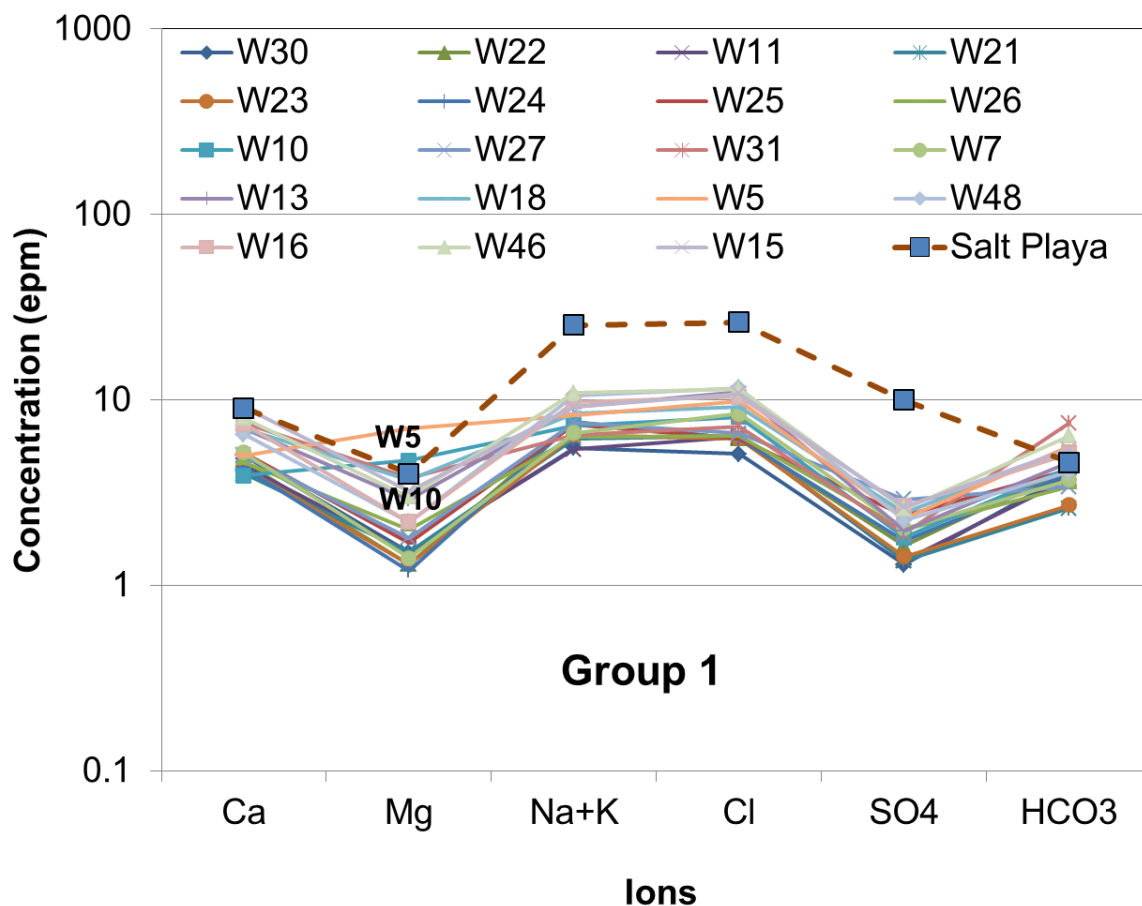


شکل ۴-۲۲: رابطه بین  $(Ca+Mg)-(Na+K)$  در مقابل  $(HCO_3+CO_3)-(SO_4+Cl)$  برای منطقه مورد مطالعه

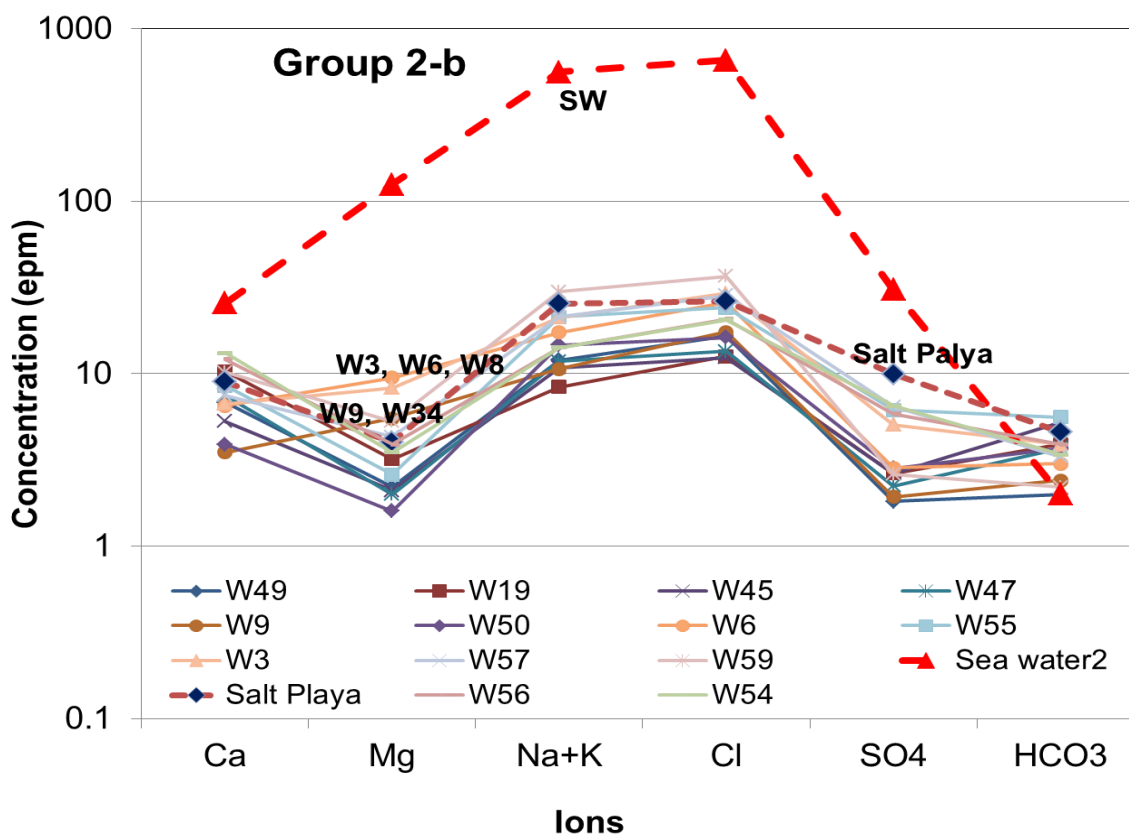
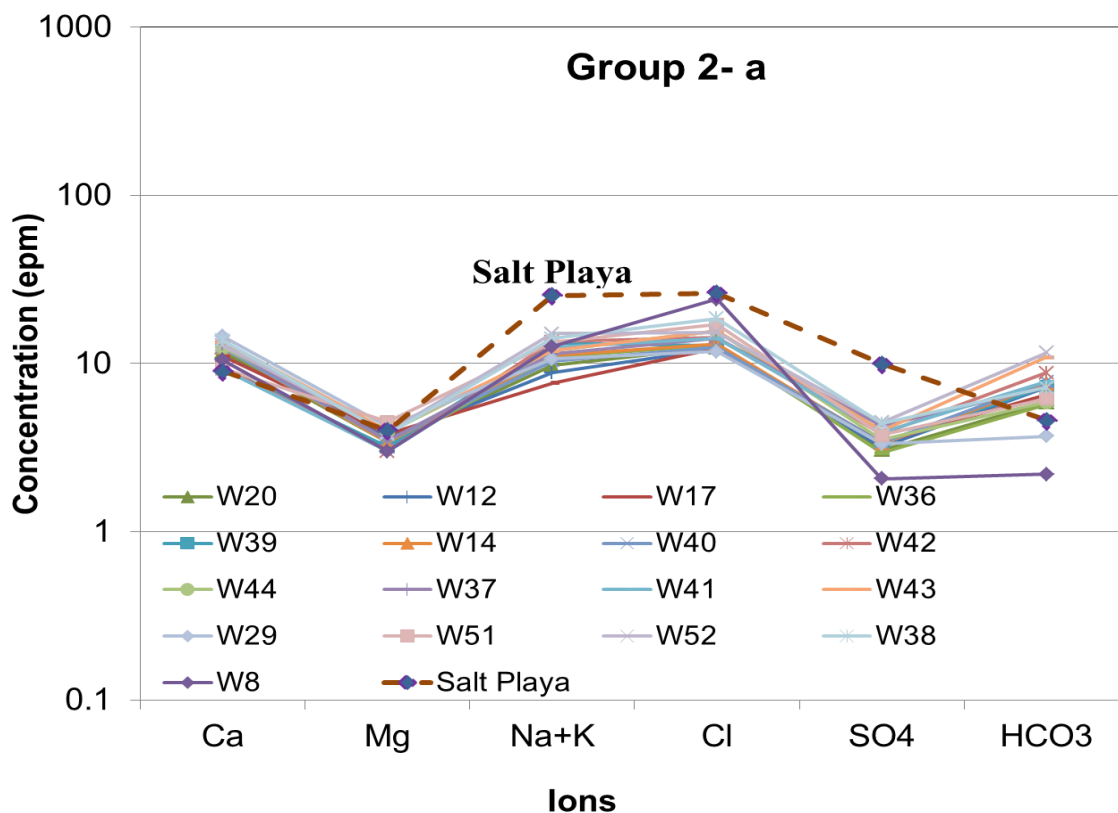
## ۴-۲- نمودار شولر

برای تشخیص انواع تیپ آب‌های مختلف، گروه‌بندی و بررسی تکامل ژئوشیمیایی و منشأ اولیه آن‌ها از نمودار شولر استفاده شده است. یون‌های اصلی کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، کلر و بی‌کربنات برحسب میلی اکوی والان بر لیتر در محور افقی نمودار قرار دارند. با توجه به نمودار شولر، منابع آب منطقه دارای رفتار هیدروشیمیایی متفاوتی بوده که در نتیجه به گروه‌های متفاوتی تقسیم‌بندی شده‌اند. معیار گروه‌بندی در نمودار شولر بر اساس تقسیم‌بندی بر مبنای میزان هدایت الکتریکی بوده است. به‌طوری‌که نمونه‌ها در سه گروه مختلف تقسیم‌شده‌اند شکل‌های (۴-۲۳ تا ۴-۲۵). رفتار مشابه هیدروشیمیایی منابع آب در هر گروه، نشانگر منشأ یکسان آن‌ها می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گروه اول برای نمونه‌های دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۲۰۰۰ می‌باشد. در این گروه و سایر گروه‌ها، دو نمونه آب دریا و کفه نمکی، به‌عنوان منشأهای شوری منطقه مورد مطالعه نیز پلات شده‌اند. با توجه به نمودار شولر گروه اول تمامی منابع منطقه مورد مطالعه به‌جز چاه شماره ۵ و چاه شماره ۱۰ روند مشابهی را در تغییرات غلظت یون‌ها نشان می‌دهند که نشانگر یکسان بودن منشأ اولیه آن‌ها می‌باشد شکل (۴-۲۳). روند تغییر غلظت یون‌ها در این گروه مشابه نمونه کفه نمکی می‌باشد؛ بنابراین این منابع می‌توانند حتی در مقدار خیلی کم نیز تحت تأثیر انحلال نمک موجود در سازندهای شمالی و شرقی منطقه قرار گرفته باشند. دو چاه شماره ۵ و ۱۰ مربوط به نواحی جنوبی و ساحلی می‌باشند و احتمالاً تحت تأثیر نفوذ آب شور دریا قرار گرفته و انحلال نمک نشان نمی‌دهند. در گروه دوم دارای میزان هدایت الکتریکی بین ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و نیمه شور می‌باشند. این گروه به دو زیرگروه 2a و 2b تقسیم‌بندی شده‌اند شکل (۴-۲۴). در زیرگروه 2a، تمامی نمونه‌ها دارای روند مشابه نمونه کفه نمکی بوده و نشانگر منشأ یکسان و احتمالاً تأثیر انحلال نمک بر شوری آن‌ها می‌باشد؛ اما در زیرگروه دوم که میزان شوری بیشتری از زیرگروه 2a دارند، نمونه دارای دو رفتار متفاوت می‌باشند. برخی نمونه‌های این گروه همچون چاه‌های شماره ۳، ۶، ۸ و ۹ و ۳۴ روند مشابهی با نمونه آب دریا نشان می‌دهند. این نمونه در نواحی جنوبی دشت و در نزدیکی ساحل قرار

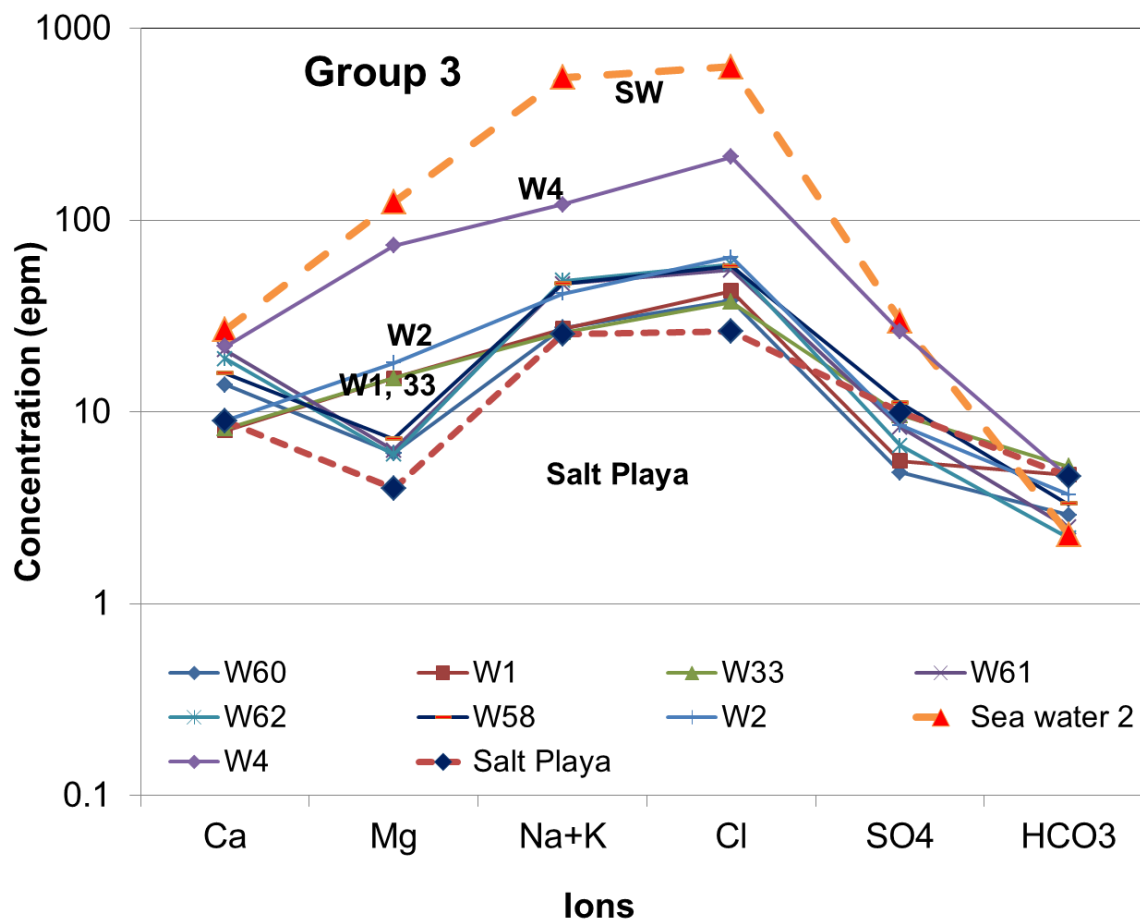
دارند؛ اما بقیه نمونه‌های نیمه شور منطقه مورد مطالعه دارای روند مشابه با نمونه کفه نمکی هستند. همچنین با توجه به گروه سوم نمودار شولر، تمامی منابع آبی در این گروه با هدایت الکتریکی بیشتر از ۴۰۰۰ به جز چاه‌های شماره ۱، ۲، ۴ و ۳۳ روند مشابهی را در تغییر غلظت یون‌ها با نمونه کفه نمکی نشان می‌دهند که نشانگر یکسان بودن منشأ اولیه آن‌ها می‌باشد شکل (۴-۲۵)؛ اما چاه‌های شماره ۱، ۲، ۴ و ۳۳ دارای روند مشابهی با نمونه آب دریا می‌باشند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های آب شیرین، نیمه شور و شور در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر دو منشأ شوری آب دریا و انحلال نمک سازندهای تبخیری و کفه نمکی با توجه به موقعیت مکانی خود در منطقه، قرار گرفته‌اند. در تمامی گروه‌ها غلظت یون سدیم و کلر در این منابع غالب بوده است. غلظت کلسیم و منیزیم در رتبه بعدی قرار دارند.



شکل ۴-۲۳: نمودار شولر نمونه‌های آب در دشت میناب (گروه اول با هدایت الکتریکی کمتر از ۲۰۰۰)



شکل ۴-۲۴: نمودار شولر نمونه‌های آب در دشت میناب (گروه دوم با هدایت الکتریکی بین ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰)

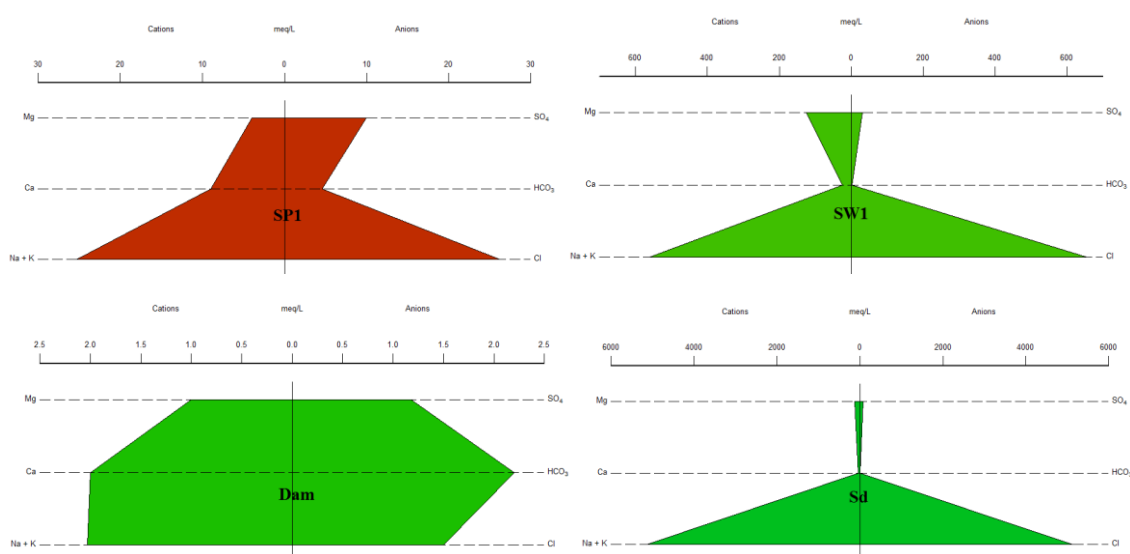


شکل ۴-۲۵: نمودار شولر نمونه‌های آب در دشت میناب (گروه سوم با هدایت الکتریکی بیشتر از ۴۰۰۰)

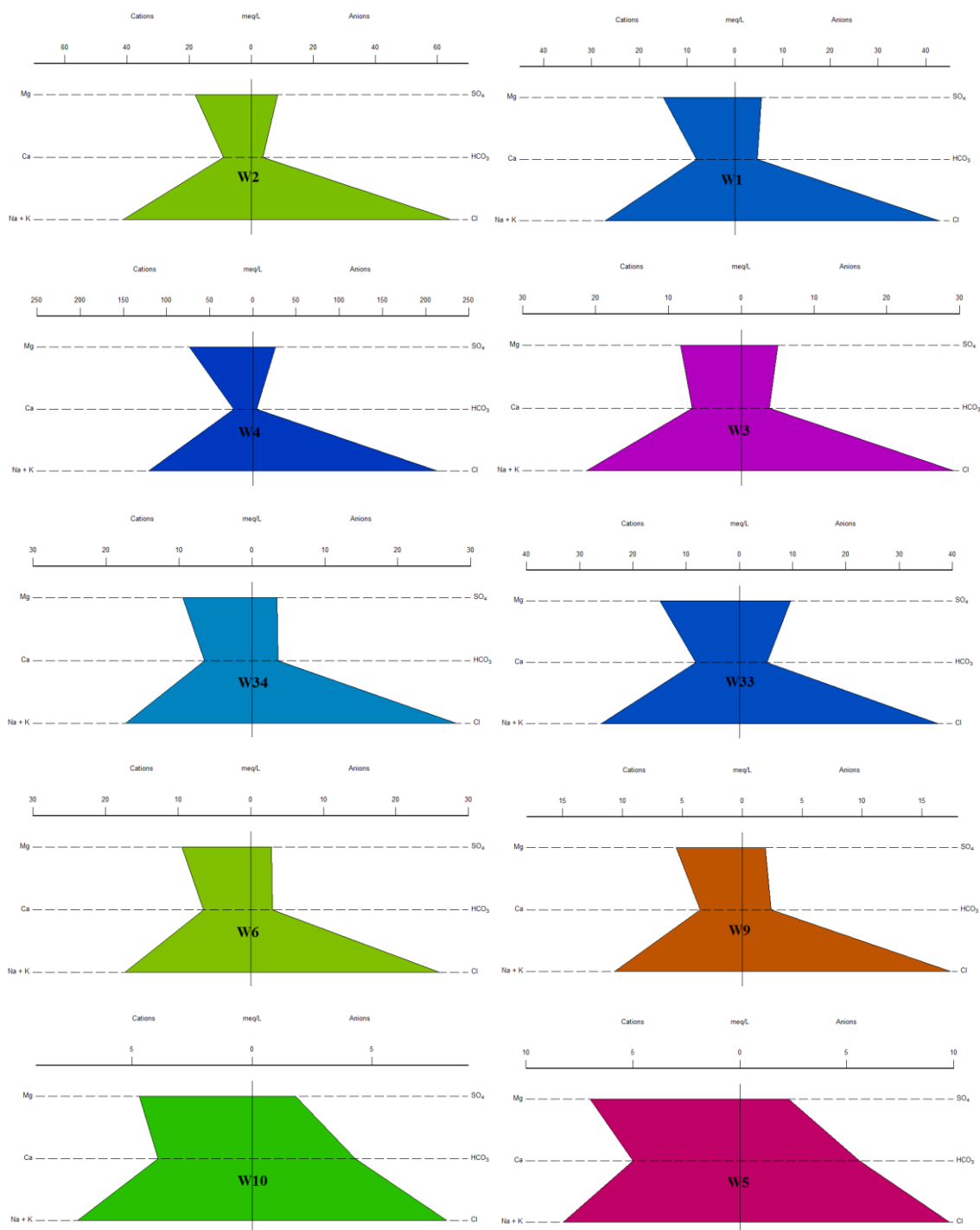
#### ۴-۳-۴- نمودار استیف

جهت ارزیابی تیپ آب‌ها و مقایسه سریع و آسان نمونه‌های آب زیرزمینی معمولاً از نمودار استیف (Stiff) استفاده می‌شود. نمودار استیف دارای ۴ محور افقی و موازی است که در دو طرف یک محور صفر عمودی گسترش یافته‌اند. در این روش آنیون‌ها و کاتیون‌ها برحسب میلی اکوی والان بر لیتر به ترتیب در سمت راست و چپ محور قائم قرار می‌گیرند. الگوی پلیگون‌های ایجادشده برای طبقه‌بندی نمونه‌ها استفاده می‌گردد. جفت‌های یونی نیز، شامل سدیم -کلراید، کلسیم -بی‌کربنات، منیزیم -سولفات می‌باشد. نمونه‌ها بر اساس رفتار مختلف و تیپ آب و اشکال متفاوت گراف استیف گروه‌بندی می‌شوند. شکل (۴-۲۶) گراف استیف برای منشأهای شوری مختلف و همچنین آب سطحی را نشان

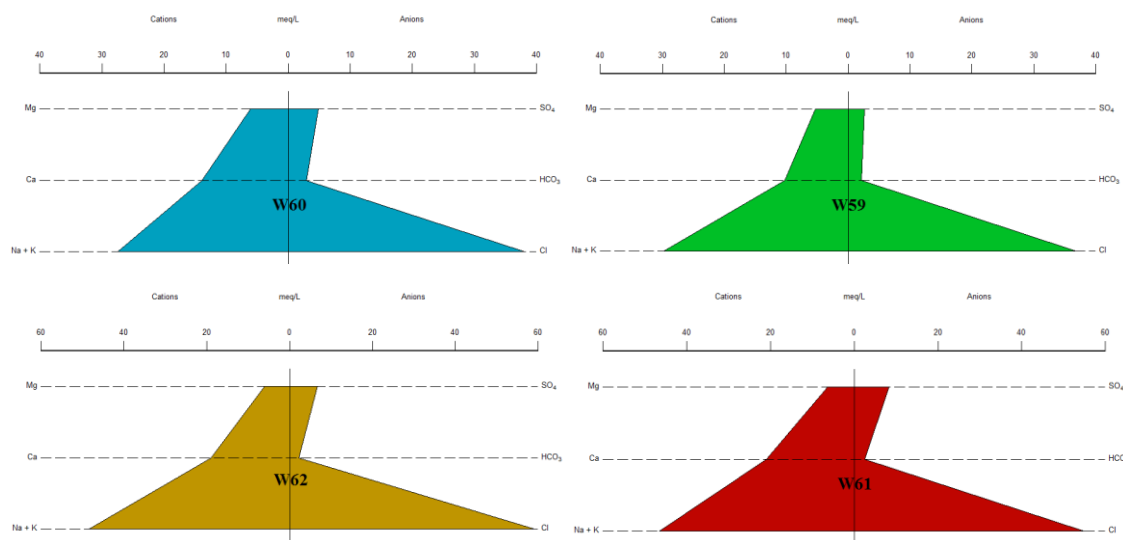
می‌دهد. برای گروه‌بندی تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، گراف استیف آن‌ها با گراف استیف منشأهای شوری مقایسه شده است. کلیه منابع آب منطقه به دو گروه مجزا تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل‌های ۴-۲۷ و ۴-۲۸). گروه اول (شکل ۴-۲۷) منابع آب شور و نیمه شوری هستند که تحت تأثیر نفوذ آب دریا قرار گرفته و دارای گراف استیف مشابه با آب دریا می‌باشند. در این نمونه‌ها، مقدار غلظت سدیم و کلر از بقیه بیشتر بوده و دارای تیپ کلروره-سدیک می‌باشند. غلظت منیزیم نیز در مرحله بعد از کلسیم بیشتر می‌باشد که نشانگر تأثیر آب دریا بر کیفیت این منابع است. گروه دوم (شکل ۴-۲۸) دارای رفتاری مشابه با نمونه آب کفه نمکی به‌عنوان نمایانگر انحلال نمک، می‌باشند. در این گروه نیز تیپ غالب از نوع کلروره-سدیک است، اما در مقایسه با گروه اول، مقدار غلظت کلسیم بیشتر از منیزیم است. تعدادی از منابع آب واقع در این گروه در اینجا ارائه شده است. بقیه منابع آب گروه دوم نیز دارای رفتاری مشابه می‌باشند.



شکل ۴-۲۶: گراف استیف برای نمونه‌های آب دریا (SW)، کفه نمکی (SP)، گنبد نمکی (Sd) و آب سطحی (dam)



شکل ۴-۲۷: گروه‌بندی نمونه‌های منطقه بر اساس نمودار استیف. گروه اول که دارای رفتاری مشابه با نمونه آب دریا دارند.

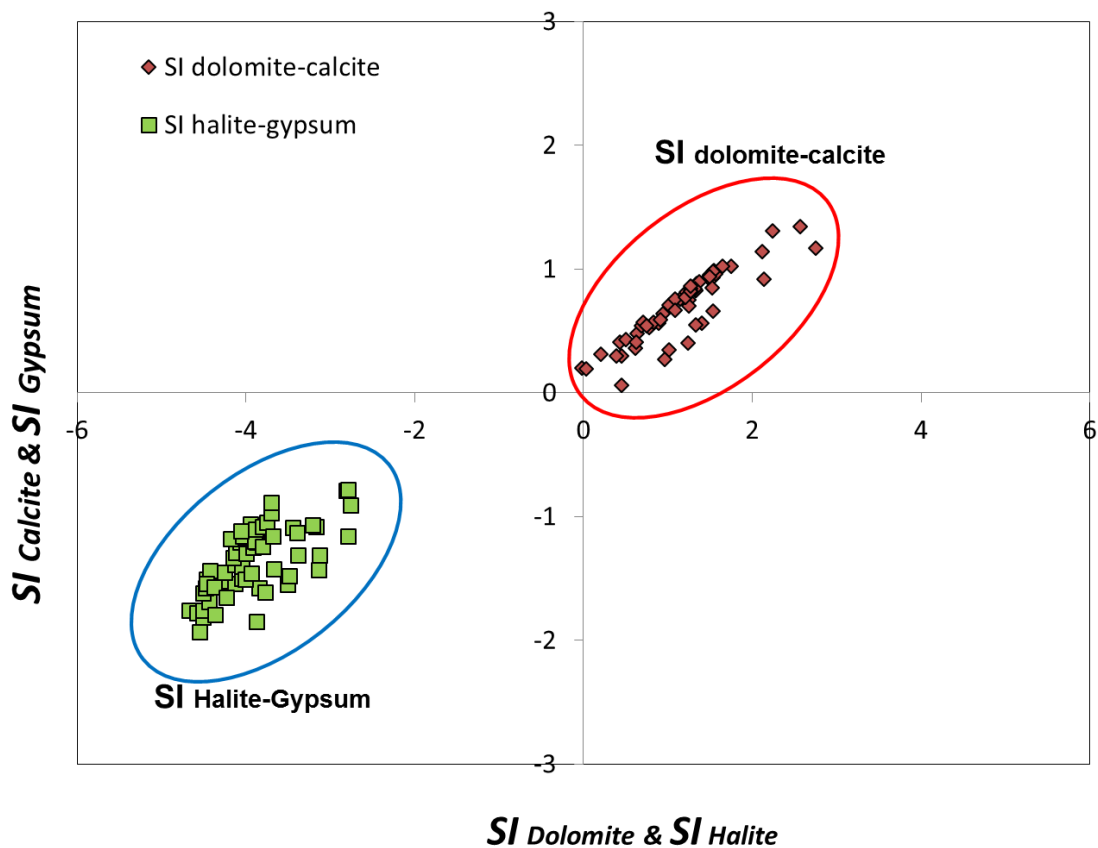


شکل ۴-۲۸: گروه‌بندی نمونه‌های منطقه بر اساس نمودار استیف. گروه دوم که دارای رفتاری مشابه با نمونه آب کفه نمکی دارند.

#### ۴-۴-۴- شاخص اشباع

به‌منظور توصیف تکامل ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی شاخص اشباع کانی‌های مختلف همچون کلسیت (SI<sub>C</sub>)، ژیپس (SI<sub>G</sub>)، هالیت (SI<sub>H</sub>) و ... استفاده‌شده است. با استفاده از روش محاسبه شاخص اشباع، می‌توان به‌پیش بینی اولیه واکنش‌های زیرسطحی با آب زیرزمینی بدون جمع‌آوری نمونه‌های خاک، سنگ و تجزیه و تحلیل پتروگرافی پرداخت (Hounslow, 1995). شاخص اشباع استاندارد کانی‌های مختلف به‌صورت لگاریتم نسبت اکتیویته یونی محصولات (Ion Activity Product) ناشی از انحلال کانی در محلول به اکتیویته یونی همان محصولات در شرایط تعادل بیان می‌شود (Lamgmir, 1971). اگر آب نسبت به یک‌فاز جامد حالت اشباع داشته باشد، در این صورت مقدار SI آن برابر صفر خواهد بود. SI مثبت نشان‌دهنده فوق اشباع بودن آب نسبت به یک کانی و تمایل به ته‌نشینی آن و منفی بودن این شاخص نشانه‌ی تحت اشباع بودن آب نسبت به یک کانی و تمایل به انحلال آن کانی است (Hounslow, 1995). نمایه اشباع (Saturation Index (SI)) برای تمامی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه نسبت به کانی‌های انیدریت، کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت با استفاده از نرم‌افزار

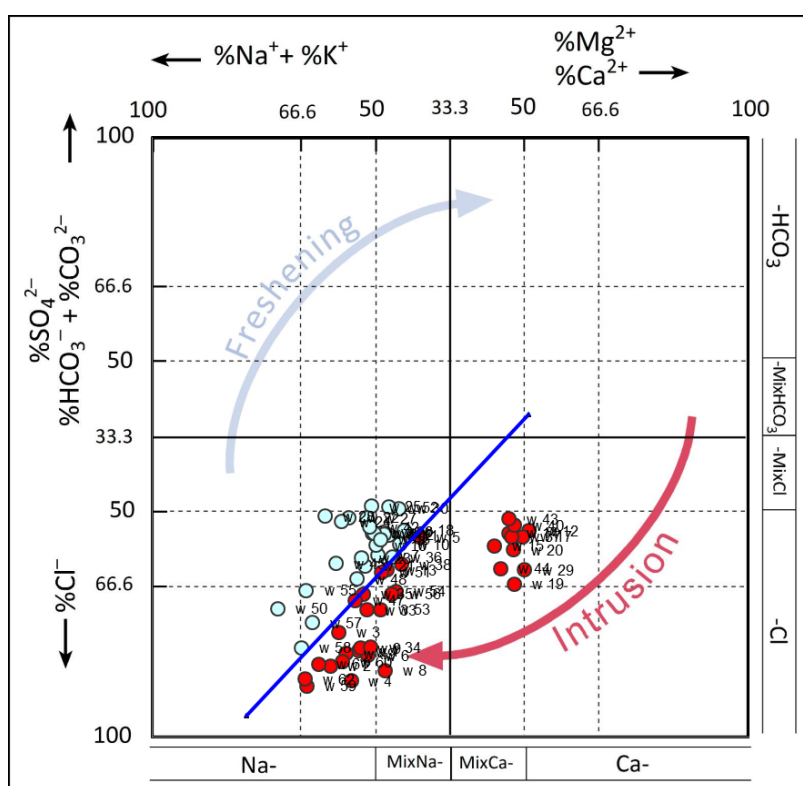
PHREEQC محاسبه شده است (شکل ۴-۲۹). با توجه به شکل اکثر نمونه ها نسبت به کلسیت و دولومیت اشباع تا فوق اشباع و نسبت به ژیپس، انیدریت و هالیت تحت اشباع می باشند. مقدار شاخص اشباع در سه گروه از نظر مقدار EC نیز بررسی شده است. به طوری که شاخص اشباع کلسیت و دولومیت با افزایش شوری بیشتر شده و از گروه اول تا سوم روند افزایشی دارد. علت اشباع بودن نمونه ها می تواند به دلیل انحلال کانی های تبخیری یا رخداد فرآیندهای ثانویه در جهت افزایش غلظت Ca و Mg باشد.



شکل ۴-۲۹: رابطه نمایه های مختلف اشباع در منابع آب دشت میناب

#### ۴-۵- بررسی تکامل ژئوشیمیایی دشت میناب

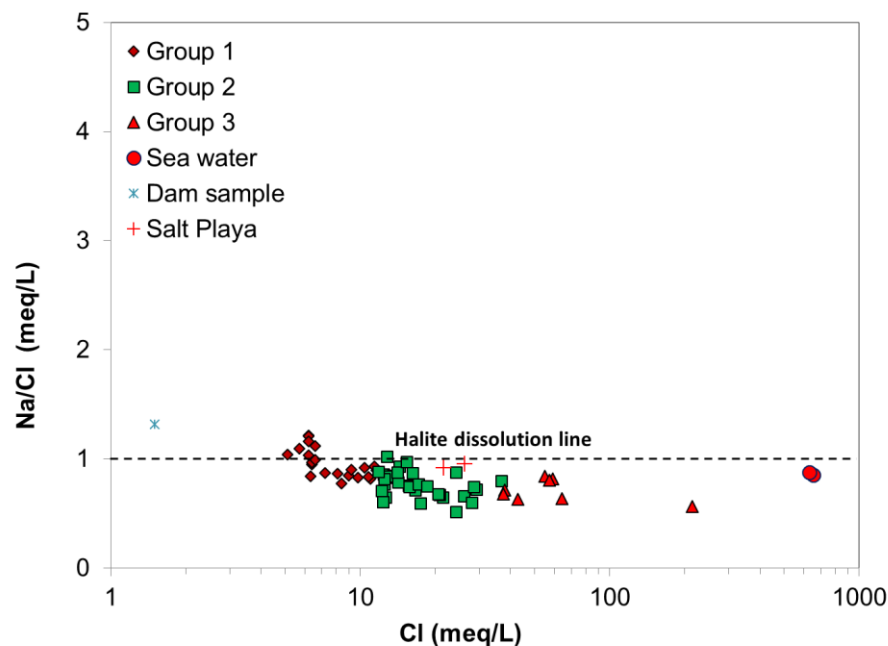
نمودار HFE برای تعیین مکانیسم شوری آب‌ها توسط فورکادا در سال ۲۰۱۰ ارائه شده است (Forcada, 2010). اگر نمونه‌ها در زیرخط اختلاط واقع شوند، نشان‌دهنده پدیده Intrusion و اگر در بالای خط پلات شوند، نشانگر پدیده Freshening می‌باشد (شکل ۴-۳۰). همان‌طور که مشاهده می‌شود برخی از نمونه‌ها در بالای خط اختلاط و برخی نیز در پایین خط قرار گرفته‌اند که نشانگر رخداد پدیده Intrusion و Freshening در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۴-۳۰: دیاگرام HFE برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت میناب

برای بررسی رفتار هیدروژئوشیمیایی و تعیین منشأ شوری از نمودارهای ترکیبی و نسبت یونی استفاده شده است. در شکل (۴-۳۱) نسبت Na به Cl در مقابل Cl ترسیم شده است. اگر منشأ شوری انحلال نمک باشد، مقدار این نسبت برابر یک بوده و نمونه‌ها در نزدیکی خط انحلال نمک قرار

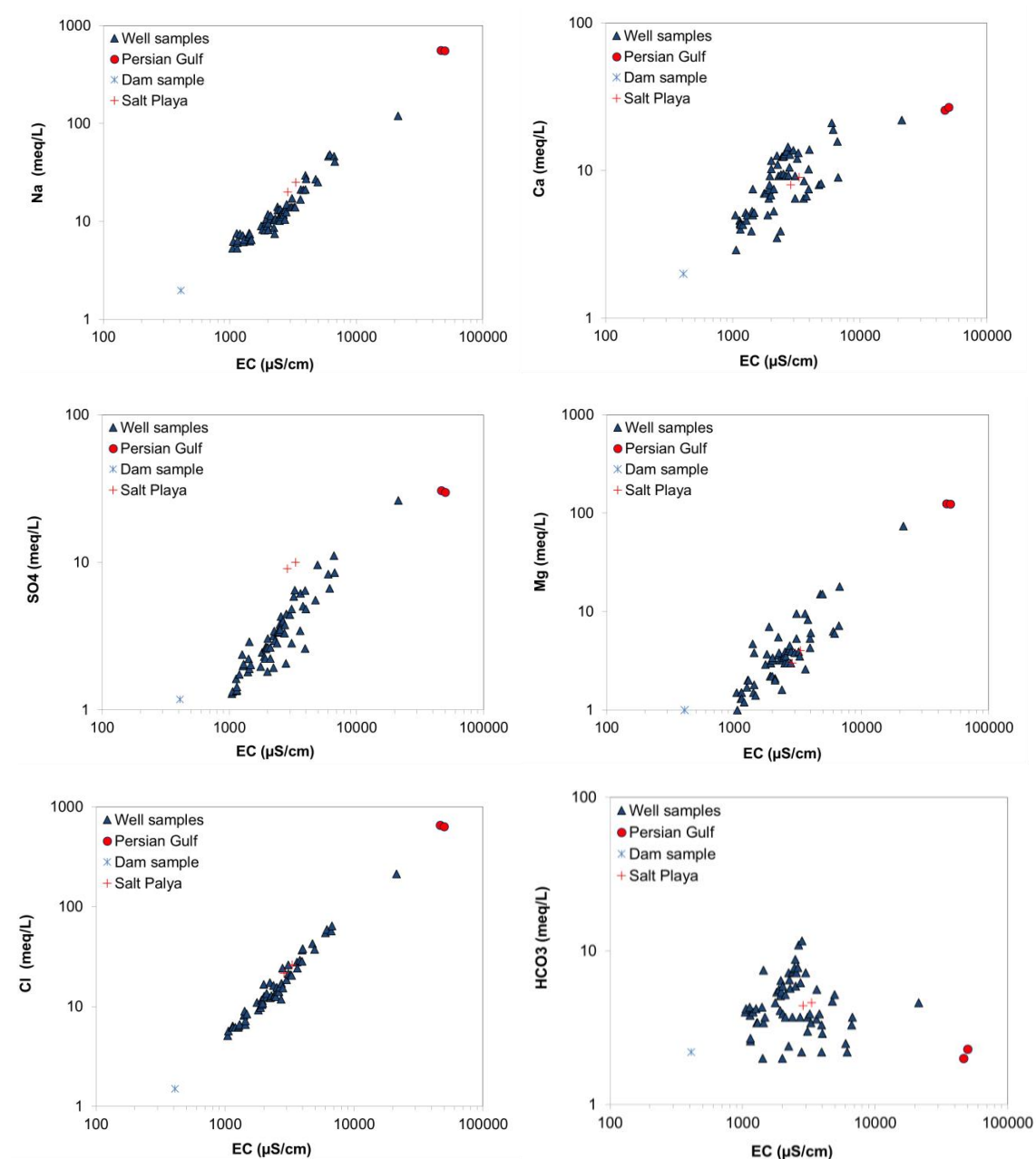
می‌گیرند. مقدار این نسبت در آب دریا در حدود ۰/۸۵ می‌باشد. (Richter and Kreitler, 1993). بر اساس رفتاری که منابع آب منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند، نفوذ آب دریا و انحلال نمک به عنوان محتمل‌ترین منشأهای شوری در این منطقه می‌باشد. انحراف جزئی مشاهده شده نیز می‌تواند به علت رخداد پدیده تبادل یونی و یا وجود منشأ دیگری برای یون سدیم در نظر گرفته شود.



شکل ۴-۳: نسبت یونی Na/Cl به Cl در آب‌های زیرزمینی دشت میناب

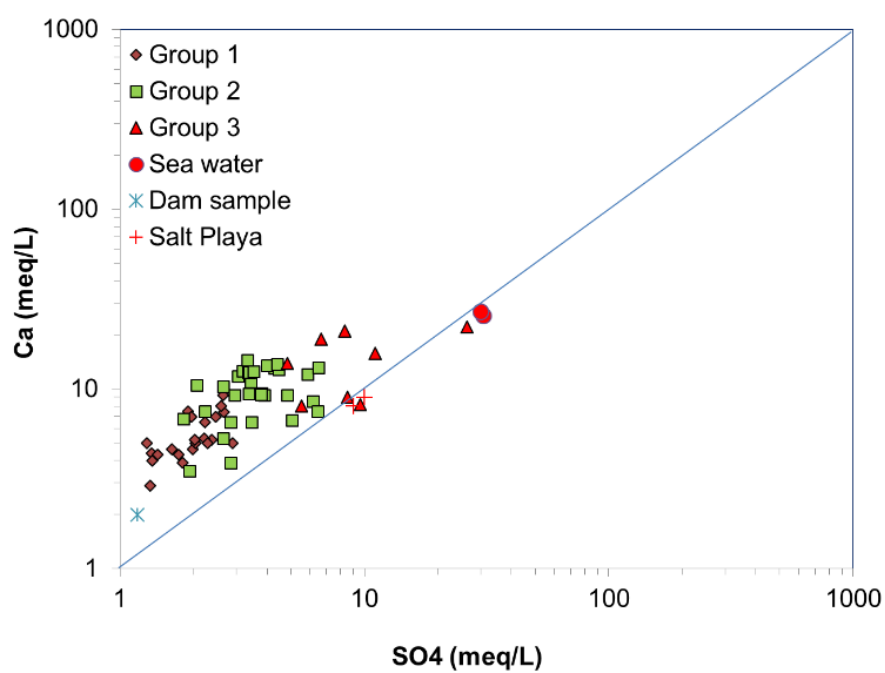
برای شناخت بهتر منشأ کاهش کیفیت آب زیرزمینی از ارتباط بین میزان EC با غلظت عناصر استفاده شده است. شکل (۴-۳۲) ارتباط بین غلظت یون‌های سدیم، کلر، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و سولفات با میزان هدایت الکتریکی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودارهای ترسیم شده همه‌ی یون‌ها به‌غیر از بی‌کربنات رابطه مستقیمی با هدایت الکتریکی دارند به‌طوری‌که با افزایش میزان هدایت الکتریکی غلظت عناصر نیز افزایش می‌یابد. از سوی دیگر بیشترین میزان همبستگی با هدایت الکتریکی مربوط به یون‌های کلر، سدیم و سولفات و بوده که نشان‌دهنده‌ی تخریب در کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. این همبستگی در رفتار صعودی در تمامی عناصر به‌جز بی‌کربنات حاکی از رخداد

پدیده انحلال هالیت و تبخیر و گسترش واحدهای تبخیری می‌باشد. کاهش کم بی‌کربنات می‌تواند به دلیل اشباع و فوق اشباع شدن آب‌ها نسبت به کلسیت و دولومیت باشد که باعث رسوب آن‌ها و کاهش بی‌کربنات شده است.

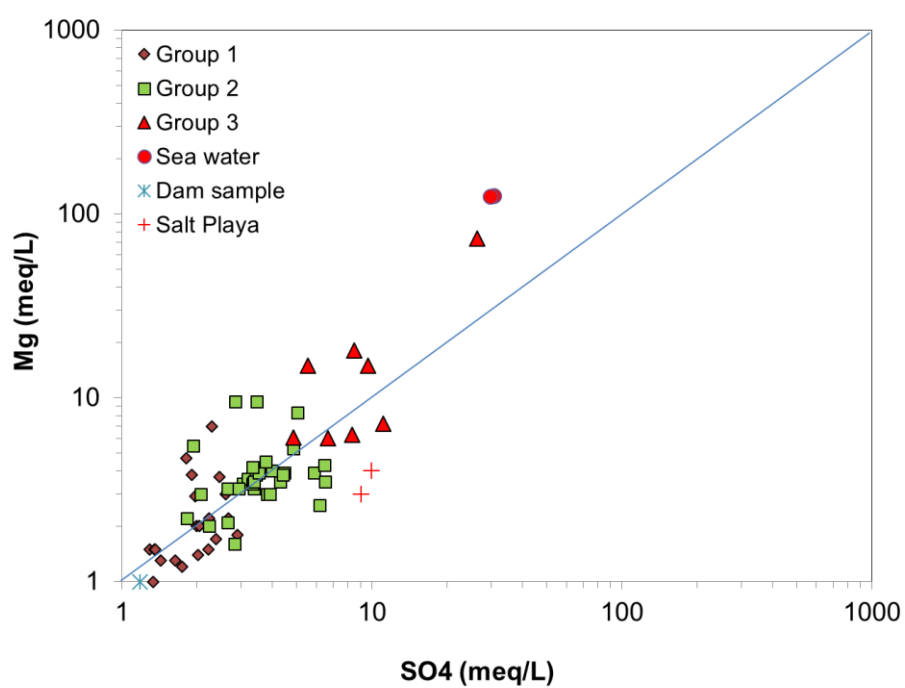


شکل ۴-۳: رابطه بین غلظت عناصر با هدایت الکتریکی دشت میناب

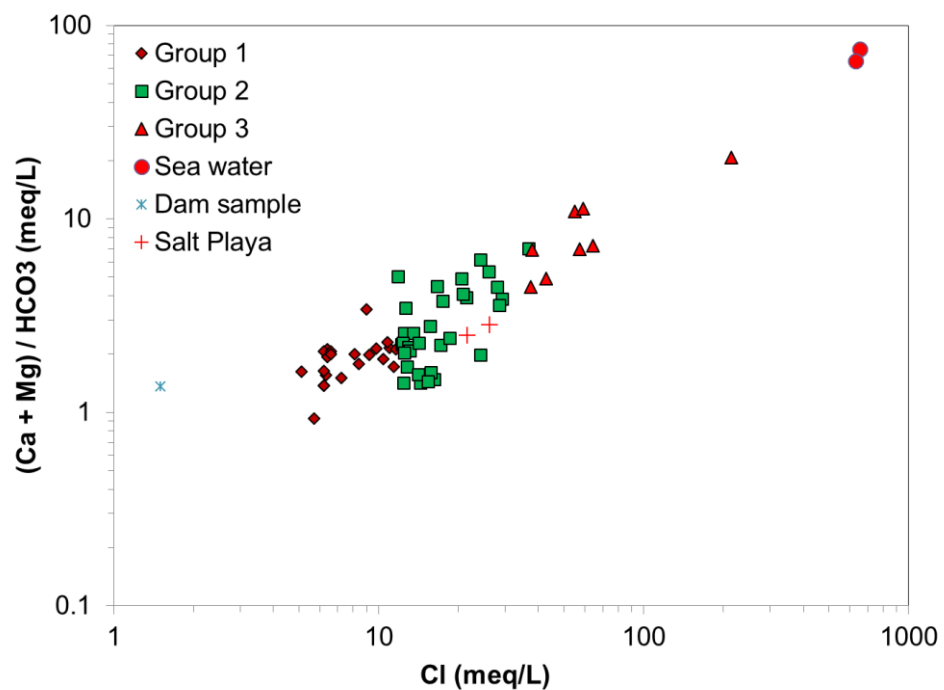
با ترسیم نسبت کلسیم در مقابل سولفات می‌توان احتمال انحلال تبخیری‌ها همچون ژپس به دلیل وجود کفه نمکی در مجاور دشت را بررسی کرد. اگر مقدار نسبت  $\text{Ca}/\text{SO}_4$  برابر با یک باشد، نشان‌دهنده رخداد انحلال ژپس می‌باشد و نمونه‌ها روی خط انحلال ژپس پلات می‌شوند. نمونه کفه نمکی و آب دریا در نزدیکی خط پلات شده‌اند (شکل ۴-۳۳). با توجه به شکل، تمامی نمونه‌ها در بالای خط انحلال ژپس قرار گرفته‌اند. میزان سولفات در محیط در طی انحلال ژپس و یا رخداد پدیده اختلاط افزایش‌یافته است ولی مقدار کلسیم نسبت به غلظت سولفات بیشتر بوده که این می‌تواند در اثر رخداد پدیده‌هایی همچون انحلال کربنات‌ها و تبادل یونی باشد. نسبت یون منیزیم در مقابل سولفات هم نشان می‌دهد که انحلال تبخیری‌ها و همچنین اختلاط با آب دریا در این منطقه رخ داده است (شکل ۴-۳۴). با توجه به رابطه  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{HCO}_3$  در مقابل  $\text{Cl}$  در شکل (۴-۳۵)، می‌توان مشاهده کرد که با افزایش شوری، مقدار این نسبت نیز زیاد شده است که نشانگر افزایش غلظت کلسیم و منیزیم بیشتر از بی‌کربنات در تمامی نمونه‌ها می‌باشد؛ بنابراین علت افزایش غلظت کلسیم نسبت به سولفات در شکل قبلی نمی‌تواند انحلال باشد و احتمالاً پدیده اختلاط است؛ به‌طوری‌که نمونه آب دریا دارای بیشترین مقدار این نسبت می‌باشد و نمونه‌ها در یک خط اختلاط بین آب سطحی و آب دریا پلات شده‌اند. نمونه کفه نمکی نیز به دلیل شوری کمتر از آب دریا در این مسیر اختلاط قرار دارد.



شکل ۴-۳: رابطه  $\text{Ca}$  با  $\text{SO}_4$  در منابع آب مختلف دشت میناب

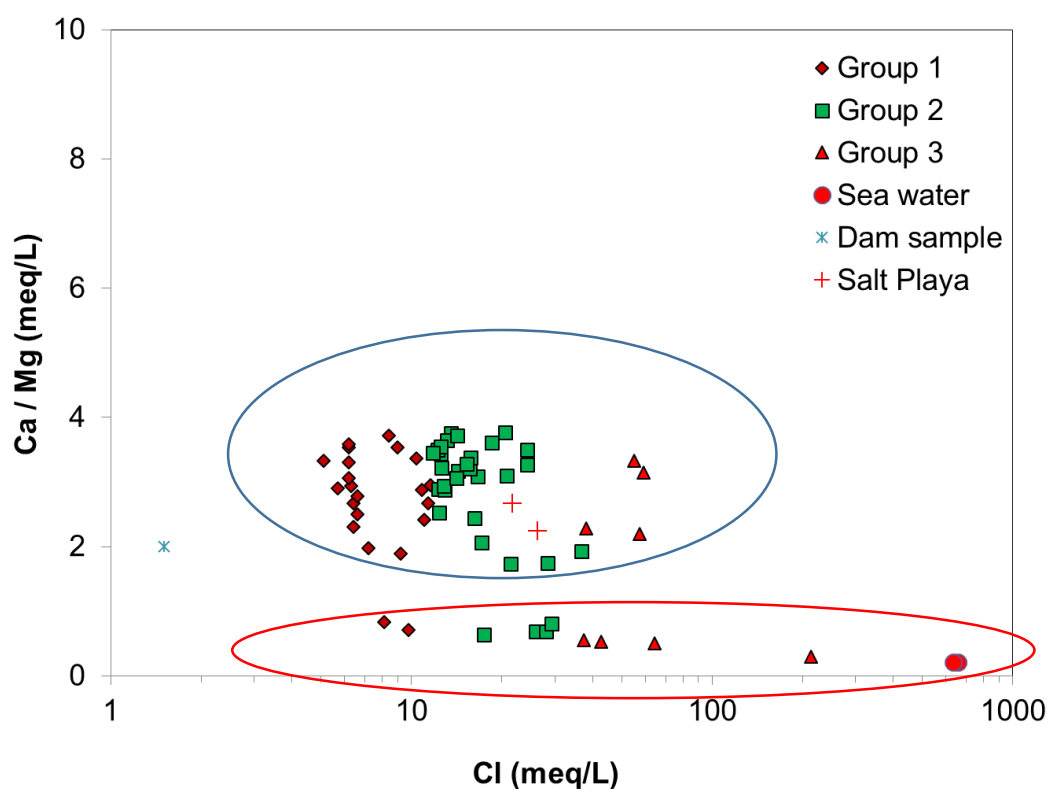


شکل ۴-۳: رابطه بین یون  $\text{Mg}$  با  $\text{SO}_4$  در منابع آب مختلف دشت میناب



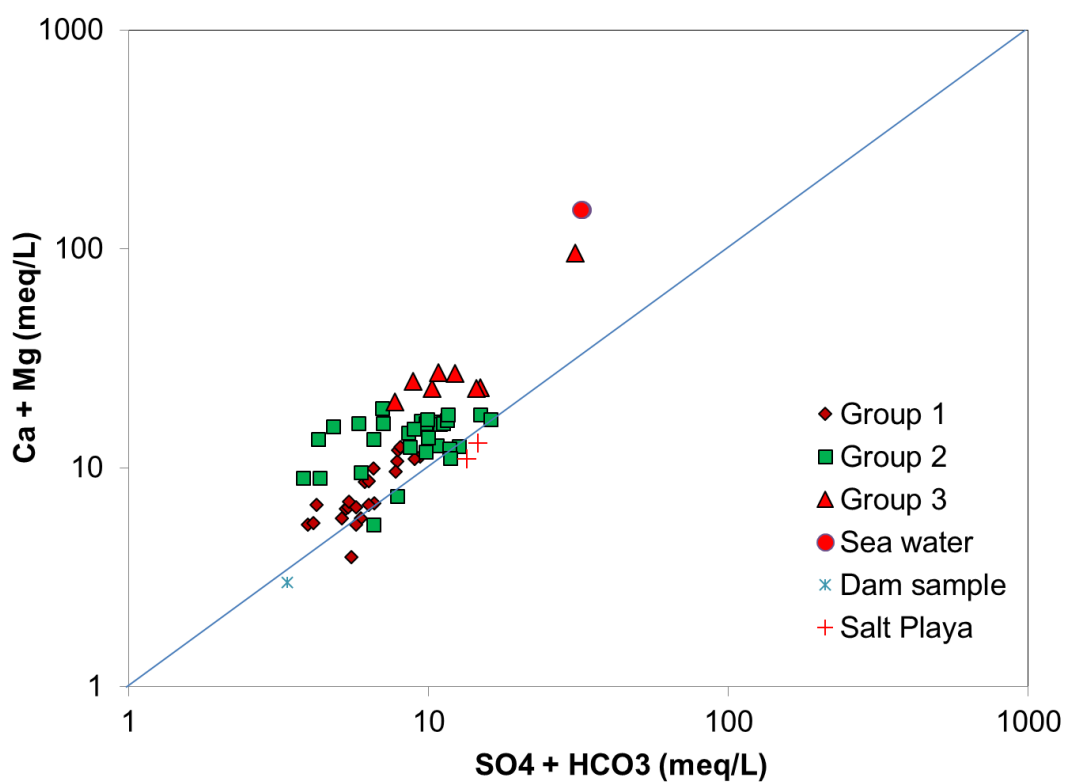
شکل ۴-۳: رابطه بین  $(Ca+Mg)/HCO_3$  با Cl در منابع آب مختلف دشت میناب

شکل (۴-۳) رابطه بین نسبت  $Ca/Mg$  در مقابل Cl را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، نمونه آب دریا دارای کمترین مقدار این نسبت می‌باشد؛ زیرا در آب دریا غلظت منیزیم بیشتر از کلسیم است. نمونه‌های منابع آب منطقه به دو گروه در این شکل قابل تقسیم می‌باشد. گروه اول که نمونه‌های آب شور تا شیرین مناطق ساحلی شامل می‌شود و دارای مقدار نسبت برابر با آب دریا می‌باشند و نشانگر نفوذ و تأثیر آب دریا در این مناطق است. بقیه نمونه که از ساحل فاصله داشته و در مناطق مرکزی و شمالی دشت قرار دارند بیشتر تحت تأثیر نفوذ آب شور کفه نمکی و انحلال نمک می‌باشند. به‌طوری‌که نمونه کفه نمکی نیز در نزدیکی آن‌ها پلات شده است.



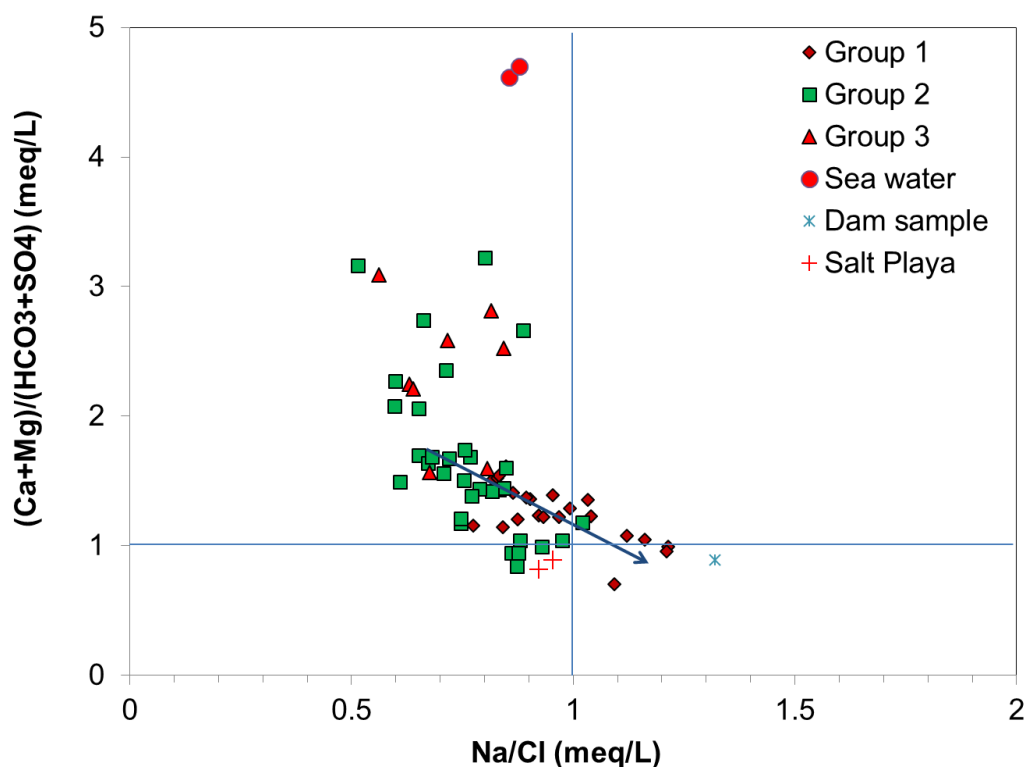
شکل ۴-۳۶: رابطه بین نسبت  $Ca/Mg$  در مقابل  $Cl$  در منابع آب مختلف دشت میناب

جهت بررسی علت تغییر غلظت یون‌ها از روند طبیعی خود و بررسی پدیده تبادل یونی از نسبت یونی  $Ca+Mg$  در مقابل  $SO_4+HCO_3$  استفاده شده است. اگر منشأ این یون‌ها فقط انحلال ژئپس و یا کربنات‌ها باشد، بایستی نمونه‌ها بر روی خط ۱:۱ در این گراف قرار گیرند. با توجه به شکل (۴-۳۷) نمونه‌ها تقریباً در بالای خط پلات شده‌اند که نشانگر پدیده تبادل یونی در این منطقه می‌باشد. نمونه‌هایی که در بالای خط قرار گرفته‌اند نشانگر پدیده تبادل یونی معکوس می‌باشد که در اثر هجوم آب شور به سمت آب شیرین تبادل یونی معکوس اتفاق می‌افتد.



شکل ۴-۳۷: نسبت  $Ca+Mg$  در مقابل  $SO_4+HCO_3$  در منابع آب مختلف دشت میناب

شکل (۴-۳۸) نسبت بین  $Ca+Mg/SO_4+HCO_3$  در مقابل نسبت  $Na/Cl$  را نشان می‌دهد. با توجه به شکل با میزان  $Na/Cl$  نسبت به نسبت  $Ca+Mg/SO_4+HCO_3$  کاهش یافته است. علت کاهش سدیم نسبت به کلسیم و منیزیم را می‌توان به تبادل سدیم با کلسیم و منیزیم نسبت داد.



شکل ۴-۳۸: رابطه بین  $(Ca+Mg)/(SO_4+HCO_3)$  در مقابل نسبت  $Na/Cl$  در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت میناب

#### ۴-۵-۱- بررسی اختلاط آب شور در نمونه‌های دشت میناب

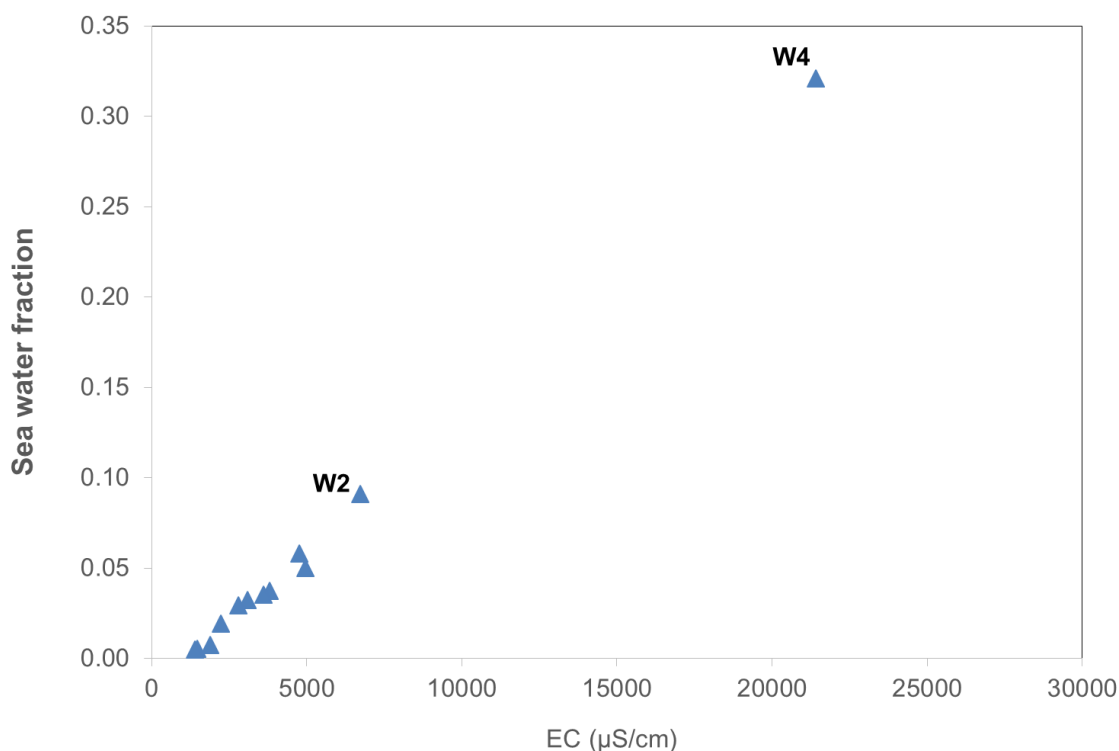
برای بررسی اختلاط آب شور و سهم آب شور در نمونه‌های آب دشت میناب از یون پایستار کلر در

رابطه زیر استفاده شده است (Wang and Jiao, 2012. Appelo and Postma, 2005).

$$f_{Cl_{saltwater}} = [(Cl_{sample} - Cl_{freshwater}) / (Cl_{saltwater} - Cl_{freshwater})] \quad \text{معادله ۴-۴}$$

نمونه شماره ۴ که در نزدیکی ساحل قرار دارد دارای بیشترین سهم آب دریا می‌باشد. بقیه نمونه‌های

ساحلی دارای سهم کمتر از ۱۰ درصد از آب دریا می‌باشند (شکل ۴-۳۹).



شکل ۴-۳۹: سهم آب شور دریا در نمونه‌های ساحلی در طی اختلاط آب شیرین با آب شور دشت میناب

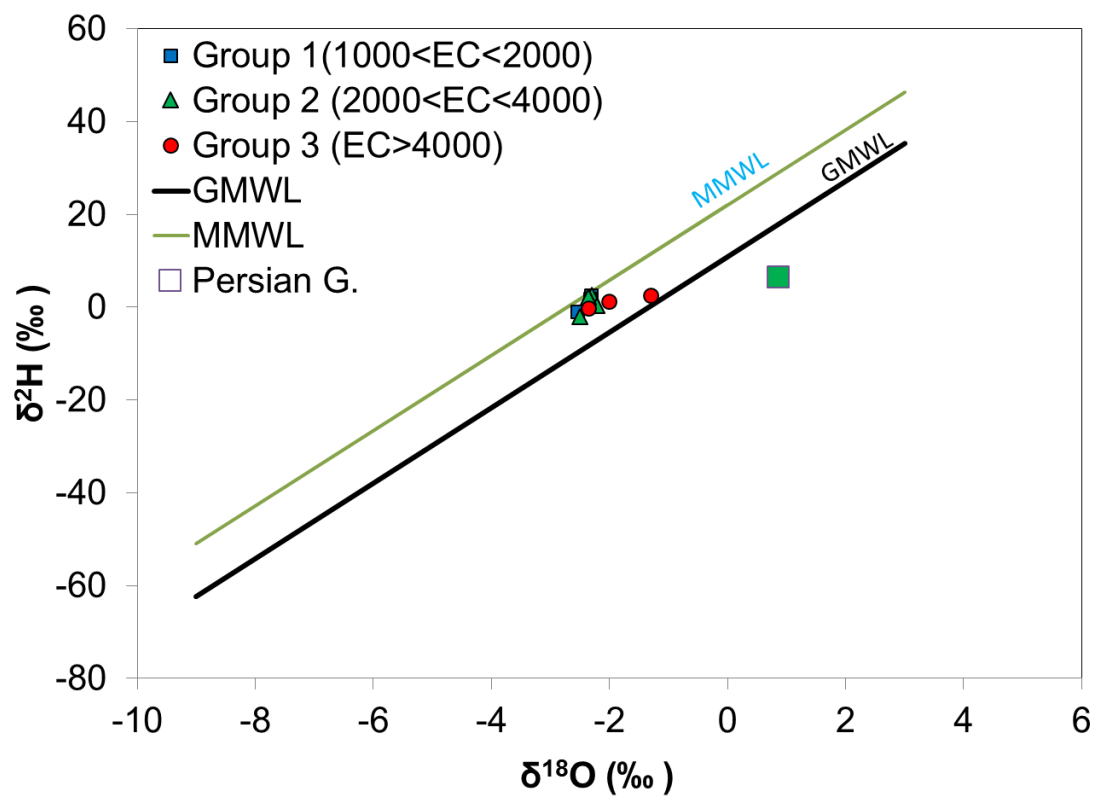
#### ۴-۶: مطالعات ایزوتوپی منابع آب دشت میناب

یکی از معمول‌ترین روش‌ها جهت بررسی عوامل شوری استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار مولکول آب شامل ایزوتوپ‌های اکسیژن ( $^{18}\text{O}$ ) و هیدروژن ( $^2\text{H}$ ) می‌باشد. بر اساس نتایج تحقیقات انجام‌شده ایزوتوپ‌های اکسیژن ( $^{18}\text{O}$ ) و هیدروژن ( $^2\text{H}$ ) بهترین ردیاب در تعیین منشأ آب و شوری زیرزمینی می‌باشند (Jin et al. 2016). داده‌های  $^{18}\text{O}$  و  $^2\text{H}$  برای ۱۱ نمونه آب زیرزمینی، نمونه آب دریا و نمونه چشمه شور گنبد نمکی جهت مقایسه به همراه خط بارش جهانی GMWL (Craig, 1961) و خط بارش مدیترانه MMWL در شکل (۴۰-۴ و ۴۱-۴) ترسیم‌شده است. خط بارش محلی در این منطقه اندازه‌گیری نشده است.

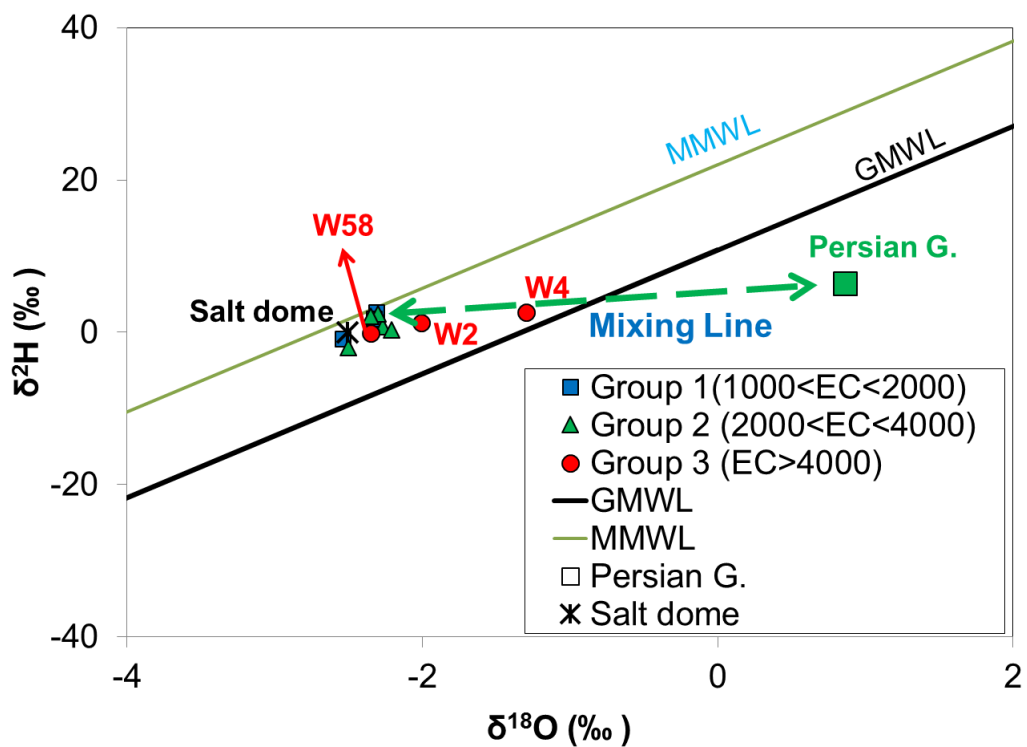
نمونه‌های اندازه‌گیری شده بر اساس معیار تقسیم‌بندی قبلی بر مبنای مقدار EC در این شکل‌ها پلات شده است. تمامی نمونه‌های آب شیرین و نیمه شور در نزدیکی خط بارش مدیترانه پلات شده‌اند. با توجه به اینکه منشأ اکثر بارش‌های ایران، مدیترانه‌ای می‌باشد، بنابراین منشأ اولیه آب زیرزمینی

منطقه مورد مطالعه، بارش محلی با منشأ مدیترانه‌ای است. دو نمونه آب شور W4 و W2 و نمونه آب نیمه شور W34 و W5 از منطقه ساحلی جنوبی و نمونه آب شور W58 از منطقه شمالی دشت برداشت و اندازه‌گیری شده است. نمونه‌های نیمه شور ساحلی و شور بخش شمالی دشت در نزدیکی سایر نمونه‌های شیرین و نیمه شور نواحی شمالی و مرکزی دشت پلات شده‌اند؛ اما دو نمونه آب شور نواحی ساحلی با فاصله از بقیه و به سمت نمونه آب دریا و در مسیر اختلاط بین آب شیرین و آب دریا قرار گرفته‌اند که نشانگر اثر نفوذ آب دریا در آن‌ها است؛ اما نمونه آب شور بخش شمالی دشت (W58) گرچه دارای شوری نزدیک نمونه W2 است، اما در نزدیکی خط بارش و در مجاور نمونه گنبد نمکی با منشأ شوری انحلال نمک قرار گرفته است؛ بنابراین دو منشأ شوری متفاوت در دشت وجود دارد.

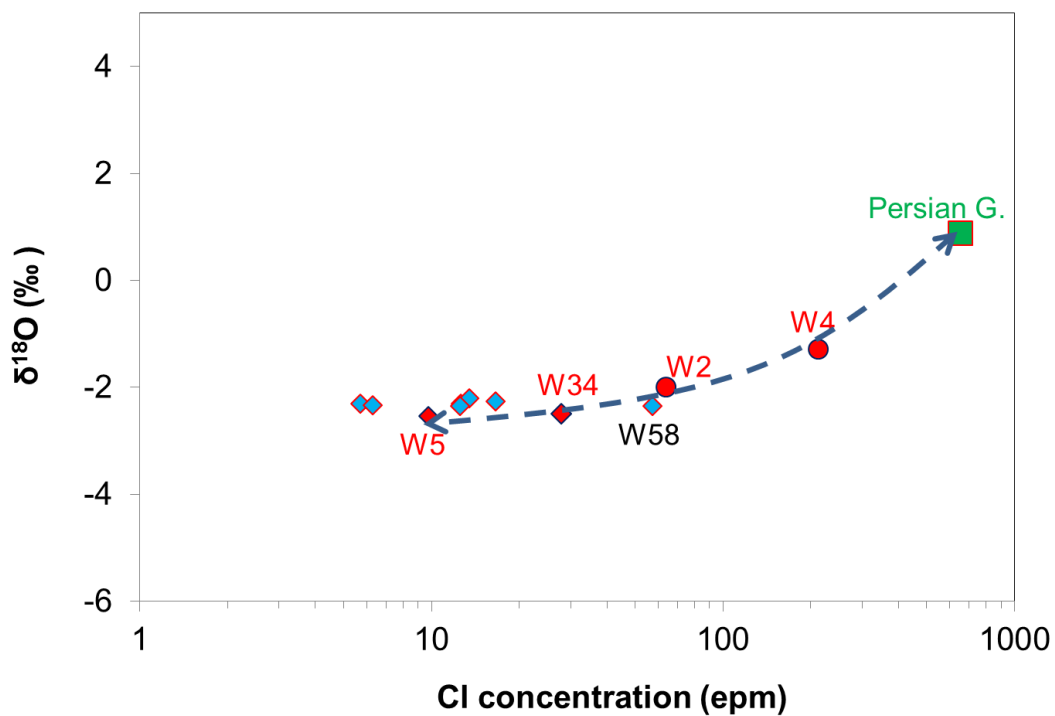
شکل (۴-۴۲) رابطه بین مقدار اکسیژن ۱۸ با غلظت کلر و شکل (۴-۴۳) رابطه بین دوتریم با غلظت کلر را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه‌های بخش جنوبی و ساحلی شامل دو نمونه آب شور W4 و W2 و نمونه آب نیمه شور W34 و W5 در مسیر اختلاط بین آب شیرین و آب دریا به‌عنوان منشأ شوری بخش جنوبی دشت، قرار گرفته‌اند. مقدار فاصله نمونه‌ها از آب دریا بستگی به مقدار اختلاط و سهم آب دریا در شوری آن‌ها دارد. نمونه شور بخش شمالی (W58) گرچه در مسیر اختلاط با آب دریا قرار گرفته است، اما با توجه به شکل قبلی، منشأ شوری نمونه‌های شور بخش مرکزی و بخصوص شمالی دشت، انحلال نمک لایه‌های تبخیری در اطراف دشت می‌باشد.



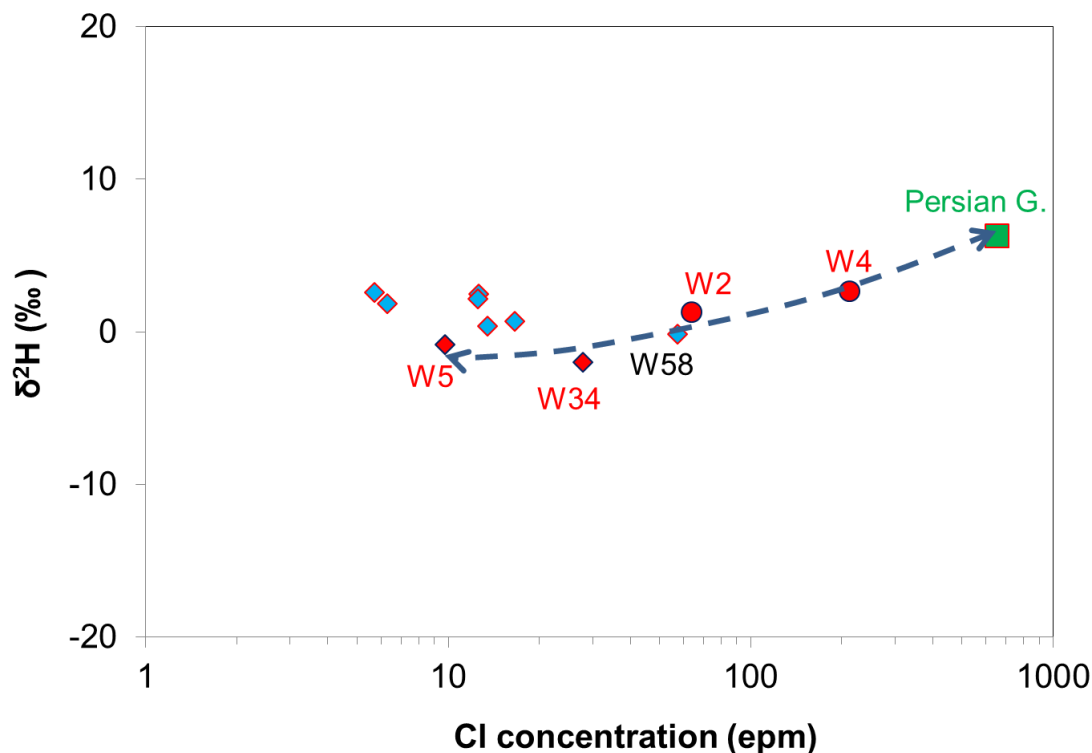
شکل ۴-۴: مقادیر نسبت ایزوتوپ  $^2\text{H}$  در مقابل  $^{18}\text{O}$  در نمونه آبهای دشت میناب



شکل ۴-۴۱: مقادیر نسبت ایزوتوپ  $^2\text{H}$  در مقابل  $^{18}\text{O}$  در نمونه آب‌های دشت میناب



شکل ۴-۴۲: ارتباط بین  $^{18}\text{O}$  با غلظت کلر در نمونه‌های آب دشت میناب



شکل ۴-۴: ارتباط بین  $^2\text{H}$  با غلظت کلر در نمونه‌های آب دشت میناب

#### ۴-۷- ارزیابی منابع آب آبخوان میناب از لحاظ کشاورزی

کیفیت آب زیرزمینی از جمله عوامل مؤثر برای تعیین شاخص‌های کشاورزی می‌باشد. کیفیت آب، تیپ آب و فعالیت کشاورزی نقش مهمی را برای آبیاری مناسب ایفا می‌نمایند. مقادیر بالای یون‌های حل‌شده در آب، بر خاک و گیاه تأثیر می‌گذارد و از لحاظ فیزیکی و شیمیایی، تولید محصول را کاهش می‌دهد (Ravikumar and Somashekar, 2011). استانداردهای کیفی آب آبیاری بر اساس سه عامل زیر می‌باشد (Karanth, 2001):

- ۱- غلظت کل نمک‌های محلول آب که این غلظت از طریق اعمال اسمزی بر روی محصول اثر می‌گذارد.
- ۲- غلظت یون‌های ویژه‌ای مثل بور که ممکن است بر روی گیاهان سمی بوده و یا اینکه اثر نامساعدی بر روی کیفیت محصول داشته باشند.

۳- غلظت کاتیون‌هایی مثل سدیم که با پراکندگی رس در خاک، ساختمان خاک را تخریب و از مقدار نفوذ آب می‌کاهند.

کیفیت آب برای مصارف آبیاری، توسط شاخص شوری و نسبت جذب سدیم بررسی می‌شود که در نمودار ویلکاکس نشان داده شده است. شوری با معیار هدایت الکتریکی و سدیم با یکی از معیارهای نسبت جذب سدیم (Sodium Absorbption Ratio(SAR)) یا درصد سدیم محلول ( Sodium Solution Percent(SSP)) سنجیده می‌شود که با داشتن غلظت عناصر در آب مقادیر آنها قابل محاسبه می‌باشد. شاخص شوری ارتباط نزدیکی با پارامترهای هدایت الکتریکی و TDS دارد (Ravikumar et al.2010).

رده‌بندی نمونه آب زیرزمینی بر اساس شاخص شوری در جدول (۴-۶) ارائه شده است. با توجه به میزان هدایت الکتریکی، نمونه‌های آب زیرزمینی دشت میناب در سه گروه تقسیم‌بندی شدند. بر این اساس ۹ نمونه از آب چاه‌ها در رده II، ۳۶ نمونه در رده III، ۱۴ نمونه در رده IV، ۵ نمونه در رده V و ۲ نمونه در رده VI قرار گرفتند.

جدول ۴-۶: رده‌بندی آب زیرزمینی بر اساس شوری و ارزیابی کیفیت آن در آبیاری (Mills,2003)

| شوری                                                       | EC ( $\mu\text{moh/cm}$ ) | رده‌بندی |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|----------|
| پایین (مناسب برای آبیاری محصولات)                          | $>650$                    | رده I    |
| متوسط (مناسب برای آبیاری محصولات باتحمل شوری بسیار کم)     | $650-1300$                | رده II   |
| بالا (مناسب برای آبیاری محصولات باتحمل شوری متوسط تا بالا) | $1300-3000$               | رده III  |
| بسیار بالا (مناسب برای آبیاری محصولات باتحمل شوری بالا)    | $3000-5000$               | رده IV   |
| شدید (نامناسب برای آبیاری)                                 | $5000-8000$               | رده V    |
| بسیار شور (نامناسب برای آبیاری)                            | $>8000$                   | رده VI   |

سدیم به تنهایی معیار مناسبی برای طبقه‌بندی بر اساس کشاورزی نمی‌باشد. لذا نمودار Wilcox بر اساس پارامترهای SAR و EC جهت رده‌بندی آب از نظر کشاورزی ارائه می‌شود. آب‌هایی با کیفیت متوسط در کلاس C3S1 قرار گرفته‌اند و سایر نمونه‌های آب در محدوده نامناسب می‌باشند و در کلاس C4S2 و C4S3 و C4S4 واقع شده‌اند؛ بنابراین تقریباً تمامی نمونه‌ها به جز نمونه‌های گروه اول برای کشاورزی و آبیاری مناسب نمی‌باشند که می‌تواند ناشی از تأثیر کفه نمکی و واحدهای تبخیری و نفوذ آب شور دریا به محدوده مطالعاتی باشد (شکل ۴-۴۵).



شکل ۴-۴۵: تعیین کیفیت آب برای کشاورزی با استفاده از دیاگرام ویلکاکس برای منابع آب زیرزمینی دشت میناب

# فصل پنجم:

## نتیجہ گیری و پیشہادہ

نتایج به دست آمده از مطالعات هیدروژئولوژیکی، هیدروشیمیایی و ایزوتوپی در دشت میناب به طور خلاصه در این فصل آورده شده است و در انتها، پیشنهادهایی برای ادامه مطالعات در دشت میناب ارائه گردیده است.

## ۵-۱- نتیجه گیری

- با توجه به نقشه همپتانسیل و جهت جریان دشت در هر دو سفره آزاد و تحت فشار، بیشترین تراز سطح آب در بخش شمال و شمال شرقی دشت و کمترین آن در قسمت مرکز و شرق دشت می باشد؛ بنابراین آب زیرزمینی تحت تأثیر این اختلاف ارتفاع از سمت شمال و جنوب به سمت مرکز دشت در جریان می باشد.

- بیلان سالانه آبخوان دشت نشان دهنده کاهش ذخیره آبخوان به میزان ۸ میلیون مترمکعب می باشد. با توجه به آمار به دست آمده از دشت میناب، سالانه به طور متوسط ۴۲ سانتی متر افت در دشت مشاهده می شود که حاکی از بیلان منفی و کاهش ذخیره آبخوان است.

- مقدار شوری در جهت جریان روند طبیعی نداشته و از منطقه تغذیه به سمت مناطق تخلیه انتظار می رود که میزان شوری افزایش یابد، اما قسمت مرکزی دشت کمترین مقدار شوری را داشته و به سمت بخش های شمالی و جنوبی میزان شوری افزایش یافته است. در بخش مرکزی دشت به دلیل نفوذ آب شیرین و دانه درشت بودن رسوبات در این منطقه شوری کمتر شده است.

- بر اساس مطالعات هیدروشیمیایی، نمونه های برداشت شده از دشت دارای روند شیمیایی یکسان نبوده و نشانگر متفاوت بودن منشأ آن ها بوده و دارای تیپ غالب کلروره-سدیک می باشند.

- مطالعات هیدروشیمیایی و ایزوتوپی در دشت میناب نشان دهنده رخداد پدیده اختلاط و انحلال نمک و نفوذ آب شور دریا را به عنوان منشأ شوری تأیید کرده است.

- برداشت بی‌رویه از منابع آبی دشت میناب باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی و نفوذ و پیشروی جبهه‌ی آب‌شور از بخش‌های شمالی و جنوبی شده است

- با توجه به مطالعات انجام‌شده در راستای تکامل ژئوشیمیایی اکثر نمونه‌ها نسبت به کلسیت و دولومیت اشباع تا فوق اشباع و نسبت به ژیپس، انیدریت و هالیت تحت اشباع می‌باشند. همچنین مطالعات نشانگر پدیده تبادل یونی معکوس می‌باشد که در اثر هجوم آب‌شور به سمت آب شیرین تبادل یونی معکوس اتفاق می‌افتد.

- بر اساس نمودارهای مربوط به کیفیت آب برای کشاورزی (SAR و نمودار ویلکاکس) تقریباً تمامی نمونه‌ها به‌جز نمونه‌های گروه اول برای کشاورزی و آبیاری نامناسب نمی‌باشند که می‌تواند ناشی از تأثیر کفه نمکی و واحدهای تبخیری و نفوذ آب‌شور دریا به محدوده مطالعاتی باشد.

## ۵-۲- پیشنهادها

- برنامه مدیریت مناسبی در جهت پایداری و حفظ این منابع باارزش با تعیین برداشت مطمئن ( Safe yield) برای طولانی‌مدت پیش‌بینی گردد.

- با توجه به کاهش شدید سطح آب در قسمت مرکز دشت و با توجه به دانه‌درشت بودن رسوبات در این منطقه دشت توصیه می‌شود که حوضچه‌هایی جهت تغذیه مصنوعی در مناطق مختلف دشت ایجاد گردد.

- با توجه به وجود سد و رودخانه‌ای بزرگ در دشت میناب توصیه می‌شود که در زمان‌های مختلف و به‌صورت مداوم رهاسازی آب در بستر رودخانه پایین‌دست سد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تغذیه‌کننده آبخوان دشت میناب انجام شود و با روش‌هایی نظیر پخش آب و پخش سیلاب‌ها باعث افزایش نفوذ آب به آبخوان شویم تا از افت ممتد سطح آب زیرزمینی جلوگیری شود.

- برای بررسی بهتر وضعیت آبخوان تحت فشار دشت میناب توصیه می‌شود که پیزومترهای جدیدی با پراکندگی مناسب در قسمت‌های مختلف دشت حفر شود و ضمن حفاری لاگ زمین‌شناسی چاه نیز با دقت بالا رسم شود تا اطلاعات بیشتری پیرامون این آبخوان به دست آید.
- برای نتیجه‌گیری بهتر از مشخصات هیدروژئولوژیکی منطقه، تعداد آزمایش‌های پمپاژ با پراکندگی بهتر و تعداد بیشتری در منطقه صورت گیرد.
- با توجه به کاهش شدید سطح آب در دشت، پایش کیفی دشت ضروری می‌باشد.
- بهترین و مؤثرترین راه برای جلوگیری از پیشروی بیشتر آب‌شور در مناطق مختلف دشت، کاهش برداشت از آبخوان میناب می‌باشد.

## منابع

- ❖ کردوانی م. (۱۳۹۰)، پایان‌نامه ارشد: (بررسی اثرات نو زمین ساختی گسل میناب بر ساختگاه سد استقلال میناب و نشت آب از مخزن آن)، دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ❖ جلالی ل. اصغری مقدم ا، (۱۳۹۲). "تشخیص وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آب زیرزمینی خوی به روش‌های آماری و هیدرووشیمیایی" مجله محیط‌شناسی، شماره ۲، دوره سی و نهم، ص ۱۲۹-۱۱۳.
- ❖ کعبه م. (۱۳۹۷)، پایان‌نامه ارشد: (ارزیابی و تحلیل هیدروژئوشیمیایی و تخریب کیفی آب زیرزمینی مجاور کفه نمکی، گناباد)، دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ❖ جمور ر. ایل‌بیگی م. مرسلی م، (۱۳۹۸). "ارزیابی بحران فرونشست زمین و پیشروی آب‌شور دریا در آبخوان دشت میناب" مجله اکوهیدرولوژی، شماره ۱، دوره ششم، ص ۲۳۸-۲۲۳.
- ❖ بساکی م. (۱۳۸۹)، پایان‌نامه اشد: (بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در منطقه کردکوی)، دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ❖ بمانی احمدآباد م. اشجاری ج. یعقوبی ا، ملک عباسلو ا، (۱۳۹۵). "بررسی علت فرونشست در آبخوان ساحلی دشت میناب"، ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه کردستان.
- ❖ آقائباتی ع. (۱۳۸۵)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۸۵.
- ❖ محمدی ا. کرمی غ. ح، (۱۳۹۲). "بررسی هجوم آب‌شور کویر مرکزی به آبخوان اسفراین (خراسان شمالی)" مجله زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۱، دوره ۲، ص ۶۳-۵۳.
- ❖ شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان، (۱۳۹۸). معاونت مطالعات پایه منابع آب

❖ صداقت م. (۱۳۸۷)، "زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)"، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ اول.

❖ علیزاده ا. (۱۳۸۹). "اصول هیدرولوژی کاربردی"، موسسه انتشارات و چاپ آستان قدس رضوی، چاپ بیست و یکم.

❖ سجادی ز. کلانتری ن.ا، (۱۳۹۲). "بررسی نفوذ آب‌شور خلیج فارس به منابع آب شیرین عسلویه"، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع آب زیرزمینی، شاهرود.

❖ راستن م. (۱۳۹۷)، پایان‌نامه ارشد: (بررسی خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت قره‌سو (استان گلستان))، دانشکده علوم فردوسی مشهد.

❖ گزارش تمدید ممنوعیت دشت میناب، سازمان آب منطقه ای هرمزگان، ۱۳۹۵

❖ نقشه زمین‌شناسی میناب. مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی کشور

❖ نقشه زمین‌شناسی بندرعباس. مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی کشور

- ❖ Kazemi, G. A., Tsunogai, U. (2009). Groundwater discharge into the Caspian Sea from the Iranian coast and its importance. In: Taniguchi et al., (Editors). From Headwater to the Ocean. Taylor and Francis, London, 631-636 p.
- ❖ James Jackson , Mark Allen & Manuel Berberian , 2002, Active tectonics of the South Caspian Basin, Geophys.J.Int., Vol.148, 214-241.
- ❖ Marie, A., and Vengosh, A. 2001, Sources of salinity in ground water from Jericho area, Jordan Valley, Ground Water, 39, 2, 240-248.
- ❖ Gibbison, A. and Randall, J. 2006. The salt water intrusion problem and water conservation practices in southeast Georgia, USA. *Water and Environment Journal*, 2:374-391.
- ❖ Mazor, E. 2004. Applied chemical and Isotopic groundwater hydrology. Third edition, New York. 352
- ❖ Custodio, C.h. and Broggeman, G.A., 1987, Groundwater problems in coastal Aquifers. UNESCO.

- ❖ Laluraj, C.M., Gopinath,G., Dineshkumar, P.K., 2005.Groundwater chemistry of shallow aquifer in the coastal zones of Coccin, India. Applied ecology and environmental research
- ❖ Todd, D.K., 2005, Groundwater hydrology. Third Edition, John Wiley and Sons.
- ❖ Hisdal, H., & Tallksen, L.M. (2003). Estimation of regional meteorological and hydrological characteristics, a case study for Denmark. Journal of Hydrology. 281, 230-247.
- ❖ Kata, M., Mohan, R. and Krishna, K., "Hydrogeochemistry and quality assessment of groundwater around chromite-mineralized areas in India", Environmental Earth Sciences, 2014.
- ❖ Stewart, M.T. Geophysical investigations. Chap. 2, In; Seawater intrusion into coastal aquifers-concepts, methods and practices, (eds.) J. Bear, A.H.-D. Cheng, S. Sorek, D. Ouazar & I. Herrera, Kluwer, 9-50, 1999.
- ❖ Andrews, R.W., 1981, Saltwater intrusion in the Costa de Hermosillo,Mexico: A numerical analysis of water management proposals, Ground Water, 19(6), 635-647
- ❖ Bruington, A.E., 1969, Control of sea water intrusion in a groundwater aquifer,Ground Water J., 7(3), 180-187
- ❖ Abdulaziz, M. and Tahir Hussein, M. 2008. Combined geo-electrical and hydrochemical methods to detect salt-water intrusion: A case study from southwest Saudi Arabia. Management of Environmental Quality: An International Journal,19: 179 – 193.
- ❖ Batayneh, A. and et al., 2013. Hydrochemical Facies and Ionic Ratios of the Coastal Groundwater Aquifer of Saudi Gulf of Aqaba: Implication for Seawater Intrusion. Journal of Coastal Research. (In-Press).
- ❖ Garcia, M. G., Hidalgo, M. v. and Blesa., M., 2001, geochemistry of groundwater in the alluvial plain of Tucuman province, Argentina, Hydrogeology Journal.Vol:9. pp:597-610.
- ❖ Hounslow, A. W., 1995. Water quality data: Analysis and interpretation. Lewis publishers. 397 p.
- ❖ Khalil, H.M. 2006 Geoelectric resistivity sounding for delineating salt water intrusion in the Abu zenima area, west Sinai, Egypt. Journal of Geophysics Engineering, 3: 243-251.

- ❖ Kim, Y. J. and Hamm, S. Y. 1999. Assessment of the potential for groundwater contamination using the Drastic/ Egis technique, cheongju area, south korea. *hydrogeology journal*, 7: 227- 35.
- ❖ Marie, A., and Vengosh, A. 2001, Sources of salinity in ground water from Jericho area, Jordan Valley, *Ground Water*, 39, 2, 240-248.
- ❖ Craig, H. (1961)“standard for reporting concentration of deuterium and oxygen-18 in natural waters” *Science.*, 133, pp 1833-1834
- ❖ Jalali M.(2010)“Ground water geochemistry in the Alisadr, Hamedan, western Iran” *J.of. Environmental monitoring and assessment.*, 166, (1-4), pp 359-369
- ❖ Jahanshahi Z. and Zare M. (2016)“ Hydrochemical investigation for delineating salt water intrusion in to coastal aquifer of Maharlou Lake, Iran” *J. of. African Earth Sciences.*, 15, 10, pp 1023-1045.
- ❖ Mohammadi A., zare M., Sharifzade B. (2012) “Delineation of ground water salinization in a coastal aquifer, Boushehr, South of Iran” *J. of. Environmental Earth Sciences.*, 67, 5, pp 1473-1484.
- ❖ Mohammadzadeh H., (2010) “the Meteoric Relationship for  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$  in precipitation and Isotopic Compositions of water resources in Mashhad Area (NE Iran)”.*, The 1 st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad university – Nashhad Branch, Iran, 26-28.*
- ❖ Wilcox L. (1955). *Classification and use of irrigation waters.*
- ❖ Zakem B.A., and Hafez R. (2007) “ Environmental isotope study of sea water intrusion in the coastal aquifer (Syria)” *J. of. Environmental Geology.*, 51, 8, pp 1329-1339.
- ❖ Sharafi A., Raeisi E., Farhoodi G. (2002) “The effect of Darab salt dome on the quality of adjacent karstic and alluvium aquifers ( South Iran)” *J. of. Acta Carsol.*, 31, pp 105-113.

## Abstract

Saline water intrusion is an important and noticeable phenomenon in coastal aquifers that results in the salinization of fresh groundwater. Minab plain that is located in Hormozgan province and adjacent to the Persian Gulf, is one of the most important coastal plains in the south of the country that has been affected by saline water infiltration. Regarding the two-layer nature of Minab plain aquifer, for hydrogeology and hydrogeochemistry investigation, data of 39 piezometers in water table aquifer and 12 piezometer in confined aquifer with total 68 water samples from pumping wells in the land and sea have been used.

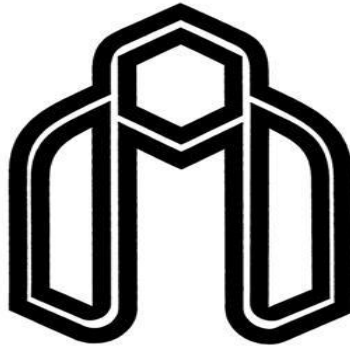
The equipotential and flow direction maps of the plain indicates that the aquifer is dominantly recharged from north and northeast parts and southern elevated parts and the flow direction is toward the center of the plain.

In recent years, with over withdrawing and increasing the number of exploitation wells, especially in eastern and central parts of the plain lead to change of the Hydraulic gradient in the western and southern parts that result in sea water intrusion. According to the unit hydrograph for water table and confined aquifers, the average level of piezometers is declining, that indicating the negative water budget.

According to the equidecline map of Minab plain, the highest decline is observed in the eastern and central parts of the plain due to better groundwater quality and the lowest drop observed in the northern and western parts of the plain owing to the low quality. Electrical conductivity distribution map shows that its value is highest in northern, northeastern, southern parts and some area of the northwest part. The lowest electrical conductivity is 1025 mho/cm that observed in eastern and central wells which have important role in drinking water supply and agriculture water in the state. also, the studies showed that the cause of salinity of wells in the northern area and parts of the eastern area of the plain is salt dissolution and the infiltration of saline water from evaporative formations adjacent to the plain.

Hydrochemical and isotopic studies in Minab plain confirmed the occurrence of salt mixing, dissolution and seawater infiltration as a source of salinity.

**Keywords:** intrusion of saline water, coastal aquifers, salt dissolution, isotopic, Salt Playa, Minab plain.



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Earth Sciences**

**M.Sc. Thesis in Hydrogeology**

**Study of the hydrogeology and salt water intrusion  
to Minab coastal aquifer**

**By: Farshad Ranjbari**

**Supervisor:**

**Dr. Rahim Bagheri**

**December 2020**