

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی - هیدروژئولوژی

عنوان پایان‌نامه:

بررسی اثرات پالایشگاه فجر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت ریز، بوشهر

نگارنده:

سید روح‌اله موسوی

استاد راهنما:

دکتر هادی جعفری

بهمن ۱۳۹۶

شماره:

تاریخ:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سید روح اله موسوی با شماره دانشجویی ۹۳۱۶۶۷۴ رشته زمین شناسی گرایش هیدروژئولوژی تحت عنوان **بورسی اثرات پالایشگاه فجر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت ریژ، بوشهر** که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

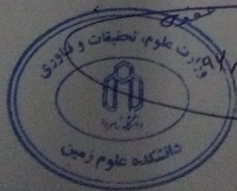
قبول ( با امتیاز ۱۹.۴۴ درجه عالی )   مردود

نوع تحقیق: نظری  عملی

| عضو هیأت داوران           | نام و نام خانوادگی | مرتبه علمی | امضاء |
|---------------------------|--------------------|------------|-------|
| ۱- استاد راهنمای اول      | دکتر هادی جعفری    | استادیار   |       |
| ۲- استاد راهنمای دوم      | -                  | -          | -     |
| ۳- استاد مشاور            | -                  | -          | -     |
| ۴- نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر مهدی جعفرزاده | استادیار   |       |
| ۵- استاد ممتحن اول        | دکتر غلامحسین کرمی | دانشیار    |       |
| ۶- استاد ممتحن دوم        | دکتر افشین قشلاقی  | استادیار   |       |

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیلی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



راہی بزن کہ آہی برساز آن توان زد  
شعری بخوان کہ باور طل کران توان زد  
بر آستان جانان کر سرتوان نہادن  
گلبنک سربلندی بر آسمان توان زد  
بابوسہ بردستان:

پدرم، کوہی استوار و حامی من در تمام مراحل زندگی، او کہ نمیدانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، مهربانی، ...

مادرم، کہ قلم از وصف مهربانی اش قاصر است، سکی صبور کہ الفبای زندگی بہ من آموخت، آنکہ آفتاب مهرش در آستانہ قلم، پمچان پابرجاست و هرگز غروب نخواہد کرد.  
برادران و خواہرانم، ہر اہان، ہمیشگی و پشتوانہ های زندگی ام

تقدیم بہ:

فردوسی، حافظ، جامی، عطار، مولانا، سعدی و نظامی



## شکر و قدردانی

سپاس و ستایش خدای جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درخشان، آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود، به طریق علم و دانش، رهنمونان شد و به هم نشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزی مان ساخت. عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

از جناب آقایان دکتر غلامحسین کرمی، دکتر هادی جعفری و دکتر رحیم باقری به خاطر زحمات بی دریغشان در طول دوره کارشناسی ارشد؛ از استاد با کمالت و شایسته؛ جناب آقای دکتر هادی جعفری که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کجی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و خالصانه زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ جناب آقایان دکتر غلامحسین کرمی و دکتر افشین قشلاقی که زحمت داوری این رساله را مستقبل شدند؛ نهایت شکر و قدردانی را دارم.

از جناب آقای مهندس جابر مظفری زاده مسئول کمیته پژوهش و تحقیقات سازمان آب منطقه ای بو شهر به خاطر

حمایت ها و کمک های بی دریغشان و قرار دادن آمار و اطلاعات، تشکر ویژه می نمایم. از مسئولین آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود جناب آقای دکتر باقری، سرکار خانم فاطمه باقری و زهرا بوسلیک به خاطر کمک های بی دریغشان در انجام آنالیز آب، تشکر می نمایم.

از پدر و برادر عزیزم که در بازدید های صحرایی از منطقه، من را همراهی نمودند، و همه ی اعضای خانواده ام به خاطر تمامی زحمات و حمایت های بی دریغشان در امر تحصیل و در نهایت از تمامی دوستان و بھکلاسی های عزیزم. بخصوص جناب آقای دکتر حسین هوشمند، خلیل شاعقی، مجید کریمی، علی سیفی وند، سید علی موسوی، اسداله اینی، احمد حاتمی، یداله اینی، سید عقیل موسوی، دانیال جهانگیر، سید رضا حسینی پور، حسین ابراهیمی، فرزاد اکبری و مازیار ترابی صمیمانه تشکر می کنم.

## تعهد نامه

اینجانب سید روح اله موسوی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی گرایش آب‌شناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی اثرات پالایشگاه فجر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت ریز، بوشهر تحت راهنمایی آقای دکتر هادی جعفری متعهد می‌شوم:

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

امضا دانشجو:

### مالکیت نتایج و حق نشر

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

## چکیده

یکی از عوامل آلودگی آب‌های زیرزمینی، آلاینده‌های هیدروکربوری پالایشگاه‌های نفت و گاز می‌باشد. پالایشگاه گاز فجر جم بزرگترین پالایشگاه گازی ایران است که در محدوده آبخوان ریز در استان بوشهر واقع شده است. به دلیل حجم بالای پساب‌های صنعتی تولیدی و مخازن نگهداری و انتقال فرآورده‌های نفتی در پالایشگاه گاز فجر و با توجه به سرازیر شدن چندین باره پساب آن در سالیان اخیر به رودخانه مجاور احتمال آلودگی آبخوان به مواد نفتی افزایش یافته است. به همین دلیل هدف از این تحقیق بررسی اثرات پالایشگاه گاز فجر بر آبخوان دشت ریز می‌باشد. بدین منظور نمونه‌برداری از نمونه‌های پساب، آب سطحی و آب زیرزمینی در فصل خشک (خرداد ۹۵) انجام گرفت و پارامترهای EC، TDS، pH، یون‌های اصلی، فلزات سنگین شاخص در مناطق آلوده به نفت، مواد آلی (TOC) و هیدروکربنی (TPH، PAHs و BTEX) اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر EC، pH و یون‌های اصلی پساب پایین‌تر از آب سطحی بوده اما میزان غلظت فلزات سنگین در آن بسیار بالاتر از آب سطحی می‌باشد. پساب دارای آلودگی شدید به فلزات آهن، روی و سرب است. میزان TOC و TPH در نمونه‌های پساب و آب سطحی بسیار بالاتر از حد استاندارد EPA می‌باشد. در بین ترکیبات BTEX غلظت بنزن در نمونه‌های پساب دارای میانگین ۱۶۳۴ میکروگرم بر لیتر می‌باشد که بالاتر از حد هر دو استاندارد WHO و EPA است. غلظت در تمام نمونه‌های پساب که در آنها PAHs شناسایی شد، دارای مقادیری بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. تغییرات مکانی EC، pH، سولفات و کلسیم در آب زیرزمینی نشان‌دهنده کاهش غلظت با افزایش فاصله از پالایشگاه می‌باشد. بالاترین میزان آلودگی آبخوان به فلزات سنگین مربوط به Zn می‌باشد. نتایج TOC و TPH در آب زیرزمینی بر هم منطبق بوده و نشان‌دهنده آلودگی آبخوان به مواد آلی بوده و میزان آلودگی نفتی آبخوان در حد متوسط می‌باشد. آبخوان در محدوده مورد مطالعه تنها دارای آلودگی به بنزن در تعدادی از نمونه‌ها می‌باشد. تغییرات مکانی BTEX نشان‌دهنده افزایش غلظت اکثر این ترکیبات در نقاط نزدیک‌تر به پالایشگاه و بالادست شهر خاص است که دلیل آن کاهش سرعت جریان سطحی در این نقاط و افزایش نرخ نفوذ می‌باشد. از مجموع ۱۶ PAHs اندازه‌گیری شده ۹ مورد در آب زیرزمینی شناسایی شد که بیشترین غلظت مربوط به پیرن می‌باشد. در مجموع ارزیابی کیفی منابع آبی بیانگر تاثیر آلودگی پساب پالایشگاه گاز فجر بر منابع آب سطحی و آبخوان دشت ریز می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** پالایشگاه گاز فجر، دشت ریز، فلزات سنگین، TOC، TPH، BTEX، PAHs

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- آلودگی آبخوان دشت ریز به BTEX ناشی از تاسیسات پالایشگاه گاز فجر، جنوب شرق بوشهر، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور، اسفند ۱۳۹۵.

۲- BTEX و PAHs در پساب و آبهای سطحی مجاور پالایشگاه گاز فجر، جنوب شرق بوشهر، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور، اسفند ۱۳۹۵.

| عنوان  | صفحه |
|--|------|
| <b>فصل اول: مقدمه و کلیات</b>                          |      |
| ۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق.....              | ۲    |
| ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات منطقه مورد مطالعه ..... | ۵    |
| ۳-۱- ویژگی‌های پالایشگاه گاز فجر جم .....              | ۸    |
| ۴-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه .....                 | ۹    |
| ۴-۱-۱- ضریب اقلیمی دمارتن .....                        | ۱۰   |
| ۴-۲-۱- نمودار آمبروترمیک.....                          | ۱۱   |
| ۵-۱- زمین‌شناسی منطقه .....                            | ۱۲   |
| ۵-۱-۱- چینه‌شناسی منطقه .....                          | ۱۲   |
| الف - سازندهای گروه خامی.....                          | ۱۴   |
| ب - سازندهای گروه بنگستان .....                        | ۱۵   |
| ج - سازند شیلی پابده - گورپی.....                      | ۱۵   |
| د - سازند آسماری - جهرم.....                           | ۱۶   |
| ه - سازندهای گروه فارس.....                            | ۱۶   |
| و - سازند کنگلومرای بختیاری.....                       | ۱۷   |
| ز - رسوبات عهد حاضر.....                               | ۱۷   |
| ۲-۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه .....                        | ۱۸   |
| ۳-۵-۱- زمین‌شناسی ساختمانی.....                        | ۱۹   |

- ۶-۱- هیدرولوژی منطقه ..... ۲۰
- ۷-۱- هیدروژئولوژی منطقه ..... ۲۰
- ۱-۷-۱- وضعیت فیزیکی آبخوان ریز ..... ۲۰
- ۲-۷-۱- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان دشت ریز ..... ۲۱
- ۳-۷-۱- نقشه هم پتانسیل دشت ریز ..... ۲۲

### فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

- ۱-۲- مقدمه ..... ۲۶
- ۲-۲- آلودگی آبهای زیرزمینی ..... ۲۶
- ۱-۲-۲- آلودگی آلی آب زیرزمینی ..... ۲۷
- ۲-۲-۲- آلودگی غیر آلی آب زیرزمینی ..... ۳۹
- ۳-۲- سرنوشت آلودگی‌های نفتی در آبهای زیرزمینی ..... ۴۰
- ۱-۳-۲- خواص فیزیکی هیدروکربن‌ها ..... ۴۰
- ۲-۳-۲- حلالیت آبی ترکیبات نفتی ..... ۴۱
- ۳-۳-۲- رفتار ترکیبات نفتی در محیط زیرسطحی ..... ۴۲

### فصل سوم: روش تحقیق

- ۱-۳- مقدمه ..... ۴۸
- ۲-۳- تعیین موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری ..... ۴۸
- ۳-۳- روش نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها ..... ۵۱
- ۴-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری ..... ۵۲
- هدایت الکتریکی (EC)، pH و دما ..... ۵۲
- ۵-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه ..... ۵۳



|    |  |
|----|--|
| ۵۳ | ..... اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها                                    |
| ۵۳ | ..... اندازه‌گیری غلظت کاتیون‌ها                                   |
| ۵۵ | ..... اندازه‌گیری کل کربن آلی (TOC)                                |
| ۵۶ | ..... آماده‌سازی و اندازه‌گیری پارامترهای هیدروکربنی و فلزات سنگین |
| ۵۸ | ..... آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های فلزات سنگین                    |
| ۵۹ | ..... نرم‌افزارهای مورد استفاده                                    |

### فصل چهارم: بررسی اثرات پالایشگاه گاز فجر جم بر آبخوان دشت ریز

|     |  |
|-----|--|
| ۶۲  | ..... ۱-۱-۴ مقدمه  |
| ۶۲  | ..... ۲-۴ خصوصیات کیفی پساب و آب سطحی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر      |
| ۶۲  | ..... ۱-۲-۴ هدایت الکتریکی (EC) و pH                                   |
| ۶۶  | ..... ۲-۲-۴ اجزاء معدنی در پساب و آبهای سطحی                           |
| ۷۰  | ..... ۳-۲-۴ بررسی آلودگی آلی در پساب و آبهای سطحی                      |
| ۷۹  | ..... ۳-۴ خصوصیات کیفی آب زیرزمینی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر جم      |
| ۷۹  | ..... ۱-۳-۴ هدایت الکتریکی (EC) و pH                                   |
| ۸۶  | ..... ۲-۳-۴ اجزاء معدنی در آب زیرزمینی                                 |
| ۹۴  | ..... ۳-۳-۴ بررسی آلودگی آلی در آب زیرزمینی                            |
| ۱۰۵ | ..... ۴-۳-۴ بررسی ارتباط بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب زیرزمینی |

### فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات

|     |   |
|-----|---|
| ۱۱۰ | ..... ۱-۵ مقدمه   |
| ۱۱۰ | ..... ۲-۵ نتایج   |
| ۱۱۰ | ..... ۱-۲-۵ نتایج حاصل از مطالعات کیفی پساب و آب سطحی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر |

۵-۲-۲- نتایج حاصل از مطالعات کیفی در آب زیرزمینی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر..... ۱۱۲

۵-۳- پیشنهادها..... ۱۱۴

# فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- رها سازی پساب در منابع آب سطحی مجاور پالایشگاه فجر ( ۸ اردیبهشت ۹۴)..... ۳
- شکل ۲-۱- رها سازی پساب در منابع آب سطحی مجاور پالایشگاه گاز فجر ( ۱۵ خرداد ۹۵) ..... ۴
- شکل ۳-۱- پیدایش آلاینده‌های نفتی در زیر بستر رودخانه مجاور پالایشگاه فجر جم بعد از حفاری (دی ماه ۹۵).... ۴
- شکل ۴-۱- پیدایش آلاینده‌های نفتی در رسوبات بستر رودخانه در فاصله ۱۵ کیلومتری پایین دست پالایشگاه ..... ۵
- شکل ۵-۱- تصویر ماهواره‌های محدوده مورد مطالعه و آبخوان دشت ریز ..... ۶
- شکل ۶-۱- نمایی از پالایشگاه گاز فجر جم واقع در بالا دست آبخوان دشت ریز ..... ۶
- شکل ۷-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راههای دسترسی به آن..... ۷
- شکل ۸-۱- نمودار آمبروترمیک منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱
- شکل ۹-۱- نقشه زمین شناسی محدوده ریز و منطقه مورد مطالعه ..... ۱۳
- شکل ۱۰-۱- نمایی از دره‌های عمیق در منطقه مورد مطالعه ..... ۱۹
- شکل ۱۱-۱- محدوده آبخوان دشت ریز و موقعیت پالایشگاه گاز فجر در آن ..... ۲۲
- شکل ۱۲-۱- نقشه هم پتانسیل آبخوان دشت ریز (اسفند ۹۵)..... ۲۴
- شکل ۱-۲- تجزیه کربن در آب به مشتقات آن ..... ۲۹
- شکل ۲-۲- فرایندهای مختلف تخریب ترکیبات نفتی (Day et al. 2001) ..... ۴۴
- شکل ۱-۳- منطقه مورد مطالعه و موقعیت نمونه‌های برداشت شده از منابع آبی مجاور پالایشگاه گاز فجر جم ..... ۵۰
- شکل ۲-۳- نمونه‌برداری از منابع آب سطحی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر (بعد از نشت پساب در خرداد ۹۵) ..... ۵۱
- شکل ۳-۳- آنالیز نمونه‌ها جهت تعیین غلظت بعضی از یونهای اصلی ..... ۵۴
- شکل ۴-۳- اندازه‌گیری سولفات نمونه‌ها با استفاده از دستگاه توربیدی متر (کدورت سنج) ..... ۵۵
- شکل ۵-۳- اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم نمونه‌ها با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (نورسنج شعله‌ای)..... ۵۵
- شکل ۶-۳- آنالیز TOC نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Analitical jena ..... ۵۶
- شکل ۷-۳- آنالیز پارمترهای هیدروکربنی با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکار ساز جرمی ..... ۵۸
- شکل ۸-۳- آماده کردن نمونه‌ها برای آنالیز فلزات سنگین ..... ۵۸
- شکل ۹-۳- آنالیز فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-OES..... ۵۹

- شکل ۴-۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری از پساب (W) و آب سطحی (SW) در مجاورت پالایشگاه گاز فجر ..... ۶۴
- شکل ۴-۲- تغییرات EC و TDS در نمونه‌های پساب (W) و آب سطحی (SW) مجاور پالایشگاه ..... ۶۵
- شکل ۴-۳- نمودار شولر نمونه‌های پساب (W) و آب سطحی (SW) در مجاورت پالایشگاه گاز فجر ..... ۶۶
- شکل ۴-۴- نمودار پایپر نمونه‌های پساب (W) و آب سطحی (SW) ..... ۶۷
- شکل ۴-۵- غلظت فلزات سنگین در پساب (W) و آب سطحی (SW) ..... ۶۸
- شکل ۴-۶- تغییرات غلظت TOC در پساب (W) و آب‌های سطحی (SW) ..... ۷۱
- شکل ۴-۷- تغییرات غلظت TPH در پساب (W) و آبهای سطحی (SW) ..... ۷۲
- شکل ۴-۸- غلظت BTEX در پساب (W) و آب سطحی (SW) ..... ۷۴
- شکل ۴-۹- مقادیر PAHs کل در نمونه‌های پساب (W) و آب سطحی (SW) مجاور پالایشگاه گاز فجر ..... ۷۵
- شکل ۴-۱۰- غلظت PAHs های دو تا شش حلقه‌ای اندازه‌گیری شده در پساب (W) و آب سطحی (SW) ..... ۷۶
- شکل ۴-۱۱- درصد فراوانی PAHs در نمونه‌های پساب پالایشگاه گاز فجر ..... ۷۸
- شکل ۴-۱۲- موقعیت نقاط نمونه‌برداری از آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۳- توزیع مقادیر هدایت الکتریکی (EC) در آبخوان ریز و تغییرات مکانی آن ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۴- توزیع مقادیر pH در آبخوان ریز (الف) و تغییرات مکانی آن در مجاورت پالایشگاه فجر (ب) ..... ۸۵
- شکل ۴-۱۵- نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده در مجاورت پالایشگاه و سایر نقاط دشت ..... ۸۷
- شکل ۴-۱۶- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده در مجاورت پالایشگاه و سایر نقاط دشت ..... ۸۸
- شکل ۴-۱۷- تغییرات مکانی غلظت سولفات نمونه‌های آب زیرزمینی کل دشت ریز ..... ۸۹
- شکل ۴-۱۸- تغییرات مکانی غلظت کلسیم نمونه‌های آب زیرزمینی کل دشت ریز ..... ۹۰
- شکل ۴-۱۹- تغییرات غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان ریز ..... ۹۱
- شکل ۴-۲۰- پراکندگی مکانی فلزات آهن (الف)، روی (ب) و نیکل (ج) در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه ..... ۹۳
- شکل ۴-۲۱- تغییرات مکانی TOC در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر ..... ۹۶
- شکل ۴-۲۲- مقادیر هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) در نمونه‌های آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر ..... ۹۷
- شکل ۴-۲۳- تغییرات مکانی TPH در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر ..... ۹۸
- شکل ۴-۲۴- تغییرات مکانی غلظت بنزن در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۲۵- تغییرات مکانی غلظت تولوئن در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر ..... ۱۰۱

- شکل ۴-۲۶- مقادیر هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای کل (PAHs) در آب‌های زیرزمینی مجاور پالایشگاه ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۷- تغییرات غلظت هیدروکربن آروماتیک دو حلقه‌ای نفتالن در نمونه‌های آب زیرزمینی ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۸- تغییرات غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک سه حلقه‌ای در آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۹- روند تغییرات غلظت آروماتیک‌های چهار حلقه‌ای در آب زیرزمینی ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۳۰- ارتباط بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر ..... ۱۰۶

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- آمار بارندگی ۷ ساله ایستگاه ریز (مقادیر بر حسب میلی‌متر می‌باشد)..... ۹
- جدول ۲-۱- میانگین تبخیر، بارندگی و درجه حرارت ماهیانه برای دوره ۷ ساله در منطقه مورد مطالعه..... ۱۰
- جدول ۳-۱- طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن ..... ۱۱
- جدول ۴-۱- خلاصه‌ی مشخصات فنی چاه‌های اکتشافی دشت ریز ( شرکت آب منطقه‌ای بوشهر) ..... ۲۲
- جدول ۵-۱- مقادیر تراز آب چاه‌های مشاهده‌ای دشت ریز در اسفند ۹۵..... ۲۳
- جدول ۱-۲- خصوصیات ترکیبات BTEX ..... ۳۳
- جدول ۲-۲- نام و ساختار شیمیایی ۱۶ ترکیب PAHs..... ۳۷
- جدول ۱-۳- مشخصات نقاط نمونه‌برداری از منابع آبی مجاور پالایشگاه گاز فجر جم ..... ۴۹
- جدول ۱-۴- آنالیز هیدروشمیایی نمونه‌های پساب و آب سطحی مجاور پالایشگاه گاز فجر ..... ۶۳
- جدول ۲-۴- نتایج کامل آنالیز آلی و نفتی در نمونه‌های پساب و آب سطحی ..... ۷۰
- جدول ۳-۴- استانداردهای تعیین شده برای TPH توسط سازمان حفاظت محیط زیست چین ..... ۷۳
- جدول ۴-۴- نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از آبخوان ریز ..... ۸۰
- جدول ۵-۴- نتایج آنالیز هیدروشمیایی مربوط به چاه‌های دشت ریز (خرداد ۹۵)..... ۸۱
- جدول ۶-۴- نتایج آنالیز آلی و هیدروکربنی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه ..... ۹۵
- جدول ۷-۴- طبقه‌بندی میزان آلودگی بر اساس مقادیر TPH مطابق استاندارد حفاظت محیط زیست چین ..... ۹۹
- جدول ۸-۴- دامنه تغییرات BTEX در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر ..... ۱۰۰





# فصل اول

## مقدمه و کلیات

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

آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط مواد نفتی در دهه‌های اخیر به یک مشکل جدی تبدیل شده است. یکی از عوامل آلودگی آب‌های زیرزمینی آلاینده‌های هیدروکربوری پالایشگاه‌های نفت و گاز بوده که عمدتاً به دلیل نشت از مخازن ذخیره‌سازی سطحی و زیرزمینی و انبارهای نگهداری فرآورده‌های نفتی، نشت از لوله‌ها و تأسیسات زیرزمینی انتقال این مواد و همچنین نشت از استخرهای تبخیر پساب‌های این پالایشگاه‌ها به داخل زمین اتفاق می‌افتد. ترکیبات نفتی پالایشگاه‌های نفت و گاز که از آن‌ها به عنوان آلاینده‌های شاخص و خطرناک یاد می‌شود، شامل هیدروکربن‌های آروماتیک تک حلقوی مثل گروه BTEX و آروماتیک‌های چند حلقه‌ای (PAHs) می‌باشد. ترکیبات BTEX به دلیل حلالیت بالایی که در آب دارند، وجود آن‌ها به مقادیر بسیار کم (میکروگرم) نیز می‌تواند منابع آبی را غیرقابل استفاده و سلامت افراد را به مخاطره بیندازد. سرطان‌زایی بنزن به اثبات رسیده و سایر ترکیبات BTEX روی دستگاه عصبی، قلب و عروق اثرات نامطلوبی بر جای می‌گذارد. هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای عمدتاً از گروه ترکیبات آب‌گریز هستند و از ۲ تا ۷ حلقه تشکیل یافته‌اند. این ترکیبات حلالیت کمتری در آب دارند و بیشتر جذب ترکیبات رس و کلوئیدی خاک می‌شوند و توسط آب‌های زیرزمینی حرکت زیادی نمی‌کنند. از میان آن‌ها ۱۶ ترکیب PAHs که از ۲ تا ۵ حلقه تشکیل شده‌اند، به دلیل عدم تجزیه بیولوژیکی سریع توسط میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان شاخص آلودگی ترکیبات PAHs به حساب می‌آیند. اثرات سمیت اکولوژیکی وسیعی از ترکیبات PAHs بر روی موجودات زنده، میکروارگانیسم‌ها، گیاهان، موجودات آبی، دوزیستان، خزندگان، پرندگان و پستانداران گزارش شده است. در انسان اثرات سمیت آن‌ها بر روی رشد، متابولیسم و تشکیل تومور یعنی سمیت حاد، سمیت مزمن، سمیت سیتوپلاسمی، سمیت ژنی و خاصیت سرطان‌زایی نیز به اثبات رسیده است.

پالایشگاه گاز فجر بزرگترین پالایشگاه گازی ایران است که در محدوده آبخوان ریز در استان بوشهر قرار گرفته است. این پالایشگاه گذشته از تاثیرات کمی که به دلیل نیاز به آب بالا (حداکثر ۱۲۰۰۰ متر مکعب

در روز) بر آبخوان دشت ریز داشته است، دارای استخرهای (پوندهای) تبخیر پساب، ۳ مخزن بسیار بزرگ نگهداری فرآوردهای نفتی و لوله‌های زیرزمینی انتقال مواد نفتی می باشد که در صورت نشت از آنها احتمال آلوده شدن منابع آب سطحی به این آلاینده‌ها وجود دارد (شکل ۱-۱ و ۱-۲). با توجه به حجم زیاد پساب‌های پالایشگاه گاز فجر و احتمال نشت از پوندهای تبخیر پساب، مخازن نگهداری فرآوردهای نفتی و لوله‌های زیرزمینی انتقال فرآوردهای نفتی و همچنین با توجه به بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده پالایشگاه گاز فجر، احتمال ورود آلاینده‌های نفتی (PAHs و BTEX) از منابع آب سطحی به آبخوان ریز وجود دارد (شکل ۱-۳ و ۱-۴) با توجه به اینکه تاکنون در این زمینه تحقیقی در منطقه مورد نظر انجام نشده است، بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی و اندازه‌گیری ترکیبات آروماتیک در آب زیرزمینی دشت ریز ناشی از فعالیت پالایشگاه گاز فجر جم می‌باشد. ترکیبات آروماتیک حلقوی شامل BTEX و PAHs در این تحقیق مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی تنها منبع آبی قابل دسترس برای مصارف مختلف مثل کشاورزی، صنعت و آشامیدن در منطقه مورد مطالعه می‌باشد، حفظ این آبخوان از آلاینده‌های نفتی که احتمال ورود آن‌ها به آبخوان زیاد است، بسیار مهم و ضروری است.

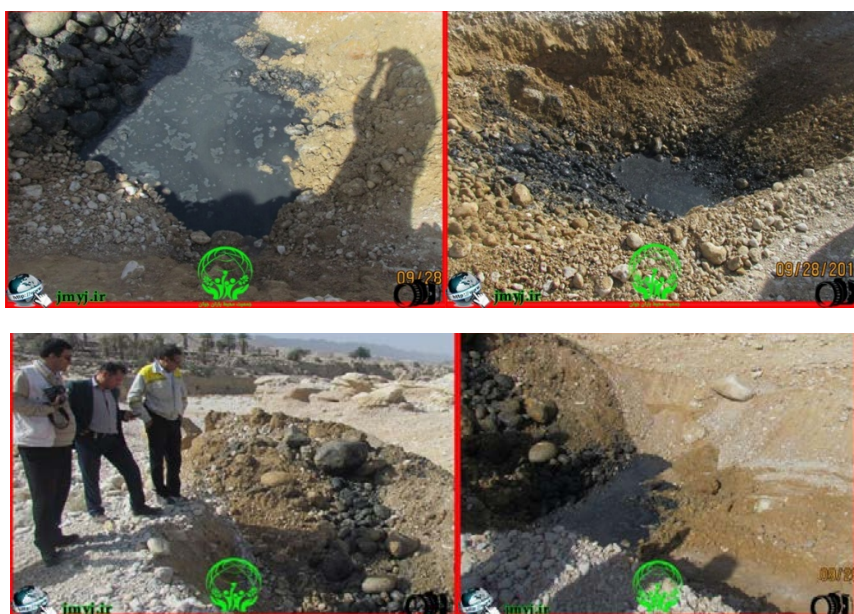


شکل ۱-۱- رها سازی پساب در منابع آب سطحی مجاور پالایشگاه فجر ( ۸ اردیبهشت ۹۴)





شکل ۲-۱- رها سازی پساب در منابع آب سطحی مجاور پالایشگاه گاز فجر ( ۱۵ خرداد ۹۵)



شکل ۳-۱- پیدایش آلاینده‌های نفتی در زیر بستر رودخانه مجاور پالایشگاه فجر جم بعد از حفاری (دی ماه ۹۵)





شکل ۱-۴- پیدایش آلاینده‌های نفتی در رسوبات بستر رودخانه در فاصله ۱۵ کیلومتری پایین دست پالایشگاه گاز فجر جم (بهمن ۹۵)

## ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و مشخصات منطقه مورد مطالعه

شهرستان جم در جنوب استان بوشهر واقع شده و شامل دو بخش مرکزی و ریز می‌باشد. محدوده مطالعاتی ریز بین طول جغرافیایی  $00^{\circ} 52'$  تا  $18^{\circ} 52'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $49^{\circ} 27'$  تا  $07^{\circ} 28'$  شمالی قرار گرفته و از نظر وسعت ۵۱۴ کیلومتر مربع از استان بوشهر را در بر می‌گیرد. آبخوان دشت ریز به صورت کشیده با عرض کم به مساحت حدود ۱۱۹/۴ کیلومتر مربع در میان ارتفاعات عمدتاً آهکی قرار گرفته است (شکل ۱-۵). حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه به ترتیب ۱۴۰۰ و ۳۰۰ و متوسط ارتفاع محدوده ۶۷۱/۶ متر است. پالایشگاه گاز فجر جم در آبخوان ریز و در مجاورت روستای شهر خاص واقع شده است (شکل ۱-۶). حوضه آبریز محدوده مطالعاتی ریز از نظر تقسیمات کشوری جزء شهرستان جم محسوب می‌شود که از شمال به محدوده مطالعاتی چاهگاه و باغان، از جنوب و جنوب غرب به محدوده

مطالعاتی دیر و کنگان، از شرق به محدوده مطالعاتی دارالمیزان، از شمال شرق به محدوده مطالعاتی دژگاه و از جنوب شرق به محدوده مطالعاتی جم محدود می‌شود. شکل (۷-۱) راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. جاده آسفalte جم - ریز با روند جنوب شرقی - شمال غربی امکان دسترسی به کل بخش‌های منطقه مورد مطالعه را فراهم می‌نماید.

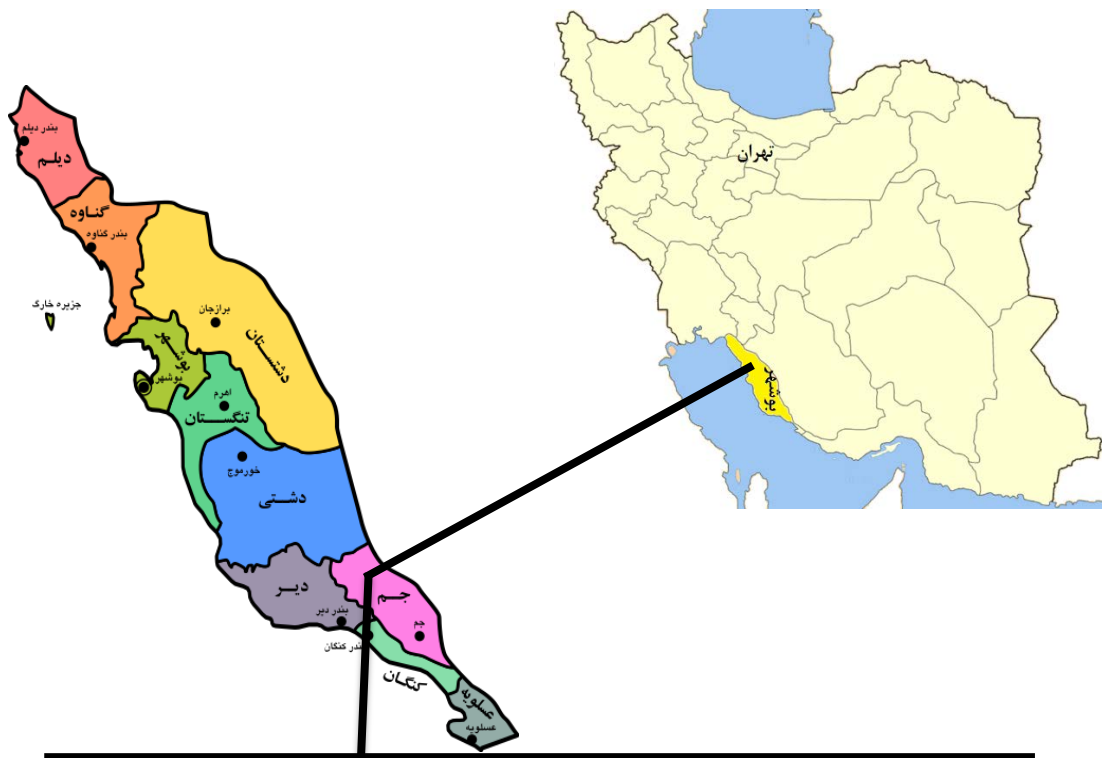


شکل ۱-۵- تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه و آبخوان دشت ریز



شکل ۱-۶- نمایی از پالایشگاه گاز فجر جم واقع در بالا دست آبخوان دشت ریز





شکل ۱-۷- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن



### ۱-۳- ویژگی‌های پالایشگاه گاز فجر جم

شرکت پالایش گاز فجر جم نامی است که پس از تغییر ساختار وزارت نفت در سال ۱۳۷۸ برای پالایشگاه گاز ولی عصر کنگان انتخاب شد. این پالایشگاه در ۲۹۰ کیلومتری جنوب شرق بندر بوشهر و در مجاورت روستای شهر خاص در شهرستان جم واقع شده است. این پالایشگاه از سال ۱۳۶۸ به بهره‌برداری رسیده است. مأموریت این شرکت تصفیه گاز میادین نار و کنگان واقع در منطقه جم و ریز (که در سال ۱۳۸۴ به شهرستان ارتقا یافت) اعلام شده است. طراحی اولیه این پالایشگاه برای تصفیه روزانه ۷۹ میلیون متر مکعب بوده است. طرح و اجرای عملیات پالایشگاه در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول تولید و تصفیه حدود ۳۴/۸ میلیون مترمکعب گاز در روز از میدان گازی نار از طریق ۱۸ حلقه چاه صورت گرفت. در مرحله دوم افزایش ظرفیت پالایشگاه تا مرز ۷۹ میلیون مترمکعب در روز از میدان گازی کنگان با حفر ۲۹ حلقه چاه صورت گرفت. در سال ۱۳۷۵ و با توسعه گاز رسانی به شهرهای کشور و افزایش تعداد نیروگاه‌ها و مجتمع‌های پتروشیمی نیاز روز افزون کشور به گاز افزایش یافت که باعث ایجاد پروژه افزایش ظرفیت پالایشگاه گردید. با اعمال تغییرات در سیستم‌های موجود در سال ۱۳۷۸ ظرفیت پالایشگاه به حدود ۱۱۰ میلیون مترمکعب در روز (این میزان معادل ۶۰ درصد کل گاز تولیدی کشور در آن تاریخ است) و سپس با راه‌اندازی طرح انتقال خط گاز عسلویه به پالایشگاه در سال ۱۳۸۹ تولید روزانه به ۱۲۵ میلیون مترمکعب در روز رسید. به موازات تولید گاز خشک حدود ۸۰۰۰ متر مکعب در روز مایعات گازی تثبیت شده از دو مرحله عملیاتی تولید می‌شود. این مایعات به صورت نفت سبک به تأسیسات بندر طاهری واقع در سواحل خلیج فارس برای صادرات منتقل می‌شوند. همچنین در هنگام عملیات تثبیت مقداری پروپان (LPG) نیز تولید می‌شود که در سیکل تبرید استفاده می‌شود و مقادیر مازاد آن به فروش می‌رسد (یوسفی، ۱۳۸۵).

#### ۴-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

آب و هوای یک منطقه نقش بسزایی در کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی دارد. لذا تعیین نوع آب و هوای منطقه مورد مطالعه برای مشخص کردن نحوه تأثیر آن بر کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی امری ضروری است. بدین منظور برای بررسی وضعیت اقلیمی منطقه از آمار بارندگی ۷ ساله (۹۴-۱۳۸۸) در ایستگاه ریز استفاده شده است (جدول ۱-۱). همچنین میانگین تبخیر و درجه حرارت ماهیانه برای دوره ۵ ساله (۹۲-۱۳۸۸) در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

جدول ۱-۱- آمار بارندگی ۷ ساله ایستگاه ریز (مقادیر بر حسب میلی‌متر)

| سال      | ۸۸    | ۸۹    | ۹۰    | ۹۱    | ۹۲    | ۹۳    | ۹۴   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| فروردین  | ۱۶۲/۵ | ۹     | ۹/۵   | ۱۸/۵  | ۳۱/۵  | ۹     | ۲۵/۵ |
| اردیبهشت | ۰     | ۲     | ۰     | ۰     | ۵۰/۵  | ۰     | ۰    |
| خرداد    | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰    |
| تیر      | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰    |
| مرداد    | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰    |
| شهریور   | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۱۱/۵ |
| مهر      | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۲    |
| آبان     | ۱۳    | ۳۹    | ۰     | ۵     | ۲۳/۶  | ۱۲۰/۵ | ۱۷/۵ |
| آذر      | ۴۹    | ۲۰۷   | ۰     | ۸۷/۵  | ۸۳    | ۱     | ۱۳۱  |
| دی       | ۱۱    | ۳۰    | ۹۱    | ۴     | ۸۴    | ۲۸۴   | ۱۴/۵ |
| بهمن     | ۲۲/۵  | ۸/۴   | ۱۷۹/۵ | ۲۵/۱  | ۷۰    | ۲۰    | ۳    |
| اسفند    | ۰     | ۱۴/۴  | ۷     | ۱۷    | ۲/۵   | ۶     | ۵۰   |
| سالانه   | ۲۵۸   | ۳۰۹/۸ | ۲۸۷   | ۱۵۷/۱ | ۳۴۵/۱ | ۴۴۰/۵ | ۲۵۵  |

جدول ۱-۲- میانگین تبخیر، بارندگی و درجه حرارت ماهیانه برای دوره ۷ ساله (۹۴-۱۳۸۸) در منطقه مورد مطالعه

| زمان (ماه)    | بارندگی<br>(میلی متر) | تبخیر(میلی متر) | دما (درجه سانتی گراد) |               |         |
|---------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|---------------|---------|
|               |                       |                 | میانگین حداکثر        | میانگین حداقل | میانگین |
| فروردین       | ۳۷/۹                  | ۲۶۰/۱۶          | ۳۱/۲۸                 | ۱۵/۲          | ۲۳/۲۲   |
| اردیبهشت      | ۷/۵                   | ۳۵۷/۴۴          | ۳۷/۴۴                 | ۲۱/۰۲         | ۲۹/۲۴   |
| خرداد         | ۰                     | ۵۱۳/۵۶          | ۴۳/۴                  | ۲۵/۱۲         | ۳۴/۳    |
| تیر           | ۰                     | ۴۹۲/۳۸          | ۴۴/۳۴                 | ۲۷/۱۲         | ۳۵/۷۲   |
| مرداد         | ۰                     | ۴۳۲             | ۴۴/۳                  | ۲۷/۳۲         | ۳۵/۸    |
| شهریور        | ۱/۶                   | ۳۶۱/۶۲          | ۴۲/۳۲                 | ۲۴/۵۲         | ۳۳/۴    |
| مهر           | ۰/۲                   | ۲۷۸/۵۶          | ۳۷/۸۲                 | ۱۹/۸۸         | ۲۸/۸۴   |
| آبان          | ۳/۲                   | ۱۵۰/۵۶          | ۳۱/۰۶                 | ۱۴/۴۶         | ۲۲/۷۶   |
| آذر           | ۷۹/۷                  | ۸۶/۷۸           | ۲۳/۹۴                 | ۸/۳۲          | ۱۶/۱۴   |
| دی            | ۷۴                    | ۸۸/۷            | ۲۱/۱۴                 | ۶/۲۸          | ۱۳/۷۲   |
| بهمن          | ۴۶/۹                  | ۹۳/۰۶           | ۲۱/۴۸                 | ۶/۷۴          | ۱۴/۱    |
| اسفند         | ۱۳/۸                  | ۱۵۵/۲۶          | ۲۶/۳۸                 | ۱۰/۰۴         | ۱۸/۲۲   |
| متوسط سالیانه | ۲۹۲/۷                 | ۳۲۴۰/۸۸         | ۲۵/۴                  |               |         |

جهت بررسی وضعیت اقلیمی مناطق مختلف با توجه به نوع شرایط آب و هوایی از ضرایب و نمودارهای اقلیمی متفاوتی استفاده می‌شود. در این مطالعه از ضریب اقلیمی دمارتن و نمودار آمبروترومیک استفاده شده است که نتایج آن در زیر ارائه شده است.

#### ۱-۴-۱- ضریب اقلیمی دمارتن

دمارتن با استفاده از متوسط بارندگی و دمای سالانه، ضریب اقلیمی (I) را بر اساس رابطه (۱-۱) ارائه نموده است. این ضریب اقلیمی، نوع آب و هوای منطقه را مشخص می‌کند (علیزاده، ۱۳۸۹).

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

در این رابطه P متوسط بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر و T متوسط دمای سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد است. بر اساس فرمول ارائه شده مناطقی که دارای مقدار بارش سالیانه برابر، ولی دمای هوای سالیانه متفاوتی هستند با توجه به مقدار اختلاف دما از اقلیم متفاوتی برخوردار می‌باشند. جدول (۱-۱)

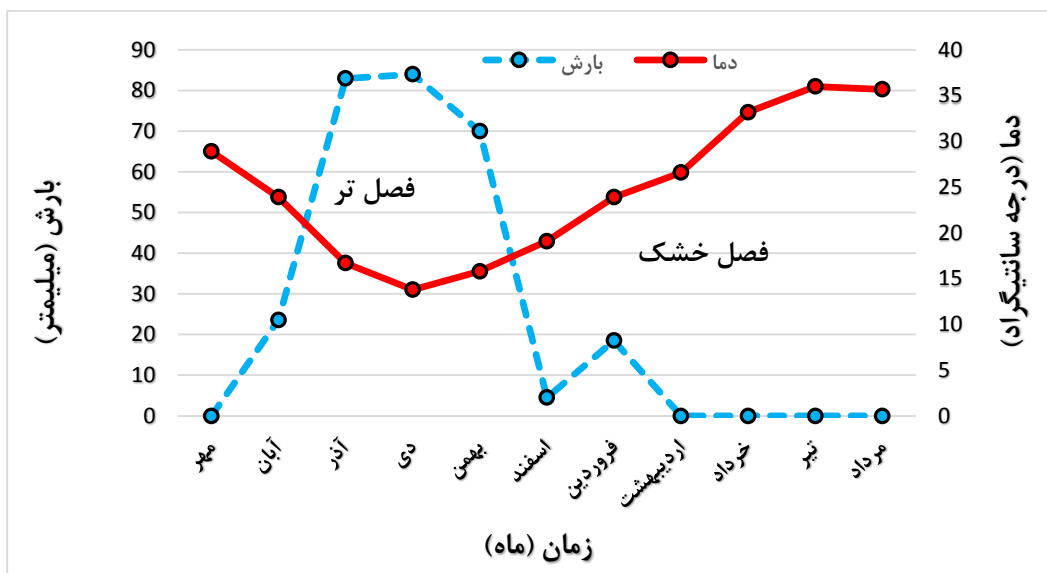
۳) انواع آب و هوای طبقه‌بندی شده طبق قانون دمارتن را نشان می‌دهد. ضریب اقلیمی دمارتن در محدوده مورد مطالعه ۸/۲۷ برآورد شده است و طبق جدول (۱-۳) اقلیم منطقه خشک می‌باشد

جدول ۱-۳- طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن

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

#### ۱-۴-۲- نمودار آمبروترمیک

نمودار آمبروترمیک منطقه بر اساس تغییرات ماهانه دما نسبت به بارش ترسیم و در شکل (۱-۸) ارائه شده است. بر اساس این نمودار از آذر تا بهمن ماه بارش بر دما فزونی دارد و دوره‌ی تر محسوب شده و سایر ماه‌های سال دوره خشک محسوب می‌شوند



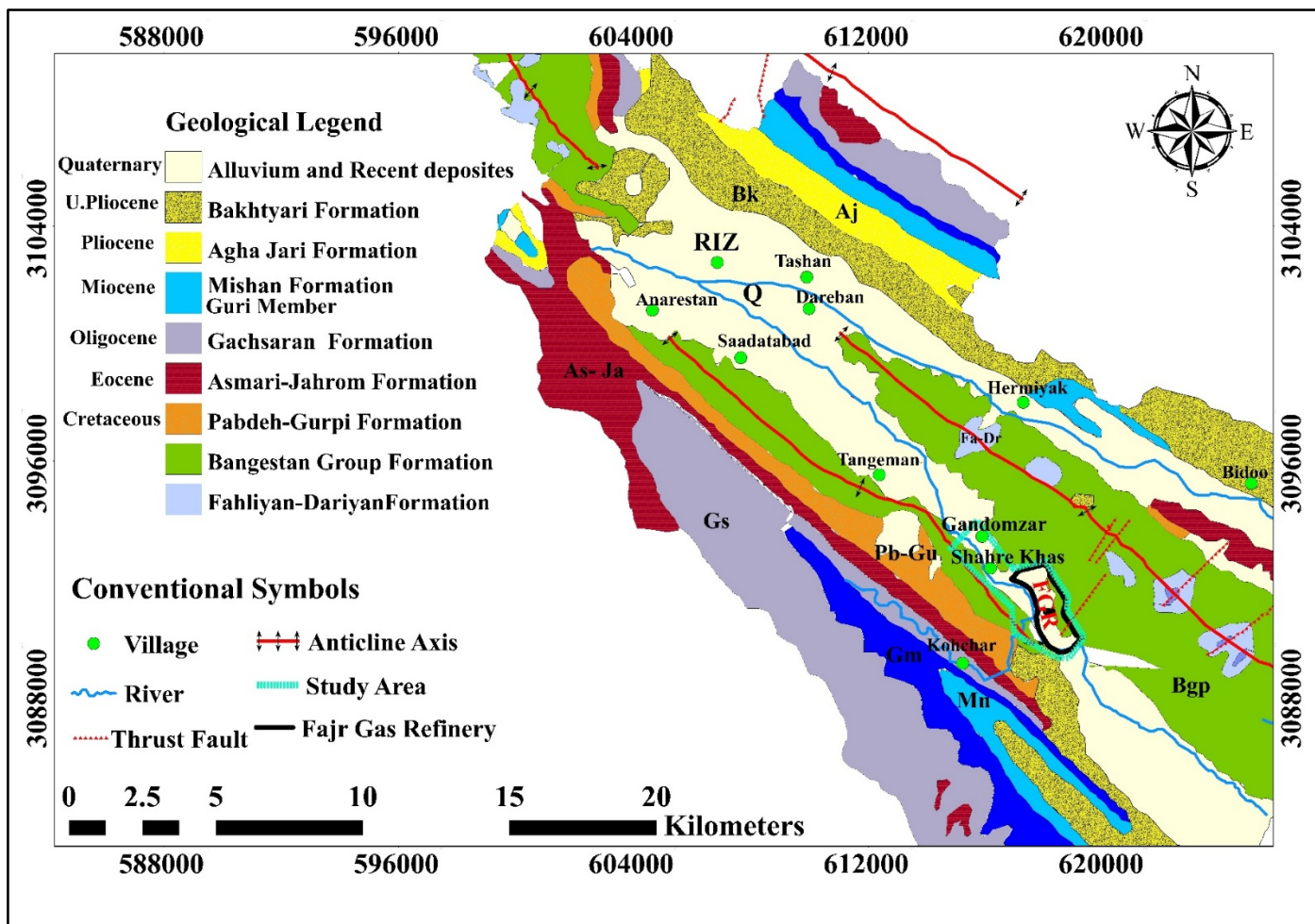
شکل ۱-۸- نمودار آمبروترمیک منطقه مورد مطالعه

## ۱-۵- زمین‌شناسی منطقه

زمین‌شناسی یک منطقه تأثیر بسزایی بر محیط‌زیست و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی آن منطقه دارد. لذا با شناخت سازندهای اصلی و تشکیل دهنده هر منطقه، مطالعات دقیق‌تر و بهتری نسبت به آن انجام خواهد شد. محدوده مطالعاتی ریز جزئی از زاگرس چین خورده می‌باشد. روند ساختاری زاگرس چین خورده عموماً شمال غرب - جنوب شرق است و به موازات این راستا شکستگی‌های اصلی، طاق‌دیس و ناودیس‌های موازی ایجاد شده است. از نظر لیتولوژی در زاگرس رسوبات پالئوزوئیک تا ترشیر به صورت هم شیب روی هم قرار گرفته‌اند. در انتهای دوران اول منطقه زاگرس توسط رسوبات قاره‌ای از نوع تبخیری پوشیده شده است. انباشته شدن رسوبات آهکی مارنی تبخیری و آواری در دوران سوم نیز در حوضه زاگرس ادامه داشته تا اینکه در طی آخرین فاز کوهزایی (فاز آلیپی) حوضه زاگرس دچار چین‌خوردگی شده و سر از آب بیرون آورده است. در دوره‌های پلیوسن و پلیوستوسن یک محیط دریاچه‌ای - رودخانه‌ای بر زاگرس حاکم شد که طی آن رسوبات آواری تخریبی سازندهای آغاچاری و بختیاری تشکیل شده‌اند (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## ۱-۵-۱- چین‌شناسی منطقه

در محدوده مطالعاتی ریز سن سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه، از کرتاسه تا کواترنر متغیر است و از قدیم به جدید شامل سازندهای گروه خامی (Km)، سازندهای گروه بنگستان (Bgp)، سازند پابده - گورپی (Pb-Gu)، سازند آسماری - جهرم (As-Ja)، سازند گچساران (Gs)، ممبر آهکی گورپی (Grm)، سازند میشان (Mn)، سازند آغاچاری (Aj)، سازند بختیاری (Bk) و رسوبات عهد حاضر (Q) است (شکل ۱-۹).



شکل ۹-۱- نقشه زمین شناسی محدوده ریز و منطقه مورد مطالعه

## الف - سازندهای گروه خامی

شامل سازندهای سورمه، هیث، فهلیان، گدوان و داریان است. گروهی از آهک‌های نازک لایه که بسیار برجسته و تشکیل دیواره‌ها و صخره‌ها را می‌دهند، در محدوده ریز از این گروه فقط سازندهای سورمه، فهلیان و داریان رخمون دارند (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## - سازند کربناته سورمه

در منطقه مطالعاتی این سازند درهسته طاقدیس نار رخمون یافته است. عمدتاً از آهک و دولومیت تشکیل شده که آثار فرسایشی در آن به صورت دره‌های کارستی، چشمه‌های کارستی و غار می‌باشد. این ساختار حاصل تیپ فرسایش انحلالی است. به دلیل مرتفع بودن این سازند رخساره‌های کارستی آن قابل شناسایی نیست (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## - سازند آهکی فهلیان - داریان

لیتولوژی سازند فهلیان شامل آهک توده‌ای به رنگ قهوه‌ای تا خاکستری بوده و در رخمون‌های برجسته دیده می‌شود که نسبت به سازند سورمه از محتوای رس بیشتری برخوردار است. در محدوده ریز سازند فهلیان به همراه سازند داریان به صورت یک واحد تفکیک نشده در هسته طاقدیس نار در دره چاه‌گاه، دره چاله، دره گرموئید، دره چول، چنگو و دره دریو رخمون دارد. فرسایش انحلالی باعث ایجاد رخساره‌های کارستی شامل دره‌های کارستی، دولین، غار و چشمه‌های کارستی شده است. این سازند در صورتی که دارای درز و شکاف فراوان باشد و پدیده کارست در آن توسعه یافته باشد، می‌تواند به صورت سفره‌های با پتانسیل بالا عمل نماید. با توجه به اینکه این سازند در تماس مستقیم با سازندهای گروه بنگستان قرار گرفته است، احتمالاً این امر باعث تخلیه آب آهک‌های فهلیان - داریان به درون سازندهای گروه بنگستان می‌شود (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).



## ب - سازندهای گروه بنگستان

این واحد سنگ‌شناسی شامل سازندهای شیلی کژدمی، آهکی سروک، سازند شیلی سورگاه و سازند آهکی ایلام است. در محدوده مطالعاتی از اعضای این گروه فقط سازند کژدمی و سروک رخنمون دارند. سازند کژدمی شامل شیل‌های خاکستری تیره و گاهی سیاه رنگ و بتومین‌دار و سن آن آلبین است. سازند آهکی سروک شامل آهک خاکستری تیره و توده‌ای و سن آن سنومانین است. سازندهای آهکی این گروه در صورتی که شکستگی و پدیده توسعه کارست در آنها ایجاد شده باشد، می‌تواند به عنوان آبخوان مناسب عمل کند. این سازندها در تماس مستقیم با دشت قرار دارند و آب ذخیره شده در آنها به طور مستقیم در دشت تخلیه می‌شود. سازندهای گروه بنگستان در طاق‌دیس‌های نار و زیره و طاق‌دیس موجود در غرب حوضه ریز با روند شمال غربی - جنوب شرقی دارای رخنمون می‌باشد (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## ج - سازند شیلی پابده - گورپی

لیتولوژی سازند شامل مارن و شیل خاکستری مایل به آبی و به صورت فرعی شامل لایه‌های نازک از آهک رسی است. در محدوده ریز سازند پابده به همراه گورپی به صورت یک واحد تفکیک نشده در دامنه طاق‌دیس نار در شرق و ادامه طاق‌دیس زیره در غرب رخنمون دارد. در جایی که این سازند در زیر سازند آسماری - جهرم و آبرفت واقع شده به عنوان سنگ کف باعث ذخیره آب شده و از خارج شدن آب این سازندها جلوگیری می‌کند. رخنمون این سازند در یال غربی طاق‌دیس موجود در بخش غربی و جنوب غربی منطقه مطالعاتی در کوه تپه لحافی و در یال شرقی طاق‌دیس نار و زیره در کوه نادری قابل مشاهده است. این سازند در مقابل فرسایش نامقاوم بوده و توپوگرافی ملایمی ایجاد می‌کند. فرسایش آبی در این سازند باعث ایجاد رخساره‌های فرسایشی سطحی شیاری و آبراهه‌ای می‌گردد (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## د - سازند آسماری - جهرم

این سازند به صورت یک واحد تفکیک نشده شامل سازند آسماری با لیتولوژی آهک مقاوم کرم رنگ و طبقات شیلی و سازند جهرم با لیتولوژی دولومیت قهوه‌ای تا دولومیت نازک و آهک دولومیتی می‌باشد. در منطقه مطالعاتی ریز این سازند تحت تأثیر فشارهای تکتونیکی دچار شکستگی فراوان گردیده و در صورتی که میزان بارش منطقه و عوامل دیگر شامل توپوگرافی، پوشش خاک و پوشش گیاهی شرایط مناسب را جهت نفوذ آب به درون این سازند فراهم کند، این سازند می‌تواند به عنوان یک مخزن آب زیرزمینی با پتانسیل بالا عمل کند. بیشترین گسترش این سازند در منطقه ریز مربوط به بخش غرب منطقه می‌باشد. این سازند در منطقه در تماس با سازندهای نفوذناپذیر گچساران و پابده قرار گرفته است که این سازندها از تخلیه آب آسماری - جهرم جلوگیری می‌کنند. این سازند در انتهای شرقی دشت ریز در تماس مستقیم با رسوبات آبرفتی دشت قرار دارد و آب ذخیره شده در این سازند به صورت مستقیم وارد رسوبات آبرفتی دشت می‌شود. این سازند در یال شمالی طاق‌دیس نار و طاق‌دیس موجود در بخش غربی حوضه، یال جنوبی تاقدیس پازان و یال شرقی تاقدیس زیره رخنمون دارد (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## ه - سازندهای گروه فارس

این گروه شامل گچساران (فارس زیرین)، میشان (فارس میانی) و آغاچاری (فارس فوقانی) است.

## - سازند تبخیری گچساران

این سازند از رسوبات تبخیری همراه با لایه‌های ژئوپس با میان لایه‌های قرمز رنگ و آهک تشکیل شده است و سن آن میوسن زیرین است. سازند گچساران از نظر آب زیرزمینی مسئله‌ساز بوده و عامل اصلی شوری و تلخی آب‌های زیرزمینی است. این سازند در منطقه ریز در یال جنوبی طاق‌دیس پازان و در جنوب محدوده مطالعاتی ریز با روند شمال غرب-جنوب شرق رخنمون دارد (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## – سازند مارنی میشان

سن این سازند میوسن زیرین تا میانی است. قسمت فوقانی این سازند عموماً نرم بوده و شامل نوارهایی از آهک شیلی مقاوم است. قسمت زیرین این سازند از سنگ آهک شیلی به همراه مارن خاکستری تشکیل شده است. با توجه به لیتولوژی کلی به نظر می‌رسد نفوذ آب در این سازند بسیار کم باشد. رخنمون این سازند در منطقه ریز در یال جنوبی طاق‌دیس پازنان دیده می‌شود (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## – سازند آغا‌جاری

این سازند شامل ماسه‌سنگ‌های آهکی خاکستری تا قهوه‌ای با لایه‌بندی منظم می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه در نواحی پازنان ماسه‌سنگ‌ها ریزدانه‌تر بوده و دارای سیمان زیادی می‌باشند، که تراوایی این سازند را کم تا بسیار کم نموده است. حفاری‌های عمیق و نیمه عمیق در این سازند برای شناسایی منابع آب زیرزمینی تاکنون نتیجه نداده است. این سازند در یال جنوبی طاق‌دیس پازنان در کوه سرخ و همچنین شمال غرب منطقه رخنمون دارد (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## و – سازند کنگلومرای بختیاری

جنس این سازند از کنگلومرا با قلوه‌های آهکی و چرت و لایه متناوب ماسه‌سنگ می‌باشد. این سازند به دلیل دارا بودن تخلخل کافی از نظر آب زیرزمینی دارای اهمیت فراوان است. در منطقه مطالعاتی ریز این سازند در یال جنوبی طاق‌دیس پازنان در کوه‌های پیدنه، سرخان، کبوتری، و در جنوب شرق منطقه در کوه پاچل رخنمون دارد (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## ز – رسوبات عهد حاضر

رسوبات عهد حاضر به کلیه رسوبات دانه‌ای گفته می‌شود که از فرسایش سازندهای زاگرس ایجاد شده‌اند و به دلیل جوان بودن تحت تأثیر هیچ فاز تکتونیکی و کوهزایی قرار نگرفته‌اند. با توجه به مطالعات انجام

شده توسط شرکت آب منطقه‌ای بوشهر و مطالعات جدید سازمان زمین‌شناسی کشور و مقاطع عرضی تهیه شده در منطقه مورد مطالعه ریز به نظر می‌رسد که سازند پایده گورپی در زیر رسوبات دشت گسترش داشته باشد. به همین دلیل امکان نفوذ آب از کف دشت ریز ناچیز بوده و آب وارده به دشت زمان ماندگاری طولانی خواهد داشت (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

### ۱-۵-۲- ژئومورفولوژی منطقه

ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه عمدتاً تحت تأثیر عملکرد گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها می‌باشد. اغلب ارتفاعات محدوده مورد مطالعه از سازندهای سخت و مقاوم آسماری - جهرم، گروه خامی و بنگستان تشکیل شده و سازندهای پایده - گورپی، میشان و گچساران نقاط کم ارتفاع را تشکیل می‌دهند. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه سازندهای سخت و مقاوم با سازندهای نامقاوم به صورت متناوب قرار گرفته‌اند، موجب شکل‌گیری ارتفاعات و فرورفتگی به صورت متناوب شده است. در نقاطی که این حالت وجود داشته باشد مورفولوژی خشن و متغیری مشاهده می‌شود. سازندهای سخت آهکی موجود در محدوده مورد مطالعه نظیر آسماری و بنگستان عمدتاً از آهک و دولومیت تشکیل شده‌اند و در مقابل فرسایش دارای مقاوت خوبی هستند. به دلیل اینکه این سازندها در مقابل فشارهای تکتونیکی به صورت شکننده عمل می‌کنند، دارای درز و شکاف‌های بسیار می‌باشند و به صورت دره‌های عمیقی دیده می‌شوند (شکل ۱-۱۰). در این سازندها که ارتفاعات منطقه را شکل می‌دهند، دره‌ها و آبراهه‌ها اغلب باریک، عمیق و غیر متراکم و دارای شیب زیادی هستند. در سازندهای نامقاوم که اغلب دارای شرایط توپوگرافی پست هستند، دره‌ها و آبراهه‌ها متراکم و دارای بستر پهن می‌باشند و به علت قابلیت فرسایش زیاد در سازندهای نرم، حجم بار رسوبی آبراهه‌ها نسبتاً زیاد است (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).



شکل ۱-۱-۱- نمایی از دره‌های عمیق در منطقه مورد مطالعه (علوی و همکاران ۱۳۸۵)

### ۱-۵-۳- زمین‌شناسی ساختمانی

منطقه مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی ساختمانی متعلق به زون ساختاری زاگرس چین‌خورده است. این واحد ساختمانی در جنوب غرب ایران واقع شده است و دارای روند شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. منطقه مطالعاتی دارای طاق‌دیس‌های پازنان، زیره، کنگان، نار و عسلویه می‌باشد. واحدهای سنگ شناختی این ناحیه از دوران کرتاسه تا عهد حاضر را شامل می‌شوند. طاق‌دیس پازنان یکی از بزرگ‌ترین طاق‌دیس‌های مجاور دشت ریز است که در شمال آن واقع شده است. سازندهای برونزد یافته در این طاق‌دیس از قدیم به جدید شامل آسماری، گچساران، ممبر گوری، میشان، آغاچاری و بختیاری می‌باشد. طاق‌دیس زیره در شمال غرب دشت ریز واقع شده است و در شمال در تماس با طاق‌دیس پازنان قرار دارد و عمده‌ترین رخنمون این طاق‌دیس مربوط به گروه بنگستان می‌باشد. طاق‌دیس نار در بخش جنوب شرقی دشت ریز واقع شده است. بخش غربی این طاق‌دیس عمدتاً از گروه بنگستان تشکیل شده و سازندهای پابده - گورپی، آسماری، گچساران، میشان و آغاچاری فقط در بخش غربی آن برونزد یافته‌اند. روند کلی این طاق‌دیس شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. در شمال محدوده مطالعاتی ریز یک گسل باعث تغییر روند و جابجایی توالی سازندهای زمین‌شناسی در این طاق‌دیس شده است. این

حرکت دارای مکانیزم امتداد لغز با مؤلفه اریب و عمود بر محور چین خوردگی می باشد. از گسل های مهم ناحیه ای، گسل اصلی و مهمی در منطقه وجود ندارد (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## ۱-۶- هیدرولوژی منطقه

حوضه آبریز ریز با مساحت حدود ۵۱۴ کیلومتر مربع شامل سه زیر حوضه کوهچر، حرمیک و ریز می باشد. آبراهه اصلی منطقه مطالعاتی ریز از به هم پیوستن آبراهه های فرعی تنگ حنا، میان رود، دره بان علیا، دره سلیم و سایر مسیل های فرعی دیگر به وجود آمده است که این مسیل ها ضمن پیوستن به هم، روان آب حاصل از بارندگی حوضه و همچنین ورودی از حوضه های مجاور را جمع آوری و پس از تشکیل آبراهه اصلی، این آبراهه با طی نمودن مسافتی در منطقه باغان به رود مند منتهی می شود (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸). جهت جریان آن از سمت جنوب شرق به سمت شمال غرب و شبکه هیدروگرافی منطقه از نوع شاخه درختی بوده و نوع رودخانه اصلی از نوع سیلابی است. که فقط در انتهای حوضه به دلیل بالا بودن سنگ کف مقداری آب به صورت دبی پایه در سطح ظهور پیدا می کند. به علت نبود ایستگاه اندازه گیری روی این رودخانه، آمار و اطلاعات دقیقی از نظر کمی و کیفی در دست نمی باشد (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

## ۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه

### ۱-۷-۱- وضعیت فیزیکی آبخوان ریز

آبخوان دشت ریز آبخوانی کشیده با عرض کم می باشد که در میان ارتفاعات عمدتاً آهکی قرار گرفته است. طول آبخوان ریز در حدود ۲۷ کیلومتر و عرض آن متغیر بوده به طوری که بیشترین عرض آن با ۴ کیلومتر مربوط به مرکز دشت می باشد. در قسمت های ابتدایی و میانی عرض آبخوان بسیار کم بوده و در بعضی نقاط در حدود ۱ کیلومتر می باشد (شکل ۱-۱۰). منطقه ی پالایشگاه فجر تقریباً در ورودی آبخوان دشت ریز واقع شده است. در قسمت شمالی و شرقی بر روی آهک های گروه بنگستان واقع شده است. در قسمت جنوب و جنوب غربی که بیشتر تأسیسات پالایشگاه در این قسمت ها قرار دارند، شامل

رسوبات کواترنری است که به شدت ناهمگن بوده است و ضخامت آن به ۴ تا ۶ متر می‌رسد. جریان رودخانه از مسیر جنوب پالایشگاه عبور می‌کند. در زیر رسوبات کواترنری یک لایه آهکی به ضخامت بیش از ۱۰۰ متر قرار دارد و در زیر آن لایه مارنی به‌عنوان سنگ بستر واقع شده است. برای تعیین مشخصات فیزیکی آبخوان دشت ریز مانند ضخامت سفره آبدار، جنس و عمق سنگ کف مطالعات ژئوفیزیک دشت ریز در سال ۱۳۸۵ به روش ژئوالکتریک انجام گرفت که نتایج زیر به دست آمد:

تعداد ۱۰۶ سونداژ الکتریکی با طول فرستنده جریان (AB) تا حداکثر ۲۰۰۰ متر بر روی ۹ خط برداشت به نام‌های A1، A2، B1، B2، C، D، E، F، G و شماره‌های ۱ تا ۳ برداشت شده است. از بررسی کلیه سونداژهای برداشت شده در دشت ریز و با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی بر اساس گستره تغییرات مقاومت ویژه ظاهری، ۵ لایه مختلف شناسایی شد که شامل رسوبات آبرفتی خشک (Q1)، رسوبات آبرفتی آبدار (Q2)، زون بختیاری (Bk)، سنگ کف مارنی (M) و سنگ کف از نوع مارن آهکی مربوط به گروه بنگستان (Bgp) می‌باشد. کمیت مورد استفاده در این مقطع‌ها مقاومت ویژه الکتریکی حقیقی است. در این مقاطع جنس لایه‌ها با توجه به اطلاعات چاه‌های حفاری شده، زمین‌شناسی منطقه و روند سونداژهای الکتریکی تعیین شده است (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

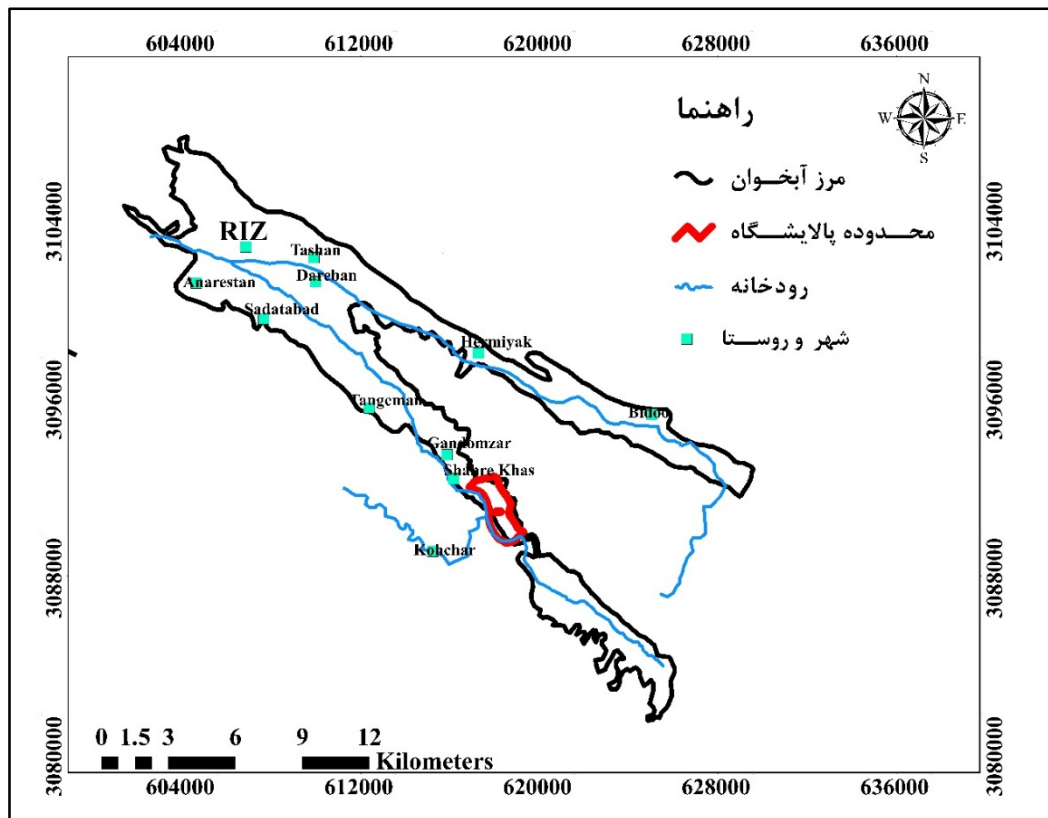
### ۱-۷-۲- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان دشت ریز

برای مطالعه و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان دشت ریز، گزارش مشخصات فنی و لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای - اکتشافی و نتایج آزمایش پمپاژ محدوده مطالعاتی ریز در آبان ۱۳۸۵ تهیه گردیده است. بر اساس این گزارش سه حلقه چاه اکتشافی در این محدوده حفاری گردیده است. چاه اول در حد فاصل روستای تنگمان و سعادت‌آباد حفاری گردیده که برای به دست آوردن ضرایب هیدرودینامیکی (S و T) با نرخ ۲۲/۵ لیتر بر ثانیه به مدت ۱۲۰ دقیقه با راندمان ۹۷/۰۶ درصد پمپاژ شده و سپس با استفاده از روش ژاکوب، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره به ترتیب ۱۱۹۷ مترمربع بر روز و ۰/۰۴۹ محاسبه شده است (جدول ۱-۴). همچنین دو چاه مشاهده‌ای دیگر یکی در مجاورت جاده حرمیک و

دیگری در محدوده شهر ریز حفاری شده است. قابلیت انتقال در این دو چاه با استفاده از روش هانتوش به ترتیب ۲۸۹ و ۳۰۹ محاسبه شده است (مظفری زاده و همکاران ۱۳۸۸).

جدول ۱-۴- خلاصه‌ی مشخصات فنی چاه‌های اکتشافی دشت ریز (شرکت آب منطقه‌ای بوشهر)

| UTM    |         | عمق حفاری<br>(متر) | مدت پمپاژ<br>(دقیقه) | نرخ پمپاژ<br>(لیتر بر ثانیه) | ضریب ذخیره | قابلیت انتقال<br>(مترمربع برروز) | ردیف |
|--------|---------|--------------------|----------------------|------------------------------|------------|----------------------------------|------|
| X      | Y       |                    |                      |                              |            |                                  |      |
| ۶۰۹۹۹۸ | ۳۰۹۸۰۰۲ | ۸۴/۵               | ۱۲۰                  | ۲۲/۵                         | ۰/۰۴۹      | ۱۱۹۷                             | ۱    |
| ۶۱۲۳۹۴ | ۳۱۰۰۴۹۸ | ۹۱/۲               | ۴۸۰                  | ۲۴                           | ۰/۰۰۱۴     | ۲۸۹                              | ۲    |
| ۶۰۶۵۹۰ | ۳۰۷۸۰۰۹ | ۹۵/۲               | ۴۸۰                  | ۲۴                           | ۰/۴۹۰۰     | ۳۰۲                              | ۳    |



شکل ۱-۱۱- محدوده آبخوان دشت ریز و موقعیت پالایشگاه گاز فجر در آن

### ۱-۷-۳- نقشه هم پتانسیل دشت ریز

به منظور بررسی نقشه‌های هم پتانسیل آب زیرزمینی، ابتدا به کمک اطلاعات به دست آمده از اندازه

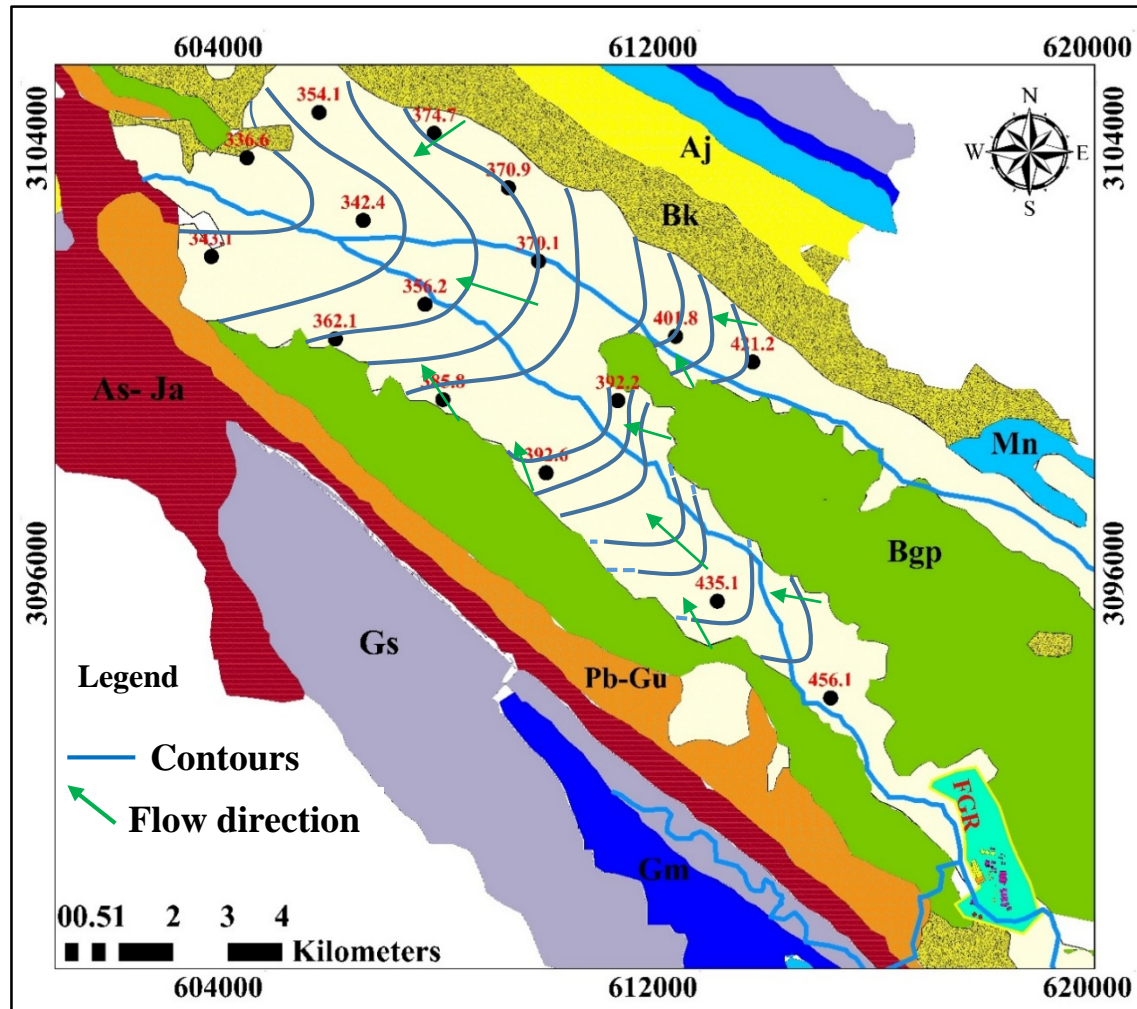


گیری سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای دشت ریز و ارقام تراز یابی چاه‌های مذکور، نقشه‌ی تراز آب زیرزمینی اسفند ۹۵ ترسیم شد (شکل ۱-۱۱). حداکثر و حداقل تراز آب زیرزمینی در این ماه به ترتیب برابر ۴۵۶/۱۳ متر و ۳۳۶/۵۷ متر می‌باشد (جدول ۵-۱).

ارتفاع سطح آب زیرزمینی از قسمت‌های جنوب شرقی دشت به طرف غرب و شمال غرب کاهش می‌یابد. گرادیان هیدرولیکی آبخوان دشت ریز از حدود ۰/۰۰۹ در قسمت‌های جنوب شرقی دشت (حوالی روستای شهر خاص و گندمزار) تا ۰/۰۰۵ در قسمت‌های شمال غربی (انتهای دشت) متغیر می‌باشد و به طور عمومی گرادیان هیدرولیکی دشت ریز یکنواخت به نظر می‌رسد. با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی دشت ریز می‌توان گفت که سازندهای بختیاری و گروه بنگستان موجود در حاشیه شمال و شرقی محدوده مطالعاتی تغذیه کننده آبخوان می‌باشند. به طور کلی جهت جریان آب زیرزمینی دشت ریز از جنوب شرق به سمت شمال غرب می‌باشد.

جدول ۵-۱- مقادیر تراز آب چاه‌های مشاهده‌ای دشت ریز در اسفند ۹۵

| نام محل       | UTMx   | UTMy    | تراز آب زیرزمینی | عمق آب زیرزمینی |
|---------------|--------|---------|------------------|-----------------|
| انارستان      | ۶۰۳۸۳۲ | ۳۱۰۱۷۸۰ | ۳۴۳              | ۱۶/۹۱           |
| پشتو          | ۶۰۴۴۸۶ | ۳۱۰۳۵۹۵ | ۳۳۶/۵۷           | ۱۴/۸            |
| ریز           | ۶۰۵۸۱۶ | ۳۱۰۴۴۳۰ | ۳۵۴/۱۳           | ۲۲/۴۴           |
| انارستان      | ۶۰۶۱۱۵ | ۳۱۰۰۲۶۳ | ۳۶۲/۰۴           | ۳۵/۸۹           |
| ریز           | ۶۰۶۶۲۷ | ۳۱۰۲۴۴۳ | ۳۴۲/۳۸           | ۱۸/۲۸           |
| انارستان      | ۶۰۷۷۶۶ | ۳۱۰۰۹۰۰ | ۳۵۶/۱۵           | ۲۸/۶۵           |
| ریز           | ۶۰۷۹۳۲ | ۳۱۰۴۰۴۵ | ۳۷۴/۶۱           | ۴۷              |
| سعادت آباد    | ۶۰۸۰۹۴ | ۳۰۹۹۱۵۰ | ۳۸۵/۷۲           | ۵۲/۳۳           |
| تشان          | ۶۰۹۳۰۱ | ۳۱۰۳۰۴۲ | ۳۷۰/۸۳           | ۳۷/۷۷           |
| تشان          | ۶۰۹۸۵۳ | ۳۱۰۱۶۹۳ | ۳۶۹/۹۹           | ۳۴/۶۱           |
| تل حاجی نوشاد | ۶۰۹۹۹۵ | ۳۰۹۷۸۰۲ | ۳۹۲/۵۲           | ۵۱/۵۱           |
| گندمزار       | ۶۱۱۳۱۲ | ۳۰۹۹۱۳۱ | ۳۹۲/۲۸           | ۴۸/۳۴           |
| حرمیک         | ۶۱۲۳۷۹ | ۳۱۰۰۳۱۲ | ۴۰۱/۷۲           | ۲۴/۶۱           |
| تنگمان        | ۶۱۳۱۴۶ | ۳۰۹۵۴۴۳ | ۴۳۴/۹۳           | -               |
| حرمیک         | ۶۱۳۷۹۷ | ۳۰۹۹۸۴۰ | ۴۲۱/۲۶           | -               |
| گندمزار       | ۶۱۵۲۳۲ | ۳۰۹۳۶۶۳ | ۴۵۶/۱۳           | ۳۰/۰۴           |



شکل ۱-۱۲- نقشه هم پتانسیل آبخوان دشت ریز (اسفند ۹۵)

# فصل دوم

## مروری بر مطالعات پیشین

امروزه با توجه به نقش بسیار مهمی که آب‌های زیرزمینی در تأمین آب شرب مورد نیاز بشر در مصارف مختلف از جمله آشامیدن دارد، حفظ و نگهداری آبخوان‌ها از آلودگی‌های مختلف یکی از چالش‌های زیست محیطی پیش روی کشورها می‌باشد (Choi and Lee 2011). هیدروکربن‌های نفتی در دهه‌های اخیر یکی از مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده آب زیرزمینی بوده که به دلیل تولید گسترده و مصرف زیاد این مواد و خطرات بالقوه‌ی زیادی که برای سلامتی انسان حتی در غلظت‌های پایین دارند، باعث ایجاد نگرانی از آلودگی این مواد شده است (Barker 2002, Mitra and Roy 2011). در این فصل، مروری بر مطالعات پیشین در زمینه آلودگی آب زیرزمینی به مواد نفتی ارائه می‌گردد. همچنین مکانیزم و گسترش آلودگی نفتی در آب زیرزمینی و عوامل مؤثر در حذف آلودگی در آب زیرزمینی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

## ۲-۲- آلودگی آب‌های زیرزمینی

کیفیت آب زیرزمینی می‌تواند تحت تأثیر دو عامل طبیعی (زمین‌شناسی، شرایط آب و هوایی، فرسایش و هوازدگی) و انسانزاد (فعالیت‌های کشاورزی، پساب‌های و فاضلاب‌های خانگی، پساب‌های صنعتی، شیرابه لندفیل و غیره) قرار بگیرد. هرکدام از این فعالیت‌ها حاوی ترکیبات و موادی هستند که در صورت ورود به آب زیرزمینی می‌تواند باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی شوند.

انتشار و رهاسازی نفت خام، مشتقات و محصولات پالایشگاهی یکی از متداول‌ترین منابع آلودگی محیط زیست به شمار می‌آید (Riccardi et al. 2008). آلاینده‌ی محیط‌های صنعتی به‌خصوص در مجاور پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است، چرا که از شروع آلودگی تا تشخیص آن مدت زمان زیادی طول می‌کشد و در صورت بروز، درمان آن به زمان و هزینه‌های زیادی نیاز دارد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۸). پالایشگاه‌های گاز ضمن تصفیه گاز، مقادیر زیادی مشتقات نفتی از جمله بنزین، نفتا، میعانات گازی به همراه حجم زیادی از پساب‌های صنعتی تولید می‌کنند که دارای رنج

گسترده‌ای از انواع هیدروکربن‌ها، مواد آلی، فلزات سنگین و غیره می‌باشند (McKetta 1993; Speight & Lee 2000; Christopher et al. 2004; Wang and Fingas 2003; Speight 2005, 2007). انواع آلودگی‌های نفتی که می‌تواند سبب آلودگی آب زیرزمینی شود شامل آلودگی‌های آلی، هیدروکربنی و همچنین آلودگی‌ها و مشتقات غیر آلی موجود در ترکیبات نفتی می‌باشد.

## ۲-۲-۱- آلودگی آلی آب زیرزمینی

مهم‌ترین منابع آلی که باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شوند شامل موارد زیر می‌باشد (Nielsen 1989).

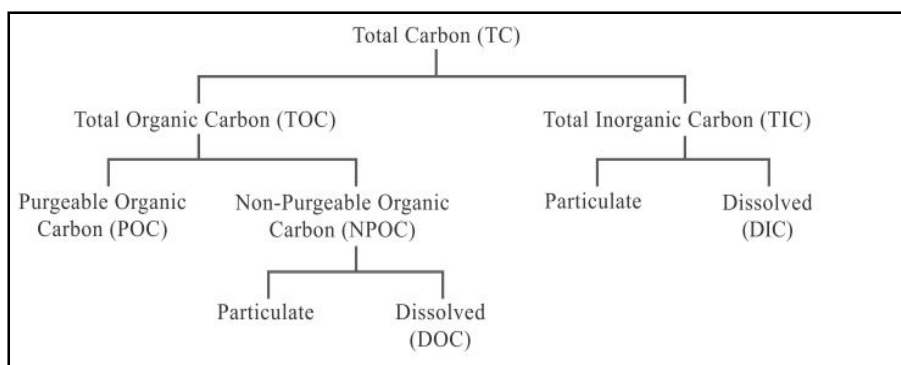
- نشت مخازن زیرسطحی
- نشت ناگهانی فراورده‌های نفتی
- نشت از تانکر و پالایشگاه‌های نفت و گاز و تجهیزات ذخیره‌سازی به صورت فله‌ای
- شکسته شدن خطوط انتقال دهنده نفت و میعانات گازی
- مخازن مربوط به مواد ضدعفونی و فاضلاب
- عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز
- چاه‌های تزریق فاضلاب به زیر سطح زمین
- زمین‌هایی که برای تخلیه لجن‌ها از آن استفاده می‌شود
- استفاده از علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها در زمین‌های کشاورزی
- محل دفن زباله‌های جامد و مواد زائد
- محل دفن لندفیل‌های خطرناک و استخرهای تخلیه پساب

کائو و پروسر (Kao and Prosser 2001) نشت ناگهانی تولیدات نفتی از مخازن ذخیره زیرزمینی را متداول‌ترین دلیل آلودگی آلی آب‌های زیرزمینی دانستند.

TOC پارامتری است که برای اندازه‌گیری میزان کل کربن آلی (Total Organic Carbon) موجود در آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون آلودگی‌های نفتی جزء مواد آلی محسوب می‌شوند، لذا اولین گام برای بررسی وجود یا عدم وجود آلودگی نفتی در آب زیرزمینی اندازه‌گیری TOC می‌باشد. وجود مواد آلی در آب همیشه مورد توجه پژوهشگران علم آب بوده است و از دیرباز به دنبال یک شاخص برای ارزیابی میزان کربن موجود در آب بوده‌اند و تلاش‌های گسترده‌ای برای یافتن یک شاخص خوب برای ارزیابی میزان کیفیت و آلودگی آب صورت گرفته است. یکی از شاخص‌هایی که می‌تواند در این زمینه اطلاعات بسیار مفیدی هم در بحث کمی و هم در مورد کیفیت آب در اختیار ما قرار دهد شاخص TOC می‌باشد. میزان TOC با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود (Visco et al. 2004):

$$\text{TOC} = \text{TC} - \text{TIC} \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

که در آن TC میزان کل کربن و TIC میزان کربن غیرآلی موجود در آب می‌باشد. به‌طور کلی منشأ TOC می‌تواند به صورت طبیعی و یا انسانزاد باشد. میزان TOC دارای رنج بسیار گسترده‌ای بوده و از کمتر از ۱ میلی‌گرم بر لیتر در آب‌های زیرزمینی تا ۲-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها و بیشتر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در شوره‌زارها متغیر می‌باشد (Visco et al. 2004). در کشورهای پیشرفته دنیا قوانین سخت‌گیرانه‌ای در زمینه تشخیص و حد مجاز TOC در آب زیرزمینی، آب سطحی، آب دریا و پساب وجود دارد (رنج TOC بین ۰/۱ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا حد مجاز TOC در آب خام ورودی به تصفیه‌خانه‌ها را برابر ۲ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده است. البته این میزان در بعضی کشورها ۴ میلی‌گرم می‌باشد (EPA 2005). در شکل (۲-۱) انواع مشتقات کربن به هنگام تجزیه در آب نمایش داده شده است (Visco et al. 2004).



شکل ۱-۲- تجزیه کربن در آب به مشتقات آن

سبا و همکاران (Saba et al. 2012) با بررسی ۴۶ نمونه آب زیرزمینی برداشت شده در محدوده یک کارخانه پتروشیمی دریافتند که میزان TOC از حداقل ۱/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر تا حداکثر ۲۹/۳۴ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین ۶/۶۷ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد. همچنین در نقاطی که میزان TOC افزایش پیدا می‌کرد، میزان PAHs نیز افزایش می‌یافت و رابطه معناداری بین میزان آلودگی آلی و آلودگی نفتی به دست آمد.

شایگان و همکاران (۱۳۸۸) میزان آلودگی آلی آب‌های زیرزمینی تهران را مورد ارزیابی قرار دادند. غلظت کل کربن آلی (TOC) در چاه‌های نمونه‌برداری در محدوده ۶/۵ تا ۱۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر (۳ تا ۴ برابر بیشتر از استانداردهای جهانی) متغیر بود، که این میزان نشان دهنده آلودگی آلی آب‌های زیرزمینی تهران می‌باشد. با توجه به هماهنگی بین داده‌های TOC، نیترات و نیز نتایج به دست آمده از دستگاه GC-MS که هیچ‌گونه آلودگی هیدروکربنی در اکثر نمونه‌ها را نشان نمی‌داد، وجود منبع فاضلابی برای آلودگی آلی آب‌های زیرزمینی تهران گزارش داده شد. در دو نمونه گرفته شده از مناطق یافت آباد و سید خندان رفتار متفاوتی مشاهده شد که نشانگر نشت بنزین از مخازن ذخیره در بالادست این دو محل بوده است.

از مطالب بالا می‌توان نتیجه گرفت که پارامتر TOC از اولین و مهم‌ترین پارامترهایی است که باید قبل از اندازه‌گیری پارامترهای هیدروکربنی محاسبه شود. در صورت پایین بودن میزان TOC می‌توان عنوان

کرد که آب‌های زیرزمینی دارای آلودگی نفتی نبوده یا مقدار آن ناچیز است. افزایش و بالا رفتن آن از حدود استاندارد، از این جهت موجب نگرانی است که ممکن است نشان دهنده ورود و نفوذ مواد آلی از دیگر منابع خارجی مثل نشتی از مخازن ذخیره سطحی و زیرزمینی انواع سوخت‌ها، نشت از استخرهای تبخیر پساب و غیره باشد که در این صورت لازم است در گام بعدی اقدام به اندازه‌گیری پارمتر هیدروکربنی نظیر TPH گردد.

## ۲-۱-۲-۱- آلودگی هیدروکربنی آب زیرزمینی

هیدروکربن‌های نفتی کل (Total Petroleum Hydrocarbon) یا TPH گروهی شامل طیف بسیار گسترده‌ای از هیدروکربن‌های نفتی هستند که در محیط آب و خاک رفتار مشابه‌ای از خود نشان می‌دهند (ATSDR 2006). مواد نفتی شامل مخلوطی از هیدروکربن‌های مختلف با وزن مولکولی‌های بسیار متفاوت می‌باشند. تعداد اتم‌های کربن در ترکیبات نفتی از ۱ کربن (متان) تا ۴۰۰ می‌تواند تغییر کند (Chapelle 2001). تخمین زده می‌شود که در حدود ۲۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰۰ ماده مختلف در یک ترکیب نفتی وجود داشته باشد (Braun and Bruham 1988, Jalali 2007). با توجه به درجه مولکولی، مواد نفتی شامل مخلوط پیچیده‌ای از هیدروکربن‌ها (۸۳ تا ۸۷٪ کربن و ۱۰ تا ۱۴٪ هیدروژن)، مواد آلی سولفور، نیتروژن و اکسیژن (۰/۰۵ تا ۶٪ سولفور، ۰/۱ تا ۲٪ نیتروژن و ۰/۰۵ تا ۱/۵٪ اکسیژن) و ترکیبات دارای اجزای فلزی به خصوص نیکل، وانادیم، آهن و مس (حداکثر تا ۰/۱٪ فلزات) می‌باشند. معمولاً فلزات سنگین در ترکیبات نفتی با درجه وزن مولکولی بالا مانند دیزل و آسفالات بیشتر یافت می‌شوند و در ترکیبات و مشتقات نفتی با درجه مولکولی پایین‌تر مثل بنزین و همچنین نفتا به مقادیر کمتر و یا به ندرت یافت می‌شود (Speight 2005).

یان و همکاران (Yun et al. 2013) آلودگی آب‌های زیرزمینی به فلزات سنگین و کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH) در سئول (کره جنوبی) را مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده غلظت بالای فلز روی (Zn) به دلیل نشت پساب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین غلظت TPH در



آب‌های زیرزمینی بالاتر از حد استاندارد بود و دلیل اصلی آن وجود مخازن ذخیره مواد نفتی در عمق ۷ متری بود. نتایج نشان می‌دهد بین غلظت TPH موجود در خاک و آب‌های زیرزمینی رابطه وجود دارد.

تنگ و همکاران (Teng et al. 2013) میزان توزیع و پراکندگی هیدروکربن‌های نفتی کل در آب‌های زیرزمینی و خاک که شامل ۷۱ نمونه آب زیرزمینی (۲۶ نمونه از آبخوان غیر محبوس، ۳۷ نمونه از آبخوان محبوس و ۸ نمونه از آبخوان محبوس عمیق) و ۸۰ نمونه خاک بود را در منطقه نفتی سونگیان واقع در شمال شرق چین مورد بررسی قرار دادند. برای آب‌های زیرزمینی مربوط به آبخوان آزاد غلظت هیدروکربن‌های نفتی در سه نمونه زیر حد آشکاری سازی بود و در ۲۳ نمونه دیگر تغییرات غلظت از ۰/۰۱ تا ۱/۷۴ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود. در آبخوان محبوس غلظت هیدروکربن‌های نفتی در ۲ نمونه زیر حد آشکار سازی دستگاه بود و در ۳۵ نمونه دیگر در بازه ۰/۰۴ تا ۰/۸۲ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود. نفوذ آب‌های سطحی آلوده و خاک آلوده دلیل این میزان غلظت TPH در آبخوان غیر محبوس عنوان شد. دلیل اصلی غلظت TPH در آبخوان محبوس، نشتی از چاه‌های تزریق عنوان شد.

بریندها و النگو (Brindha and Elango 2013) تغییرات آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از اندازه‌گیری PAHs و TPH در یک دوره ۱۰ ساله در منطقه صنعتی واقع در هند را مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند. در سال ۲۰۰۱ از مجموع ۱۴ نمونه آنالیز شده برای TPH پنج نمونه دارای غلظت بین ۱/۶ میکروگرم بر لیتر تا ۱۲/۹۶ میکروگرم بر لیتر بودند و بقیه نقاط فاقد TPH بودند. در سال ۲۰۱۲ از همان منطقه تعداد ۵ نمونه برای آنالیز PAHs برداشته شد. از بین ۱۱ جزء PAHs اندازه‌گیری شده فناترن در هر پنج نمونه حضور داشت.

شهسواری و همکاران (۱۳۸۸) با مطالعه میزان آلودگی آبخوان دزفول اندیمشک به TPH دریافتند که این آبخوان به ویژه در مناطق شهری و در مجاورت خطوط انتقال نفت به هیدروکربن‌های نفتی کل آلوده می‌باشد و میزان این آلودگی در محدوده شهر دزفول بالاترین مقدار را نشان می‌دهد

با توجه به مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که TPH به عنوان یکی از پارامترهای اصلی در بحث آلودگی نفتی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که سازمان بهداشت جهانی حد مجاز TPH در آب زیرزمینی را مشخص نکرده است اگر چه این میزان برای بعضی از هیدروکربن‌ها خصوصاً آروماتیک‌ها مشخص شده است. مهم‌ترین ترکیبات TPH که به صورت جداگانه در بحث آب زیرزمینی مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند هیدروکربن‌های آروماتیک تک حلقه‌ای (BTEX) و چند حلقه‌ای (PAHs) بوده که در ادامه توضیح داده شده‌اند.

## ۲-۱-۲-۲- آلودگی آب زیرزمینی به BTEX

از بین ترکیبات موجود در فرآورده‌های نفتی غیر محلول (LNAPL) چهار ترکیب بنزن (B)، تولوئن (T)، اتیل بنزن (E) و زایلن (X) که به آن‌ها ترکیبات BTEX گفته می‌شود جزء محلول‌ترین و سمی‌ترین ترکیبات این دسته محسوب می‌شوند و بیشتر مورد توجه پژوهشگران و محققین در زمینه آلودگی‌های محیط‌های مختلف زیستی مثل هوا، خاک و آب قرار گرفته است (Rivett et al. 1990; Bruce & Mc Mahon. 1995; Heidrich et al. 2004; Cozzarelli et al. 2010; Vaezihir et al. 2013; Careghini et al. 2015; Ye et al. 2015; Li et al. 2016; Khodaei et al. 2017). ترکیبات BTEX می‌تواند باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های مختلف بدن از جمله سیستم عصبی و گردش خون و همچنین ایجاد تغییراتی در پوست، شش‌ها و سایر ارگان‌های حیاتی بدن شود که متعاقباً باعث از کار افتادن بخش‌هایی از بدن و حتی در مواردی موجب مرگ می‌شود (Mitra and Roy 2011). از بین چهار ترکیب موجود، بنزن سمی‌ترین و خطرناک‌ترین ترکیب می‌باشد که سرطان‌زایی آن اثبات شده و جزء دسته مواد سرطان‌زا در انسان قرار گرفته است (IARC 2007, ATSDR 2007). ترکیبات BTEX ممکن است توسط فاضلاب‌های صنعتی و آلودگی هوا وارد آب شود، اما اغلب آلودگی آب‌ها به BTEX ناشی از نشت نفت و محصولات نفتی یا نزدیکی به ذخایر نفت و گاز می‌باشد (IPCS 1997; Bina et al. 2014; Eliis & Rivett 2006). بیشترین میزان غلظت BTEX در بین فرآورده‌ها و مشتقات نفتی به ترتیب مربوط به بنزین و میعانات گازی است (Kao et al. 2000; USEPA 2006). بعد از نشت یا رهاسازی ترکیبات

مونوآروماتیک تک حلقه‌ای موجود در بنزین، دیزل و محصولات پتروشیمی موجود در مخازن ذخیره سطحی و زیرزمینی و همچنین نشت از پساب‌ها و فاضلاب‌های صنایع نفت و گاز این مواد وارد محیط زیست اطراف می‌شوند و باعث آلودگی هوا، خاک و آب‌های سطحی می‌گردند (Andreoin & Gianfreda 2007; Bina et al. 2014). در صورتی که بین آب سطحی و آب زیرزمینی ارتباط وجود داشته باشد و با توجه به نفوذپذیری سازندهای منطقه و سایر شرایط فیزیکی، شیمیایی و هیدرولوژیکی حاکم بر منطقه و عمق سطح ایستابی به سمت لایه‌های زیرین حرکت می‌کنند و در نهایت باعث آلودگی آبخوان می‌شوند (Day et al. 2001; An et al. 2004; Eliis & Rivett 2006; Farhadian et al. 2007; do Rego & Pereira Netto 2007). در واقع پساب‌های صنعتی (از جمله صنایع نفت و گاز) جزء مهم‌ترین منابع نقطه‌ای هستند که می‌توانند باعث آلودگی آلی (Heberer 2002; Maeng et al. 2011) و نفتی آب‌های زیرزمینی شوند (2012; Hoyt Chen et al. 2005, 2006; Paulauskiene et al. 2009; Chambers et al. & Raun 2015). وقتی BTEX وارد آب زیرزمینی می‌شود در جهت جریان حرکت کرده و تحت تأثیر پالایش طبیعی (شامل تخریب زیستی یا Biodegradation) هوازی و بی‌هوازی، پراکنش، تبخیر و جذب قرار گرفته و تا حدود زیادی از مقدار آن کاسته می‌شود (Rozkov et al. 1999; Langwaldt & Puhakka 2000; Vidali 2001; Lynch & Moffat, 2005). در جدول (۱-۲) لیستی از مهم‌ترین خواص BTEX آورده شده است.

جدول ۱-۲- خصوصیات ترکیبات BTEX

| فشار بخار | نقطه ذوب | نقطه جوش | حلالیت | وزن مولکولی |            |
|-----------|----------|----------|--------|-------------|------------|
| ۹۵        | ۵,۵      | ۸۰       | ۱۷۵۰   | ۷۸          | بنزن       |
| ۳۰        | -۹۵      | ۱۱۱      | ۵۱۵    | ۹۲          | تولوئن     |
| ۱۰        | -۹۴,۴    | ۱۳۶      | ۱۵۲    | ۱۰۶         | اتیلن بنزن |
| ۸         | -۴۷      | ۱۳۹      | ۱۵۸    | ۱۰۶         | m-زایلن    |
| ۷         | ۱۳,۲     | ۱۳۹      | ۱۵۶    | ۱۰۶         | p-زایلن    |
| ۷         | -۲۵      | ۱۴۴      | ۱۷۵    | ۱۰۶         | o-زایلن    |

مورگان و همکاران (Morgan et al. 1992) میزان تخریب زیستی بنزن، تولوئن، اتیلن بنزن و زایلن را در یک آبخوان آلوده به میعانات گازی در ژوتربن هلند که میزان کل BTEX حداکثر تا ۲۰۰۰۰ میکروگرم بر لیتر اندازه‌گیری شده بود، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دهنده بالا بودن نرخ اکسیژن محلول در آب زیرزمینی بود و بنابراین تمام اجزا به سرعت تحت تأثیر شرایط هوازی دچار میرایی می‌شدند. وجود اکسیژن محلول به عنوان یک عامل بازدارنده نیز محسوب شده و زمانی که غلظت اکسیژن محلول در آب زیرزمینی با اضافه کردن پراکسید هیدروژن به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر رسید تخریب زیستی کاملاً متوقف شد. در شرایط بی‌هوازی به جز در مواردی که نیترات به عنوان پذیرنده الکترون نهایی برای تنفس میکروبها اضافه می‌شد، هیچ تخریب زیستی اتفاق نمی‌افتاد.

بارکر و همکاران (Barker et al. 1996) میرایی طبیعی میعانات گازی در خاک و آب‌های زیرزمینی در دو منطقه تولید گاز در حوضه دنور در ایالات کلرادو آمریکا را تحت شرایط هوازی و بی‌هوازی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که تخریب زیستی از راه‌های مختلفی در منطقه اتفاق می‌افتد که شامل شرایط اکسایش هوازی، احیای سولفات و احیای آهن (III) می‌باشد.

برول و همکاران (Borole et al. 1997) زیست پالایی ذاتی میعانات گازی در خاک و آب‌های زیرزمینی در دو منطقه تولید گاز در حوضه دنور در ایالات کلرادو آمریکا را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که زیست پالایی ذاتی در منطقه مورد مطالعه تحت شرایط وجود اکسیژن خواهی هوازی، احیای سولفات و همچنین احتمالاً تحت شرایط احیای آهن (III) اتفاق می‌افتد. تحقیقات آزمایشگاهی نشان داد که اجزای فرار میعانات گازی (بنزن، تولوئن، اتیلن بنزن و زایلن) در حضور پذیرنده‌های الکترون چند گانه تحت شرایط بی‌هوازی دچار زیست پالایی ذاتی می‌شوند.

دو رگو و پریرا (do Rego & Pereira. 2007) مقدار BTEX در آب‌های زیرزمینی ناشی از نشت بنزین در شهر ریودوژانیرو در کشور برزیل را اندازه‌گیری کردند. مقدار کل BTEX بین مقادیری که قابل شناسایی نبود تا ۳۶۰۰ میکروگرم بر لیتر متغیر بود.

گاروما و همکاران (Garoma et al. 2008) بر روی حذف آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از نشت بنزین با استفاده از روش اوزون/ماوراء بنفش کار کردند که در آن مقدار BTEX در نمونه‌های آب زیرزمینی ۵ تا ۱۰۰۰۰ میکروگرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که این روش یک روش با کارایی بسیار بالاتر نسبت به روش ozonation می‌باشد، به طوری که در این روش ۹۹٪ کارایی لازم در حذف آلودگی نفتی وجود دارد، در صورتی که در روش ozonation این مقدار ۲۷٪ می‌باشد. همچنین نتایج نشان‌دهنده آن بود که در این روش وجود مقادیر کافی یون آهن در حذف BTEX تأثیر زیادی دارد.

واعظی هیر و همکاران (Vaezihir et al. 2012) به ارزیابی میزان آلودگی آبخوان شیراز به ترکیبات BTEX در مجاورت پالایشگاه نفت این شهر پرداختند. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده آلودگی آبخوان به ترکیبات BTEX بود که در پی آن تعداد ۶ زون آلوده به BTEX شناسایی شد.

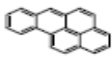
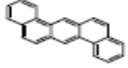

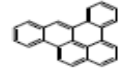

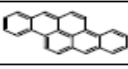
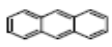
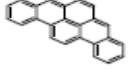
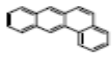
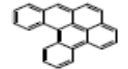
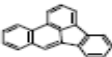
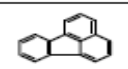
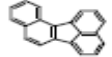
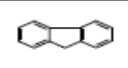
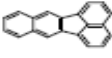
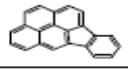

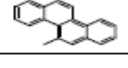
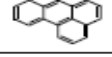
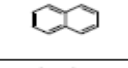
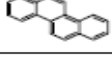
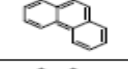
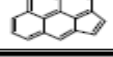

## ۲-۱-۳- آلودگی آب زیرزمینی به PAHs

یکی از مهم‌ترین اجزای هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) آروماتیک‌های چند حلقه‌ای هستند که شامل گروه بزرگی از خانواده‌های هیدروکربن‌ها هستند که از دو یا تعداد بیشتری حلقه بنزنی تشکیل شده‌اند (Chen et al. 2006). آلودگی خاک و منابع آب سطحی و زیرزمینی به وسیله PAHs به دلیل خاصیت سرطان‌زایی و جهش‌زایی آثار منفی محیط زیستی بی‌شماری برای گیاهان، جانداران و از همه مهم‌تر برای انسان‌ها به دنبال دارد (Laane et al. 2006, 2013; Okuda et al. 2002; Zhang et al. 2005;). ترکیبات PAHs به‌طور عمده توسط فعالیت‌های با منشأ انسانی مانند تخلیه پساب صنعتی و شهری، نشت از مخازن ذخیره سطحی و زیرزمینی، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، دود اگزوز اتومبیل‌ها (Zakaria et al. 2002, 2007; Gogou et al. 2000; Wang & Fingas) و یا منشأ طبیعی مانند انفجار آتشفشان‌ها، رواناب‌های شهری و (2003; De Luca et al. 2004)

ته‌نشست اتمسفری، جلبک‌ها و پلانکتون (Venkatesan 1988; Luo et al. 2008; Barra et al. 2007;) وارد محیط‌زیست می‌شوند. این ترکیبات به دو دسته با وزن مولکولی پایین و وزن مولکولی بالا تقسیم می‌شوند. PAHs با وزن مولکولی بالا جزء مواد آلی نیمه فرار محسوب شده و به شدت آب‌گریز و چربی دوست هستند و با توجه به وزن مولکولی می‌توانند در محیط‌های مختلف ظاهر شوند. میزان آلودگی خاک و رسوبات به PAHs بیشتر از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد (EPRI 2000; Jiries et al. 2016; Obiakor et al. 2014). از میان تعداد زیاد ترکیبات آروماتیک، ۱۶ ترکیب که دارای خاصیت سرطان‌زایی و جهش‌زایی می‌باشند، توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA 2008) به‌عنوان آلاینده‌های پیشگام معرفی شده است. PAHs در آب زیرزمینی می‌تواند ناشی از نفوذ آب‌های سطحی آلوده، آبیاری کشاورزی با فاضلاب یا نشت از پسماندها، پساب‌ها و یا خاک آلوده باشد (Huang et al. 2003; Cao et al. 2005; Chen et al. 2007; Li et al. 2010; Botalova et al. 2010). بعد از نفوذ PAHs در آب زیرزمینی به دلیل نوع ساختار مولکولی آن پایداری بالایی در برابر فرایندهای مختلف تجزیه طبیعی از جمله تخریب زیستی تحت شرایط هوازی و بی‌هوازی، پراکندگی و همچنین تجزیه شیمیایی و بیولوژیکی توسط باکتری‌ها و جلبک‌ها از خود نشان می‌دهد و حذف آن به راحتی امکان پذیر نمی‌باشد.

ساندر و وایز (Sander and Wise 1997) لیستی از ۶۶۰ عضو خانواده PAHs شامل محدوده‌ای از بنزن (با وزن مولکولی=۷۸) تا ساختارهایی ۹ حلقه‌ای با وزن مولکولی حداکثر ۴۷۸ را رده بندی کردند. با توجه به گستردگی ترکیبات PAHs و تنوع بالای ترکیبات آن‌ها و از آنجایی که بعضی از این ترکیبات باعث بروز مشکلات عصبی و گوارشی شدید در انسان می‌شوند و حتی موجب بروز سرطان در انسان‌ها می‌شوند، سازمان‌های زیادی در دنیا به صورت علمی و دقیق روی شناخت هر چه بیشتر ترکیبات PAHs مطالعات گسترده‌ای را انجام داده‌اند. از جمله سازمان‌ها و موسساتی که در زمینه طبقه‌بندی PAHs فعالیت کرده‌اند می‌توان به کمیته علمی مربوط به مواد غذایی (SCF)، اتحادیه اروپا (EU) و سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA) اشاره نمود.

جدول ۲-۲- نام و ساختار شیمیایی ۱۶ ترکیب PAHs (Lerda, 20011)

| List         | Common Name           | Structure   | List         | Common Name            | Structure   |
|--------------|-----------------------|---|--------------|------------------------|---|
| EPA, SCF, EU | Benzo[a] pyrene       |    | EPA, SCF, EU | Dibenz[a,h] anthracene |    |
| EPA          | Acenaphthene          |    | EU+SCF       | Dibenzo [a,e]pyrene    |    |
| EPA          | Acenaphthylene        |    | EU+SCF       | Dibenzo [a,h]pyrene    |    |
| EPA          | Anthracene            |    | EU+SCF       | Dibenzo [a,i]pyrene    |    |
| EPA, SCF, EU | Benz[a] anthracene    |    | EU+SCF       | Dibenzo [a,j]pyrene    |    |
| EPA, SCF, EU | Benzo[b] fluoranthene |    | EPA          | Fluoranthene           |    |
| SCF, EU      | Benzo[j] fluoranthene |    | EPA          | Fluorene               |    |
| EPA, SCF, EU | Benzo[k] fluoranthene |    | EPA, SCF, EU | Indeno[1,2,3-cd]pyrene |    |
| EU           | Benzo[c]fluorene      |   | EU+SCF       | 5-Methyl chrysene      |   |
| EPA, SCF, EU | Benzo[ghi] perylene   |  | EPA          | Naphthalene            |  |
| EPA, SCF, EU | Chrysene              |  | EPA          | Phenanthrene           |  |
| SCF, EU      | Cyclopenta [cd]pyrene |  | EPA          | Pyrene                 |  |

دو رگو و پیرا (do Rego & Pereira Netto., 2007) مقدار PAHs در آب‌های زیرزمینی ناشی از نشت بنزین در شهر ریودوژانیرو در کشور برزیل را اندازه‌گیری کردند. مقدار کل PAHs در محدوده ۰/۵ تا ۸۴/۹ میکروگرم بر لیتر متغیر بود.

ریکاردی و همکاران (Riccardi et al., 2008) خصوصیات و توزیع PAHs و فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی حاصل از نشت سه مخزن ذخیره‌ای سطحی در شمال، مرکز و جنوب ایتالیا را مورد بررسی قرار دادند. آنالیز نمونه‌ها نشان دهنده این موضوع بود که در هر سه منطقه مورد مطالعه آب‌های

زیرزمینی، آلوده به هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین بودند و منشاء چند گانه برای آلودگی فرض شد.

سبا و همکاران (Saba et al. 2012) بر روی پراکندگی، میزان سمی بودن و همچنین ارتباط بین هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) با میزان TOC در آب‌های زیرزمینی در محدوده یک کارخانه پتروشیمی در پاکستان کار کردند. مجموع هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای در آب زیرزمینی از حداقل ۲۰۱ نانوگرم بر لیتر تا حداکثر ۱۶۳۴ نانوگرم بر لیتر متغیر بود. PAHs های غالب ۳ و ۴ حلقه‌ای بودند. همچنین نتایج نشان‌دهنده یک ارتباط مثبت بین PAHs و TOC بود.

مسیح و همکاران (Masih et al. 2014) میزان غلظت PAHs در آب‌های زیرزمینی واقع در شمال هند را مورد بررسی قرار دادند. میزان Total PAHs بین ۱۰/۲۴ تا ۴۳/۸۵ نانوگرم بر لیتر متغیر بود. آنتراسن و فلئورنتین غالب بودند و میزان غلظت PAHs های بسیار سمی مثل بنزو آ پیرن تنها در حدود ۲ درصد کل PAHs را تشکیل می‌دادند.

فیضی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی گسترش و پراکندگی آلاینده‌های نفتی ناشی از پالایشگاه و پتروشیمی در دشت شازند اراک در دو مرحله پرداختند. نتایج نشان‌دهنده آن بود که متوسط غلظت PAHs در چاه‌های سری اول و دوم به ترتیب برابر ۴/۲ و ۱/۳۸ میکروگرم بر لیتر بود که این مقدار بیش از حد مجاز برای آشامیدن می‌باشد.

اردکانی و همکاران (۱۳۹۳) با دو دوره نمونه‌برداری در فصل زمستان و بهار به ارزیابی میزان غلظت PAHs در چاه‌های مجاور ایستگاه‌های سوخت شهر همدان پرداختند. ۱۳ ترکیب PAHs در آب زیرزمینی شناسایی شد که بیشترین میزان غلظت در فصل زمستان به ترتیب مربوط به آسنفتیل و نفتالن و در فصل بهار به ترتیب مربوط به آسنفتیل و فلورانتن بود. همچنین میانگین غلظت نفتالین در هر دو دوره بیش از استاندارد EPA بود.



ناصری و همکاران (۱۳۹۰) با اندازه‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک، هیدروکربن‌های آلیفاتیک و هیدروکربن‌های نفتی کل در آب زیرزمینی آبخوان جنوب تهران به ارزیابی میزان آلودگی آبخوان به آلاینده‌های نفتی ناشی از منطقه صنعتی ری پرداختند. نتایج نشان‌دهنده آلوده بودن آبخوان به ترکیبات نفتی و نامناسب بودن بخش عمده‌ای از این منابع برای مصارف شرب و کشاورزی بود.

## ۲-۲-۲- آلودگی غیرآلی آب زیرزمینی

علاوه بر هیدروکربن‌ها وجود فلزات سنگین نیز در آلودگی نفتی مورد توجه خاص قرار گرفته است، زیرا پساب‌های صنایع نفت و گاز می‌تواند دارای انواع فلزات سنگین باشند. این پساب‌ها در صورت عدم مدیریت صحیح و در صورت رها شدن در محیط می‌تواند باعث آلودگی محیط‌زیست خصوصاً آب‌های سطحی و در صورت نفوذ به لایه‌های زیرین باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی شود. از جمله مهم‌ترین فلزات سنگین که در بحث آلودگی‌های نفتی بیشتر مورد توجه پژوهشگران و محققان قرار گرفته است، می‌توان به سرب، روی و آهن و همچنین نیکل، کروم و وانادیم اشاره کرد. همچنین وارد شدن آلودگی نفتی به آب زیرزمینی می‌تواند باعث ایجاد تغییرات در هیدروشیمی آب زیرزمینی و افزایش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی شود.

کومار سینگ و کومار (Kumar Singh & Kumar 2015) به بررسی تأثیر پساب‌های صنعتی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی جنوب شرق ایالت پنجاب هند پرداختند. میزان غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی بیشتر از حد استاندارد آشامیدن برآورد شد، که این مسئله ناشی از نفوذ پساب‌های صنعتی مختلف به این آب‌ها دانسته شد.

ویگنا و همکاران (Vigna et al. 2010) با بررسی هیدروشیمی رودخانه آنین در شهر رم ایتالیا به این نتیجه رسیدند که آب‌های سطحی آلوده‌شده به پساب‌های صنعتی در این رودخانه باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی در این منطقه شده است. در این مطالعه پارامتر EC در آب زیرزمینی در نقاطی که پساب‌های صنعتی رهاسازی شده بودند بیشتر از سایر نقاط اندازه‌گیری گردید.

معین و علیزاده (۱۳۸۸) هیدروشیمی دشت جم و ریز را مطالعه نمودند. این محققین بالابودن غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و افزایش غیرعادی در مقادیر EC و TDS در مجاورت روستای شهر خاص را ناشی از نشت پساب‌های پالایشگاه فجر جم دانستند.

گولر و همکاران (Guler et al. 2012) به مطالعه تغییرات و پراکندگی مکانی و زمانی فلزات سنگین در آبخوان کوردوا در جنوب شرق ترکیه که دارای آلودگی نفتی می‌باشد، پرداختند. در این تحقیق غلظت فلزات سنگین مثل کروم، نیکل، سرب، روی، آهن، آرسنیک و کبالت همچنین پارامترهای فیزیکی مثل EC، DO و pH مورد سنجش قرار گرفتند. در این مطالعه بالا بودن میزان سرب و روی به پساب‌های کشاورزی در منطقه و بالا بودن سایر پارامترها به پساب‌های صنعتی و زمین‌شناسی منطقه نسبت داده شد.

## ۲-۳- سرنوشت آلودگی‌های نفتی در آب‌های زیرزمینی

در بخش قبل آلودگی آب‌های زیرزمینی به وسیله ترکیبات نفتی بررسی شده و برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های PAHs و BTEX و سایر ترکیبات موجود در آلودگی نفتی معرفی گردید. در این بخش مکانیزم پراکندگی، گسترش و سرنوشت آلودگی نفتی در یک آبخوان مورد بررسی قرار می‌گیرد

## ۲-۳-۱- خواص فیزیکی هیدروکربن‌ها

هنگامی که بر روی چگونگی عملکرد یک ماده در محیط زیرسطحی آبی تحقیق می‌کنیم، باید تعدادی از خواص فیزیکی ماده نیز مورد بررسی قرار بگیرد (Fetter 1999). که این خواص شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- چگالی ویژه: نسبت وزن به حجم ماده مورد نظر (جامد یا مایع) به وزن به حجم ماده مرجع

۲- حلالیت در آب: برای یک مایع این خاصیت بستگی به دمای آب و همچنین ماده مورد نظر دارد. برای یک ترکیب گازی حل شدن در آب بر اساس فشار بخار اندازه‌گیری می‌شود. نمونه‌های مواد آلی می‌توانند به صورت کامل در آب حل شوند و یا به صورت غیر محلول در آب باقی بمانند. مواد محلول تحرک پذیری و روان‌گرایی بیشتری در محیط‌های آبی زیر سطحی دارند.

۳- ضریب تفکیک اوکتانول - آب (k<sub>ow</sub>): این ضریب بیان‌کننده این است که در شرایط مساوی یک نمونه آلی بیشتر تمایل به حل شدن در آب یا یک حلال آلی را دارد. وقتی یک ترکیب از نظر توزیع الکترونی متقارن نباشد دو قطب مثبت و منفی در مولکول ایجاد می‌شود. مولکول‌ها بسته به قطبیت در حلال‌های آبی و روغنی حل می‌شوند. در اندازه‌گیری این ضرایب نسبت مساوی از ماده مورد نظر را به آب و اوکتانول اضافه می‌کنند تا جایی که مقدار برابری از ماده در لگاریتم اوکتانول و هم آب ظاهر شود. هرچه قدر که لگاریتم بزرگ‌تر شود نشان‌دهنده این است که ترکیب مورد نظر تمایل بیشتری به حل شدن در ترکیب روغنی (آلی) به جای آب دارد و برحسب لگاریتم بر پایه ۱۰ بیان می‌شود. از این رو این ترکیبات تحرک کمتری در محیط‌زیست دارند.

۴- فشار بخار: در واقع این فاکتور اندازه‌گیری تمایل یک ماده برای عبور از فاز جامد یا مایع به وضعیت گازی می‌باشد. هر چه مقدار فشار گاز بیشتر باشد، میزان اجزای فرار ماده بیشتر خواهد بود.

۵- قانون ثابت هنری: به مقداری از یک گاز که در حجم معینی از یک مایع در دمای ثابت حل می‌شود و با فشار گاز متناسب است گفته می‌شود. شرط پیروی از این قانون این است که میان گاز و مایع واکنش شیمیایی رخ نداده باشد.

## ۲-۳-۲- حلالیت آبی ترکیبات نفتی

یک پارامتر مهم در بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی میزان حلالیت ترکیبات آلی می‌باشد. حلالیت می‌تواند به صورت غلظت معادل ماده حل شده در آب هنگامی که آب فقط در تماس با آن ماده خالص

قرار دارد بیان گردد. حلالیت بیشتر نشان دهنده غلظت بیشتر ماده مورد نظر در آب می‌باشد.

آب یک ترکیب قطبی می‌باشد، در صورتی که ترکیبات نفتی به طور کلی غیر قطبی در نظر گرفته می‌شوند. به همین خاطر ما نمی‌توانیم ترکیبات نفتی را جزء موادی در نظر بگیریم که کامل در آب حل می‌شوند. ولی با این وجود ترکیبات آروماتیک مثل اجزای BTEX و تا حدودی PAHs را به عنوان ترکیباتی در نظر می‌گیرند که تا حدودی در آب حل می‌شوند (Drever 1997).

## ۲-۳-۳- رفتار ترکیبات نفتی در محیط زیرسطحی

### ۲-۳-۳-۱- انتقال و راه یافتن مواد نفتی به آبخوان

هیدروکربن‌های نفتی از راه‌های مختلفی می‌توانند وارد محیط زیرسطحی شوند، که از جمله آن می‌توان به نشت از مخازن زیرزمینی ذخیره بنزین، ترکیدگی لوله‌های انتقال‌دهنده ترکیبات نفتی، نشت از استخرها و حوضچه‌های سوزای پالایشگاه‌های نفت و گاز و پتروشیمی‌ها، نشت از مخازن و تانکرهای نگهداری میعانات گازی اشاره کرد. این نوع آلودگی از نوع آلودگی با منشاء نقطه‌ای محسوب می‌شود. البته هیدروکربن‌ها از طریق منابع پراکنده مانند نهشته‌های جوی و یا رواناب‌های حاصل از باران‌های سیل‌آسا، آتش‌سوزی جنگل و فوران آتش‌فشان‌ها هم می‌توانند وارد محیط زیرسطحی شوند.

حرکت مواد پتروشیمیایی در خاک و آب‌های زیرزمینی توسط تعدادی از شرایط خاص منطقه‌ای کنترل می‌شوند (EA 1999). این شرایط شامل: مقدار و مدت زمان انتشار، نوع خاک، عمق سطح آب، شرایط اکسیداسیون و احیا بالقوه موجود در محیط، pH، غلظت اکسیژن، پتانسیل تجزیه بیولوژیکی در منطقه، دما و بارش می‌باشد.

به گفته دی و همکاران (Day et al. 2001) سرنوشت و انتقال مواد سوختی خاص در داخل محیط زیر سطحی توسط ترکیبی از خواص فیزیکی و شیمیایی ماده مورد نظر و همچنین ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد نظر مشخص می‌شود.

زمانی که یک آلودگی نفتی اتفاق می‌افتد سوخت مورد نظر به سه فاز محلول، فاز مایع و فازگازی تقسیم می‌شود (Alexander 1994; Nadim et al. 2000). اکثر هیدروکربن‌هایی که باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شوند، غیر محلول هستند و به همین خاطر در آب‌های زیرزمینی تشکیل فاز مایع غیر آبگین (NAPLs) می‌دهند که فازی از مایعات خالص است که به آسانی در آب حل نمی‌شوند که خود می‌تواند شامل دو گروه باشد (Nadim et al. 2000):

فاز غیر آبی مایع سبک‌تر از آب (LNAPLs): این گروه شامل محصولات نفتی از جمله بنزین، نفت سفید، سوخت‌های گرمایشی و سوخت هواپیما می‌باشد. ترکیبات BTEX و PAHs جزو این گروه هستند.

فاز غیر آبی چگال‌تر از آب (DNAPLs): اجزای این گروه سنگین‌تر از آب هستند که بیشتر در آفت کش‌ها و همچنین مواد نگهدارنده چوب مورد استفاده قرار می‌گیرند. مثال‌های این گروه پرکلرواتیلن که در خشک‌شویی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و تری کلرواتیلن می‌باشند.

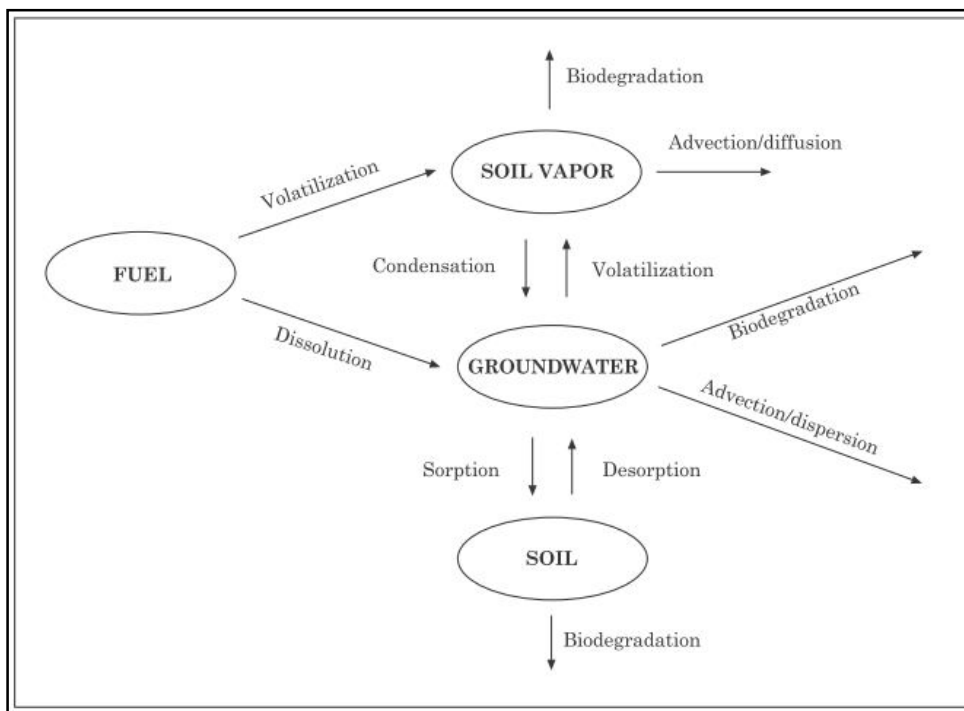
هنگامی که یک آلودگی نفتی رخ می‌دهد، اگر مقدار آن به اندازه کافی زیاد باشد، مواد تحت تأثیر گرادیان هیدرولیکی به سمت پایین حرکت می‌کنند و تا حدودی گسترش جانبی هم پیدا می‌کنند. گسترش جانبی تحت تأثیر مواد با نفوذپذیری کم مثل شیل و رس ایجاد می‌شود، که این خود بستگی به شرایط زمین‌شناسی منطقه مورد نظر دارد. وقتی که نشت صورت می‌گیرد مواد نفتی فرار با وزن مولکولی کم به سرعت با فشار بالای بخار هوای موجود در حفرات ترکیب می‌شوند و تمایل زیادی به خارج شدن از محیط دارند.

اجزای نفتی که NAPLs هستند به شکل حوضچه‌ای از این ترکیبات بر روی سطح آب زیرزمینی قرار می‌گیرند (Nadim et al. 2000). اجزای محلولی که در ماده نفتی وجود دارد در هنگام تماس با سطح آب زیرزمینی به آرامی در آب حل می‌شود و ابر توده آلوده به سمت پایین دست منطقه آلوده حرکت می‌کند. اجزایی که می‌توانند در این حالت در آب حل شوند شامل ترکیبات BTEX و MTEB و دیگر

اجزای هیدروکربن‌های آروماتیک تک حلقوی می‌باشند. فاز غیر آبی مایع چگال‌تر از آب به سمت قسمت‌های پایین‌تر آبخوان حرکت می‌کند تا جایی که یک لایه نفوذ ناپذیر جلوی حرکت آن را بگیرد و از آن پس با توجه به شیب گرادینانی که در محل وجود دارد، ماده نفتی هم به همان سمت حرکت می‌کند. به طور کلی موادی که حلالیت کم، فراریت کم و به شدت خاصیت جذب شوندگی دارند بیشتر در خاک‌ها و رسوبات نزدیک به منطقه آلوده یافت می‌شوند آن‌هایی که فراریت بالایی دارند در فاز خاک و گازی یافت می‌شوند و آن‌هایی که حلالیت بالایی دارند در درون آبخوان بیشتر یافت می‌شوند.

## ۲-۳-۳-۲- حرکت آلودگی نفتی در آبخوان

فرآیندهای مختلف تخریب ترکیبات نفتی در محیط-زیرسطحی در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. فرارفت، فراریت، پراکندگی، جذب، تخریب، تخریب زیستی فرایندهایی هستند که انتقال و حرکت املاح آلی در محیط آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.



شکل ۲-۲- فرایندهای مختلف تخریب ترکیبات نفتی (Day et al. 2001)

**فرارفت:** عبارت است از انتقال املاح و مواد آلی با سرعتی معادل سرعت حرکت آب‌های زیرزمینی که فرآیند اصلی حرکت آلودگی در آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود و به هدایت هیدرولیکی، گرادیان هیدرولیکی و تخلخل مؤثر مواد آبخوان بستگی دارد (Wiedemeier et al. 1999; Mary Cross 2002).

**فراریت:** آلودگی‌های محلول در آب زیرزمینی با توجه به خواص شیمیایی فشار بخار و ضریب جدایش آب و هوا که همان ثابت قانون هنری بوده، می‌توانند وارد فاز بخار شوند (Wiedemeier et al. 1999).

**پراکندگی:** پراکندگی عبارت است از پخش شدن و گسترش املاح تحت تأثیر تفاوت منطقه‌ای در نفوذپذیری آبخوان، پدیده مخلوط شدگی و پخش مولکولی (Lee et al. 1988; Kao et al. 2013).

**جذب:** که در طی آن آلودگی محلول در آب زیرزمینی می‌تواند جذب خاک و رسوبات موجود در بدنه آبخوان شود که این خود باعث می‌شود سرعت حرکت آلودگی در نقاط مختلف آبخوان کم و یا بدون حرکت شود (Wiedemeier et al. 2004).

**انتشار:** حرکت محلول در آب از یک منطقه با شدت آلودگی بیشتر به سمت یک منطقه با شدت آلودگی کمتر (Bedient et al. 1994).

**تخریب:** تخریب جزئی یا کامل یا جدایش شیمیایی آلودگی بدون استفاده از میکروارگانیسم‌ها را گویند، که خود وابسته به شیمی آب زیرزمینی و خواص آلودگی می‌باشد. اغلب هیدروکربن‌های نفتی تحت تأثیر واکنش‌های شیمیایی به طور کامل دچار تخریب نمی‌شوند (Bedient et al. 1994).

**تخریب زیستی:** میکروارگانیسم‌هایی که با استفاده از واکنش اکسایش-کاهش در متابولیسم میکروبی، آلودگی‌های آلی را به ترکیبات با سمیت کمتر تبدیل می‌کنند. واکنش‌های زیستی اجزا آلی را به انرژی و کربن برای رشد کردن تبدیل می‌کنند (Andreoin & Gianfreda. 2007).





فصل سوم

مواد و روش ها

### ۳-۱- مقدمه

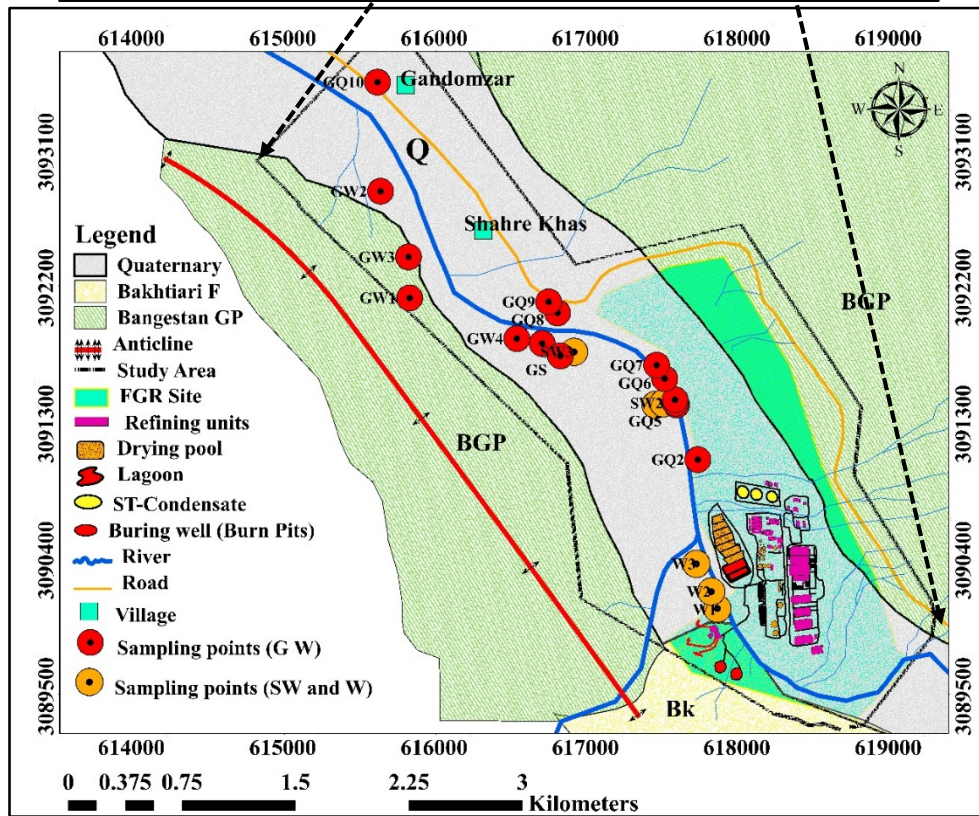
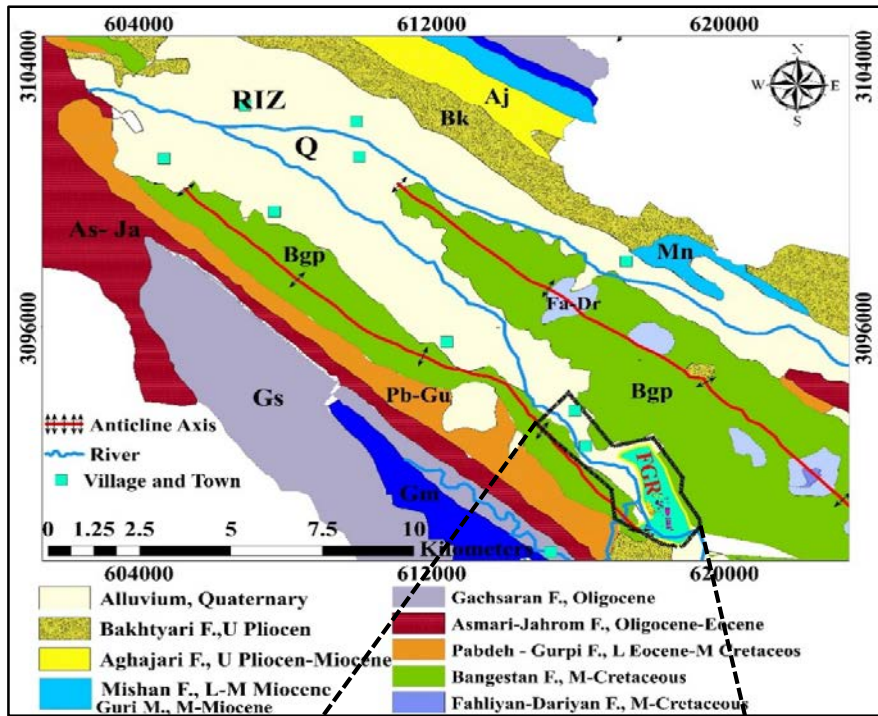
در این تحقیق به منظور بررسی اثرات پالایشگاه گاز فجر جم بر آبخوان دشت ریز پس از مطالعات اولیه، بازدید صحرایی و همچنین بررسی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، ایستگاه‌های نمونه‌برداری انتخاب و نمونه برداری صورت گرفت. پس از نمونه‌برداری نمونه‌ها برای آنالیزهای هیدروشمیایی، اندازه‌گیری فلزات سنگین مهم، اندازه‌گیری کربن آلی کل (TOC)، اندازه‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک تک حلقوی (BTEX)، اندازه‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) و همچنین اندازه‌گیری کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH) به آزمایشگاه انتقال داده شدند. جزئیات روش انجام مطالعات مذکور در این فصل ارائه می‌گردد.

### ۳-۲- تعیین موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

با توجه به اینکه مکانیزم گسترش آلودگی نفتی در آب‌های زیرزمینی به عوامل زیادی از جمله زمین‌شناسی و جنس مواد منطقه مورد نظر، عمق سطح ایستابی و سایر شرایط فیزیکی و بیوشیمیایی حاکم در منطقه بستگی دارد، انتخاب مناسب‌ترین نقاط به منظور نمونه‌برداری یکی از مهم‌ترین مراحل انجام پژوهش می‌باشد، به نحوی که انتخاب نقاط مناسب در تحلیل نتایج به دست آمده نقش به‌سزایی خواهد داشت. بدین منظور پس از بازدیدهای صحرایی و به دست آوردن اطلاعات جامع از منطقه مورد مطالعه، در خرداد ۹۵ از ۲۱ نقطه تا شعاع ۴ کیلومتری اطراف پالایشگاه از منابع آبی مختلف نمونه برداری شد که شامل نمونه‌برداری از ۴ حلقه چاه، ۱ دهنه چشمه، ۱۰ نمونه از قنات‌های موجود در منطقه، ۳ نمونه پساب و ۳ نمونه آب سطحی است (جدول ۳-۱). شکل (۳-۱) موقعیت نمونه‌های برداشت شده را نشان می‌دهد. محدوده پالایشگاه و محل قرارگیری حوضچه‌های تبخیر پساب و مخازن نگهداری مواد نفتی نیز در این شکل مشخص شده است.

جدول ۳-۱- مشخصات نقاط نمونه‌برداری از منابع آبی مجاور پالایشگاه گاز فجر جم

| علامت اختصاری | نوع              | تاریخ نمونه‌برداری | UTMx   | UTMy    |
|---------------|------------------|--------------------|--------|---------|
| W1            | پساب             | ۱۹ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۷۸۵۸ | ۳۰۹۰۰۶۶ |
| W2            | پساب             | ۱۹ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۷۸۱۸ | ۳۰۹۰۱۷۹ |
| W3            | پساب             | ۱۹ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۷۷۱۹ | ۳۰۹۰۳۶۲ |
| SW1a          | آب سطحی          | ۱۹ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۷۴۵۰ | ۳۰۹۱۴۱۳ |
| GQ1           | آب زیرزمینی-قنات | ۱۳ و ۱۹ خرداد      | ۶۱۶۷۰۰ | ۳۰۹۱۸۱۹ |
| SW1b          | آب سطحی          | ۱۳ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۶۸۹۰ | ۳۰۹۲۰۹۴ |
| GS            | آب زیرزمینی-چشمه | ۱۳ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۶۸۲۱ | ۳۰۹۱۷۳۷ |
| SW3           | آب سطحی          | ۱۳ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۶۹۱۱ | ۳۰۹۱۷۶۳ |
| GW1           | آب زیرزمینی-چاه  | ۱۴ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۵۸۲۵ | ۳۰۹۲۱۲۰ |
| GW2           | آب زیرزمینی-چاه  | ۱۴ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۵۶۳۳ | ۳۰۹۲۸۲۵ |
| GW3           | آب زیرزمینی-چاه  | ۱۴ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۵۸۱۸ | ۳۰۹۲۳۹۱ |
| GW4           | آب زیرزمینی-چاه  | ۱۴ و ۱۹ خرداد ۱۳۹۵ | ۶۱۶۵۳۳ | ۳۰۹۱۸۵۱ |
| GQ2           | آب زیرزمینی-قنات | ۱۳ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۷۷۲۹ | ۳۰۹۱۰۵۱ |
| GQ3           | آب زیرزمینی-قنات | ۱۳ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۷۵۸۸ | ۳۰۹۱۴۱۲ |
| GQ4           | آب زیرزمینی-قنات | ۱۳ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۷۵۸۱ | ۳۰۹۱۴۲۴ |
| GQ5           | آب زیرزمینی-قنات | ۱۳ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۷۵۷۸ | ۳۰۹۱۴۴۷ |
| GQ6           | آب زیرزمینی-قنات | ۱۳ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۷۵۱۰ | ۳۰۹۱۵۸۶ |
| GQ7           | آب زیرزمینی-قنات | ۱۳ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۷۴۵۶ | ۳۰۹۱۶۷۵ |
| GQ8           | آب زیرزمینی-قنات | ۱۴ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۶۸۰۲ | ۳۰۹۲۰۲۱ |
| GQ9           | آب زیرزمینی-قنات | ۱۴ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۶۷۴۳ | ۳۰۹۲۰۹۴ |
| GQ10          | آب زیرزمینی-قنات | ۱۴ خرداد ۱۳۹۵      | ۶۱۵۶۱۲ | ۳۰۹۳۵۴۶ |



شکل ۳-۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت نمونه‌های برداشت شده از منابع آبی مجاور پالایشگاه گاز فجر جم

### ۳-۳- روش نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها

در هر محل نمونه برداری تعداد سه نمونه برداشت شد که شامل دو بطری یک لیتری تیره رنگ (یکی برای اندازه گیری غلظت یون های اصلی و دیگری برای آنالیز ترکیبات نفتی) و همچنین یک بطری ۲۵۰ سی سی تیره رنگ از جنس پلی اتیلن برای اندازه گیری TOC و فلزات سنگین می باشد (شکل ۳-۲). با توجه به اینکه آلودگی های نفتی جزو مواد آلی محسوب می شوند، به منظور کاهش واکنش و فراریت و دور ماندن از نور خورشید در این پروژه از بطری های تیره رنگ استفاده شد و قبل از نمونه برداری به منظور حذف هرگونه آلودگی احتمالی، بطری نمونه برداری سه بار با آب محل شسته شده و سپس نمونه برداری انجام گردید. پس از نمونه برداری، نمونه ها در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری و سپس به آزمایشگاه انتقال داده شد.



شکل ۳-۲- نمونه برداری از منابع آب سطحی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر (بعد از نشت پساب در خرداد ۹۵)





ادامه شکل ۳-۲- نمونه‌برداری از منابع آب سطحی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر (بعد از نشت پساب در خرداد ۹۵)

### ۳-۴- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری

#### - هدایت الکتریکی (EC)، pH و دما

هدایت الکتریکی آب یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی است که به غلظت یون‌های موجود در آب بستگی داشته و با کل جامدات محلول (TDS) رابطه مستقیم دارد. آب خالص دارای هدایت الکتریکی پایینی بوده و با افزایش املاح حل‌شده هدایت الکتریکی آن افزایش می‌یابد. هدایت الکتریکی، pH و دمای نمونه‌ها با استفاده از دستگاه EC - pH meter قابل حمل لترون (Lutron) اندازه‌گیری گردید.

### ۳-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

#### ۳-۵-۱- اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها

##### - اندازه‌گیری یون کربنات ( $\text{CO}_3^{2-}$ )

نمونه‌هایی که pH آن‌ها از ۸/۲ کمتر است، فاقد یون کربنات می‌باشند. با توجه به اینکه pH تمام نمونه‌های آنالیز شده از ۸/۲ کمتر می‌باشد، بنابراین یون کربنات در نمونه‌های برداشت‌شده از آبخوان ریز (تا شعاع ۴ کیلومتری پالایشگاه گاز فجر جم) وجود ندارد.

##### - اندازه‌گیری یون بیکربنات ( $\text{HCO}_3^-$ )

جهت اندازه‌گیری یون بیکربنات از شناساگر متیل اورانژ و تیترانت اسید سولفوریک ۱/۴۰ نرمال به روش تیتراسیون (شکل ۳-۳) استفاده شد.

##### - اندازه‌گیری یون سولفات ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

جهت اندازه‌گیری یون سولفات از دستگاه توربیدی متر (شکل ۳-۴) استفاده شد. پس از آماده‌سازی هر نمونه مقدار مناسب از پودر باریت به آن اضافه گردید (تعدادی از نمونه‌ها ۰/۵ گرم و تعدادی از نمونه‌ها ۱ گرم). پس از انحلال کامل و صفر کردن دستگاه، نمونه در محفظه مخصوص دستگاه قرار داده شد. در نهایت پس از گذشت چند ثانیه مقدار سولفات نمونه قرائت شد.

#### ۳-۵-۲- اندازه‌گیری غلظت کاتیون‌ها

##### - اندازه‌گیری یون کلسیم ( $\text{Ca}^{+2}$ )

یون کلسیم با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. بدین منظور از مروکسید به عنوان معرف و چند قطره هیدروکسید پتاسیم (KOH) ۲ نرمال جهت بالا بردن pH نمونه و محلول EDTA (ترکیب سه تایی نمک سدیم) به عنوان تیترانت استفاده گردید.

### - اندازه‌گیری یون منیزیم ( $Mg^{+2}$ )

با توجه به اینکه روش تیتراسیون مستقیمی برای اندازه‌گیری منیزیم وجود ندارد، ابتدا مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم نمونه‌ها با استفاده از تیتراسیون اندازه‌گیری گردید و سپس مقدار کلسیم از آن کسر و مقدار باقیمانده به عنوان میزان منیزیم نمونه محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون از اریوکروم بلکتی (EBT) به عنوان معرف، بافر آمونیاکی ( $pH = 10$ ) جهت افزایش  $pH$  و محلول EDTA به عنوان تیتранت استفاده شد.

### - اندازه‌گیری یون‌های سدیم ( $Na^{+}$ ) و پتاسیم ( $K^{+}$ )

جهت اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر (شکل ۳-۵) استفاده شد. بدین منظور ابتدا دستگاه با محلول‌های استاندارد کالیبره گردید و سپس غلظت هر یون اندازه‌گیری شد.



شکل ۳-۳- آنالیز نمونه‌ها جهت تعیین غلظت بعضی از یون‌های اصلی





شکل ۳-۴- اندازه‌گیری سولفات نمونه‌ها با استفاده از دستگاه توربیدی متر (کدورت سنچ)



شکل ۳-۵- اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم نمونه‌ها با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (نورسنج شعله‌ای)

### ۳-۵-۳- اندازه‌گیری کل کربن آلی (TOC)

کربن آلی کل (TOC) نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Analytica jena (شکل ۳-۶) در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری گردید. بدین جهت ابتدا دستگاه توسط محلول‌های استاندارد کالیبره شد. مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه برداشت و پس از اضافه کردن اسید به آن مقدار TOC توسط دستگاه قرائت گردید.



شکل ۳-۶- آنالیز TOC نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Analytical jena

### ۳-۵-۴- آماده‌سازی و اندازه‌گیری پارامترهای هیدروکربنی و فلزات سنگین

پس از تجزیه و تحلیل اولیه نقاط نمونه‌برداری و با توجه به نتایج به دست آمده مربوط به کل کربن آلی (TOC)، محتمل‌ترین نقاط به آلودگی هیدروکربنی و فلزات سنگین مشخص و نمونه‌های مربوطه جهت آنالیز به آزمایشگاه شرکت دانش پژوهان انتقال داده شد. در آزمایشگاه مذکور آنالیزهای هیدروکربنی توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به ستون آشکارساز جرمی و اندازه‌گیری فلزات سنگین توسط دستگاه ICP - OES انجام گردید.

### ۳-۵-۴-۱- روش اندازه‌گیری و آنالیز ترکیبات BTEX، PAHs و TPH

برای اندازه‌گیری و آنالیز BTEX، PAHs و TPH از دستگاه GC-MS مدل (Agilent7890N) مجهز به آشکارساز جرمی (MS5975C) مدل EI استفاده شد (شکل ۳-۷). دستگاه GC-MS دارای ستون HP5-MS با طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و فیلم نازک ۰/۲۵ میکرومتر نصب شده بر روی دستگاه با آشکارساز انتخاب جرمی بود. تزریق به دستگاه با استفاده از روش انتخاب یونی (SIM) با استفاده از گاز هلیوم تحت جریان ۱ میلی‌لیتر در ثانیه و استاندارد خارجی انجام شد. شرایط GC-MS برای BTEX، ظرفیت یونی ۵۰ الکترون ولت، دمای تزریق ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و ولتاژ الکترونی معادل ۲۰۰۰ الکترون ولت می‌باشد. دمای اولیه در ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه نگه داشته شد. سپس برنامه افزایش دما به صورت ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به دستگاه داده شد و دما برای ۵ دقیقه ثابت نگه داشته شد.

شرایط GC-MS برای PAHs، ظرفیت یونی ۷۰ الکترون ولت، دمای تزریق ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد و ولتاژ الکترونی معادل ۲۰۰۰ الکترون ولت بود. دمای اولیه در ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه نگه داشته شد. سپس برنامه افزایش دما به صورت ۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد به دستگاه داده شد و دما برای ۱۰ دقیقه ثابت نگه داشته شد.

شرایط GC-MS برای TPH، ظرفیت یونی ۷۰ الکترون ولت، دمای تزریق ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد و ولتاژ الکترونی معادل ۲۰۰۰ الکترون ولت بود. دمای اولیه در ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه نگه داشته شد. سپس برنامه افزایش دما به صورت ۷ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد به دستگاه داده شد و دما برای ۱۰ دقیقه ثابت نگه داشته شد.



شکل ۳-۷ - آنالیز پارمترهای هیدروکربنی با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکار ساز جرمی

### ۳-۵-۵- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های فلزات سنگین

نمونه‌های آب انتخاب شده جهت آنالیز فلزات سنگین، ابتدا از فیلتر ۴۵ میکرون عبور داده شد، سپس به هر نمونه چند قطره اسید نیتریک ۰/۲ مولار اضافه گردید تا pH آب به کمتر از ۲ کاهش یابد (شکل ۳-۸). اسیدی کردن نمونه‌ها به منظور تثبیت و جلوگیری از تغییر خواص شیمیایی آن‌ها می‌باشد. نمونه‌ها بلافاصله برای آنالیز فلزات سنگین به آزمایشگاه شرکت دانش پژوهان ارسال گردید. در آزمایشگاه مذکور غلظت عناصر سرب، روی، آهن، نیکل و کروم با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل (Liberty) اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۸- آماده کردن نمونه‌ها برای آنالیز فلزات سنگین



شکل ۳-۹- آنالیز فلزات سنگین با استفاد از دستگاه ICP-OES

### ۳-۶- نرم افزارهای مورد استفاده

در این پژوهش از نرم افزارهای زیر استفاده شده است:

- نرم افزار Arc GIS10، برای ترسیم نقشه زمین شناسی منطقه و نقشه های هم غلظت یونی

- نرم افزار AqQa، برای ترسیم نمودار پایپر و تعیین تیپ و رخساره نمونه های آب زیرزمینی

- نرم افزار Global Mapper، برای ژئورفرنس کردن نقشه ها

- نرم افزار Excel 2013 برای ترسیم نمودارهای توزیع عناصر و پارامترهای کیفی



# فصل چهارم

بررسی اثرات پالایشگاه گاز فجر جم بر

آبخوان دشت ریز

#### ۴-۱- مقدمه

با توجه به تاثیرات پیش‌بینی شده پساب و آلودگی‌های ناشی از پالایشگاه گاز فجر بر منابع آب محدوده آبخوان دشت ریز، نمونه‌های مختلف پساب، آب سطحی و آب زیرزمینی برداشت شد که در این فصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج مطالعات انجام شده در دو بخش کیفیت پساب و آب‌های سطحی و کیفیت آب‌های زیرزمینی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر ارائه می‌گردد.

#### ۴-۲- خصوصیات کیفی پساب و آب سطحی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر

پساب پالایشگاه‌های گاز دارای مقادیر قابل توجهی از مواد خطرناک می‌باشند که در صورت عدم کنترل صحیح می‌تواند وارد محیط‌زیست اطراف شده و باعث آلودگی آب‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی (در صورت نفوذ به لایه‌های زیرین و ورود به آبخوان) گردند. می‌توان گفت پساب‌ها و آب‌های سطحی آلوده به عنوان دو منبع مهم در زمینه آلودگی آب‌های زیرزمینی نقش مهمی ایفا می‌کنند. در این بخش به بررسی خواص و ویژگی‌های پساب پالایشگاه و آب‌های سطحی در رودخانه مجاور پالایشگاه از دیدگاه آلودگی‌های معدنی و آلی پرداخته شده و نتایج به دست آمده با شاخص‌های استاندارد جهانی WHO و EPA مقایسه شده است. همچنین تغییرات آلودگی با ترسیم نمودارهای مرتبط مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

#### ۴-۲-۱- هدایت الکتریکی (EC) و pH

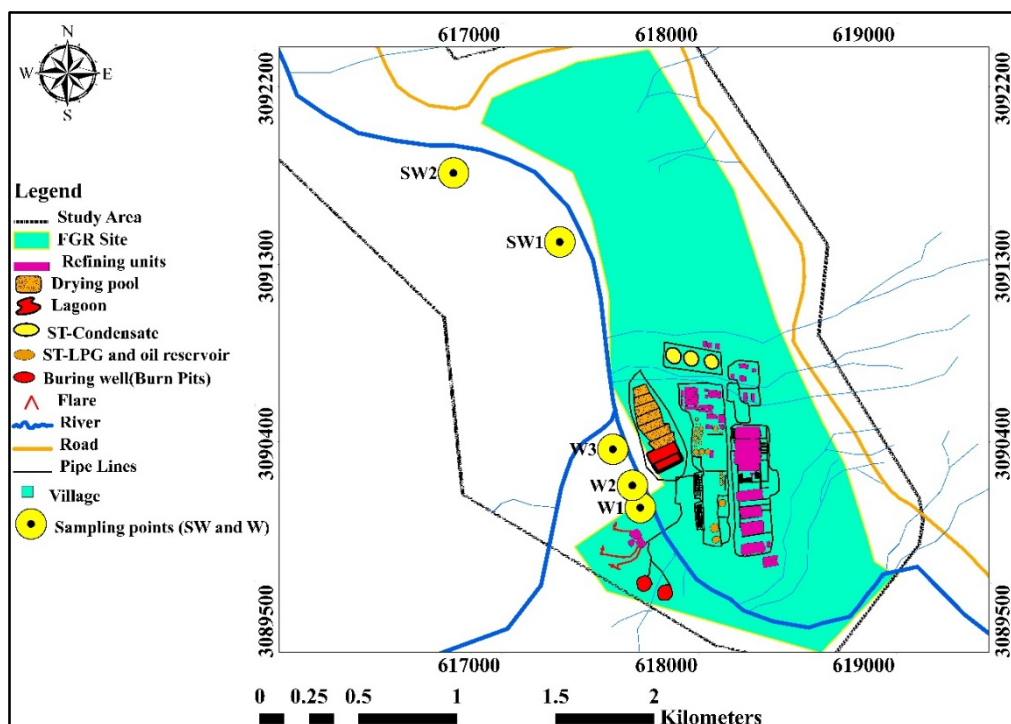
به منظور بررسی کیفیت پساب و آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه تعداد ۵ نمونه، شامل ۲ نمونه آب سطحی و ۳ نمونه از پساب‌های رهاسازی شده در رودخانه مجاور پالایشگاه برداشت شد. نتایج آنالیز هیدروشیمی نمونه‌های برداشت‌شده در جدول (۴-۱) آورده شده است. موقعیت نمونه‌های برداشت شده پساب (مشخص شده با W1 تا W3) و منابع آب سطحی (مشخص شده با علامت SW1 و SW2) در شکل (۴-۱) نمایش داده شده است. نمونه برداری از رودخانه مجاور پالایشگاه در محل SW1 دوبار، یک مرحله قبل از نشت پساب به رودخانه (SW1b) و یک مرحله بعد از نشت (SW1a) انجام شده است.



جدول ۴-۱- آنالیز هیدروشیمیایی نمونه‌های پساب و آب سطحی مجاور پالایشگاه گاز فجر

| نمونه         | Cr (ppb) | Fe (ppb) | Ni (ppb) | Zn (ppb) | Pb (ppb) | pH | EC (µs/cm) | TDS (mg/l) | غلظت یون‌ها (meq/lit) |                |                  |                  |                 |                               | TH (mg/l) | خطای آزمایش (%) |                               |     |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----|------------|------------|-----------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-----------|-----------------|-------------------------------|-----|
|               |          |          |          |          |          |    |            |            | Na <sup>+</sup>       | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |           |                 | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |     |
| پساب          | W1       | ۱۴       | ۲۰۰۰۳    | ۱۳       | ۳۹۵      | ۴۰ | ۷/۳۴       | ۳۴۴۰       | ۲۰۲۱                  | ۱۲/۳           | ۰/۱۸۹            | ۲/۱              | ۵/۹             | ۹/۲                           | ۷/۸       | ۵/۶             | ۳۹۵                           | ۵/۱ |
|               | W2       | -        | -        | -        | -        | -  | ۷/۳۵       | ۳۵۲۰       | ۲۲۵۲                  | ۱۲/۳           | ۰/۱۸۶            | ۲/۲              | ۵/۷             | ۹/۱                           | ۸/۶       | ۵/۵             | ۳۹۰                           | ۶/۴ |
|               | W3       | ۷۶       | ۶۱۱۸     | ۶        | ۲۴۶      | ۸۳ | ۷/۲۵       | ۳۱۷۰       | ۲۰۲۸                  | ۱۲/۴           | ۰/۱۹۱            | ۳/۳              | ۵/۷             | ۸/۹                           | ۸/۳       | ۵/۶             | ۴۴۷                           | ۲/۷ |
| آب سطحی       | SW1a*    | ۲۰       | ۴۲۳۰     | ۶        | ۱۹۱      | ۱۷ | ۷/۳۳       | ۳۵۵۰       | ۲۲۷۲                  | ۱۲/۴           | ۰/۱۸۹            | ۲/۸              | ۵/۷             | ۹/۳                           | ۷/۹       | ۵/۷             | ۴۲۲                           | ۲   |
|               | SW1b*    | <۵       | ۵۰       | ۶        | ۹۰       | <۵ | ۸/۱۰       | ۳۶۸۰       | ۲۳۵۵                  | ۱۶/۳           | ۰/۳۱۹            | ۱۰/۴             | ۱۸/۸            | ۱۷/۴                          | ۱۴/۸      | ۹/۳             | ۱۴۴۴                          | ۴/۹ |
|               | SW2      | <۵       | ۴۴       | ۱۷       | ۲۶       | <۵ | ۷/۸۳       | ۳۶۴۰       | ۲۳۲۹                  | ۱۶/۵           | ۰/۳۱۴            | ۹/۴              | ۱۷              | ۱۷/۱                          | ۱۴/۶      | ۸/۸             | ۱۳۰۶                          | ۳/۲ |
| استاندارد WHO |          | ۵۰       | ۳۰۰      | ۲۰       | ۱۰       | ۱۰ | -          |            |                       |                |                  |                  |                 |                               |           |                 |                               |     |

\* اندیس‌های a و b به ترتیب نشان دهنده برداشت نمونه بعد و قبل از نشت پساب به رودخانه است



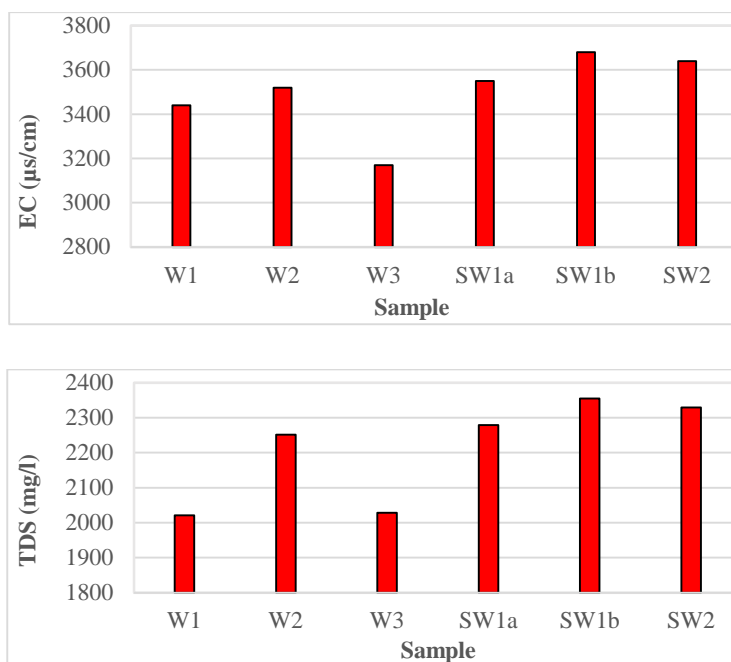
شکل ۴-۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری از پساب (W) و آب سطحی (SW) در مجاورت پالایشگاه گاز فجر

میزان EC در نمونه‌های برداشته شده در پساب از حداقل ۳۱۷۰ تا حداکثر ۳۵۲۰ میکروزیمنس بر سانتی متر متغیر بوده و میانگین آن ۳۳۷۶ می‌باشد. در بین نمونه‌های پساب برداشت شده، نمونه W2 بیشترین مقدار هدایت الکتریکی را نشان می‌دهد (شکل ۴-۲) که این موضوع با توجه به نزدیکی محل برداشت نمونه به استخرهای تبخیری پالایشگاه قابل توجیه می‌باشد.

میانگین هدایت الکتریکی دو نمونه برداشت شده از آب‌های سطحی (قبل از نشت به رودخانه) برابر ۳۶۶۰ میکروزیمنس بر سانتی متر می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود (شکل ۴-۲) نمونه‌های پساب در مقایسه با آب‌های سطحی از هدایت الکتریکی کمتری برخوردار هستند. هدایت الکتریکی نمونه برداشت شده از محل SW1 قبل از نشت پساب به آب‌های سطحی (SW1b) برابر ۳۶۸۰ میکروزیمنس بر سانتی متر بوده که به حدود ۳۵۵۰ میکروزیمنس پس از نشت پساب (SW1a) در تاریخ ۱۳۹۵/۳/۱۹ به رودخانه کاهش یافته است. با توجه به املاح کمتر پساب نسبت به آب‌های سطحی محلی این کاهش

قابل توجه بوده و این موضوع به وضوح تاثیر پساب پالایشگاه بر منابع آب سطحی مجاور را نشان می‌دهد.

به‌طور کلی مواد جامد محلول در آب می‌تواند ناشی از منابع انسانزاد مثل تخلیه فاضلاب‌های خانگی، پساب‌های کشاورزی، ورود آلاینده‌های صنعتی و عوامل طبیعی از جمله انحلال سازندهای زمین‌شناسی باشد. بازه تغییرات TDS در نمونه‌های پساب از ۲۰۲۱ تا ۲۲۵۲ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین ۲۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و در نمونه‌های آب سطحی از ۲۲۷۲ تا ۲۳۲۹ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین ۲۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. بیشترین میزان غلظت EC و TDS در نمونه‌های پساب مربوط به نمونه‌ی W2 و در آب سطحی مربوط به نمونه‌ی SW1a (بعد از نشت پساب) می‌باشد (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲- تغییرات EC و TDS در نمونه‌های پساب (W) و آب سطحی (SW) مجاور پالایشگاه

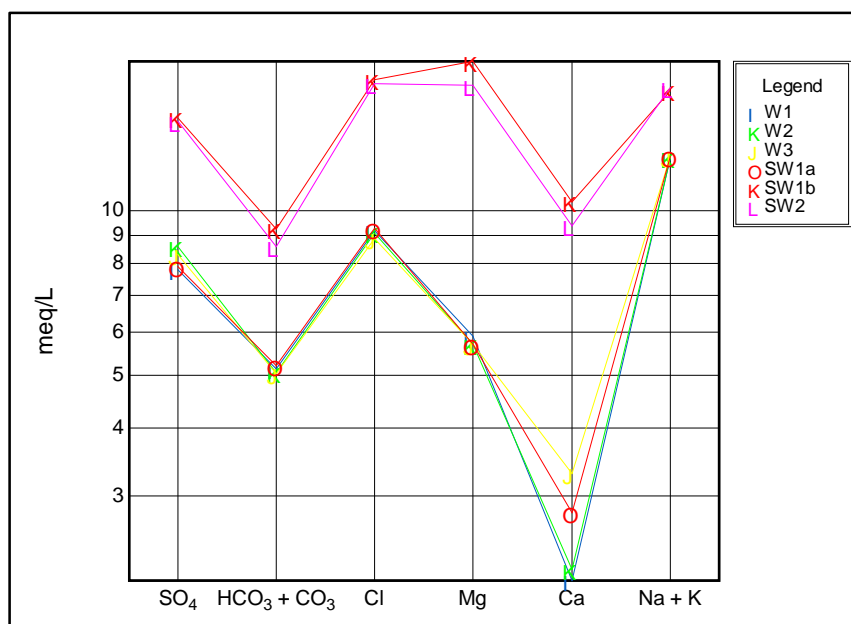
pH رابطه نزدیکی با متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب دارد و کنترل‌کننده اصلی حلالیت و رسوب‌گذاری اکثر ترکیبات فلزی و عناصر انحلال‌پذیر است. متوسط pH نمونه‌های پساب پالایشگاه حدود ۷/۳ و در

نمونه‌های آب سطحی حدود ۸ می‌باشد. کاهش pH آب‌های سطحی در محل نمونه SW1 از ۸/۱ به ۷/۳ به وضوح تاثیر پساب پالایشگاه بر منابع آب سطحی را تایید می‌نماید.

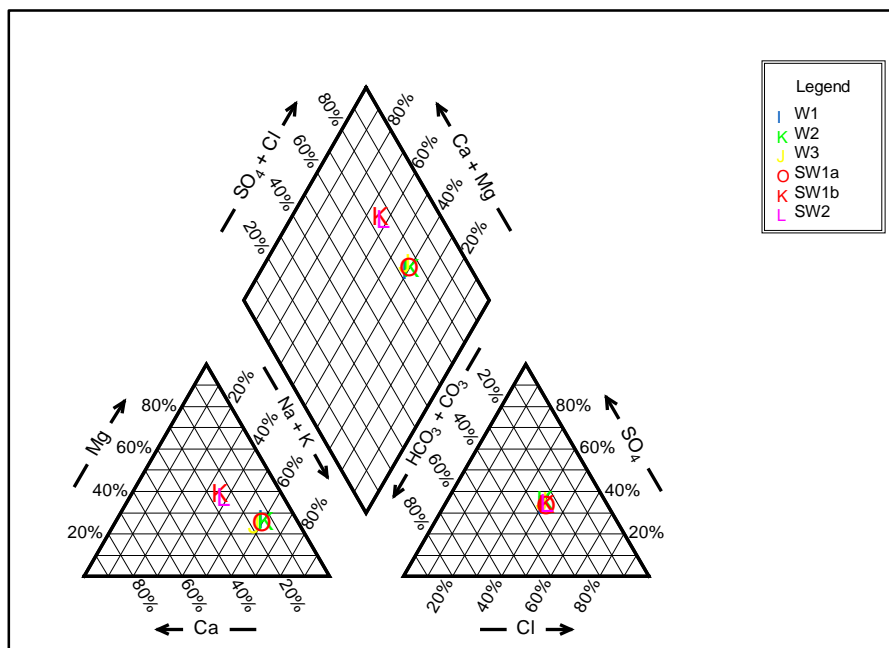
#### ۴-۲-۲- اجزاء معدنی در پساب و آب‌های سطحی

##### ۴-۲-۲-۱- یون‌های اصلی

با توجه به نمودار شولر، در نمونه‌های برداشت شده از آب‌های سطحی آنیون غالب کلر و کاتیون غالب منیزیم می‌باشد. در نمونه‌های پساب آنیون غالب کلر و کاتیون غالب سدیم می‌باشد (شکل ۴-۳). شباهت زیادی بین نمونه‌های پساب و آب‌های سطحی دیده می‌شود. دو نمونه آب سطحی از املاح بیشتری نسبت به پساب برخوردار هستند. بر اساس ترسیم نتایج روی نمودار پایپر (شکل ۴-۴) تیپ آب در نمونه‌های برداشت شده از آب سطحی کلروره - منیزیک و در نمونه‌های پساب کلروره - سدیک می‌باشد. مطابق این نمودار نمونه آب سطحی برداشت شده بعد از نشت پساب (SW1a) ترکیبی بسیار مشابه نمونه‌های پساب داشته که این موضوع نیز تاییدی بر تاثیر گذاری پساب پالایشگاه بر منابع آب سطحی است.



شکل ۴-۳- نمودار شولر نمونه‌های پساب (W) و آب سطحی (SW) در مجاورت پالایشگاه گاز فجر



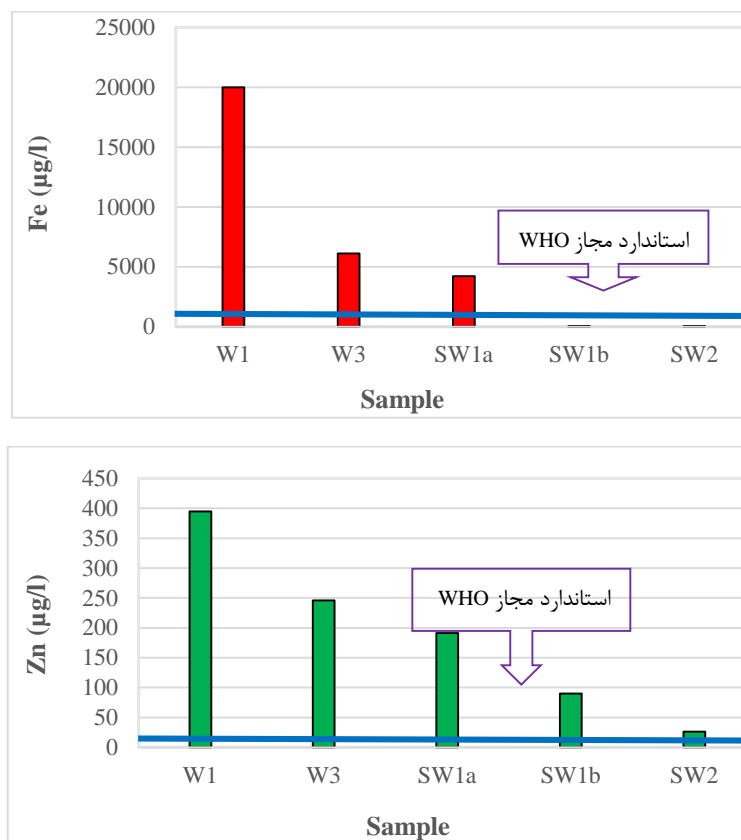
شکل ۴-۴- نمودار پایپر نمونه‌های پساب (W) و آب سطحی (SW)

#### ۴-۲-۲-۲-۴- فلزات سنگین

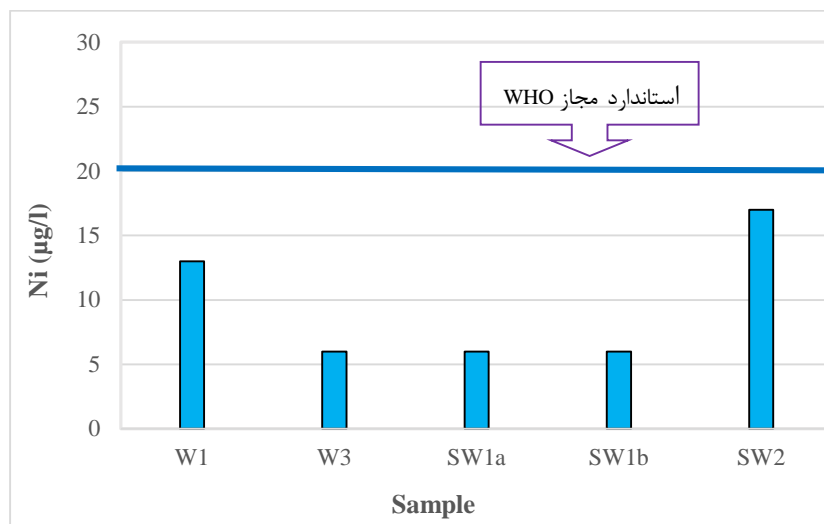
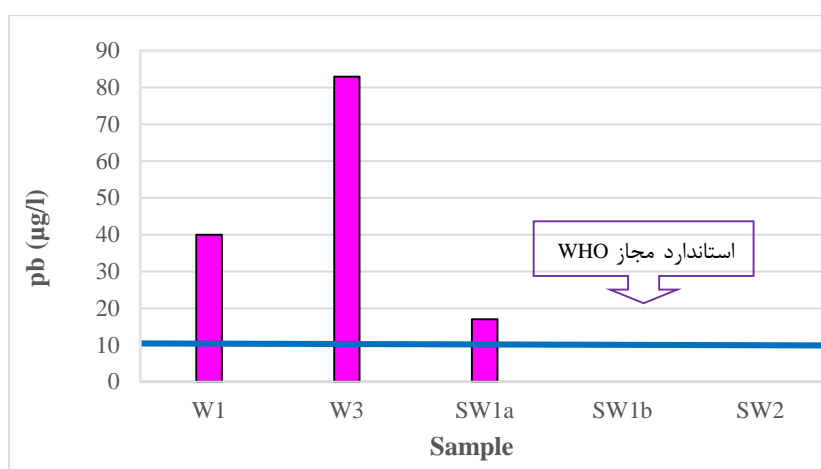
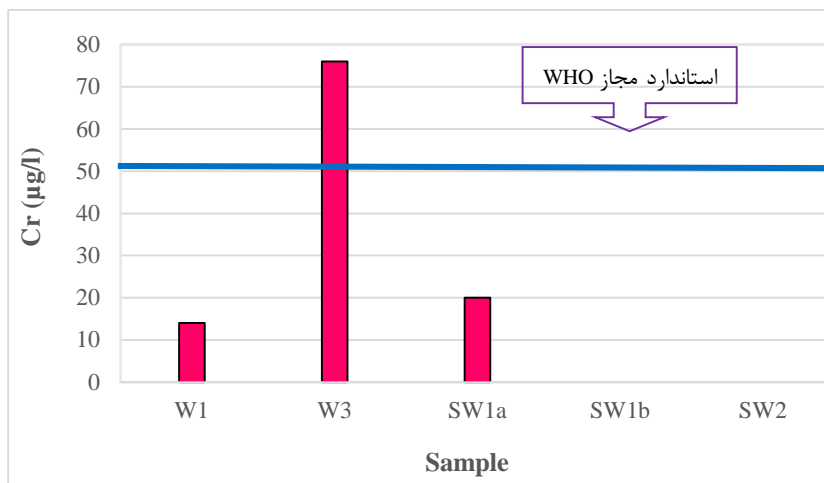
رفتار فلزات سنگین در آب تابع عوامل مختلف از جمله شیمی، وجود مواد جذب‌کننده، شرایط اکسیداسیون - احیا و انحلال و ته‌نشینی می‌باشد. در این مطالعه فلزات سنگین کروم (Cr)، آهن (Fe)، نیکل (Ni)، روی (Zn) و سرب (Pb) به عنوان مهم‌ترین فلزات سنگین شاخص در مناطق آلوده به نفت (Gawad et al. 2008) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در آبخوان‌های آلوده به مواد نفتی علاوه بر هیدروکربن‌ها، وجود فلزات سنگین مثل نیکل و سرب می‌تواند در تعیین منشاء آلودگی ایجاد شده اطلاعات مفیدی در اختیار قرار دهد (Riccardi et al. 2008).

میانگین غلظت روی در نمونه‌های پساب ۳۲۰/۵ میکروگرم بر لیتر و در نمونه‌های آب سطحی ۵۸ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. متوسط غلظت آهن، سرب، کروم و نیکل در پساب به ترتیب ۱۳۰۶۰، ۶۱/۵، ۴۵ و ۹/۵ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. غلظت سرب و کروم در نمونه‌های آب سطحی زیر حد آشکارسازی دستگاه و میانگین غلظت نیکل ۱۱/۵ میکروگرم بر لیتر اندازه‌گیری شده است. برخلاف غلظت یون‌های اصلی مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های پساب بسیار بیشتر از منابع آب سطحی می‌باشد.

شکل (۴-۵) نشان دهنده مقادیر غلظت فلزات سنگین در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی می‌باشد. طبق نتایج به دست آمده نمونه‌های پساب در مقایسه با استاندارد WHO دارای آلودگی به عناصر سرب، روی و آهن می‌باشند. در منابع آب سطحی تنها در نمونه SW1a که بعد از نشت پساب برداشته شده است، آلودگی به عناصر سرب، روی و آهن وجود دارد. مطابق این شکل افزایش غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های پساب در مقایسه با منابع آب سطحی کاملاً مشهود می‌باشد. بررسی نمونه SW1 طی دو مرحله برداشت (قبل و بعد از نشت پساب) تاثیر پساب در افزایش غلظت فلزات سنگین در منابع آب سطحی را نشان می‌دهد. به جز نیکل که مقادیر غلظت آن قبل و بعد از نشت پساب یکسان بوده و بنابراین دارای منشأ احتمالی زمین زاد می‌باشد، سایر فلزات پس از نشت پساب در نمونه آب سطحی افزایش یافته است. این موضوع تاثیر پساب در آلودگی آب سطحی به فلزات سنگین را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵- غلظت فلزات سنگین در پساب (W) و آب سطحی (SW) و مقایسه آن با مقادیر استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)



ادامه شکل ۴-۵- غلظت فلزات سنگین در پساب (W) و آب سطحی (SW) و مقایسه آن با مقادیر استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)

### ۴-۲-۳- بررسی آلودگی آلی در پساب و آب‌های سطحی

نتایج آنالیز آلی و هیدروکربنی نمونه‌های پساب و آب‌های سطحی در جدول (۴-۲) ارائه شده است.

جدول ۴-۲- نتایج کامل آنالیز آلی و نفتی در نمونه‌های پساب و آب سطحی

| Compound               |                        | Unit | Sample Code |        |        |       |       |       |
|------------------------|------------------------|------|-------------|--------|--------|-------|-------|-------|
|                        |                        |      | W1          | W2     | W3     | SW1a  | SW1b  | SW2   |
| TOC                    |                        | ppm  | ۱۸۰/۲۰      | ۲۰۳/۴۰ | ۱۴۰/۰۸ | ۹۰/۸۷ | ۶۳/۰۲ | ۲۵/۴۶ |
| TPH                    |                        | ppb  | ۱۵۱۴۶       | ۳۰۵۱۰  | ۱۱۶۷۰  | ۴۹۷۰  | ۵۸۵   | ۶۰۰   |
| BTEX                   | Benzene                | ppb  | ۱۴۰۷        | ۲۲۵۳   | ۱۲۴۳   | ۶۲/۵  | ND    | ND    |
|                        | Toluene                | ppb  | ۹۸۰         | ۳۲۹۱   | ۶۹۷    | ۱۶۱/۲ | ND    | ND    |
|                        | Ethyl Benzene          | ppb  | ۳۰۴         | ۵۶۳    | ۴۳۵    | ND*   | ND    | ND    |
|                        | M,P-Xylene             | ppb  | ۸۴۹         | ۳۹۵۱   | ۹۵۰    | ۶     | ND    | ND    |
|                        | O-Xylene               | ppb  | ۷۹۰         | ۲۴۶۸   | ۸۶۳    | ND    | ND    | ND    |
| TOTAL BTEX             |                        | ppb  | ۴۳۳۰        | ۱۲۵۲۶  | ۴۱۸۸   | ۲۲۹/۷ | <۵    | <۵    |
| PAHs                   | Naphtalene             | ppb  | ۱۱/۹۸       | ۴۱/۹۶  | ۴۳     | ۴/۱۳  | ND    | ND    |
|                        | Acenaphtylen           | ppb  | ND          | ۵۲/۱۱  | ND     | ND    | ND    | ND    |
|                        | Acenaphten             | ppb  | ۶/۲۲        | ۶/۰۷   | ND     | ۰/۶۳  | ND    | ND    |
|                        | Fluorene               | ppb  | ۵/۸۱        | ۳۴/۴۱  | ND     | ۰/۴۹  | ND    | ND    |
|                        | Phenathrene            | ppb  | ۴۱/۴۷       | ۷۵/۲۶  | ۷۴     | ۵/۴۲  | ND    | ND    |
|                        | Anthracene             | ppb  | ۲/۹۸        | ۵/۰۶   | ND     | ۰/۶۱  | ND    | ND    |
|                        | Fluorantene            | ppb  | ۵۰/۳۹       | ND     | ND     | ND    | ND    | ND    |
|                        | Pyrene                 | ppb  | ۵۰/۲۵       | ND     | ND     | ND    | ND    | ۷/۰۶  |
|                        | Benzo(a)ant            | ppb  | ۴۶/۰۳       | ND     | ND     | ND    | ND    | ۴/۵۲  |
|                        | Chrysene               | ppb  | ۴۴/۷۰       | ND     | ND     | ND    | ۹/۲۳  | ND    |
|                        | B(b)F                  | ppb  | ND          | ND     | ND     | ND    | ND    | ND    |
|                        | B(k)F                  | ppb  | ND          | ND     | ND     | ND    | ND    | ND    |
|                        | B(a)P                  | ppb  | ۴۵/۵۱       | ND     | ND     | ND    | ND    | ND    |
|                        | Dibenzo(a,h)Anthracene | ppb  | ND          | ND     | ۵/۴۵   | ND    | ۰/۷۴  | ND    |
|                        | Benzo(g,h,i)Perylene   | ppb  | ND          | ND     | ND     | ND    | ND    | ND    |
| Indeno(1,2,3-cd)Pyrene | ppb                    | ND   | ND          | ۴/۸۱   | ۰/۳۳   | ND    | ۰/۲۶  |       |
| TPAHs                  |                        | ppb  | ۳۰۵/۳۴      | ۲۱۴/۸۷ | ۱۱۷    | ۱۱/۶۱ | ۹/۹۷  | ۱۱/۵۷ |

ND\*: زیر حد آشکار سازی

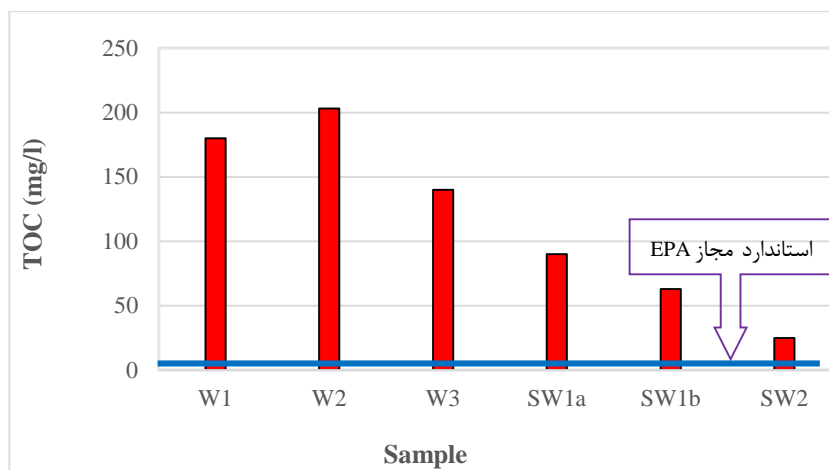
### ۴-۲-۳-۱- کربن آلی کل (TOC)

مقادیر غلظت TOC در نمونه‌های آنالیز شده پساب از حداقل ۱۴۰/۰۸ تا حداکثر ۲۰۳/۴۰ میلی گرم بر

لیتر با میانگین ۱۷۴/۵۶ و در آب سطحی از حداقل ۲۵/۴۶ تا حداکثر ۶۳/۰۲ میلی گرم بر لیتر با میانگین



۲۴/۴۴ متغیر می‌باشد (جدول ۴-۲). مقایسه مقادیر TOC در نمونه‌های برداشت شده با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) نشان می‌دهد مقادیر TOC در نمونه‌های پساب و آب سطحی بسیار بالاتر از حد مجاز می‌باشد (شکل ۴-۶). بیشترین مقدار TOC در نمونه‌های پساب و آب سطحی به ترتیب مربوط به نمونه‌های W2 و SW1a بوده که در آن مقدار کربن آلی کل (TOC) به ترتیب حدود ۱۰۰ و ۴۵ برابر حد استاندارد USEPA می‌باشد. تغییرات غلظت TOC در نمونه‌ی SW1 قبل (SW1b) و بعد (SW1a) از نشت پساب به خوبی نشان دهنده‌ی تاثیر پساب پالایشگاه بر افزایش مواد آلی در آب سطحی می‌باشد (شکل ۴-۶).

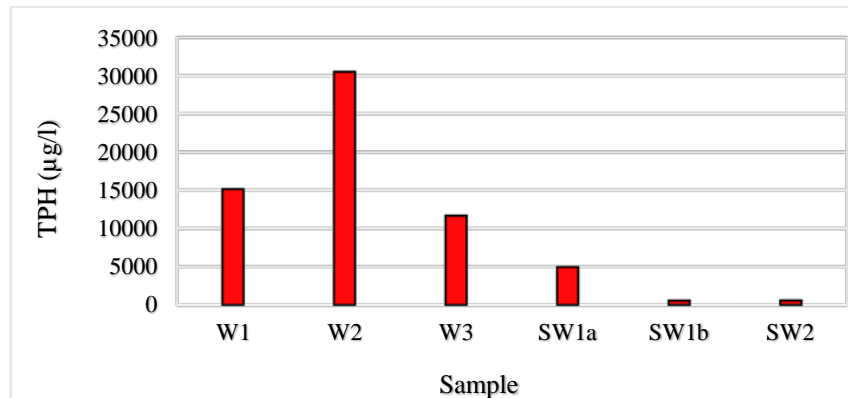


شکل ۴-۶- تغییرات غلظت TOC در پساب (W) و آب‌های سطحی (SW) و مقایسه آن با حد مجاز USEPA

#### ۴-۲-۳-۲- هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH)

مقادیر TPH در نمونه‌های اندازه‌گیری شده پساب از حداقل ۱۱۶۷۰ تا حداکثر ۳۰۵۱۰ میکروگرم بر لیتر (میانگین ۱۹۱۰۸ میکروگرم بر لیتر) متغیر می‌باشد. میانگین غلظت در منابع آب سطحی برابر ۵۹۲/۵ میکروگرم بر لیتر است (جدول ۴-۲). بیشترین میزان غلظت TPH در پساب و آب سطحی به ترتیب مربوط به نمونه‌ی W2 و SW1a است (شکل ۴-۷). افزایش قابل ملاحظه‌ی غلظت TPH در نمونه SW1a (برداشت شده پس از نشت پساب به منابع آب سطحی) نسبت به SW1b (برداشت شده

قبل از نشت پساب) بیانگر نفوذ مواد نفتی به آب سطحی می‌باشد. مقادیر TOC و TPH بر هم منطبق بوده و نشان دهنده تاثیر پساب پالایشگاه بر افزایش غلظت مواد آلی در منابع آب سطحی می‌باشد.



شکل ۴-۷- تغییرات غلظت TPH در پساب (W) و آب‌های سطحی (SW)

سازمان بهداشت جهانی حد مجاز TPH در منابع آب را مشخص نکرده است، اما این معیار برای هر کدام از هیدروکربن‌های نفتی به صورت جداگانه مشخص شده است (WHO 2008). تقسیم‌بندی‌هایی توسط بعضی از کشورها در این زمینه صورت گرفته است. یکی از این تقسیم‌بندی‌ها توسط سازمان استاندارد کیفیت محیط‌زیست چین تعریف شده که مقدار مجاز TPH در آب‌های سطحی را عنوان کرده که از آن به عنوان یک شاخص در مورد آب‌های زیرزمینی نیز استفاده می‌شود (Teng et al. 2013). بر اساس این تقسیم‌بندی کیفیت آب بر اساس میزان غلظت TPH موجود در آب به پنج گروه تقسیم بندی شده است: (جدول ۴-۳) میزان غلظت پایین‌تر از ۵۰ میکروگرم بر لیتر (سطح ۱ تا ۳)، میزان غلظت ۵۰ تا ۵۰۰ میکروگرم بر لیتر (سطح ۴)، میزان غلظت ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکروگرم بر لیتر (سطح ۵). با توجه به جدول (۴-۳) تعداد دو نمونه در سطح ۵ و چهار نمونه در سطح بالاتر از ۵ قرار دارند. بنابراین می‌توان گفت نمونه‌های آنالیز شده‌ی پساب و آب سطحی دارای میزان آلودگی نفتی شدید تا بسیار شدید هستند.

جدول ۳-۴- استانداردهای تعیین شده برای TPH توسط سازمان حفاظت محیط زیست چین و بررسی وضعیت نمونه-های پساب (W) و آب‌های سطحی (SW) مجاور پالایشگاه گاز فجر

| میزان آلودگی      | سطح        | محدوده تعیین شده (µg/l) | نمونه‌های آب سطحی و پساب پالایشگاه گاز فجر |
|-------------------|------------|-------------------------|--|
| کم یا فاقد آلودگی | ۱ تا ۳     | <۵۰                     | ۰  |
| متوسط             | ۴          | ۵۰-۵۰۰                  | ۰  |
| شدید              | ۵          | ۵۰۰-۱۰۰۰                | SW1b, SW2                                  |
| بسیار شدید        | بالتر از ۵ | >۱۰۰۰                   | W1, W2, W3, SW1a                           |

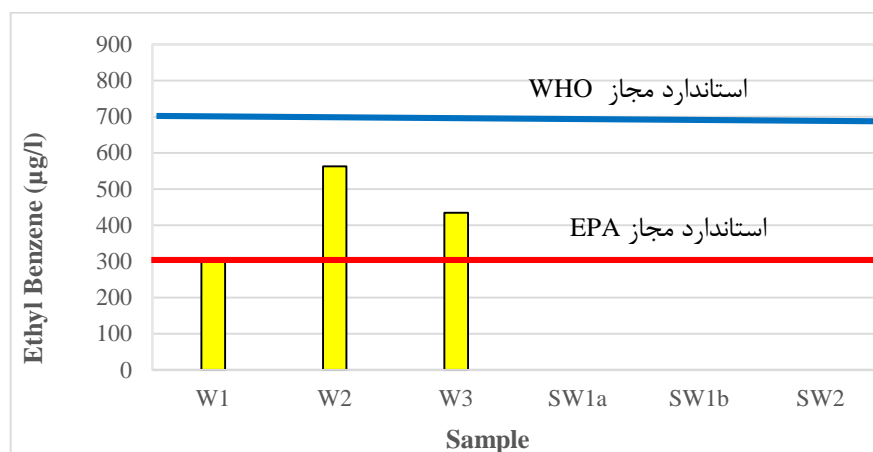
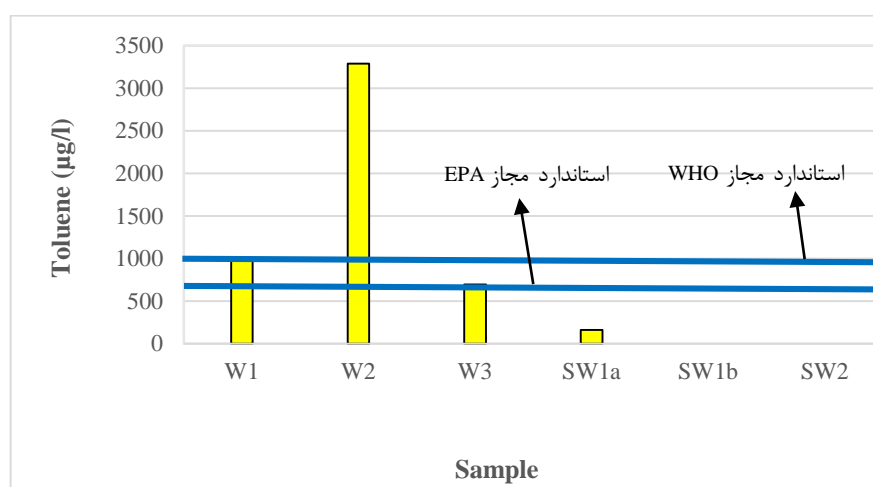
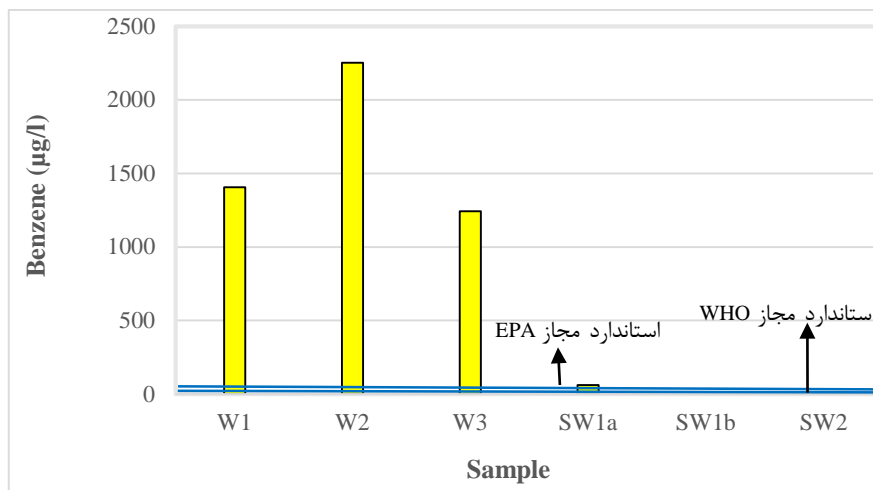
#### ۳-۲-۳-۴- هیدروکربن‌های آروماتیک تک حلقه‌ای (BTEX)

نتایج مربوط به میزان غلظت ترکیبات BTEX در نمونه‌های اندازه‌گیری شده پساب و آب سطحی در جدول (۲-۴) ارائه شده است. مجموع BTEX در نمونه‌های پساب از ۴۱۸۸ میکروگرم بر لیتر (نمونه W3) تا حداکثر ۱۲۵۲۶ میکروگرم بر لیتر (نمونه W2) متغیر است. در نمونه‌های آنالیز شده از آب‌های سطحی مقادیر BTEX فقط در نمونه SW1a که پس از نشت پساب برداشت شده است، قابل اندازه‌گیری بوده که برابر ۲۲۹/۷ میکروگرم بر لیتر می‌باشد.

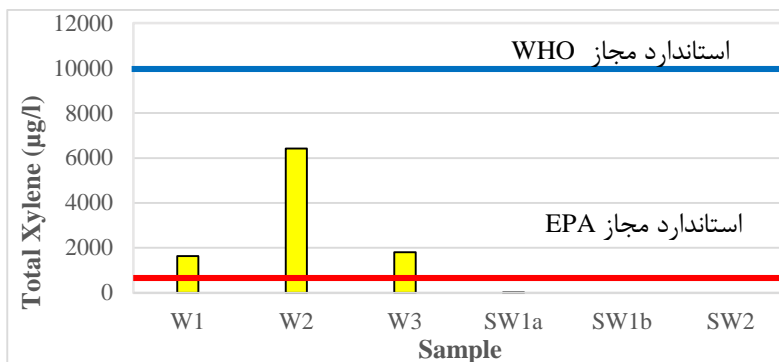
شکل (۴-۸) مقادیر BTEX نمونه‌های پساب و آب سطحی و مقایسه آن با مقادیر استاندارد WHO و EPA را نشان می‌دهد. در مقایسه با مقادیر استاندارد، غلظت بنزن در نمونه‌های پساب بسیار بالاتر می‌باشد که بیانگر آلودگی شدید نمونه‌های پساب به این ماده می‌باشد. میانگین غلظت ترکیبات مختلف BTEX مطابق روند زیر می‌باشد:



در نمونه‌های برداشت شده از آب‌های سطحی مقادیر قابل اندازه‌گیری BTEX فقط در نمونه SW1a (برداشت شده بعد از نشت پساب) دیده شده است. به جز اتیل بنزن سایر ترکیبات BTEX در این نمونه شناسایی شده است. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد حضور ترکیبات نفتی در این نمونه ناشی از تاثیر پساب بر منابع آب سطحی در زمان نمونه‌برداری بوده است.



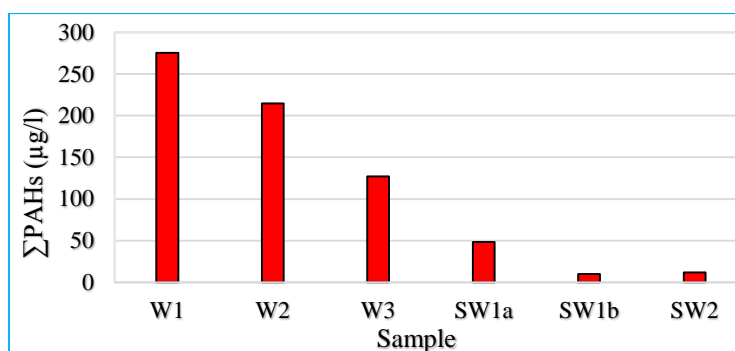
شکل ۴-۸-غلظت BTEX در پساب (W) و آب سطحی (SW) و مقایسه آن با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)



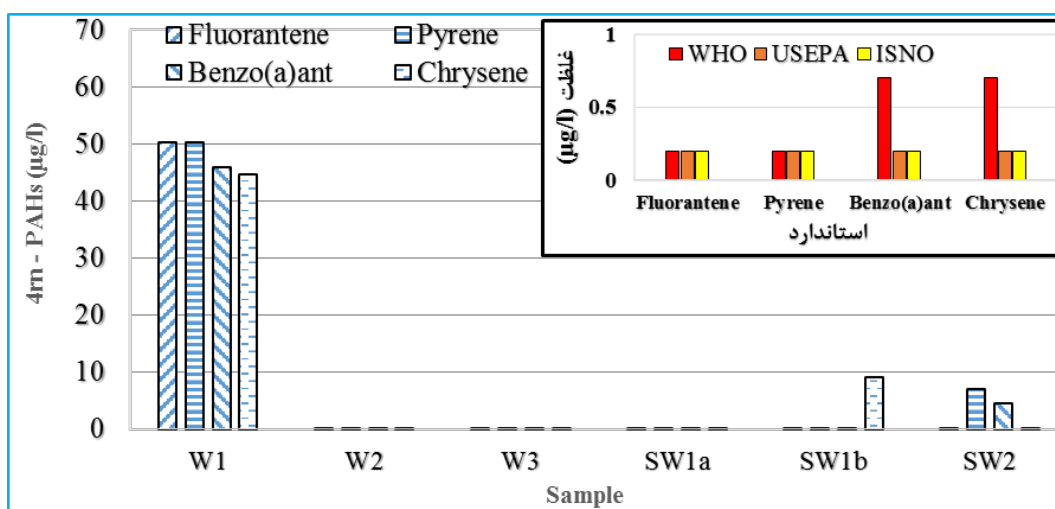
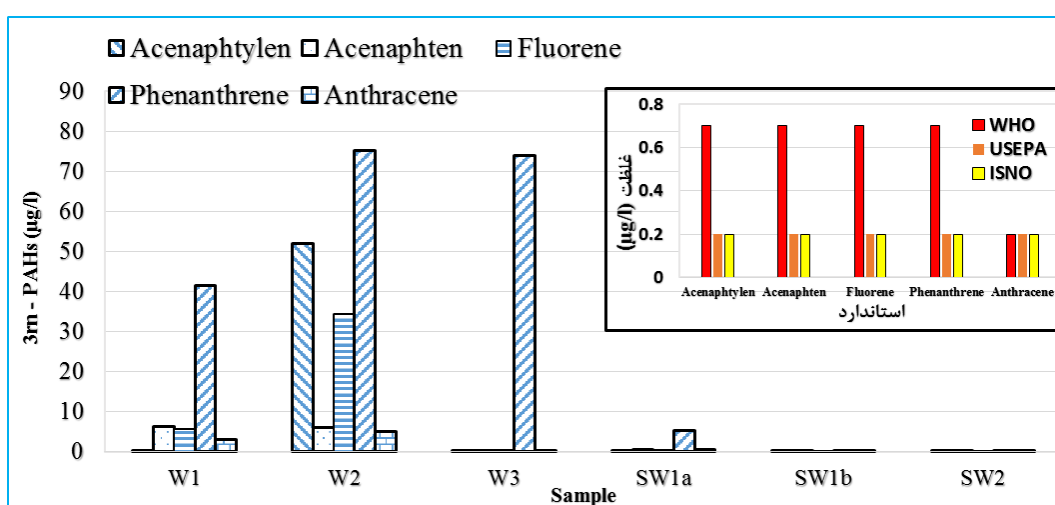
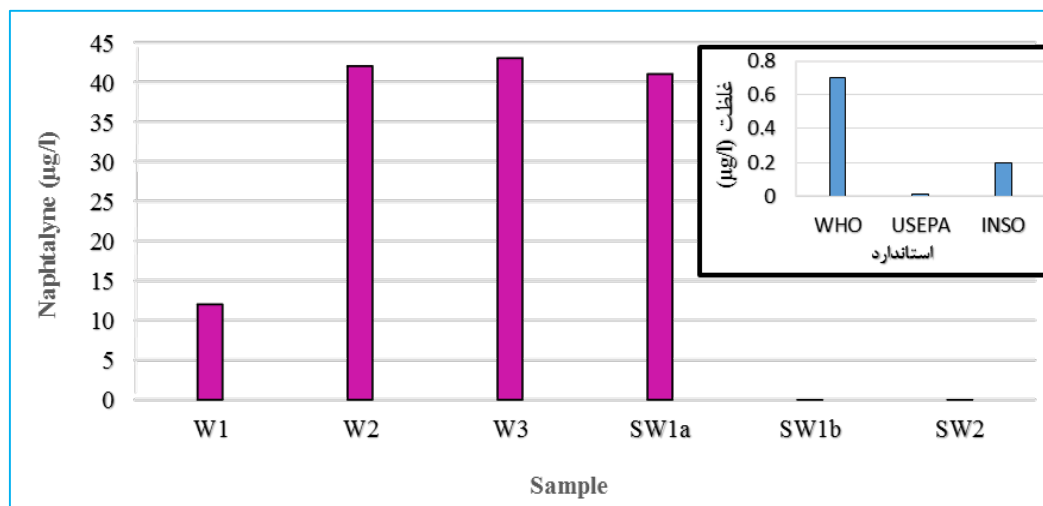
ادامه شکل ۴-۸- غلظت BTEX در پساب (W) و آب سطحی (SW) و مقایسه آن با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)

#### ۴-۳-۲-۴- ارزیابی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs)

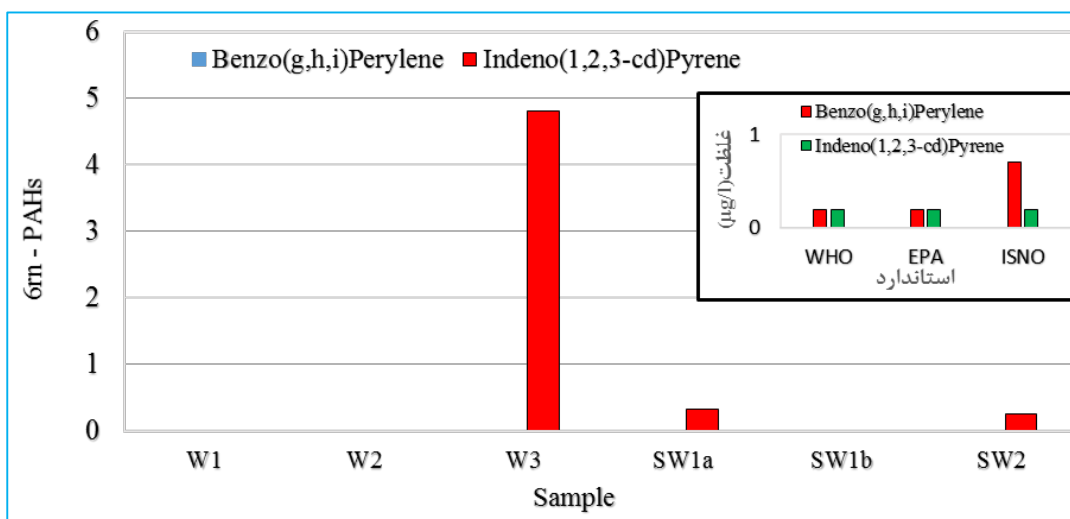
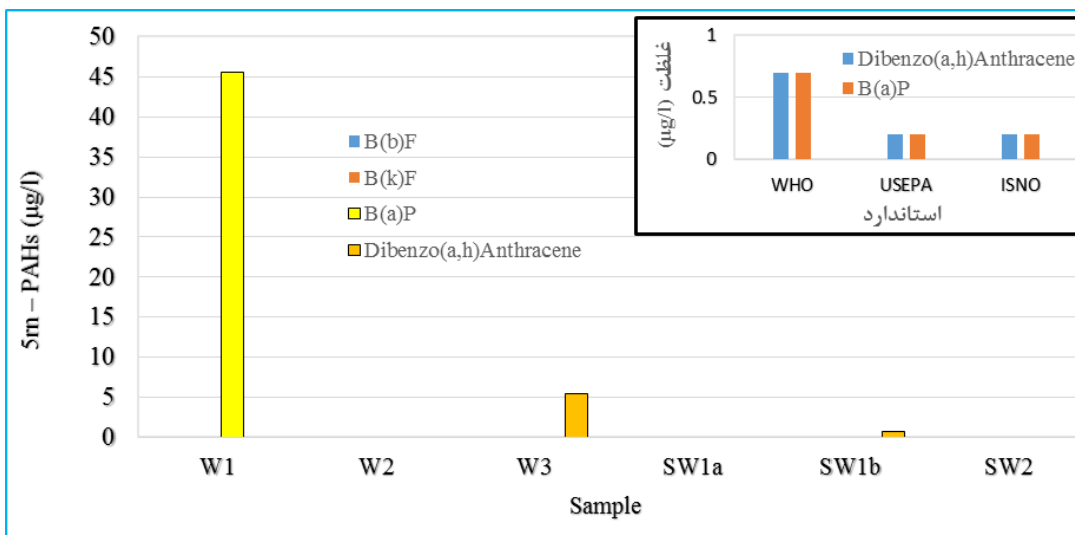
نتایج آنالیز مربوط به غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در پساب و آب سطحی در جدول (۲-۴) ارائه شده است. مقادیر PAHs کل در نمونه‌های پساب از ۱۱۷ تا ۳۰۵/۳ میکروگرم بر لیتر و در نمونه‌های آب سطحی از ۹/۹۷ تا ۱۱/۶ میکروگرم بر لیتر متغیر می‌باشد (شکل ۴-۹) از مجموع ۱۶ هیدروکربن آروماتیک چند حلقه‌ای ۱۳ مورد در نمونه‌های پساب و آب سطحی شناسایی شده که شامل ۱ دو حلقه‌ای، ۵ چهار حلقه‌ای، ۴ چهار حلقه‌ای، ۲ پنج حلقه‌ای و ۱ شش حلقه‌ای می‌باشد. مقادیر هیدروکربن‌های دو تا شش حلقه‌ای در نمونه‌های پساب و آب سطحی و مقایسه‌ی آن با مقادیر استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA) و همچنین سازمان استاندارد ایران (ISNO) در شکل (۴-۱۰) ارائه شده است.



شکل ۴-۹- مقادیر PAHs کل در نمونه‌های پساب (W) و آب سطحی (SW) مجاور پالایشگاه گاز فجر

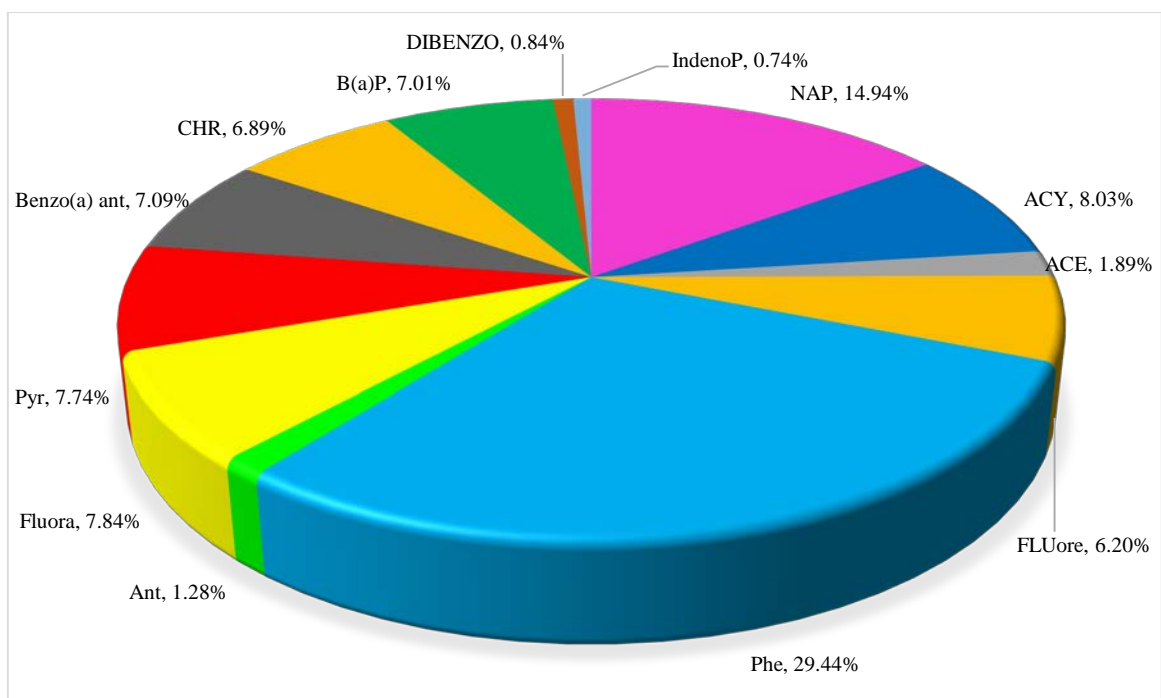


شکل ۴-۱۰- غلظت PAHs های دو تا شش حلقه‌ای اندازه‌گیری شده در پساب (W) و آب سطحی (SW) و مقایسه آنها با استانداردهای WHO، USEPA و INSO.



ادامه شکل ۴-۱۰ - غلظت PAHs های دو تا شش حلقه‌ای اندازه گیری شده در پساب (W) و آب سطحی (SW) و مقایسه آنها با استانداردهای WHO، USEPA، ISNO

در بین ترکیبات مختلف PAHs آن‌هایی که وزن مولکولی بالایی دارند، تمایل کمتری به جابه‌جایی در محیط اطراف از خود نشان می‌دهند. از مجموعه ۱۳ هیدروکربن آروماتیک چند حلقه‌ای شناسایی شده در نمونه‌های پساب بیشترین درصد به ترتیب مربوط به فناترن (آروماتیک سه حلقه‌ای) و نفتالن (آروماتیک دو حلقه‌ای) و کمترین درصد مربوط به آروماتیک‌های شش حلقه‌ای می‌باشد (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۱- درصد فراوانی PAHs در نمونه‌های پساب پالایشگاه گاز فجر

بررسی ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای در نمونه‌های آب سطحی نشان دهنده وجود بیش‌ترین تعداد این ترکیبات (۶ ترکیب) در نمونه SW1a بوده که به وضوح تاثیر آلاینده‌ی نفتی پساب بر منابع آب سطحی محدوده پالایشگاه را تایید می‌نماید. در این نمونه ترکیب فناترن و نفتالن بیشترین غلظت را نشان می‌دهند.



### ۳-۴- خصوصیات کیفی آب زیرزمینی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر جم

در این بخش به بررسی تاثیر احتمالی پساب پالایشگاه گاز فجر بر منابع آب زیرزمینی دشت ریز که در مجاورت آن قرار دارد پرداخته می‌شود. آلودگی‌های معدنی و آلی در آبخوان بررسی شده و نتایج با استانداردهای WHO و EPA مقایسه می‌گردند. همچنین نمودارها و نقشه‌های پراکندگی مکانی اجزاء معدنی و آلی ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

به منظور بررسی و مطالعه کیفیت شیمیایی آبخوان دشت ریز در مجاورت پالایشگاه گاز فجر تعداد ۱۵ نمونه از آب زیرزمینی شامل چاه، چشمه و قنات برداشت شد و مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت شده در جدول (۴-۴) و موقعیت آن‌ها در شکل (۴-۱۳) نمایش داده شده است. همچنین نتایج آنالیز شیمیایی یون‌های اصلی از سایر بخش‌های آبخوان ریز که در فاصله دورتری از پالایشگاه قرار دارند نیز موجود بوده (جدول ۴-۵) که از آن‌ها جهت بررسی کیفی آبخوان ریز و تاثیر احتمالی پالایشگاه بر منابع آب زیرزمینی استفاده شده است.

### ۳-۴-۱- هدایت الکتریکی (EC) و pH

به منظور بررسی و مقایسه دقیق‌تر میزان EC و سایر پارامترها از داده‌های هیدروشیمی مربوط به ۹ چاه مشاهده‌ای که در خرداد ماه ۹۵ برداشت شده (جدول ۴-۵) استفاده می‌گردد و نتایج با داده‌هایی که در محدوده پالایشگاه برداشت شده مورد مقایسه قرار می‌گیرد. هدایت الکتریکی (EC) منابع آب زیرزمینی در نمونه‌هایی که در نقاط نزدیک‌تری نسبت به پالایشگاه واقع شده‌اند، اکثراً مقادیر بالاتری را نسبت به نقاط دورتر نشان می‌دهد. می‌توان گفت بین EC و فاصله از پالایشگاه رابطه‌ی معکوس وجود داشته و با فاصله گرفتن از پالایشگاه میزان غلظت EC در نمونه‌ها کاهش می‌یابد (شکل ۴-۱۴).

جدول ۴-۴- نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از آبخوان ریز در مجاورت پالایشگاه گاز فجر

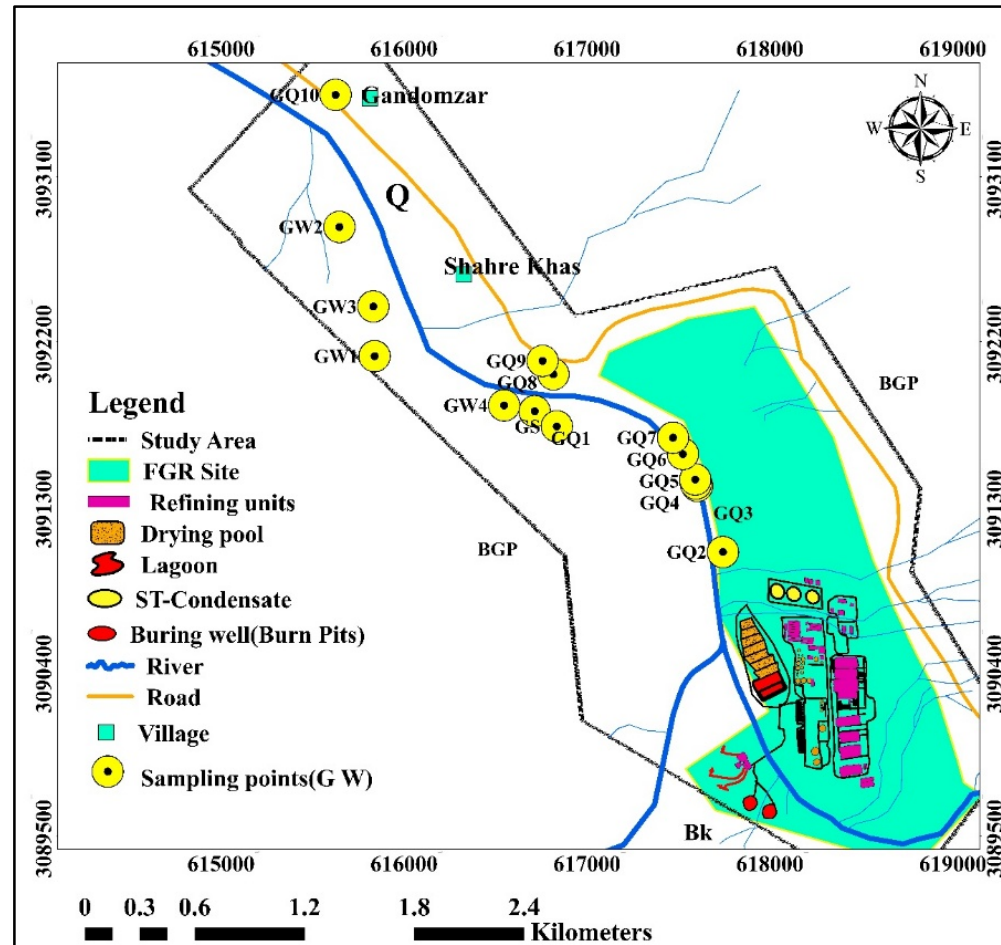
| Fe (ppb) | Zn (ppb) | Pb (ppb) | Cr (ppb) | Ni (ppb) | pH   | EC (µs/cm) | TDS (mg/l) | غلظت یون‌ها (meq/lit) |                |                  |                  |                 |                   | TH (mg/l) | خطای آزمایش (%) | نمونه * |                   |
|----------|----------|----------|----------|----------|------|------------|------------|-----------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------|-----------------|---------|-------------------|
|          |          |          |          |          |      |            |            | Na <sup>+</sup>       | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO4 <sup>-2</sup> |           |                 |         | HCO3 <sup>-</sup> |
| ۲۰۵۲     | ۱۵۳      | <۵       | <۵       | ۱۶       | ۷/۷۴ | ۳۲۷۰       | ۲۰۹۲       | ۱۳/۸                  | ۰/۲۹۴          | ۹/۴              | ۱۳/۳             | ۱۴/۱            | ۱۶/۵              | ۸/۴       | ۱۱۲۴            | ۲/۹     | GS                |
| -        | -        | -        | -        | -        | ۷/۳۵ | ۳۱۵۰       | ۲۰۱۶       | ۱۱/۳                  | ۰/۲۷۸          | ۱۵/۷             | ۱۵/۶             | ۱۷/۲            | ۲۴/۶              | ۶         | ۱۵۵۲            | ۵/۴     | GW1               |
| <۵       | ۲۲       | <۵       | <۵       | ۲۲       | ۸/۱۰ | ۳۵۸۰       | ۲۲۹۱       | ۱۳/۹                  | ۰/۳۵۰          | ۱۶/۴             | ۱۳/۹             | ۱۴/۶            | ۲۸/۵              | ۶/۲       | ۱۵۳۰            | ۵       | GW2               |
| -        | -        | -        | -        | -        | ۷/۴۳ | ۳۳۸۰       | ۲۱۶۳       | ۱۴/۸                  | ۰/۲۹۶          | ۱۴/۷             | ۸/۸              | ۱۶/۵            | ۲۰/۲              | ۶/۷       | ۱۱۶۷            | ۵/۸     | GW3               |
| -        | -        | -        | -        | -        | ۷/۴۳ | ۳۸۱۰       | ۲۴۳۸       | ۱۳/۷                  | ۰/۳۲۲          | ۱۶               | ۱۱/۳             | ۱۵/۴            | ۲۶/۶              | ۴/۹       | ۱۳۵۵            | ۶/۲     | GQ2               |
| ۹۲۰      | ۱۲۴      | <۵       | <۵       | ۲۵       | ۷/۷۹ | ۳۸۳۰       | ۲۴۵۱       | ۹/۵                   | ۰/۳۵۲          | ۱۷/۸             | ۱۹               | ۱۵              | ۲۸/۸              | ۶/۳       | ۱۸۲۴            | ۳/۵     | GQ3               |
| -        | -        | -        | -        | -        | ۷/۶۸ | ۳۸۱۰       | ۲۴۳۸       | ۱۴/۱                  | ۰/۳۲۷          | ۱۵               | ۱۴/۵             | ۱۶/۸            | ۲۴/۴              | ۴/۷       | ۱۴۶۳            | ۴/۴     | GQ4               |
| -        | -        | -        | -        | -        | ۷/۵۲ | ۳۸۱۰       | ۲۴۳۸       | ۱۴/۱                  | ۰/۳۲۲          | ۱۵/۸             | ۱۲/۳             | ۱۵              | ۲۸/۲              | ۴/۹       | ۱۳۹۵            | ۶       | GQ5               |
| -        | -        | -        | -        | -        | ۷/۶۱ | ۳۸۳۰       | ۲۴۵۱       | ۱۳/۷                  | ۰/۳۲۲          | ۱۵/۷             | ۹/۳              | ۱۵              | ۲۳/۲              | ۴/۶       | ۱۲۴۲            | ۴/۵     | GQ6               |
| -        | -        | -        | -        | -        | ۷/۶۳ | ۳۸۳۰       | ۲۴۵۱       | ۹/۵                   | ۰/۳۳۵          | ۱۶/۴             | ۱۵/۸             | ۱۴/۲            | ۲۷/۷              | ۵/۱       | ۱۵۹۷            | ۳/۹     | GQ7               |
| ۷۹       | ۱۶       | <۵       | <۵       | ۴۰       | ۷/۷۵ | ۳۷۰۰       | ۲۳۶۸       | ۱۴                    | ۰/۳۲۴          | ۱۷/۲             | ۱۷/۱             | ۱۴/۲            | ۳۰/۷              | ۷/۹       | ۱۶۶۶            | ۴/۱     | GQ8               |
| -        | -        | -        | -        | -        | ۷/۷۲ | ۳۳۶۰       | ۲۱۵۰       | ۱۳/۸                  | ۰/۳۲۴          | ۱۷/۵             | ۱۱               | ۱۴/۳            | ۲۸/۸              | ۵/۲       | ۱۴۱۶            | ۶/۱     | GQ9               |
| ۶۳       | ۱۹       | <۵       | <۵       | ۶        | ۸/۱۴ | ۲۹۷۰       | ۱۹۰۰       | ۱۴/۵                  | ۰/۳۱۴          | ۱۰/۳             | ۱۵/۸             | ۱۴/۵            | ۱۶/۶              | ۱۱/۵      | ۱۲۹۲            | ۲       | GQ10              |
| ۷۹۷      | ۲۵       | -        | -        | ۸        | ۷/۳۳ | ۳۵۳۰       | ۲۲۵۹       | ۱۳/۸                  | ۰/۳۲۲          | ۱۶               | ۱۹/۷             | ۱۴/۳            | ۳۱/۲              | ۶/۸       | ۱۷۶۹            | ۲/۴     | GQ1               |
| ۱۵۸      | ۸        | <۵       | <۵       | ۱۰       | ۷/۵۷ | ۳۲۰۰       | ۲۰۴۸       | ۱۵/۴                  | ۰/۳۱۲          | ۱۰/۶             | ۱۱               | ۱۴/۳            | ۱۸/۷              | ۷/۶       | ۱۰۷۱            | ۴/۱     | GW4               |
| ۳۰۰      | ۱۰       | ۱۰       | ۵۰       | ۲۰       |      |            |            |                       |                |                  |                  |                 |                   |           |                 |         | استاندارد WHO     |

\*

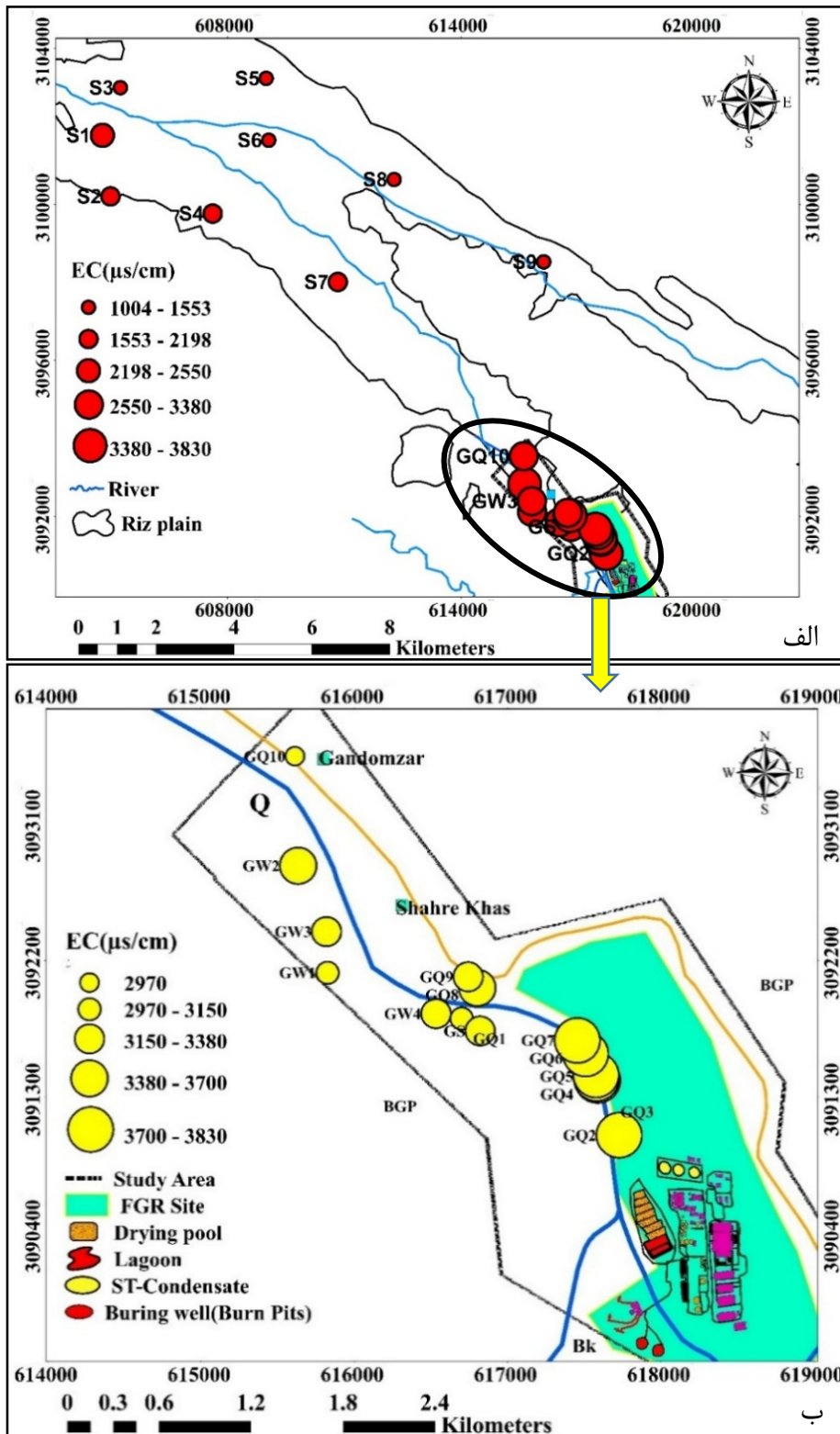
علائم S, W و Q نمونه‌ها نشان دهنده نوع منبع آبی به ترتیب چشمه، چاه و قنات است.

جدول ۴-۵- نتایج آنالیز هیدروشیمیایی مربوط به چاه‌های دشت ریز (خرداد ۹۵) (سازمان آب منطقه‌ای بوشهر)

| pH   | EC<br>( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) | TDS<br>(mg/l) | غلظت یون‌ها (meq/lit) |                |                  |                  |                 |                               |                               | TH<br>(mg/l) | خطای<br>آزمایش | UTMx   | UTMy    | نوع           | نمونه |
|------|-----------------------------------|---------------|-----------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------|--------|---------|---------------|-------|
|      |                                   |               | Na <sup>+</sup>       | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |              |                |        |         |               |       |
| ۷/۴۳ | ۲۵۵۰                              | ۱۳۷۹          | ۶/۳                   | ۰/۱            | ۱۱/۴             | ۸/۵              | ۲۰              | ۳/۸                           | ۱/۸                           | ۹۹۶/۵        | ٪۱/۳۱          | ۶۰۴۷۹۰ | ۳۱۰۱۷۷۰ | چاه نیمه عمیق | S1    |
| ۷/۶۵ | ۲۰۷۰                              | ۱۰۸۹          | ۵/۷                   | ۰/۰۹           | ۸/۲              | ۶/۵              | ۱۳/۸            | ۴/۹                           | ۱/۴                           | ۷۳۸          | ٪۰/۸۸          | ۶۰۴۹۹۸ | ۳۱۰۰۲۰۳ | چاه نیمه عمیق | S2    |
| ۷/۶۷ | ۳۱۵۰                              | ۶۰۰           | ۲/۱                   | ۰/۰۳           | ۵/۳              | ۴                | ۶/۷             | ۳/۴                           | ۱/۴                           | ۴۶۵/۵        | ٪۰/۸۶          | ۶۰۵۲۵۰ | ۳۱۰۲۹۹۲ | چاه نیمه عمیق | S3    |
| ۸/۵۶ | ۱۱۶۶                              | ۱۱۶۴          | ۴/۸                   | ۰/۰۸           | ۱۰               | ۷                | ۱۷/۳            | ۲/۵                           | ۱/۵                           | ۸۵۱/۵        | ٪۱/۳۶          | ۶۰۷۶۲۰ | ۳۰۹۹۷۶۳ | چاه نیمه عمیق | S4    |
| ۷/۷  | ۲۱۹۸                              | ۸۰۸           | ۸/۴                   | ۰/۱۴           | ۳/۹              | ۳                | ۱۰/۳            | ۳/۶                           | ۱/۲                           | ۳۴۹          | ٪۱/۳۳          | ۶۰۸۹۹۵ | ۳۱۰۳۲۳۰ | چاه نیمه عمیق | S5    |
| ۷/۷۵ | ۱۵۵۳                              | ۵۱۶           | ۴/۶                   | ۰/۰۶           | ۴/۱              | ۲                | ۶/۶             | ۲/۵                           | ۱/۳                           | ۳۰۶/۵        | ٪۱/۰۲          | ۶۰۹۰۶۰ | ۳۱۰۱۶۴۵ | چاه نیمه عمیق | S6    |
| ۷/۶۲ | ۱۰۰۴                              | ۱۰۵۲          | ۵/۶                   | ۰/۰۹           | ۸/۶              | ۵/۵              | ۱۶/۳            | ۲/۱                           | ۱/۳                           | ۷۰۷/۵        | ٪۰/۳           | ۶۱۰۸۳۵ | ۳۰۹۸۰۱۰ | چاه نیمه عمیق | S7    |
| ۷/۶۸ | ۱۹۹۵                              | ۷۰۸           | ۷/۵                   | ۰/۱۲           | ۳/۴              | ۲/۵              | ۹/۳             | ۲/۸                           | ۱/۳                           | ۲۹۷          | ٪۰/۲۲          | ۶۱۲۲۸۰ | ۳۱۰۰۶۳۸ | چاه نیمه عمیق | S8    |
| ۷/۷۶ | ۱۳۶۸                              | ۸۰۳           | ۵/۳                   | ۰/۰۸           | ۵/۹              | ۴/۱              | ۱۲              | ۲/۳                           | ۱/۲                           | ۵۰۲          | ٪۰/۵۵          | ۶۱۶۱۲۴ | ۳۰۹۸۵۲۷ | چاه نیمه عمیق | S9    |



شکل ۴-۱۲- موقعیت نقاط نمونه برداری از آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه



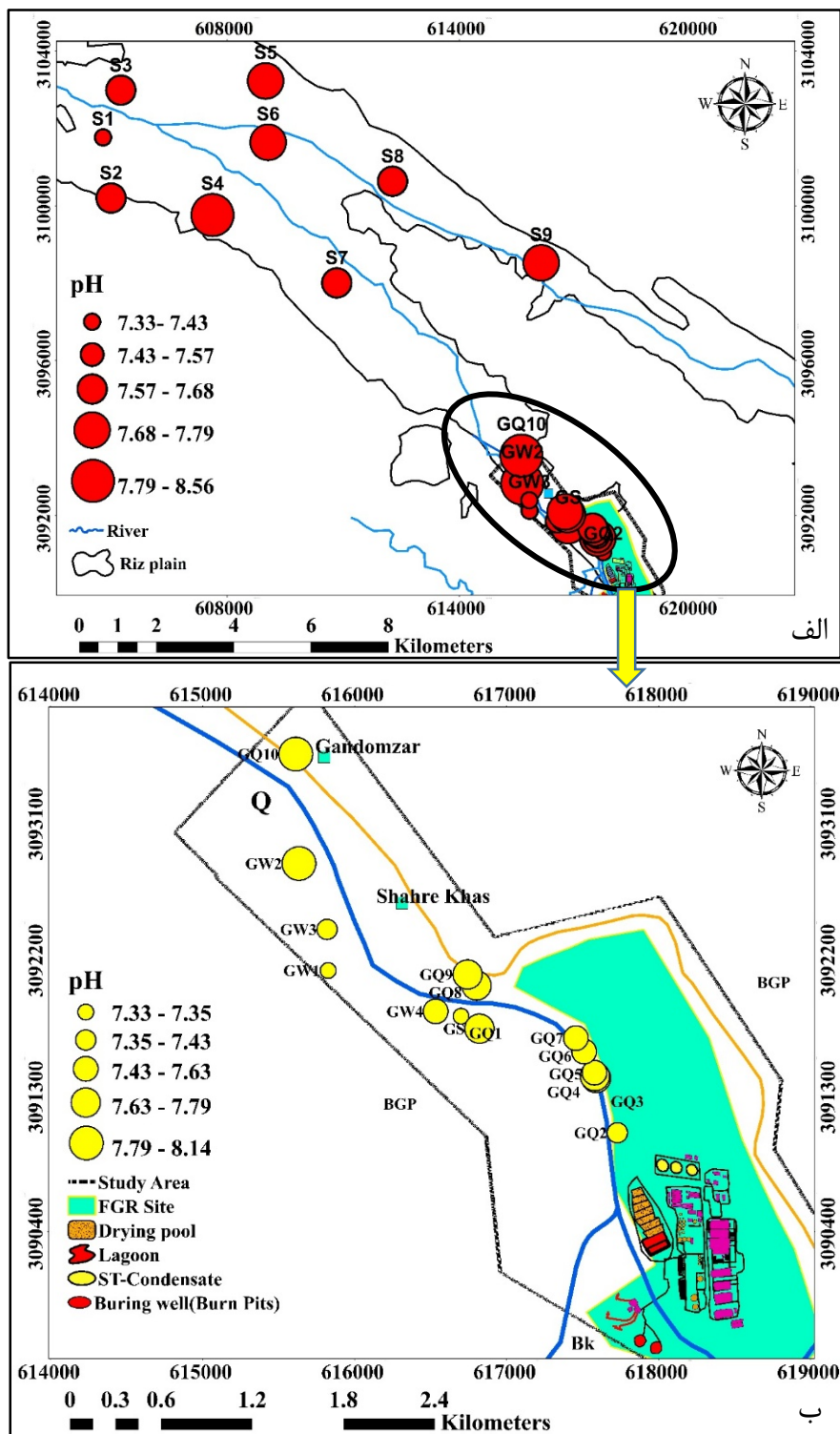
شکل ۴-۱۳- توزیع مقادیر هدایت الکتریکی (EC) در آبخوان ریز (الف) و تغییرات مکانی آن در مجاورت پالایشگاه فجر (ب)

با توجه به اینکه پالایشگاه گاز فجر جم در ابتدای آبخوان واقع شده است و از طرفی با توجه به روند ازدیاد غلظت عناصر و مواد محلول باید غلظت EC در ابتدای دشت نسبت به مرکز و انتهای دشت کمتر باشد که این روند در دشت ریز بر عکس می‌باشد. هر چند در این افزایش غلظت عوامل طبیعی و سازندهای زمین شناسی منطقه نیز نقش غیر قابل انکاری داشته‌اند، اما میزان EC در نقاط برداشت شده از مجاور پالایشگاه غیر عادی بوده و می‌تواند تا حدود زیادی ناشی از تزریق و نشت مواد صنعتی و پساب‌های مختلف پالایشگاه به آبخوان باشد.

محدوده pH در نمونه‌های برداشت شده از حداقل ۷/۳۳ در نمونه‌ی GQ1 تا حداکثر ۸/۱۴ در نمونه GQ10 متغیر بوده و میانگین آن ۷/۶۵ می‌باشد.

با مقایسه تغییرات مکانی pH نمونه‌های برداشت شده از دشت ریز با pH نمونه‌های برداشت شده از منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر قابل مشاهده است که میزان pH نمونه‌های مجاور پالایشگاه دارای مقادیر نسبتاً بیشتری نسبت به نمونه‌های مرکز و انتهای دشت می‌باشند و حاشیه غربی و بالا دست شهر خاص در مجموعه بالاترین مقدار را نشان می‌دهد (شکل ۴-۱۵).

تغییرات مکانی pH در منابع آب زیرزمینی نشان دهنده آن است که با افزایش فاصله از پالایشگاه مقادیر pH افزایش می‌یابد. نمونه‌های آب زیرزمینی که از بالادست جریان و مجاورت پالایشگاه برداشت شده‌اند اکثراً مقادیر pH کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها نشان می‌دهند.



شکل ۴-۱۴- توزیع مقادیر pH در آبخوان ریز (الف) و تغییرات مکانی آن در مجاورت پالایشگاه فجر (ب)

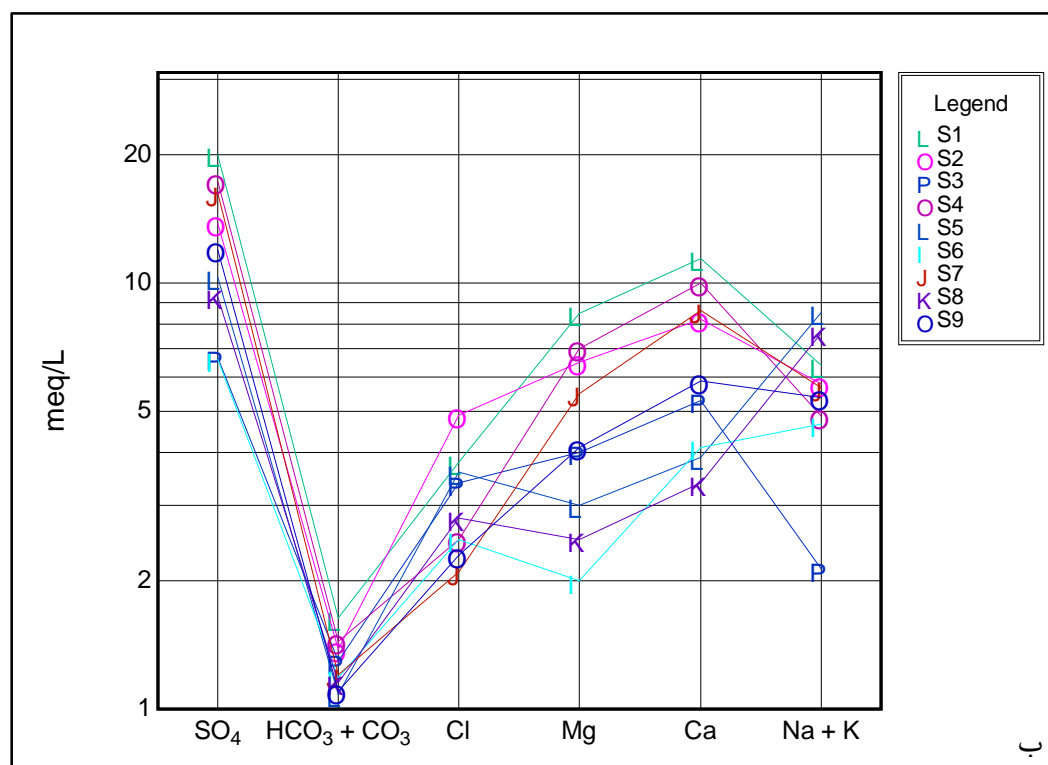
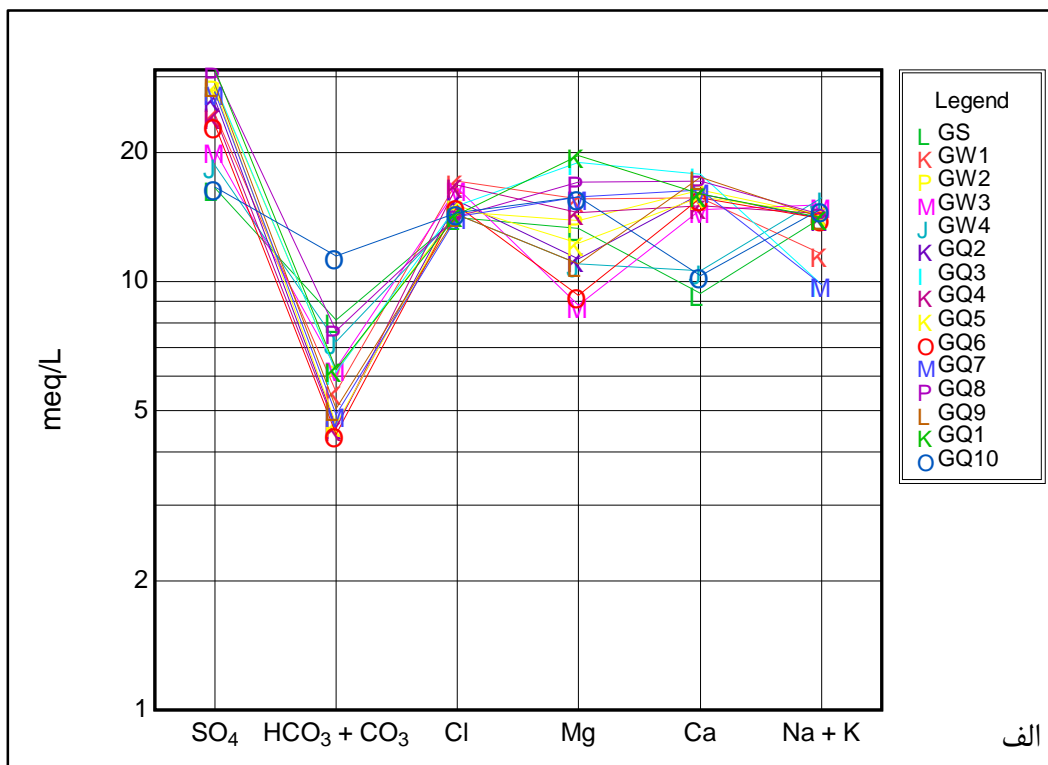
## ۴-۳-۲- اجزاء معدنی در آب زیرزمینی

### ۴-۳-۲-۱- یون‌های اصلی

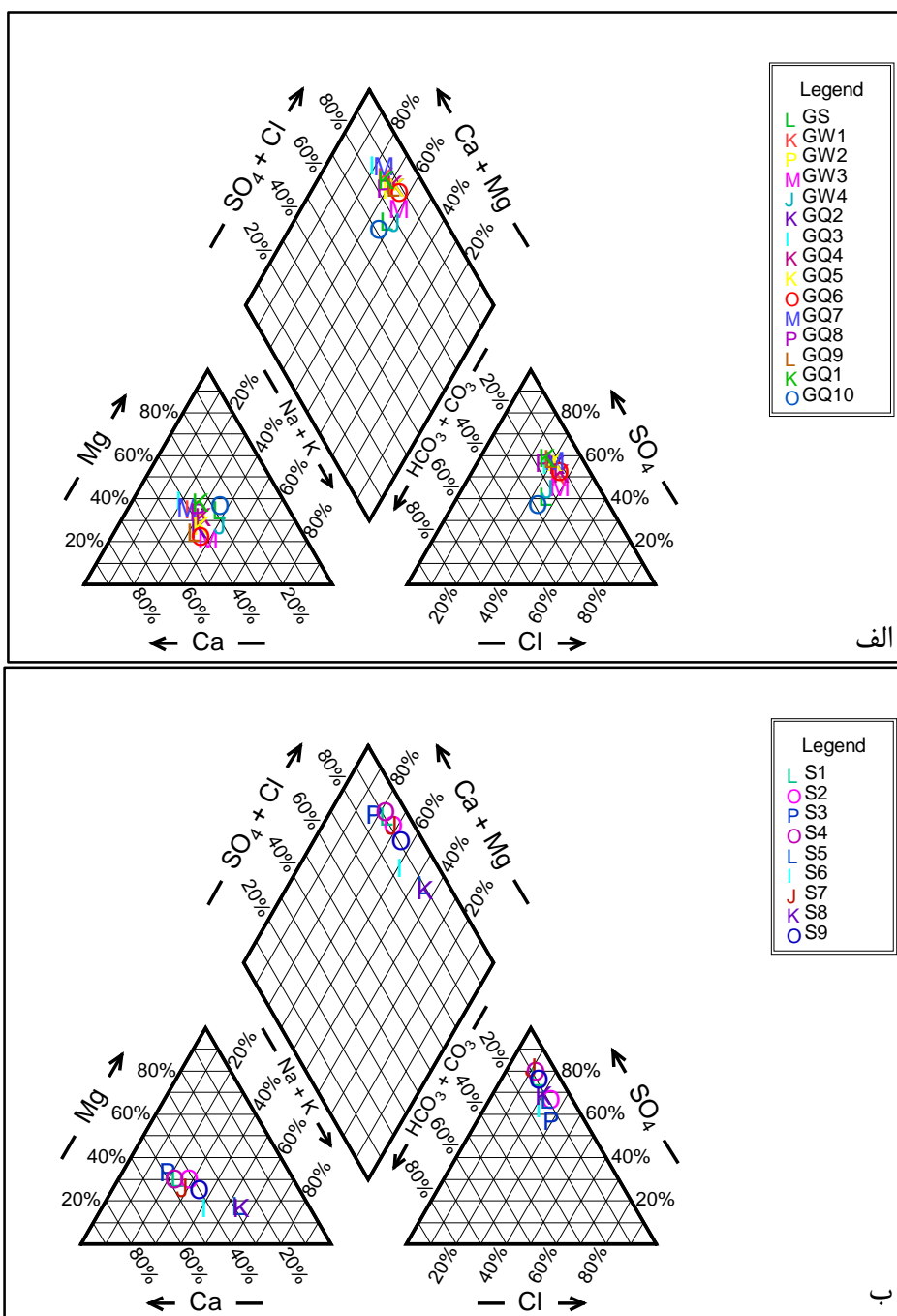
با توجه به نمودار شولر، در نمونه‌های برداشت شده از آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت و مجاور پالایشگاه مشاهده می‌گردد که آنیون غالب سولفات و کاتیون غالب کلسیم می‌باشد (شکل ۴-۱۶). غالب بودن سولفات و کلسیم در اکثر نمونه‌ها می‌تواند تحت تأثیر نوع سازندهای زمین‌شناسی مثل سازندهای گروه بنگستان که از نظر لیتولوژی دارای املاحی نظیر گچ و انیدریت هستند و همچنین سازندهای تبخیری و مارنی مانند آغاچاری، گچساران و میشان باشد.

بر اساس ترسیم نتایج روی نمودار پایپر (شکل ۴-۱۷) تیپ آب در نمونه‌های برداشت شده از آب زیرزمینی سولفات می‌باشد. رخساره نمونه‌ها متفاوت بوده و آن‌هایی که فاصله نزدیکتری تا پالایشگاه دارند مانند (GQ2، GQ4 تا GQ7) بیشتر رخساره کلسیکی را نشان می‌دهند. با افزایش فاصله از پالایشگاه رخساره نمونه‌های آب زیرزمینی از کلسیک به منیزیک (GQ1) و کلسیک - منیزیک (GW1) و (GQ8) تغییر یافته و در انتهای منطقه مورد مطالعه نیز رخساره منیزیک - سدیک (GQ10) قابل مشاهده است. همچنین نمونه‌های برداشت شده در نقاط مختلف دشت ریز در قسمت شمال غرب دشت دارای رخساره سدیک (S5، S6 و S8) و در شمال، حاشیه غربی، مرکز و انتهای دشت دارای رخساره کلسیک (S1، S2، S3، S4، S7 و S9) می‌باشند.





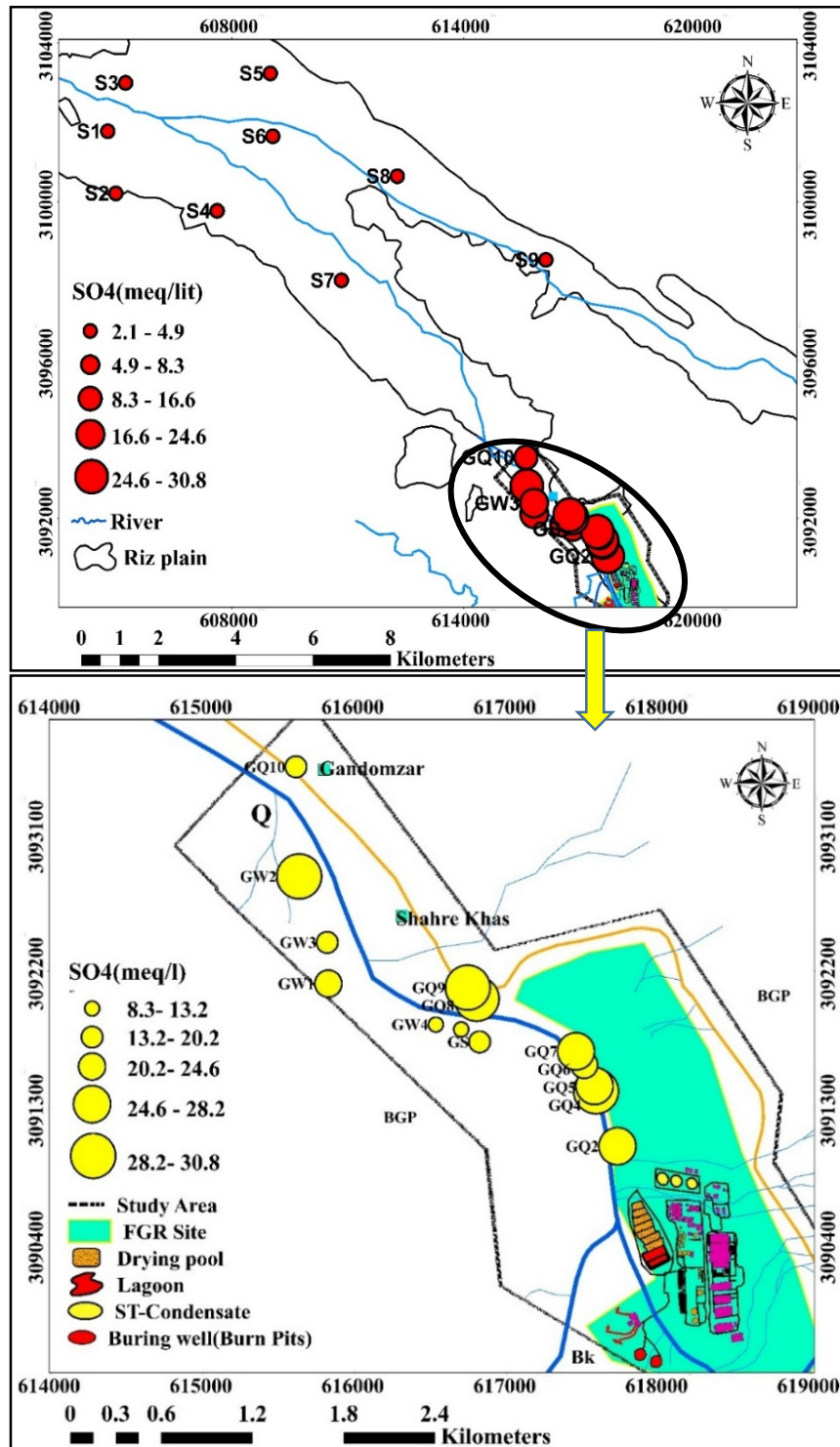
شکل ۴-۱۵- نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده در مجاورت پالایشگاه (الف) و سایر نقاط دشت (ب)



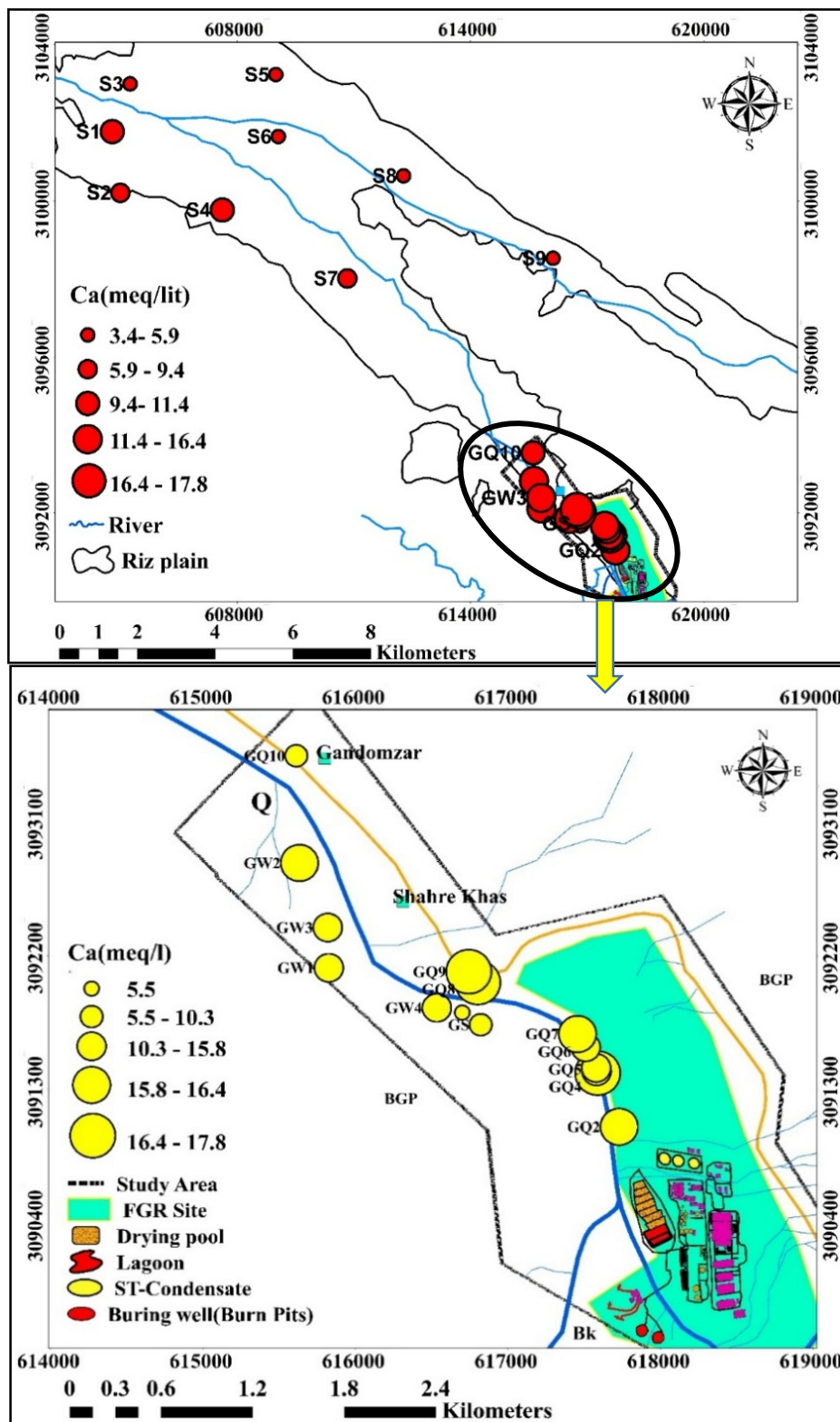
شکل ۴-۱۶- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده در مجاورت پالایشگاه (الف) و سایر نقاط دشت (ب)

تغییرات مکانی سولفات و کلسیم از روند تقریباً مشابهی تبعیت می‌کند و میزان غلظت آن‌ها با فاصله از پالایشگاه دارای رابطه معکوس می‌باشد (شکل ۴-۱۸ و ۴-۱۹). به طوری که نمونه‌های دورتر از پالایشگاه سولفات و کلسیم کمتری دارند که این رابطه در مورد سولفات قوی‌تر از کلسیم است. پساب‌های پالایشگاه

می‌تواند یکی از عوامل افزایش غلظت باشد هر چند نقش سازندهای زمین‌شناسی نیز در این افزایش غلظت قابل ملاحظه است.



شکل ۴-۱۷- تغییرات مکانی غلظت سولفات نمونه‌های آب زیرزمینی کل دشت ریز و مقایسه آن با نمونه‌های برداشت شده از منابع آب زیرزمینی مجاورت پالایشگاه گاز فجر



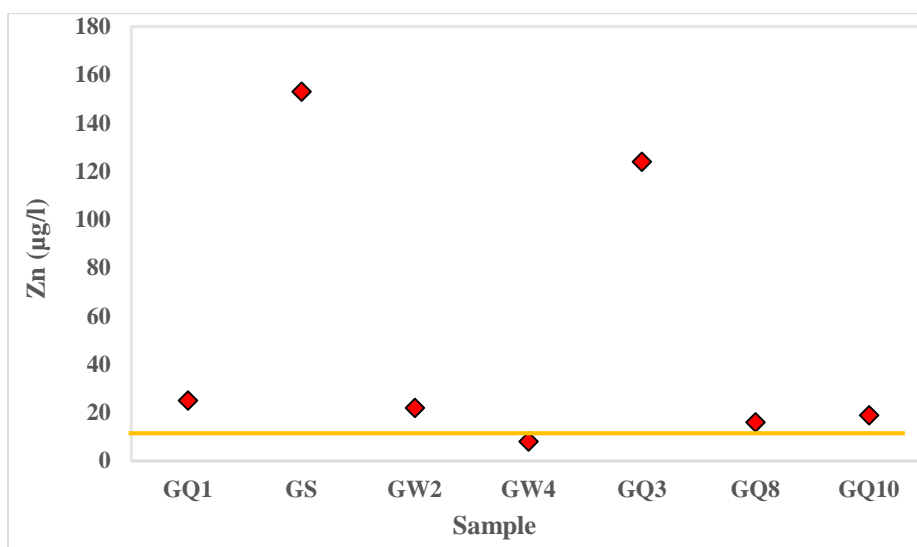
شکل ۴-۱۸- تغییرات مکانی غلظت کلسیم نمونه‌های آب زیرزمینی کل دشت ریز و مقایسه آن با نمونه‌های برداشت شده از منابع آب زیرزمینی مجاورت پالایشگاه گاز فجر

#### ۴-۳-۲-۲- فلزات سنگین

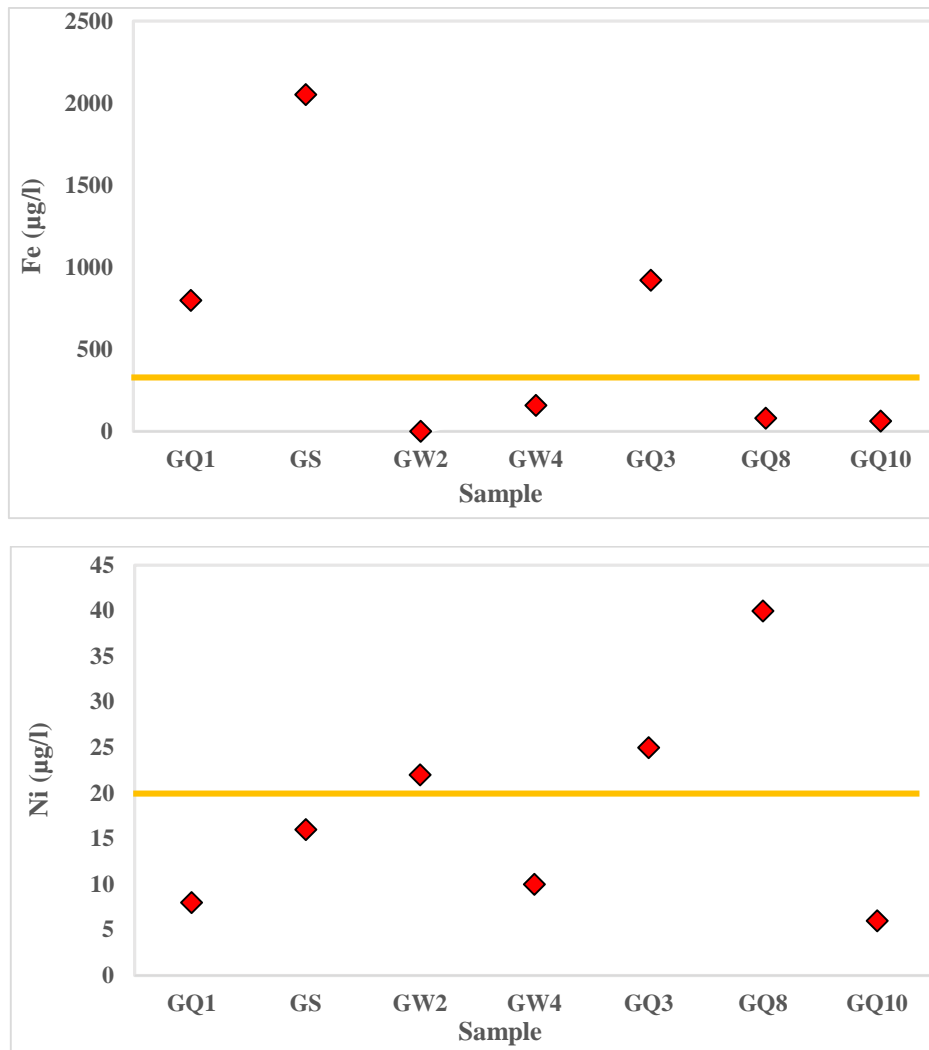
نتایج کامل آنالیز فلزات سنگین در نمونه‌های آب زیرزمینی در جدول (۴-۵) ارائه شده است. فلزات مورد بررسی در نمونه‌های آب زیرزمینی شامل سرب، کروم، آهن، روی و نیکل هستند. سرب و کروم زیر حد آشکار سازی بوده و غلظت میانگین آهن، روی و نیکل به ترتیب  $۵۴۵/۳$ ،  $۵۵/۶$ ،  $۱۹/۸$  میکروگرم بر لیتر می‌باشد.

در شکل (۴-۲۰) مقادیر غلظت فلزات مورد بررسی با استاندارد WHO مقایسه شده است. مقادیر غلظت سرب و کروم در تمامی نمونه‌ها پایین‌تر از استاندارد WHO می‌باشد. غلظت آهن در نمونه‌های GS و GQ1 به ترتیب در حدود ۷ و ۲ برابر استاندارد WHO می‌باشد. غلظت فلز روی به جز نمونه‌ی GQ10 در تمام نمونه‌ها دارای مقادیری بالاتر از حد استاندارد WHO ( $10 \mu\text{g/l}$ ) می‌باشد. در مجموع مقایسه غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب زیرزمینی و استاندارد WHO نشان دهنده روند آلودگی منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد:

Zn > Ni > Fe > Cr, Pb



شکل ۴-۱۹- تغییرات غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان ریز در مجاورت پالایشگاه گاز فجر و مقایسه آن با استاندارد بهداشت جهانی (WHO)

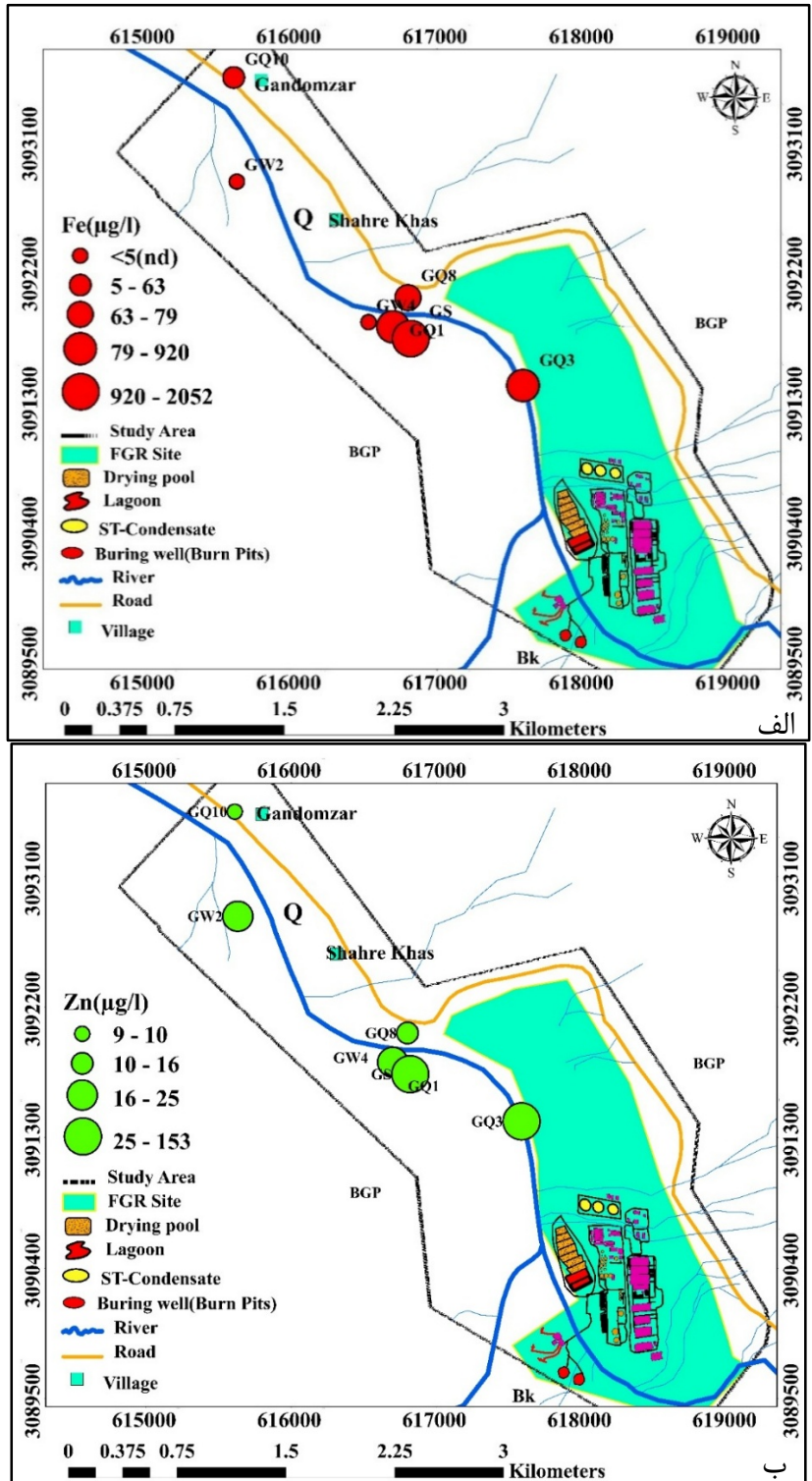


ادامه شکل ۴-۲۰- تغییرات غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان ریز در مجاورت پالایشگاه گاز فجر و مقایسه آن با استاندارد بهداشت جهانی (WHO)

تغییرات مکانی غلظت فلزات سنگین در مجاورت پالایشگاه گاز فجر در شکل (۴-۲۱) نشان داده شده است. فلزات آهن و روی در نقاط نزدیک به پالایشگاه اکثراً دارای غلظت بیشتری می‌باشند (شکل ۴-۲۱)، که با توجه به مسیر جریان‌های سطحی این افزایش می‌تواند ناشی از انتشار فاضلاب و پساب‌های رهاسازی شده پالایشگاه باشد. همانطور که قبلاً بررسی شد غلظت فلزات آهن و روی در نمونه‌های پساب و آب سطحی اندازه‌گیری شده بیشتر از سایر عناصر است. تغییرات مکانی نیکل نسبت به آهن و روی تا حدودی متفاوت می‌باشد. به جز نمونه GQ8 غلظت نیکل در سایر نمونه‌ها به طور متوسط حدود

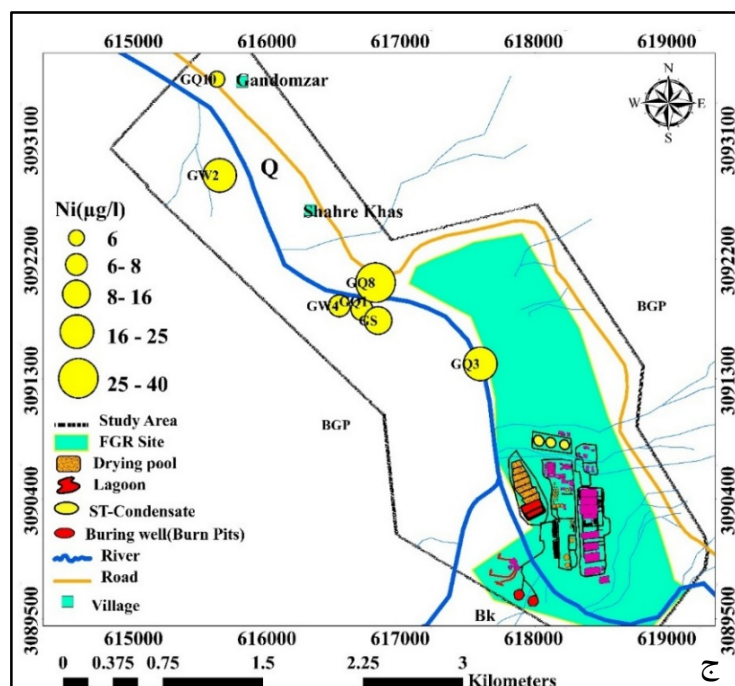


۱۰ میکروگرم بر لیتر است که با توجه به عدم تغییرات مکانی فاحش نشان دهنده منشاء غیر نفتی (زمین زاد) نیکل می باشد.



شکل ۴-۲۰- پراکندگی مکانی فلزات آهن (الف)، روی (ب) و نیکل (ج) در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز

فجر



ادامه شکل ۴-۲۱- پراکندگی مکانی غلظت آهن (الف)، روی (ب) و نیکل (ج) در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر

#### ۴-۳-۳- بررسی آلودگی آلی در آب زیرزمینی

نتایج آنالیز آلی و هیدروکربنی نمونه‌های آب زیرزمینی در جدول (۴-۶) ارائه شده است.

#### ۴-۳-۳-۱- کربن آلی کل (TOC)

بازه TOC از حداقل ۱۶/۷۹ تا حداکثر ۴۱/۴۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بوده که به ترتیب مربوط به نمونه GW4 و GW1 می‌باشد. میانگین غلظت TOC در نمونه‌های آنالیز شده آب زیرزمینی ۲۸/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مقادیر TOC نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد EPA (۲ میلی‌گرم بر لیتر) است. افزایش میزان TOC احتمال آلودگی آب زیرزمینی توسط مواد نفتی را نشان می‌دهد. مواد آلی ممکن است از دیگر منابع آلوده کننده مانند نشت از مخازن ذخیره سطحی و زیرزمینی انواع سوخت‌ها، یا شیرابه از نواحی دفن زباله و یا نفوذ ضایعات جامد و مایع صنعتی و یا سیستم‌های دفع فاضلاب مانند تانک‌های متعفن (سپتیک) یا چاه‌های جذبی، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی وارد منابع آب زیرزمینی گردند.

(Robertson et al. 1991; EPA. 1999)

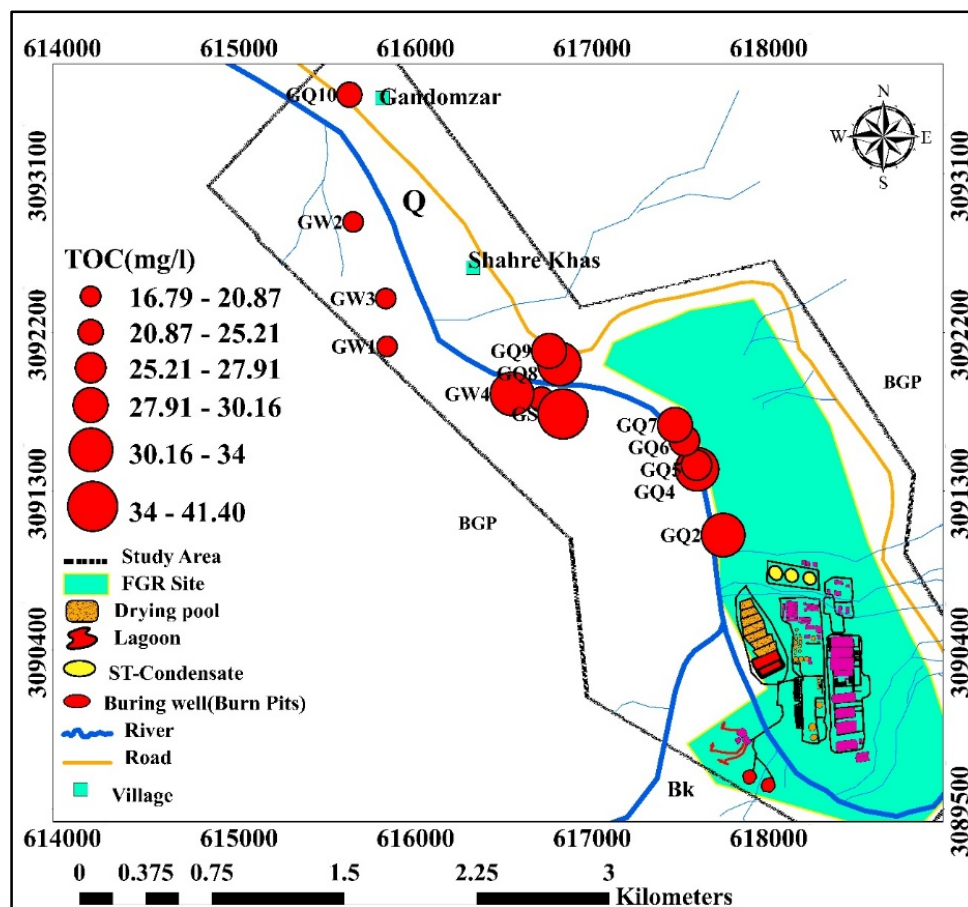


جدول ۴-۶- نتایج آنالیز آلی و هیدروکربنی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

|             |                | Sample Code |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |        |       |       |
|-------------|----------------|-------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Compound    |                | GQ1         | GS    | GW1   | GW2   | GW3   | GW4    | GQ2   | GQ3   | GQ4   | GQ5   | GQ6   | GQ7   | GQ8    | GQ9   | GQ10  |
| TOC (ppm)   |                | ۲۵/۱        | ۴۱/۴  | ۱۶/۷۹ | ۲۰/۸۷ | ۱۹/۲۴ | ۳۴     | ۳۲/۱۴ | ۳۰/۱۶ | ۳۱/۲۹ | ۲۷/۹۱ | ۲۷/۹۷ | ۲۹/۳۳ | ۳۱/۳۴  | ۲۹/۲۱ | ۲۵/۲۱ |
| TPH (ppb)   |                | ۳۲۰/۲۵      | ۳۵۰.۵ | <۰/۱  | ۸۸/۷  | <۰/۱  | ۱۶۸۰/۷ | ۴۵۰   | ۳۴۰   | -     | -     | -     | -     | ۳۰.۲/۸ | -     | ۱۸/۸  |
| BTEX        | Benzene (ppb)  | ND*         | ND    | ND    | ND    | ND    | ۷۰۰    | ۴۲    | ۵۱    | -     | -     | -     | -     | ۳۶/۸   | -     | ND    |
|             | Toluene (ppb)  | ND          | ND    | ND    | ND    | ND    | ۵۷۰    | ۱۰۰   | ۲۱    | -     | -     | -     | -     | ۱۶۲/۴  | -     | ND    |
|             | Ethyl B ( ppb) | ND          | ND    | ND    | ND    | ND    | ۱۷۰    | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ۱۱     | -     | ND    |
|             | M,P-X ( ppb)   | ND          | ND    | ND    | ND    | ND    | ND     | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ۳۵/۱   | -     | ND    |
|             | O-Xylene (ppb) | ND          | ND    | ND    | ND    | ND    | ND     | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ۲۷     | -     | ND    |
| ΣBTEX       |                | <۵          | <۵    | <۵    | <۵    | <۵    | ۱۴۴۰   | ۱۴۲   | ۷۲    | -     | -     | -     | -     | ۲۷۲/۴  | -     | <۵    |
| PAHs        | NAP (ppb)      | ND          | ۱/۱۹  | ND    | ND    | ND    | ۳/۹۷   | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ۴/۰.۱  | -     | ND    |
|             | ACY (ppb)      | ND          | ND    | ND    | ND    | ND    | ۵/۱۸   | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ۳/۴۳   | -     | ND    |
|             | ACE (ppb)      | ND          | ND    | ND    | ND    | ND    | ۴/۱۸   | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ND     | -     | ND    |
|             | FLU (ppb)      | ND          | ۰/۳۷  | ND    | ND    | ND    | ND     | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ND     | -     | ND    |
|             | PHE (ppb)      | ND          | ۴/۵۱  | ND    | ND    | ND    | ND     | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ND     | -     | ND    |
|             | ANT (ppb)      | ND          | ۴/۰.۳ | ND    | ND    | ND    | ND     | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ND     | -     | ND    |
|             | FLT (ppb)      | ND          | ۲/۸۳  | ND    | ND    | ND    | ND     | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ND     | -     | ND    |
|             | PYR (ppb)      | ND          | ۵/۳۳  | ND    | ND    | ND    | ND     | ND    | ND    | -     | -     | -     | -     | ND     | -     | ND    |
| CHR (ppb)   | ND             | ND          | ND    | ND    | ND    | ND    | ۴/۵۱   | ND    | ND    | -     | -     | -     | ND    | -      | ND    |       |
| ΣPAHs (ppb) |                | <۰/۱        | ۱۸/۲۶ | <۰/۱  | <۰/۱  | <۰/۱  | ۱۳/۳۳  | <۰/۱  | <۰/۱  | -     | -     | -     | -     |        | -     | <۰/۱  |

تغییرات مکانی TOC نشان دهنده افزایش غلظت در نمونه‌های میانی منطقه مورد بررسی و نزدیک به پالایشگاه است (شکل ۴-۲۲). به عبارتی می‌توان گفت بین مقادیر TOC و فاصله از پالایشگاه رابطه معکوس وجود دارد. مقادیر TOC در بالا دست روستای شهر خاص در بعضی از نمونه‌ها بیش از ۲۰ برابر حد استاندارد می‌باشد که دلیل آن می‌تواند کاهش یافتن سرعت جریان سطحی در این قسمت و افزایش نفوذ بیشتر مواد آلی به آبخوان باشد.

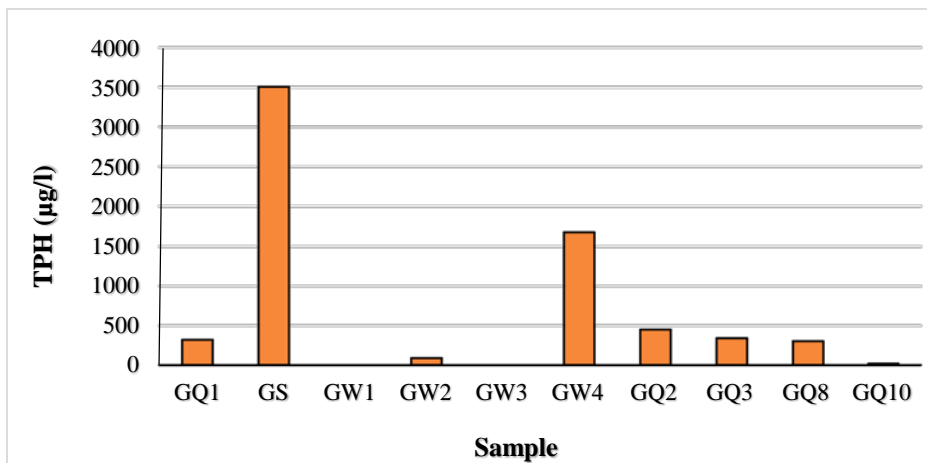
مقادیر مواد آلی در مجاورت پالایشگاه نیز به صورت مشخص بالاتر بوده که نقش احتمالی پالایشگاه گاز فجر در آلودگی منابع آب زیرزمینی مجاور را پررنگ می‌نماید. این موضوع در بخش‌های بعد با بررسی هیدروکربن‌های نفتی در نمونه‌های آب زیرزمینی با قاطعیت بیشتری تایید می‌گردد.



شکل ۴-۲۱- تغییرات مکانی TOC در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر

#### ۴-۳-۲- هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH)

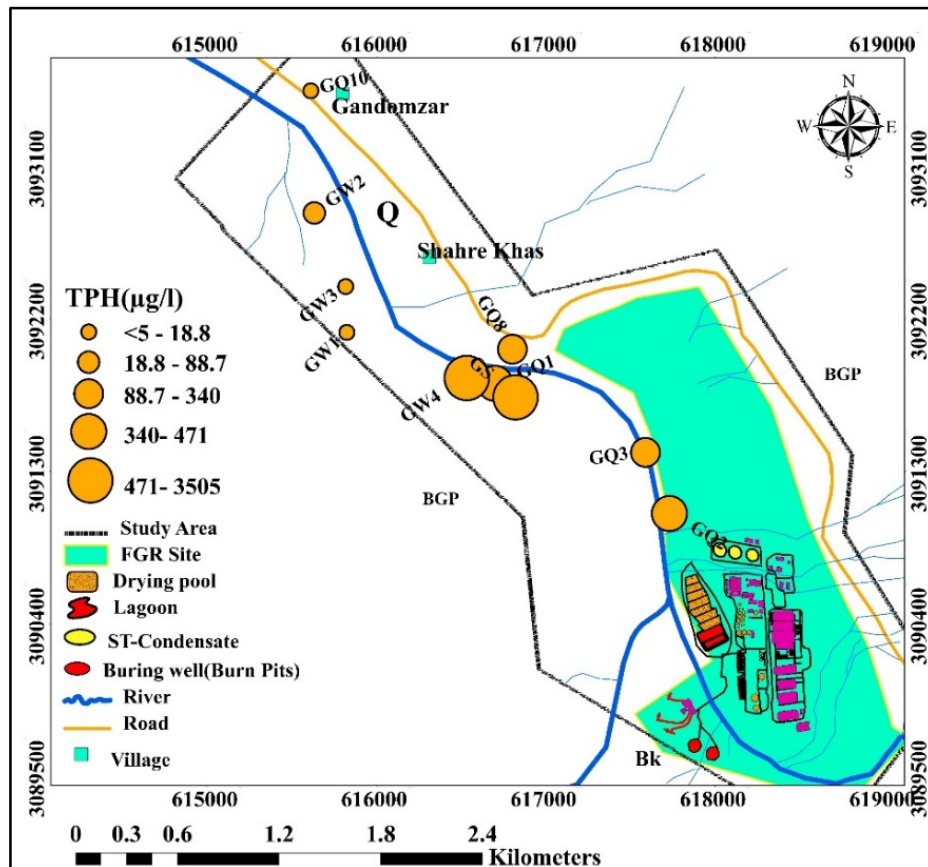
غلظت TPH در نمونه‌های آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر از حداقل زیر حد آشکارسازی دستگاه اندازه‌گیری (کمتر از ۰/۱ میکروگرم بر لیتر) تا حداکثر ۳۰۵۰ میکروگرم بر لیتر در نمونه‌ی GS متغیر است (شکل ۴-۲۳). میانگین غلظت TPH در نمونه‌های آنالیز شده ۶۷۰/۶۲ میکروگرم بر لیتر می‌باشد.



شکل ۴-۲۲- مقادیر هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) در نمونه‌های آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر

روند تغییرات مکانی TPH (شکل ۴-۲۴) تا حدود زیادی مشابه تغییرات مکانی TOC می‌باشد. به عنوان مثال نمونه‌های GW1 و GW3 که غلظت TOC در آن‌ها کمتر از نمونه‌های دیگر می‌باشد، فاقد TPH بوده که خود می‌تواند دلیلی بر منشاء طبیعی TOC در این دو نمونه باشد. نمونه GS و GW4 که بیشترین مقدار کربن آلی کل را دارند، بالاترین مقادیر هیدروکربن‌های نفتی کل به ترتیب ۳۵۰۵ و ۱۶۸۰ میکروگرم بر لیتر را دارند. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان عنوان کرد آبخوان دشت ریز در مجاورت پالایشگاه گاز فجر جم دارای آلودگی آلی بوده که این آلودگی ناشی از تأثیر نفوذ پساب‌های پالایشگاه گاز فجر به آبخوان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد هاله آلودگی نفتی تا بالا دست روستای شهر خاص گسترش یافته است. افزایش مشهود مقادیر TPH در حاشیه شمال غربی پالایشگاه (بالادست روستای شهر خاص) ناشی از قرار گرفتن نمونه‌ها در مسیر رودخانه بوده که با توجه به جنس رسوبات

رودخانه و کاهش سرعت جریان سطحی در این قسمت ناشی از انحنای مسیر آن نرخ نفوذ آلودگی به آبخوان افزایش یافته است.



شکل ۴-۲۳- تغییرات مکانی TPH در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر

برای ارزیابی میزان آلودگی منطقه مورد مطالعه به هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) از استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست چین استفاده شده است. مطابق این استاندارد تعداد سه نمونه در سطح ۱ تا ۳، تعداد پنج نمونه در سطح ۴ و دو نمونه در سطح بالاتر از ۵ قرار دارد (جدول ۴-۷). با توجه به این تقسیم بندی آلودگی آبخوان ریز در مجاورت پالایشگاه گاز فجر به هیدروکربن‌های نفتی کل در حد متوسط ارزیابی می‌گردد.

جدول ۴-۷ - طبقه‌بندی میزان آلودگی بر اساس مقادیر TPH مطابق استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست چین و بررسی وضعیت نمونه‌های آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر

| میزان آلودگی      | سطح        | محدوده تعیین شده (µg/l) | نمونه‌های آب زیرزمینی   |
|-------------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| کم یا فاقد آلودگی | ۱ تا ۳     | <۵۰                     | GW1, GW3, GQ10          |
| متوسط             | ۴          | ۵۰-۵۰۰                  | GQ1, GW2, GQ2, GQ3, GQ8 |
| شدید              | ۵          | ۵۰۰-۱۰۰۰                | .                       |
| بسیار شدید        | بالتر از ۵ | >۱۰۰۰                   | GS, GW4                 |

#### ۴-۳-۳-۳- هیدروکربن‌های آروماتیک تک حلقه‌ای (BTEX)

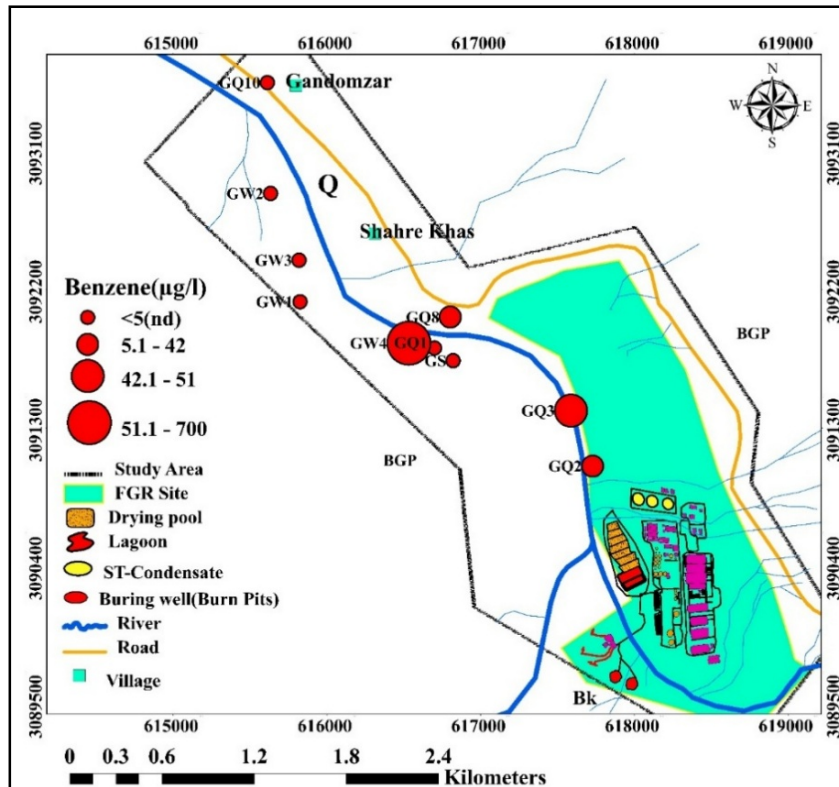
نتایج غلظت BTEX در نمونه‌های آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر در جدول (۴-۶) ارائه شده است. محدوده تغییرات BTEX در نمونه‌های مورد مطالعه به همراه مقادیر استاندارد WHO و EPA در جدول (۴-۸) نشان داده شده است. میانگین غلظت BTEX در منابع آب زیرزمینی ۱۹۲/۶ میکروگرم بر لیتر می‌باشد.

مقادیر BTEX شناسایی شده در آبخوان می‌تواند ناشی از سوراخ شدن کف مخازن بزرگ میعانات گازی و همچنین نشت و نفوذ فاضلاب‌های مختلف پالایشگاه به لایه‌های زیرین باشد که در نتیجه آن آلودگی آب زیرزمینی را به همراه دارد (Morgan et al. 1992., Barker et al. 1996). در بین آروماتیک‌های تک حلقه‌ای اندازه‌گیری شده بنزن دارای بالاترین غلظت می‌باشد. از مجموعه ۱۰ نمونه آنالیز شده BTEX در ۴ نمونه مشاهده شده که غلظت بنزن آن بالاتر از استانداردهای ذکر شده می‌باشد. بیشترین میزان بنزن مربوط به نمونه GW4 با غلظت ۷۰۰ µg/l است که بسیار بیشتر از حد مجاز آب آشامیدنی طبق استاندارد EPA و WHO 2008 (به ترتیب ۵ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر) است. پس از بنزن، هیدروکربن تولوئن با میانگین غلظت ۸۵ میکروگرم بر لیتر در ۴ نمونه که در مجاور پالایشگاه می‌باشد مشاهده شد. هیدروکربن‌های اتیل بنزن و زایلن به ترتیب در دو و یک نمونه دیده شده‌اند که نشان دهنده عدم آلودگی آبخوان به این دو می‌باشد.

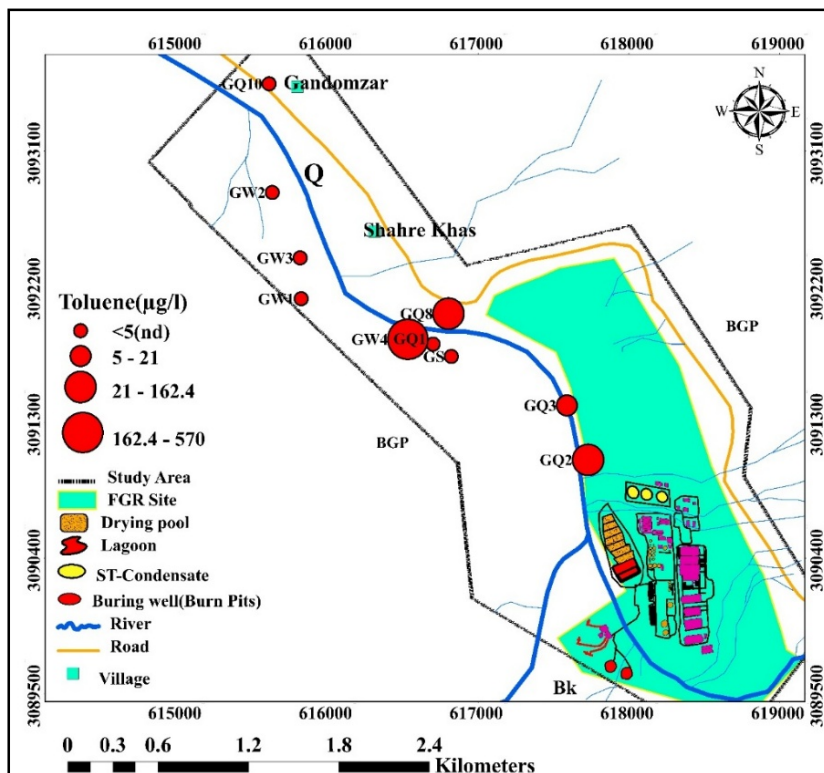
جدول ۴-۸- دامنه تغییرات BTEX در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر و مقایسه آن با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)

| محدوده تغییرات BTEX<br>در نمونه‌های آب<br>زیرزمینی مجاور<br>پالایشگاه گاز فجر | مقادیر استاندارد |         |       | مقادیر استاندارد | مقادیر استاندارد |
|---|------------------|---------|-------|------------------|------------------|
|   |                  |         |       | WHO              | EPA              |
|   | Minimum          | Maximum | Mean  |                  |                  |
| Benzene   | <۵               | ۷۰۰     | ۱۶۵/۹ | ۱۰               | ۵                |
| Toluene   | <۵               | ۵۷۰     | ۸۵/۳  | ۷۰۰              | ۱۰۰۰             |
| Ethyl Benzene   | <۵               | ۱۷۰     | ۱۸/۱  | ۳۰۰              | ۷۰۰              |
| M,P-Xylene  | <۵               | ۳۵/۱    | ۳/۵   |                  |                  |
| O-Xylene  | <۵               | ۲۷      | ۲/۷   | مجموع ۵۰۰        | مجموع ۱۰۰۰۰      |
| Total BTEX  | <۵               | ۱۴۴۰    | ۱۹۲/۶ | -                | -                |

با توجه به وجود مقادیر بنزن و تولوئن در تعدادی از نمونه‌های آب زیرزمینی تغییرات مکانی آن‌ها در شکل (۴-۲۵) و (۴-۲۶) ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر این دو هیدروکربن در مجاورت پالایشگاه و به صورت خاص در حاشیه شمال غربی پالایشگاه (بالا دست شهر خاص) افزایش یافته است. این موضوع تاثیر پالایشگاه گاز فجر بر آلودگی منابع آب زیرزمینی در بالادست آبخوان ریز را اثبات می‌نماید. با توجه به اینکه نمونه برداری در فصل خشک سال انجام شده است، انتظار می‌رود در فصول مرطوب سال به دلیل بارندگی و افزایش جریان‌های سطحی و همچنین بالا آمدن سطح آب زیرزمینی انتقال بیشتر آلودگی آلی به آبخوان روی دهد. از سوی دیگر حل شدن مواد نفتی و BTEX موجود در خاک‌های سطحی و نفوذ این ترکیبات به آبخوان محتمل می‌باشد (Lokhande et al 2008).



شکل ۴-۲۴- تغییرات مکانی غلظت بنزن در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر



شکل ۴-۲۵- تغییرات مکانی غلظت تولوئن در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر

#### ۴-۳-۳-۴- هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs)

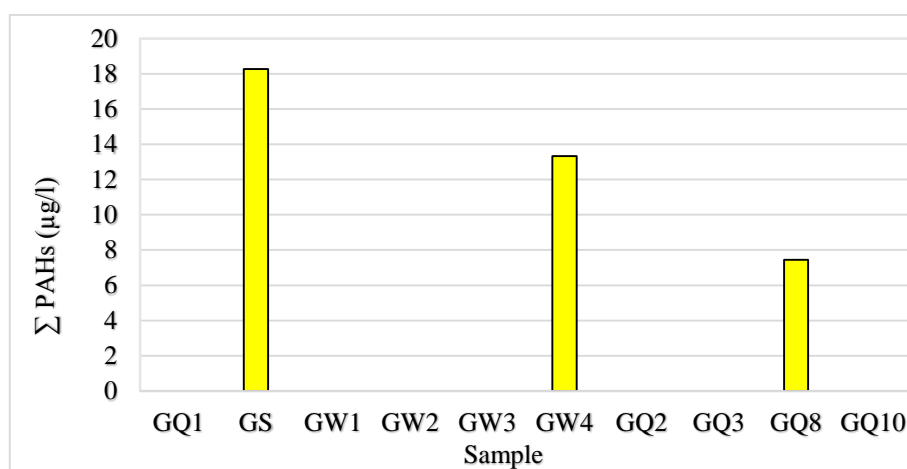
نتایج آنالیز PAHs در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر در جدول (۴-۷) ارائه شده است. با توجه به نتایج از مجموع ۱۰ نمونه آنالیز شده میزان غلظت PAHs کل در ۷ نمونه زیر حد آشکار سازی دستگاه بوده و حداکثر مقدار آن برابر ۱۸/۲۶ میکروگرم بر لیتر (نمونه‌ی GS) اندازه‌گیری شده است (شکل ۴-۲۷). از ۱۶ هیدروکربن آروماتیک چند حلقه‌ای اندازه‌گیری شده، در مجموع ۹ نوع هیدروکربن شناسایی شد که شامل یک هیدروکربن دو حلقه‌ای، ۵ هیدروکربن سه حلقه‌ای و ۳ هیدروکربن چهار حلقه‌ای به شرح زیر می‌باشد:

**دو حلقه‌ای:** نفتالین (Naphtalen)

**سه حلقه‌ای:** آسنتین (Acenaphten)، آسنتیلین (Acenaphtylen)، فلئورن (Fluorene)، فناترن (Phenathrene) و آنتراسن (Antracen).

**چهار حلقه‌ای:** فلئورنتین (Fluorantene)، کرایسن (Chrysene) و پیرن (Pyrene)

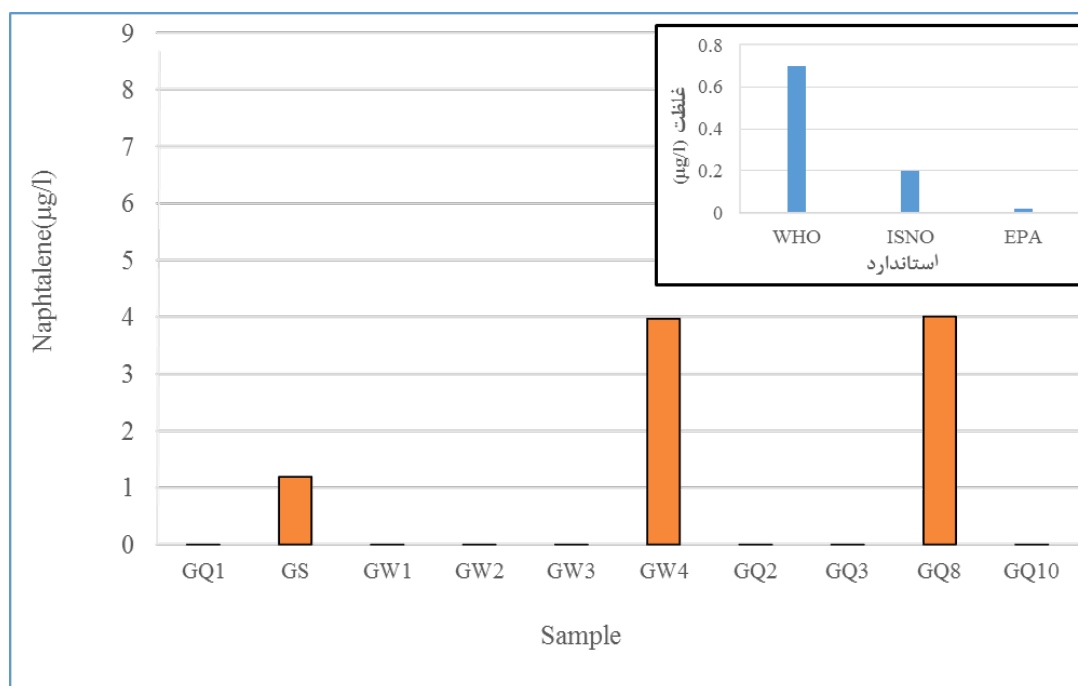
لازم به ذکر است غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک پنج و شش حلقه‌ای در تمامی نمونه‌ها زیر حد آشکار سازی دستگاه بوده است.



شکل ۴-۲۶- مقادیر هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای کل (PAHs) در آب‌های زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر



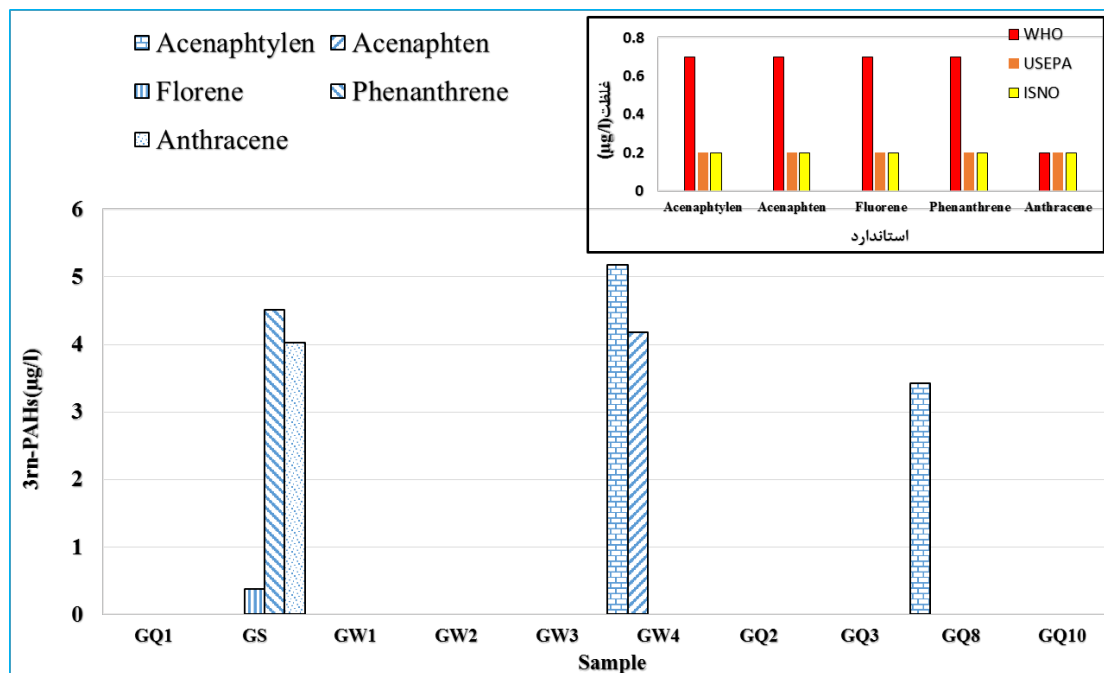
تغییرات غلظت نفتالن و مقایسه آن با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) و سازمان حفاظت محیط زیست ایران (ISNO) در شکل (۴-۲۸) ارائه شده است. میانگین غلظت نفتالن در نمونه‌های آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده ۰/۹ میکروگرم بر لیتر برآورد شد. با توجه به شکل غلظت در نمونه‌های GS، GW4 و GW8 بالاتر از حد سه استاندارد ذکر شده می‌باشد. با توجه به موقعیت مکانی این نمونه‌ها که در حاشیه شمال غربی پالایشگاه گاز فجر و بالا دست روستای روستای شهر خاص قرار گرفته‌اند، این محدوده بیشترین تاثیرپذیری از پالایشگاه را داشته است. یکی از دلایل افزایش غلظت تمامی پارامترها در این محل انحنا رودخانه بوده که ضمن کاهش سرعت جریان، میزان نفوذ آلودگی از آب‌های سطحی آلوده به منابع آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد.



شکل ۴-۲۷- تغییرات غلظت هیدروکربن آروماتیک دو حلقه‌ای نفتالن در نمونه‌های آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر و مقایسه آن با استاندارد WHO، EPA و ISNO

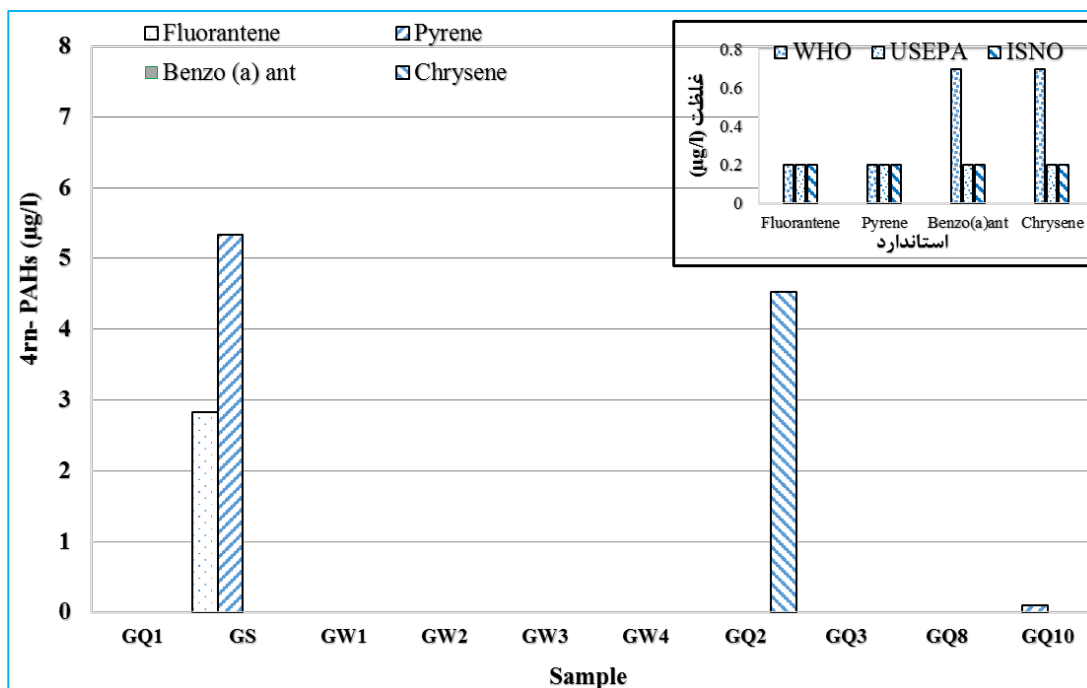
مقادیر غلظت آروماتیک‌های سه حلقه‌ای و مقایسه آن با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)،

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) و سازمان حفاظت محیط زیست ایران (ISNO) در شکل (۴-۲۹) ارائه شده است. غلظت آسنتین در نمونه GW4 و غلظت فناترن و آنتراسن نیز در نمونه GS بالاتر از حد استاندارد می باشد. غلظت فلوئرن نیز در نمونه GS بالاتر از حد استاندارد EPA و ISNO و پایین تر از استاندارد WHO می باشد. مشابه نفتالن، غلظت هیدروکربن های آروماتیک سه حلقه ای نیز در حاشیه شمال غربی پالایشگاه گاز فجر (بالادست روستای شهر خاص) افزایش یافته است.



شکل ۴-۲۸- تغییرات غلظت هیدروکربن های آروماتیک سه حلقه ای در آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر و مقایسه با استاندارد WHO، EPA، ISNO

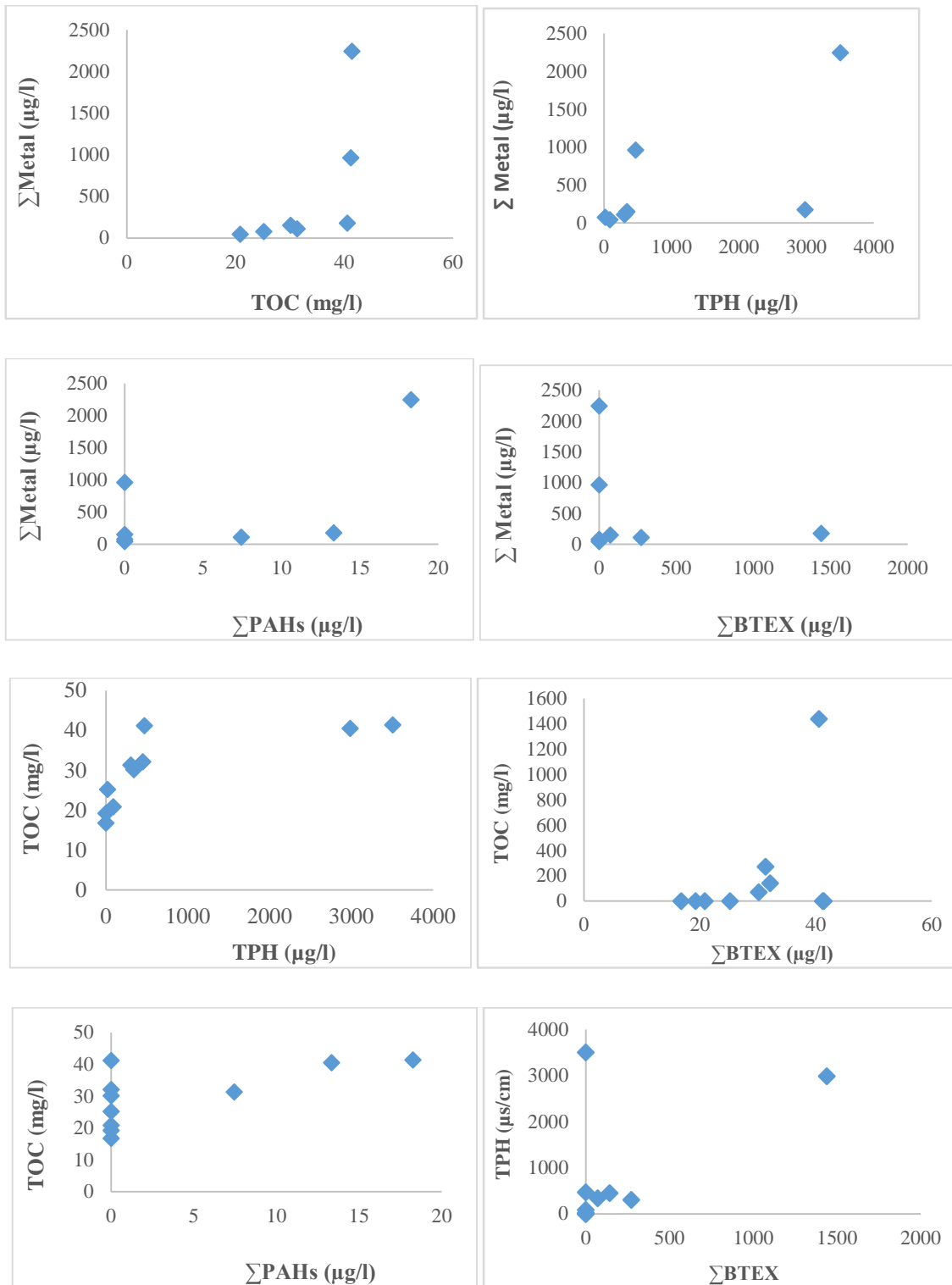
در بین هیدروکربن های آروماتیک چهار حلقه ای غلظت Benzo (a) ant در تمام نمونه ها پایین تر از حد آشکار سازی بود. مقادیر غلظت فلوئورنتین و پیرن تنها در نمونه GS بالاتر از حد استانداردهای EPA، WHO و ISNO می باشد. همچنین غلظت کرایسن به غیر از نمونه GQ2 که غلظت آن بالاتر از حد استانداردهای ذکر شده می باشد، در سایر نمونه ها پایین تر از حد آشکار سازی دستگاه بوده است (شکل (۴-۳۰)).



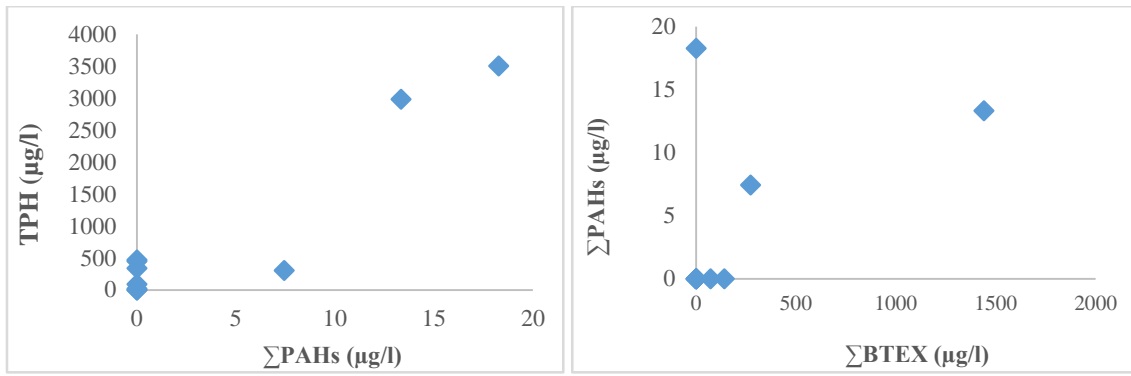
شکل ۴-۲۹- روند تغییرات غلظت آروماتیک‌های چهار حلقه‌ای در آب زیرزمینی

#### ۴-۳-۴- بررسی ارتباط بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب زیرزمینی

ارتباط بین تعدادی از مهمترین ترکیبات اندازه‌گیری شده در آب زیر زمینی در شکل (شکل ۴-۳۱) بررسی شده است. افزایش مقادیر مجموع فلزات سنگین هم‌هنگ با مقادیر TPH و PAHs می‌تواند دلیلی بر منشاء مشترک آن‌ها ناشی از پالایشگاه باشد. همچنین رابطه معناداری بین TOC با TPH و  $\sum$ BTEX مشاهده می‌شود. بیشترین همبستگی بین TPH با  $\sum$ PAHs وجود دارد. با توجه به رابطه معنادار بین ترکیبات آلی و هیدروکربنی می‌توان منشاء یکسانی برای اکثر آنها در نظر گرفت. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل آنالیزهای مختلف نفتی انجام شده در این تحقیق منشاء اکثر ترکیبات هیدروکربنی و فلزات سنگین اندازه‌گیری شده نفتی بوده که ناشی از تاثیر پالایشگاه گاز فجر جم بر آبخوان دشت ریز می‌باشد.



شکل ۴-۳۰- ارتباط بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر



ادامه شکل ۴-۳۱- ارتباط بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در منابع آب زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر



# فصل پنجم

## نتیجہ گیری و پیشہا دہا

## ۵-۱- مقدمه

در این فصل به صورت مختصر به بیان نتایج حاصل از اثرات پالایشگاه گاز فجر جم بر روی آبخوان دشت ریز پرداخته می‌شود. همچنین در ادامه پیشنهادهای و راهکارهایی جهت جلوگیری از آلودگی آبخوان ارائه می‌گردد.

## ۵-۲- نتایج

### ۵-۲-۱- نتایج مطالعات کیفی پساب و آب سطحی در مجاور پالایشگاه گاز فجر

- میزان EC در نمونه‌های برداشته شده پساب از حداقل ۳۱۷۰ تا حداکثر ۳۵۲۰ میکروزیمنس بر سانتی متر متغیر بوده و میانگین آن ۳۳۷۶ می‌باشد. میانگین هدایت الکتریکی دو نمونه برداشت شده از آب‌های سطحی برابر ۳۶۶۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. نمونه‌های پساب در مقایسه با آب‌های سطحی از هدایت الکتریکی کمتری برخوردار هستند.
- متوسط pH نمونه‌های پساب پالایشگاه حدود ۷/۳ و در نمونه‌های آب سطحی حدود ۸ می‌باشد. کاهش pH آب‌های سطحی در محل نمونه SW1 از ۸/۱ به ۷/۳ به وضوح تاثیر پساب پالایشگاه بر منابع آب سطحی را تایید می‌نماید.
- با توجه به نمودار شولر، در نمونه‌های برداشت شده از آب‌های سطحی آنیون غالب کلر و کاتیون غالب منیزیم می‌باشد. در نمونه‌های پساب آنیون غالب کلر و کاتیون غالب سدیم می‌باشد. نمونه آب سطحی برداشت شده بعد از نشت پساب (SW1a) ترکیبی بسیار مشابه نمونه‌های پساب داشته که این موضوع نیز تاییدی بر تاثیر گذاری پساب پالایشگاه بر منابع آب سطحی می‌باشد.
- نمونه‌های پساب در مقایسه با استاندارد WHO دارای آلودگی به عناصر سرب، روی و آهن می‌باشند. در منابع آب سطحی تنها در نمونه SW1a که بعد از نشت پساب برداشته شده است آلودگی به عناصر سرب، روی و آهن وجود دارد. بیشترین میزان آلودگی مربوط به فلز روی می‌باشد.
- برخلاف غلظت یون‌های اصلی مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های پساب بسیار بیشتر از منابع آب



سطحی می‌باشد.

• بررسی نمونه SW1 طی دو مرحله برداشت (قبل و بعد از نشت پساب) تاثیر پساب در افزایش غلظت فلزات سنگین در منابع آب سطحی را نشان می‌دهد. به جز نیکل که مقادیر غلظت آن قبل و بعد از نشت پساب یکسان بوده و بنابراین دارای منشاء احتمالی زمین زاد می‌باشد، سایر فلزات پس از نشت پساب در نمونه آب سطحی افزایش یافته است. این موضوع تاثیر پساب در آلودگی آب سطحی به فلزات سنگین را نشان می‌دهد.

• مقادیر غلظت TOC در نمونه‌های آنالیز شده پساب از حداقل ۱۴۰/۰۸ تا حداکثر ۲۰۳/۴۰ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین ۱۷۴/۵۶ و در آب سطحی از حداقل ۲۵/۴۶ تا حداکثر ۶۳/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین ۲۴/۴۴ متغیر می‌باشد.

• تغییرات غلظت TOC در نمونه‌ی SW1 قبل (SW1a) و بعد (SW1b) از نشت پساب به خوبی نشان دهنده‌ی تاثیر پساب پالایشگاه بر افزایش مواد آلی در آب سطحی می‌باشد.

• مقادیر TPH در نمونه‌های اندازه‌گیری شده پساب از حداقل ۱۱۶۷۰ تا حداکثر ۳۰۵۱۰ میکروگرم بر لیتر (میانگین ۱۹۱۰۸ میکروگرم بر لیتر) متغیر می‌باشد. میانگین غلظت در منابع آب سطحی برابر ۵۹۲/۵ میکروگرم بر لیتر می‌باشد.

• مقادیر TOC و TPH بر هم منطبق بوده و نشان دهنده تاثیر پساب پالایشگاه بر افزایش غلظت مواد آلی در منابع آب سطحی می‌باشد.

• مجموع BTEX در نمونه‌های پساب از ۴۱۸۸ میکروگرم بر لیتر (نمونه W3) تا حداکثر ۱۲۵۲۶ میکروگرم بر لیتر (نمونه W2) متغیر می‌باشد. در نمونه‌های آنالیز شده از آب‌های سطحی مقادیر BTEX فقط در نمونه SW1a که پس از نشت پساب برداشت شده است، قابل اندازه‌گیری بوده که برابر ۲۲۹/۷ میکروگرم بر لیتر می‌باشد.

• در مقایسه با مقادیر استاندارد EPA و WHO غلظت بنزن در نمونه‌های پساب بسیار بالاتر از حدود

استاندارد می‌باشد که بیانگر آلودگی شدید نمونه‌های پساب به این ماده می‌باشد. غلظت بنزن در نمونه‌های پساب از ۱۲۴۳ تا ۲۲۵۳ میکروگرم بر لیتر با میانگین ۱۶۳۴ میکروگرم بر لیتر متغیر بود که بالاتر از حد هر دو استاندارد WHO و EPA می‌باشد. در آب سطحی تنها نمونه‌ی SW1a دارای مقادیر بنزن بالاتر از حد استانداردهای ذکر شده می‌باشد.

- مقادیر PAHs کل در نمونه‌های پساب از ۱۱۷ تا ۳۰۵/۳ میکروگرم بر لیتر و در نمونه‌های آب سطحی از ۹/۹۷ تا ۱۱/۶ میکروگرم بر لیتر متغیر می‌باشد. از مجموعه ۱۶ هیدروکربن آروماتیک چند حلقه‌ای ۱۳ مورد در پساب و آب سطحی شناسایی شد. محدوده غلظت در تمام نمونه‌های پساب که در آنها PAHs شناسایی شد دارای مقادیری بالاتر از حد استاندارد WHO، EPA، و ISNO می‌باشد.
- در نمونه‌های پساب بیشترین درصد به ترتیب مربوط به فناترن (آروماتیک سه حلقه‌ای) و نفتالن (آروماتیک دو حلقه‌ای) و کمترین درصد مربوط به آروماتیک‌های شش حلقه‌ای می‌باشد. از مجموع ۱۰ هیدروکربن چند حلقه‌ای شناسایی شده در منابع آب سطحی بیشترین و کمترین درصد به ترتیب مربوط به کرایسن و فلوئورن می‌باشد.

#### ۵-۲-۲- نتایج مطالعات کیفی آب زیرزمینی در مجاورت پالایشگاه گاز فجر

- مقادیر EC در نمونه‌های برداشت شده از منابع آب زیرزمینی از حداقل ۲۹۷۰ تا حداکثر ۳۸۳۰ میکروزیمنس بر سانتی متر متغیر می‌باشد. مقادیر EC در نقاط برداشت شده از مجاور پالایشگاه غیر عادی بوده که می‌تواند تا حدود زیادی ناشی از نشت مواد صنعتی و پساب‌های مختلف پالایشگاه به آبخوان باشد.
- محدوده pH در نمونه‌های برداشت شده از حداقل ۷/۳۳ تا حداکثر ۸/۱۴ متغیر بوده و میانگین آن ۷/۶۵ می‌باشد. میزان pH نمونه‌های مجاور پالایشگاه دارای مقادیر بیشتری نسبت به نمونه‌های مرکز و انتهای دشت می‌باشند و حاشیه غربی و بالا دست شهر خاص در مجموعه بالاترین مقادیر pH را نشان می‌دهد.

- با توجه به نتایج به دست آمده تیپ غالب آب زیرزمینی سولفاته و رخساره غالب کلسیکی می باشد.
- بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی نشان می دهد در تعدادی از نمونه ها غلظت عناصر به ویژه روی و آهن بالاتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی می باشد. به طور کلی روند غلظت فلزات سنگین در نمونه ها به صورت  $Zn > Ni > Fe > Pb, Cr$  می باشد.
- فلزات روی، نیکل و آهن در نقاط نزدیک به پالایشگاه غلظت بیشتری را نشان می دهد.
- میانگین غلظت TOC در نمونه های آنالیز شده آب زیرزمینی ۲۸/۰۸ میلی گرم بر لیتر می باشد. مقادیر TOC نمونه ها بالاتر از حد استاندارد EPA (۲ میلی گرم بر لیتر) می باشد.
- تغییرات مکانی TOC با فاصله از پالایشگاه رابطه ی معکوس معناداری دارد و با فاصله از پالایشگاه مقادیر غلظت از ۲۰ برابر حد مجاز در نقاط نزدیک تر به ۸ برابر حد استاندارد در نمونه های دورتر می رسد. مقادیر TOC در بالا دست روستای شهر خاص در بعضی از نمونه ها بیش از ۲۰ برابر حد استاندارد می باشد که دلیل آن می تواند کاهش یافتن سرعت جریان سطحی در این قسمت و افزایش نفوذ بیشتر مواد آلی به آبخوان باشد.
- محدوده تغییرات TPH از حداقل زیر حد آشکارسازی تا حداکثر ۳۰۵۰ میکروگرم بر لیتر متغیر می - باشد. تغییرات مکانی TPH با فاصله از پالایشگاه رابطه معکوس دارد به طوری که با فاصله گرفتن از پالایشگاه مقدار آن به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.
- از مجموع ۱۰ نمونه غلظت BTEX در ۶ نمونه زیر حد آشکارسازی می باشد. در ۴ نمونه دیگر تنها غلظت بنزن بالاتر از حد استاندارد EPA و WHO بوده و می توان گفت آبخوان در محدود مورد مطالعه تنها داری آلودگی به بنزن در تعدادی از نمونه ها می باشد.
- بیشترین تمرکز غلظت ترکیبات BTEX خصوصاً بنزن و تولوئن در نزدیکی شهر خاص می باشد. مقادیر این دو هیدروکربن در مجاورت پالایشگاه و به صورت خاص در حاشیه شمال غربی پالایشگاه (بالا دست شهر خاص) افزایش یافته است. این موضوع تاثیر پالایشگاه گاز فجر بر آلودگی منابع آب زیرزمینی در بالادست آبخوان ریز را اثبات می نماید.

• از مجموع ۱۶ هیدروکربن آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) آنالیز شده تعداد ۹ مورد شناسایی شد. مجموع PAHs از زیر حد آشکار سازی تا حداکثر ۱۸/۲۶ میکروگرم بر لیتر متغییر می‌باشد. غلظت تمام آروماتیک‌های پنج و شش حلقه‌ای اندازه‌گیری شده زیر حد آشکار سازی می‌باشد.

• در مجموع بررسی‌های انجام شده در خصوص کیفیت آب‌های سطحی، پساب و آب‌های زیرزمینی مجاور پالایشگاه گاز فجر نشان دهنده تاثیر پساب در آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد. بیشترین میزان آلودگی‌ها در شمال غرب پالایشگاه و بالا دست روستای شهر خاص دیده می‌شود. این موضوع ناشی از کاهش سرعت جریان‌های سطحی به دلیل انحنای مسیر جریان بوده که سبب افزایش ورود آب‌های سطحی آلوده به آبخوان و آلودگی آن به فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی می‌گردد.

### ۵-۳- پیشنهادها

با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی تنها منبع موجود برای مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت در منطقه مورد مطالعه می‌باشد، لذا حفظ و نگهداری آبخوان ارزشمند ریز از هرگونه آلودگی بسیار ضروری می‌باشد. به همین منظور پیشنهادهای زیر در راستای کاهش اثرات پالایشگاه گاز فجر جم بر آبخوان ریز ارائه می‌شود:

- احداث چندین حلقه پیزومتر در پایین دست پالایشگاه به منظور پایش و اندازه‌گیری منظم و دقیق‌تر آلاینده‌های ورودی به آبخوان
- مدیریت صحیح پساب‌های پالایشگاه با استفاده از روش‌های نوین و جلوگیری از ورود ترکیبات هیدروکربوری به رودخانه مجاور پالایشگاه
- پاکسازی آبخوان از مواد آلی و هیدروکربنی با استفاده از روش‌های نوین نظیر تخریب زیستی (Bioremediation) آلاینده‌های نفتی

## منابع فارسی

- یوسفی م. (۱۳۸۵) " عملیات فرآورش گاز در شرکت پالایش گاز فجر جم " شرکت ملی گاز ایران
- مظفری زاده ج. آ. بهبهانی م. ا. بهبهانی م. (۱۳۸۵) " گزارش پیشنهاد ممنوعیت محدوده مطالعاتی ریز " گروه تلفیق و بیلان مدیریت مطالعات سازمان آب منطقه‌ای بوشهر.
- علوی ا. درخشانی ر. حق شناس ع. (۱۳۸۵) " تحلیل مورفوتکتونیکي تاقدیس نار (شمال غرب لامرد) " فصل نامه جغرافیایی سرزمین، علمی پژوهشی، سال سوم، شماره ۱۲
- ابراهیمی س. شایگان ج. ملکوتی م. ج. بای بوردی م. (۱۳۸۸) " بررسی نشر آلودگی هیدروکربنی در خاک محدوده پالایشگاه سرخون " مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره چهارم.
- شایگان ج. تویسکرانی ز. صادقی ع. (۱۳۸۸) " بررسی آلودگی آلی آب‌های زیرزمینی شهر تهران " مجله علمی پژوهشی شریف، شماره پنجاهم.
- شهسواری ع. ا. خدایی ک. هاتفی ر. اسدیان ف. فتحی ت. (۱۳۸۸) " شناسایی و بررسی منشاء هیدروکربن‌های نفتی در آب زیرزمینی آبخوان دزفول - اندیمشک " پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- فیضی م. سرتاج م. فتحیان پور ن. (۱۳۹۰) " بررسی گسترش آلاینده‌های نفتی ناشی از تاسیسات پالایشگاه و پتروشیمی در آب زیرزمینی دشت شازند اراک " اولین کنفرانس پتروشیمی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- اردکانی س. س. عین آبادی ف. هاشمی م. (۱۳۹۳) " شناسایی و تعیین غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در آب چاه‌های مجاور جایگاه‌های سوخت شهر همدان " مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، شماره ۱۲۱، دوره ۲۴: ص ۲۲۷ - ۲۳۸.
- ناصری ح. ر. مدبری س. فلسفی ف. (۱۳۹۰) " آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از آلاینده‌های نفتی در منطقه صنعتی ری (جنوب تهران) " مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، شماره ۸۱، دوره ۲۱
- معینی ا. علیزاده ا. (۱۳۸۸) " بررسی منابع آلوده کننده آب زیرزمینی حوزه آبریز جم و ریز " سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین، تهران.

## Reference

- Choi H. M. Lee J. Y. (2011) “Groundwater contamination and natural attenuation capacity at a petroleum spilled facility in Korea” *Journal of Environmental Sciences*, v. 33, no.10, pp 1650–1659.
- Barker J. F. (2002). “Spills: LNAPLs and DNAPLs, Linking water science to policy: groundwater quality (A CCME sponsored workshop), Toronto.
- Mitra S. Roy P. (2011). “BTEX: a serious ground-water contaminant” *J Environ Sci* v.5, pp 394–398.
- Riccardi C. Di Filippo P. Pomata D. Incoronato F. Di Basilio M. Petrangeli Papini M. Spicaglia S. (2008). “Characterization and distribution of petroleum hydrocarbons and heavy metals in groundwater from three Italian tank farms” v.393, pp 50 – 63.
- McKetta J.J. (1993). "Gas Processing." In *Chemical Processing Handbook*. J.J McKetta (Editor). Marcel Dekker Inc. New York. p. 59.
- Speight, J.G. Lee S. (2000). “*Environmental Technology Handbook 2nd Edition*”. Taylor & Francis, New York.
- Wang, Z.D. Fingas, M. (2003). "Development of Oil Hydrocarbon Fingerprinting and Identification Techniques." *Marine Pollution Bulletin*, v. 47: pp 423-452.
- Christopher W. Kaplan R. Christopher, L. (2004). "Bacterial Succession in a Petroleum Land Treatment Unit." *Applied and Environmental Microbiology*, v. 70:pp 1777 -1786.
- Speight, J.G. (2005). “*Environmental Analysis and Technology for the Refining Industry*” John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey.
- Speight, J.G. (2007). *The Chemistry and Technology of Petroleum*. 5th Edition CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida.
- Nielsen D. M. (1989) “Prevention and cleaning up of ground water contamination, ASTM standardization news, May 1998.
- Kao, C. M., Prosser, J. (2001). “Evaluation of Natural Attenuation Rate at a Gasolin Spill Site”. *Journal of Hazardous Materials*, B82, pp 275-289.
- Visco G. Campanella L. Nobili V. (2004). “Organic carbons and TOC in waters: an overview of the international norm for its measurements” *Microchemical Journal*, v.79, PP 185– 191.
- United State Environmental Protection Agency. (2005). “Enhanced coagulation and enhanced precipitate softening guidance manual” Groundwater and Drinking water Division, U.S. EPA.
- Saba B. Hashmi I. Ali Awan M. Nasir H. Jamal Khan S. (2012). “Distribution, toxicity level, and concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface soil and

groundwater of Rawalpindi, Pakistan” *Desalination and Water Treatment*, v. 49, pp 240–247.

- ATSDR (2006). “Toxicological profile information sheet” (Atlanta U.S. Agency Toxic Substances and Disease Registry).
- Chapelle F.H. (2001). “Ground water Microbiology and Geochemistry”, New York, N.Y.: J. Wiley.
- Braun R. L. Burnham A. K. (1988), “Petroleum Geochemistry Project Quarterly Report October-December 1987”, Lawrence Livermore National Laboratory, Report UCID-21303, NTIS, Springfield, VA.
- Jalali F. (2004), “Degree of Master of Science, Enhanced Bioremediation of a Soil Contaminated with both Petroleum Hydrocarbons and Heavy Metals with In-Soil Biosurfactant Production” Building, Civil, and Environmental Engineering. Depart. Concordia University,
- Yun J. Young L. J. Khim J. Ji W. H. (2013) “Assessing soil and ground water contamination in a metropolitan redevelopment project” *Environ Monit Assess*, v.185, pp 6855 – 6865.
- Teng Y. Feng D. Song L. Wang J. Li J. “Total petroleum hydrocarbon distribution in soils and groundwater in Songyuan oilfield, Northeast China” (2013). *Environ Monit Assess*, v. 185, pp 9559 – 9569.
- Brindha K. Elango L. “PAHs contamination in groundwater from a part of metropolitan city, India: a study based on sampling over a 10-year period” (2013). *Environ Earth Sci*. DOI 10.1007/s12665-013-2914-x.
- Rivett M.O. Lerner D.N. Clark L. Lloyd J.W. (1990). “Organic contamination of the Birmingham aquifer”. *Journal of Hydrology*, v. 113. pp 307-323.
- Bruce B.W. Mc Mahon P.B. (1996) “Shallow ground-water quality beneath a major urban center: Denver, Colorado, USA”. *Journal of Hydrology*, v.186, pp 129-151.
- Heidrich S. Wei H. Kaschl A. Attenuation reactions in a multiple contaminated aquifer in Bitterfeld (Germany). (2004). “*Journal Environmental Pollution*” v.129 pp. 277–288.
- Cozzarelli I. M. Bekins B. A. Eganhouse R. P. Warren E. Essaid H. I. (2010) “In situ measurements of volatile aromatic hydrocarbon biodegradation rates in groundwater”. *Journal of Contaminant Hydrology*, v.111, pp 48–64.
- Vaezihir A. Zare M. Raeisi E. Molson J. Barker J. (2012). “Field-Scale Modeling of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX) Released from Multiple Source Zones”. *Bioremediation Journal*, v.16 no.3, pp 156-176.
- Vaezihir A. Zare M. Barker J. Grathwohl P. Raeisi E. (2013). “Source Determination for Subsurface Light Non-Aqueous Phase Liquid (LNAPL) Using Trimethylcyclopentane and Isomer Ratios Trimethylcyclohexane”. *Environmental Forensics*, v.14, pp 25–35.
- Careghini A. Saponaro S. Sezenna E. Daghio M. Franzetti A. Gandolfi I. Bestetti G. (2015). “Lab-scale tests and numerical simulations for in situ treatment of polluted groundwater” *Journal of Hazardous Materials*, v.287, pp,162-170.

- Yu S. Koo Lee P. Hwang S. (2015). “Groundwater contamination with volatile organic compounds in urban and industrial areas: analysis of co-occurrence and land use effects” *Environ Earth Sci*, v.74, pp 3661–3677.
- Li H. Son J. Carlson K.H.(2016). “Concurrence of aqueous and gas phase contamination of groundwater in the Wattenberg oil and gas field of northern Colorado” *Water Research*, pp88,458-466.
- Khodaei K. Nassery H.R. Mazaheri Asadi M. Mohammadzadeh H. Mahmoodlu M.G. (2017). “BTEX biodegradation in contaminated groundwater using a novel strain (*Pseudomonas* sp. BTEX-30)”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v.116, pp 234-242.
- IARC – International Agency for Research on Cancer, (2007) “Complete list of agents, mixtures and exposures evaluated and their classification”.
- ATSDR, (2007), “Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Pro - file for Xylene”. Atlanta, GA. 438.
- IPCS (1997), “Environmental Health Criteria 190: Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene.International Programme on Chemical Safety” World Health Organization, Geneva,Switzerland.
- Bina B. Amin M. M. Rashidi A. Pourzamani H. (2014), “Water and Wastewater Treatment from BTEX by Carbon Nanotubes and Nano-Fe”, *WaterResources*, v. 41, pp 719 –727.
- Ellis, P.A., Rivett, M.O., (2006). “Assessing the impact of VOC-contaminated ground water on surface water at the city scale” *Journal of Contaminant Hydrology*,91,107-127.
- Ellis, P.A. Rivett M.O. (2006). “Assessing the impact of VOC- contaminated ground water on surface water at the city scale. *Journal of Contaminant Hydrology*”, V. 91, pp107-127.
- Kao C.M. Wang C.C. (2000). “Control of BTEX migration by intrinsic bioremediation at a gasoline spill site”, *Water Resources*, v.34, pp 3413–3423.
- US Environmental Protection Agency, (2006), “Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories”, EPA 822-R-06-013, Wash- ington, DC.
- Andreoni V. Gianfreda L. (2007), “Bioremediation and monitoring of aromatic-polluted habitats”, *Appl. Microbiol. Biotechnol*, v.76, pp 287–308.
- Day M. J. Reinke R. F. Thomson J.A. M. (2001), “Fate and Transport of Fuel Components Below Slightly Leaking Under ground Storage Tanks”, *Environmental Forensics*, v.2, pp 21–28.
- An Y-J. (2004), “Toxicity of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) Mixtures to *Sorghum bicolor* and *Cucumis sativus*”, *Bull. Environ. Contamin. Toxicol*, v, 72, pp1006 –1011.



- Farhadian M. Vachelard C. Duchez D. Larroche C. (2007), “In situ bioremediation of monoaromatic pollutants in groundwater: A review”, *Bioresource Technology*, v.99, pp 5296–5308.
- do Rego E. C. P. Pereira Netto A. D. (2007) “PAHs and BTEX in Groundwater of Gasoline Stations from Rio de Janeiro City, Brazil”, *Bull Environ Contam Toxicol* v. 79, pp 660–664.
- Heberer T. Adam M. (2004). “Transport and attenuation of pharmaceutical residues during artificial ground water replenishment”, *Environmental Chemistry*, v.1, pp 22- 25.
- Maeng S. K. Ameda E. Sharma S. K. Grützmacher G. Amy G. (2010), “Organic micropollutant removal from wastewater effluent-impacted drinking water sources during bank filtration and artificial recharge”, *Water Research*, v. 44, pp 4003-4014.
- Maeng S. K. Sharma S. K. Lekkerkerker-Teunissen K. Amy G. (2011), “Occurrence and fate of bulk organic matter and pharmaceutically active compounds in managed aquifer recharge: a review”, *Water Research* v. 45, pp 3015 - 3033.
- Chen C.L. Fang H.Y. Shu C. M. (2005). “Source Location and Characterization of Volatile Organic Compound Emissions at a Petrochemical Plant in Kaohsiung, Taiwan”, *J. Air & Waste Manage. Assoc*, v. 55, pp 1487-1497.
- Chen C. L. Fang H.Y. Shu C. M. (2006), “Mapping and Profile of Emission Sources for Airborne Volatile Organic Compounds from Process Regions at a Petrochemical Plant in Kaohsiung, Taiwan”, *J. Air & Waste Manage Assoc*, v. 56, pp 824-833.
- Paulauskiene T. Zabukas V. Vaitiekūnas P. (2009), “Investigation of volatile organic compound (VOC) emission in oil terminal storage tank parks”, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, v.17, no.2, pp 81-88.
- Chambers A. K. Strosher M. Wootton Tony. Moncrieff Jan. McCready P.(2012), “Direct Measurement of Fugitive Emissions of Hydrocarbons from aRefinery”, *Journal of the Air & Waste Management Association*. 58, 1047-1056.
- Hoyt D. Raun P. L. (2015). “Measured and estimated benzene and volatile organic carbon (VOC) emissions at a major U.S. refinery/chemical plant: Comparison and prioritization”, *Journal of the Air & Waste Management Association*, v.65 no. 8, pp 1020-1031.
- Rozkov A. Vassiljeva I. Kurvet M. Kahru A. Preis S. Kharchenko A. Krichevskaya M. Liiv M. Aerd A. Vilu R. (1999), Laboratory study of bioremediation of rocket fuel-polluted groundwater. *Water Res.* v. 33, pp 1303–1313.
- Langwaldt J.H. Puhakka J.A. (2000), “On-site biological remediation of contaminated groundwater: a review”. *Environ. Pollut.* V. 107, pp 187–197.
- Vidali M. (2001), “Bioremediation. An overview”. *Pure Appl. Chem*, v.73, pp 1163 – 1172.
- Lynch J.M. Moffat A.J. (2005). “Bioremediation – prospects for the future application of innovative applied biological research”. *Ann. Appl. Biol.* v. 146, pp 217–221.

- Morgan P. (1992). "Biodegradation of Benzene, Toluene, Ethyl Benzene and Xylene in Gas-Condensate Contaminated Groundwater", *Environmental Pollution*, v. 82, p 181-190.
- Barker G. W. Raterman K. T. Berton Fisher, J. (1996), "A Case Study of the Natural Attenuation of Gas Condensate Hydrocarbons in Soil and Groundwater" *Biochemistry and Biotechnology*, Vol. 57/58.
- Borole A. Sublette K. L. Raterman K. T. Javanmardian M. Berton Fisher J. (1997), "The Potential for Intrinsic Bioremediation of BTEX Hydrocarbons in Soil/Ground Water Contaminated with Gas Condensate", *Biochemistry and Biotechnology*, Vol 63-65.
- Teng Y. Feng D. Song L. Wang J. Li J. (2013), "Total petroleum hydrocarbon distribution in soils and groundwater in Songyuan oilfield, Northeast China", *Environ Monit Assess* v.185, pp 9559 – 9569.
- Shamsavari A. A. Khodaei K. Hatefi R. Asadian F. Zamanzadeh S M. (2013), "Distribution of total petroleum hydrocarbons in Dezful aquifer, Southwest of Iran", *Arab J Geosci*, DOI 10.1007/s12517-013-0887-4.
- Garoma T. Gurol M .D. Osibodu O. Thotakura L. (2008) "Treatment of groundwater contaminated with gasoline components by an ozone/UV process", *Chemosphere*, v. 73, pp 825 –831.
- Laane RWPM. De Voogt P. Bik MH. (2006) "Assessment of organic compounds in the Rhine estuary". *Hdb Env Chem*, v.5, pp 307–368.
- Laane RWPM. Vethaak AD. Gandrass J. Vorkamp K. Kohler A. Larsen MM. Strand J. (2013), "Chemical contaminants in the Wadden Sea: Sources, transport, fate and effects", *J Sea Res*, v. 82, pp 10–53.
- Okuda T. Kumata H. Zakaria MP. Naraoka H. Ishiwatari R. Takada H. (2002) "Source identification of Malaysian atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons nearby forest fires using molecular and isotopic compositions", *Atmos Environ*, v. 36, pp 611–618.
- Zhang XL. Tao S. Liu WX. Yang Y. Zuo Q. Liu Z. (2005) "Source diagnostics of polycyclic aromatic hydrocarbons based on species ratios: A multimedia approach", *Environ Sci Technol*, v. 39, pp 9109–9114.
- Abdel-Shafy H. I. Mansour M. S. M. (2015) "A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation", *Egypt. J. Petrol.* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>.
- Zakaria M. P Takada H. Tsutsumi S. Ohno K. Yamada J. Kound E. Kumata H. (2002) "Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of petrogenic PAHs". *Environ Sci Technol*, v. 36, pp 1907–1918.
- Zakaria M.P Takada H. (2007) "16 Case study: oil spills in the strait of Malacca, Malaysia. In: Wang Z, Stout SA (eds) *Oil spill environmental forensics. Fingerprinting and source identification*". Elsevier, Boston, MA, pp 489–504.

- Gogou A. Bouloubassi I. Stephanou EG (2000) “Marine organic geochemistry of the Eastern Mediterranean: 1. Aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in Cretan Sea surficial sediments”. *Mar Chem* v. 68, pp 265–282.
- Wang Z. Fingas M. F. (2003) “Development of oil hydrocarbon fingerprinting and identification techniques”, *Mar Pollut Bull* v. 47, pp 423 – 452.
- De Luca G. Furesi A. Leardi R. Micera G. Panzanelli A. Piu PC. (2004) “Polycyclic aromatic hydro - carbons assessment in the sediments of the Porto Torres Harbor (Northern Sardinia, Italy)”, *Mar Chem*, v.86, pp15–32.
- Venkatesan MI. (1988), “Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments—a review”. *Mar Chem*, v. 25, pp 1–27.
- Luo X. J. Chen S. J. Mai B. X. Sheng G.Y. Fu J.M. Zeng E.Y. (2008), “Distribution, source apportionment, and transport of PAHs in sediments from the Pearl River delta and the northern South China Sea”, *Arch Environ Contam Toxicol* v. 55, pp11–20.
- Barra R. Castillo C. Torres J. P. M. (2007), “Polycyclic aromatic hydrocarbons in the South American environment”, *Rev Environ Contam Toxicol*, v.191, pp.1–22.
- Colombo J. C. Pelletie E. Brochu C. Khall M. (1989), “Determination of hydrocarbon sources using n-alkane and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes. Case study: Rio de La Plata Estuary, Argentina. *Environ Sci Technol* v. 7, pp. 888–894.
- EPRI (Electric Power Research Institute). Literature review of background polycyclic aromatic hydrocarbons. Final report; March 2000.
- Jiries A. Rimawi O. Lintelmann J. Batarseh M. (2016) “Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in top soil, leachate and ground water from Ruseifa solid waste landfill, Jordan”, *Int. J. Environment and Pollution*, DOI: 10.1504/IJEP.2005.006859.
- Obiakor M. O. Okonkwo J. C. Ezeonyejiaku C. D. Okonkwo C. N. (2014), “Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Freshwater Media: Factorial Effects and Human Dietary Exposure Risk Assessment”, *Resources and Environment*, no. 4, v. 6, pp 247-259.
- EPA (2011) “Oil and Natural Gas Sector: Standards of Performance for Crude Oil and Natural Gas Production, Transmission, and Distribution. Background Technical Support Document for Proposed Standards”.
- Huang J. Zhang Z. Yu G. (2003), “Occurrence of dissolved PAHs in the Jinsha River (Panzhihua) upper reaches of the Yangtze River, Southwest China” *J. Environ. Monit.*, (2003), v. 5, pp 604 – 609.
- Cao Z. Wang Y. Ma Y. Xu Z. Shi G. Zhuang Y. Zhu T. (2005), “Occurrence and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in reclaimed water and surface water of Tianjin, China”, *Journal of Hazardous Materials*, v.122, pp 51–59.
- Chen Y. Zhu L. Zhou R. (2007), “Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon in surface water and sediment from Qiantang River, China”, *Journal of Hazardous Materials*, v. 141, pp 148–155.

- Li Y. Liu J. Cao Z. Lin C. Yang Z. (2010), “Spatial distribution and health risk of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the water of the Luanhe River Basin, China”, *Environ Monit Assess*, v.163, pp 1–13.
- Botalova O. Schwarzbauer J. Frauenrath T. Dsikowitzky L. (2009), “Identification and chemical characterization of specific organic constituents of petrochemical effluents” *Water Reseaech*, v.43, pp 3797 – 3812.
- Sander L.C, Wise S. A. (1997), “Polycyclic aromatic hydrocarbon structure index. NIST Special Publication 922, NSPUE2. United States Department of Commerce Technology Administration”, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, pp 1–105.
- Lerda D. (2011), “Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Factsheet” JRC Technical Notes
- Saba B. Hashmi I. Ali Awan. M. Nasir H. Jamal Khan S. (2012), “Desalination and Water Treatment” v.49, pp 240-247.
- Masih A. Lal J. K. Kumar Patel P. (2014), “Contamination and Exposure Profiles of Persistent Organic Pollutants (PAHs and OCPs) in Groundwater at a Terai Belt of North India”, *Water Qual Expo Health*, DOI 10.1007/s12403-014-0126-6.
- Kumar A. Kumar Singh C. (2015), “Characterization of Hydrogeochemical Processes and Fluoride Enrichment in Groundwater of South-Western Punjab”, *Water Qual Expo Health*, DOI 10.1007/s12403-015-0157-7.
- Vigna F.L. Ciadamidaro S. Mazza R. Mancini L. (2010), “Water quality and relationship between superficial and groundwater in Rome (Aniene River basin, central Italy)”, *Environ Earth Sci*, v. 60, pp 1267–1279.
- Guler G. Kaplan V. Akbulut C. (2012), “Spatial distribution patterns and temporal trends of heavy-metal concentrations in a petroleum hydrocarbon contaminated site: Karaduvar coastal aquifer (Mersin, SE Turkey)”, *Environ Earth Sci*, DOI 10.1007/s12665-012-2186-x.
- Fetter, C.W. (1999). “Contaminant Hydrogeology”. 2nd Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Drever, J. I. (1997). “The Geochemistry of Natural Waters, Surface and Groundwater Environments”. Prentice Hall. ISBN 0132727900.
- EA, (1999), “The Fuel Additive MTBE- a Groundwater Protection Issue? Available to download from National Groundwater and Contaminated Land Centre (EA)”.
- Day M. J. Reinke R. F. Thomson J. A. M.(2001), “Fate and Transport of Fuel Components Below Slightly Leaking Under ground Storage Tanks. *Environmental Forensics*”, v. 2, pp 21-28.
- Alexander M. (1994). “Biodegradation and Bioremediation”. Academic Press. ISBN 012049860.
- Nadim F. Hoag G. E. Liu S. Carley R. J., Zack P. (2000). “Detection and Remediation of Soil and Aquifer Systems Contaminated with Petroleum Products: An Overview”. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 26, pp 169-178.

- Wiedemeier T.H. Rifai H.S. Newell C.J. Wilson J.T. (1999). "Natural attenuation of fuels and chlorinated solvents in the subsurface. New York: John Wiley.
- Mary Cross k. (2002), degree of Master of Science, "Natural Attenuation at Upstream Oil and Gas Sites in Western Canada" Civil and Environmental Engineering. depart. University of Alberta,
- Lee M. L. J. M. Thomas R. C. Borden P. B. Bedient, J. T. Wilson C. H. Ward. 1988. "Bioremediation of aquifers contaminated with organic compounds". Crit. Rev. Environ. Control, v. 18, pp 29-89.
- Bedient P.B. Rifai H.S. Newell C.J. (1994). "Ground Water Contamination:Transport and Remediation". PTR Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Gawad E. A. Al-Azab M. Lotfy M. M. (2008). "Assessment of the Oil Pollution Extent in the Offshore Sediments", Abu Dhabi, UAE, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, no. 2, v. 3, pp 617-631.
- WHO (2008) "Guidelines for drinking-water quality, third edition in-corporating the first and second addenda", volume 1
- Robertson W; Cherry J; Sudicky E. (1991), "Ground-water contamination from two small septic systems on sand aquifers" Groundwater, 29(1), pp 82-92.
- United State Environmental Protection Agency (1999). "Enhanced coagulation and enhanced precipitate softening guidance manual" Groundwater and Drinking water Division, U.S. EPA
- Lokhande P.B. Patil V. V. Mujawar H. A. (2009) "Multivariate statistical study of seasonal variation of BTEX in the surface water of Savitri River" Environ Monit Assess v.157, pp 51 - 61

## **Abstract**

Hydrocarbon Contaminants are one of the main cause at groundwater contamination. Fajr Gas Refinery, the largest one in IRAN, locates in the Riz plain at Bushehr Province. Due to the high volume of industrial wastewaters, storage reservoirs and transportation of the oil products, as well as recently spills of the effluents to the adjacent river, probable contamination at the Riz aquifer has been increased. Therefore, the aim of this study is to investigate the effects of Fajr gas refinery on the Riz aquifer. In this regard Sampling from effluent, surface water and ground water was carried out in dry season (June, 2016). The parameters including EC, TDS, pH, main ions, selected heavy metals, organic matter (TOC) and hydrocarbons (TPH, PAHs and BTEX) were measured. The results showed EC, pH and the major ions of the effluent are lower than the surface water, but concentration of heavy metals are much higher than that of the surface water. High contamination with iron, zinc and lead. Is observed in effluent. TOC and TPH levels in wastewater and surface water samples are much higher than the EPA standard. Among BTEX compounds, benzene concentration in wastewater samples is 1634  $\mu\text{g} / \text{l}$ , which is higher than both WHO and EPA standards. Concentrations in the all wastewater samples in which PAHs have been identified are higher than the standard values. Spatial variations of EC, pH, sulfate and calcium in ground water indicate a decrease in concentration by increasing the distance from the refinery. The highest level of aquifer contamination with heavy metals is related to Zn. The results of TOC and TPH in groundwater are consistent and indicate the aquifer contamination with organic matter and the aquifer oil pollution is in the moderate level. The aquifer of the study area is only contaminated with benzene in some samples. BTEX spatial variations indicate enhanced concentrations at the points closer to the refinery and upstream of Shahre khas village, due to the decrease in surface runoff velocity and so increase of infiltration rates. Among the 16 measured PAHs 9 constituents were detected in groundwater and the highest concentration is pyrene. Totally, the quality assessment of water resources indicates the impact of Fajr gas refinery on contamination of surface water resources and the Riz aquifer.

**Keywords:** Fajr Gas Refinery, Riz Plain, Heavy Metals, TOC, TPH, BTEX, PAHAs





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

**The Study of The impacts Fajr Gas refinery on growndwater quality in Riz plain,  
Bousher**

**By: Seyyd Rouhollah Mousavi**

**Supervisor:**

**Dr. Hadi Jafari**

**January 2018**