

دشت حاصلخیز مراغه- بناب که در جنوب شرق آذربایجان شرقی قرار گرفته از منابع آب زیرزمینی بازرشی برخوردار است. کارخانه‌های کاوه سودا و کاغذسازی مراغه واقع در شهرک صنعتی مراغه حجم بسیار زیادی پساب تولید می‌کنند که به طور پیوسته در دشت تخلیه می‌شود. در این تحقیق تأثیر پساب‌های صنعتی بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور تعداد ۹۲ نمونه آب از چاهها، چشمه‌ها و قنوات منطقه و از پساب‌های صنعتی در دو نوبت جمع‌آوری و آنالیز شیمیایی شده‌است. هدایت الکتریکی پساب در مهرماه ۱۳۸۵، برابر با ۱۶۷۳۸۴ میکروزیمنس بر سانتیمتر اندازه‌گیری شد و بر اساس آنالیز هیدروشیمیایی مهم‌ترین یون‌های موجود در آن به ترتیب Na^+, Ca^{2+}, Cl^- و SO_4^{2-} است. غلظت این یون‌ها در نمونه‌های برداشت شده از چاههای واقع در ۱/۵ و ۲ کیلومتری محل تولید پساب‌ها و چاههای آب شرب شماره ۱ و ۲ روستای خوشه مهر واقع در فاصله به نسبت زیاد از این محل به طور غیر عادی افزایش یافته است. خواص هیدروشیمیایی نمونه‌های این چاهها با خواص پساب‌های صنعتی همخوانی داشته و آلودگی‌های شدید ایجاد شده در قسمتی از دشت نتیجه تأثیر پسابهای صنعتی بر منابع آب زیرزمینی است.

شهرک صنعتی مراغه- کارخانه‌های کاوه سودا و کاغذسازی- پساب- آلودگی آب زیرزمینی

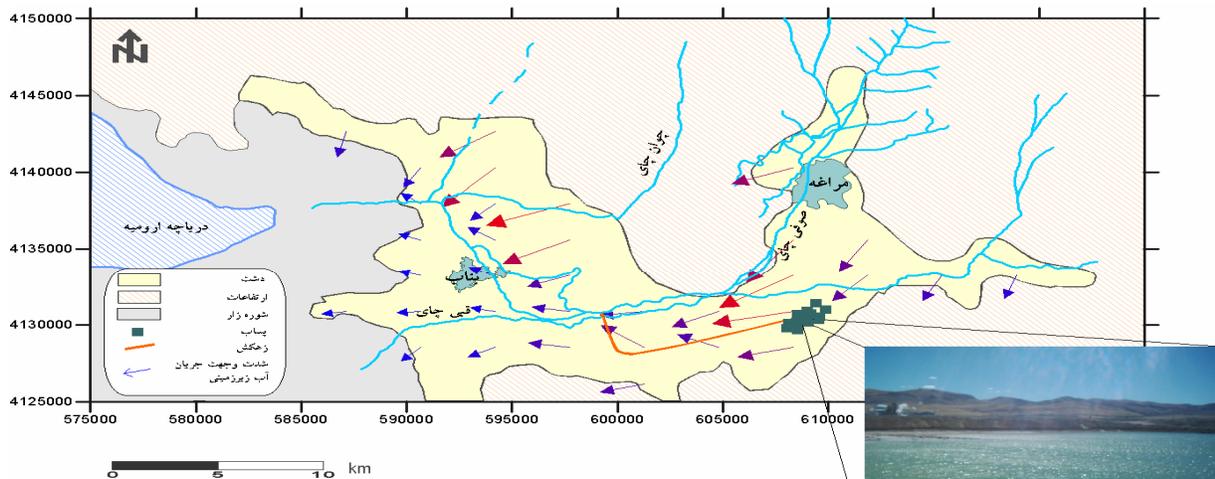
در این مقاله تأثیر پساب‌های شهرک صنعتی مراغه بر آلودگی آبهای زیرزمینی دشت مراغه- بناب که به صورت نقطه‌ای است مورد بررسی قرار گرفته است.

دشت مراغه- بناب با مساحت ۲۹۲ کیلومترمربع جزء حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده و در جنوب استان آذربایجان شرقی و در شرق دریاچه ارومیه واقع شده است. متوسط دمای سالانه در ایستگاه بناب (۱۳۷۴ تا ۱۳۷۹) ۱۲/۸۳ درجه سانتیگراد و متوسط بارندگی سالانه در ایستگاه مراغه (۱۳۶۴ تا ۱۳۸۳)، ۲۷۱/۱ میلیمتر است. بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه، اقلیم این دشت از نوع سرد و خشک محاسبه شده است. مهم‌ترین رودخانه این محدوده، صوفی‌چای است که از دامنه‌های جنوبی کوه سهند سرچشمه می‌گیرد و سد علویان در بالا دست شهر مراغه بر روی آن احداث شده است. به علت وجود منابع آب سطحی و زیرزمینی فراوان، فعالیت‌های کشاورزی در این دشت رونق

آبهای زیرزمینی از طریق فرایندهای طبیعی مانند شست‌وشوی خاک و اختلاط با منابع آب زیرزمینی آلوده، و یا از طریق فعالیت‌های انسانی از قبیل دفع مواد زاید، معدنکاری و فعالیت‌های کشاورزی در معرض آلودگی قرار می‌گیرند. یکی از مهم‌ترین عواملی که سهم بسزایی در آلودگی منابع آب زیرزمینی دارد، دفع پساب‌های صنعتی از طریق حوضچه‌های سطحی است (Yong, 1998). دفع غیراصولی پساب‌های صنعتی علاوه بر آلودگی آبهای زیرزمینی تبعات زیست محیطی دیگری، از جمله آلودگی آبهای سطحی، تغییر هدایت هیدرولیکی آبخوان، فرونشست زمین، زلزله و آلودگی منابع معدنی را نیز در پی خواهد داشت (Soliman et al., 1998). منابع و عوامل آلاینده آبهای زیرزمینی از نظر هندسی به آلاینده‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای تقسیم می‌شوند. آلاینده‌های نقطه‌ای از منبع واقع شده در یک نقطه منشأ می‌گیرند، حال آنکه آلودگی غیر نقطه‌ای توسط منبع آلاینده در امتداد یک خط صورت می‌گیرد (Todd, 2005).

است. کارخانه‌های کاوه سودا و کاغذ سازی حجم بسیار زیادی پساب تولید می کنند. این پسابها وارد حوضچه‌های بسیار وسیعی می‌شوند که هیچ‌گونه پوششی نداشته و به‌طورمستقیم به درون زمین نفوذ می‌کنند. جریان‌های خروجی از این حوضچه‌ها به زهکش منتقل و در طول مسیر به آبخوان نفوذ کرده و در نهایت به رودخانه صوفی‌چای تخلیه می شود (شکل شماره ۱).

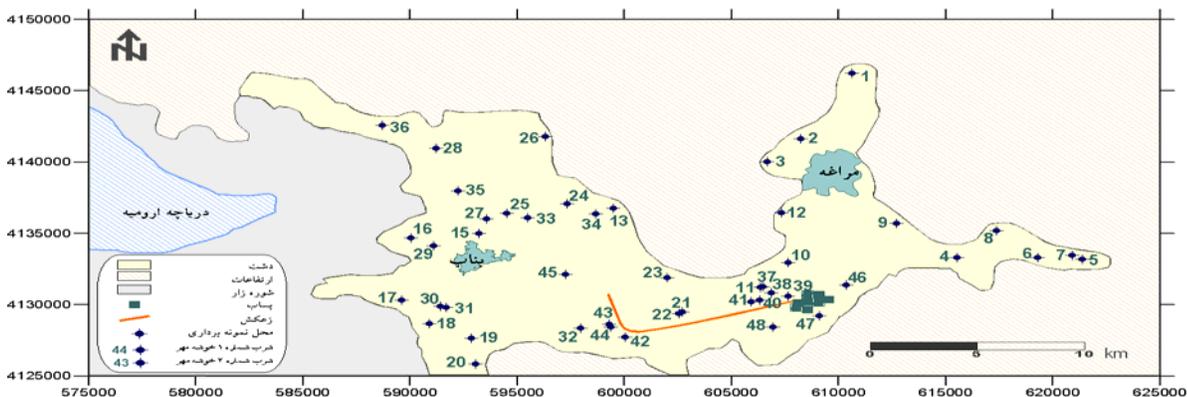
چشمگیری دارد. ذخیره سد علویان و آبهای سطحی بتهایی پاسبخگوی نیاز آبی این دشت نبوده و سالانه ۳۵/۹ میلیون متر مکعب از آبهای زیرزمینی در بخش کشاورزی و ۱/۰۸ میلیون متر مکعب در مصارف شرب و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس اطلاعات حاصل از چاههای اکتشافی، آبخوان دشت مراغه- بناب آبرفتی و آزاد است. شهرک صنعتی مراغه در شرق و بالادست این دشت واقع شده



(۱)

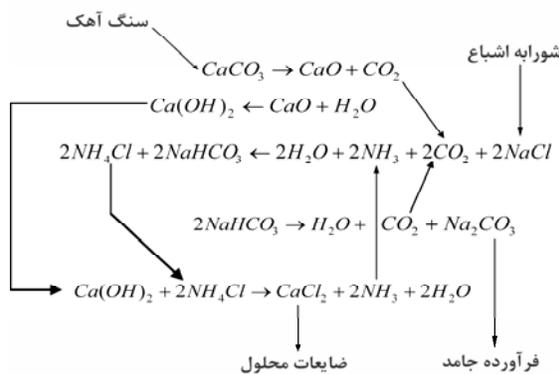
چاه بهره‌برداری و پساب ورودی به زهکش شد. شکل شماره (۲) موقعیت نقاط نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی و مسیر زهکش سطحی را نشان می دهد.

به منظور بررسی تأثیر پساب‌های صنعتی بر کیفیت آبهای زیرزمینی دشت مراغه- بناب، در دونوبت متوالی تیر و مهرماه (۱۳۸۵) معمولاً بیشترین تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی در این ماهها صورت می‌گیرد) اقدام به نمونه‌برداری از یک رشته قنات، ۴۷ حلقه



(۲)

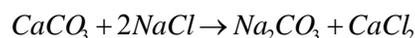
این واکنش مستقیماً انجام نمی‌گیرد بلکه طی مراحل مختلف (شکل شماره ۳) صورت می‌پذیرد. از تولید یک تن کربنات سدیم تقریباً ده مترمکعب پساب ایجاد می‌شود که شامل یک تن کلرید کلسیم، نیم‌تن کلرید سدیم و سایر ناخالصی‌های محلول و نامحلول است (Othmer, 1978). بخشی از پساب ورودی به زهکش متعلق به کارخانه کاغذسازی است



() :

(Othmer, 1978)

نتایج آنالیز تعدادی از نمونه‌های تیر ۱۳۸۵ و پساب ورودی به زهکش در جدول شماره (۱) و (۲) ارائه شده‌است. برای تکمیل داده‌های مربوط به پساب‌های ورودی به زهکش علاوه بر دو نوبت فوق در مردادماه نیز نمونه‌برداری صورت گرفته است. همان‌طور که در جدول شماره (۲) نشان داده شده است مقدار هدایت الکتریکی (EC) در نمونه‌های پساب بسیار بالاست و یون‌های کلر، کلسیم، سدیم و سولفات به ترتیب بیشترین مقادیر را دارا هستند. بخش عمده‌ای از پساب ورودی به زهکش، متعلق به کارخانه کاوه سودا است که بزرگترین تولیدکننده کربنات سدیم در خاورمیانه است. کربنات سدیم (Na_2CO_3) با وزن جرمی ۱۰۶ به صورت پودر سفیدرنگ کریستالی است که مهم‌ترین مصرف آن در صنعت شیشه‌سازی است و نام‌های تجاری سودا^۱ و خاکستر سودا^۲ برای حالت جامد آن استفاده می‌شود (Othmer, 1978). متداول‌ترین روش تولید کربنات سدیم، فرایند سلوی^۳ است. مواد اولیه برای تولید کربنات سدیم با این روش، نمک معمولی و سنگ آهک است (Othmer, 1978). نمک مورد نیاز این کارخانه از دریاچه ارومیه تأمین می‌شود. آمونیاک در فرایند تولید وارد شده ولی مصرف نمی‌شود و فقط مقدار کمی از آن از بین می‌رود. واکنش کلی فرایند به صورت زیر است:



() :

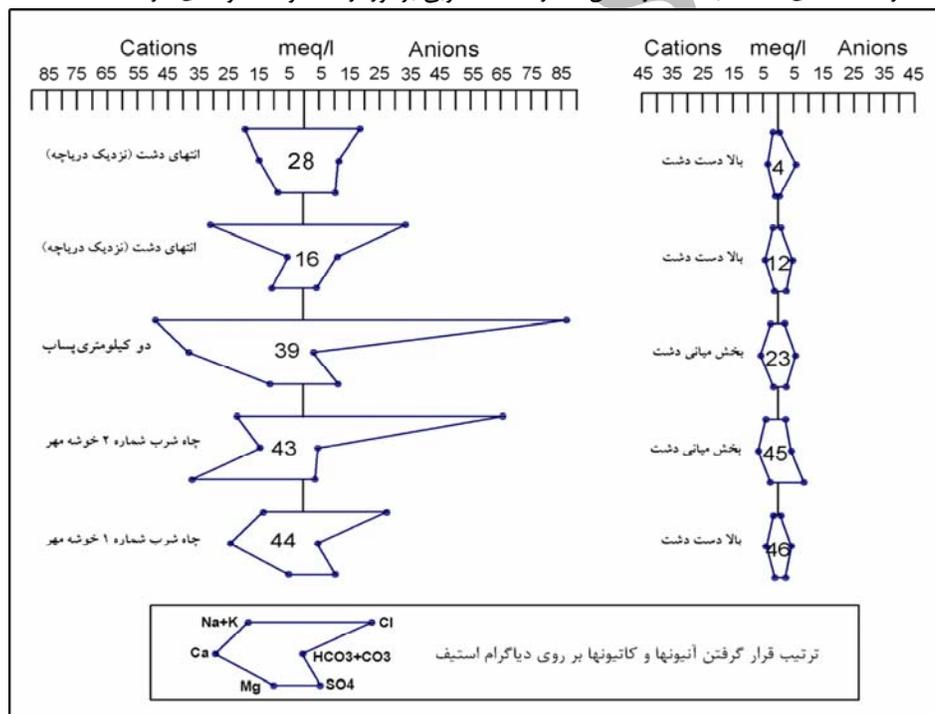
	SO_4^-	HCO_3^-	Cl^-	Mg^{++}	Ca^{++}	K^+	Na^+	pH	EC($\mu s/cm$)		
۴/۸	۰/۲	۳	۰/۱	۰/۷	۲/۲	۰	۰/۳	۸/۲	۳۲۷	اسفناج	۱
۱/۱	۲/۱	۷/۳	۰/۹	۳/۵	۴/۷	۰	۲	۷/۹	۱۰۲۳	دیورزم	۵
۲/۶	۱/۵	۳/۶	۰/۴	۰/۷	۲/۴	۰/۱	۲/۶	۸	۵۲۷	عشرت آباد	۹
۰/۳	۲/۶	۴/۶	۰/۷	۱/۲	۴/۴	۰/۱	۱/۸	۸	۷۵۹	بهر آباد	۱۲
۳/۳	۵/۵	۱۹	۰/۹	۱۴/۹	۵/۸	۰/۱	۳	۷/۹	۹۱۷	دوش	۱۳
۵/۷	۰/۸	۱۵/۵	۵	۳/۹	۷/۸	۰/۲	۷/۱	۷/۸	۲۰۵۰	شورخانه برق	۱۹
۳/۹	۱/۴	۷/۹	۵/۵	۵	۶/۷	۰/۱	۴/۷	۷/۸	۱۵۱۶	زاوشت	۲۷
۲/۹	۳/۹	۱۰/۵	۴/۵	۴/۷	۵	۰/۲	۸	۸/۲	۱۷۲۳	شرب آخوند قشلاق	۲۹
۱/۷	۳/۵	۳/۲	۲۸/۵	۴/۸	۸/۳	۰/۱	۶/۷	۸/۴	۲۰۰۰	ورودی شهرک صنعتی	۳۸
۱/۸	۱۱/۵	۳/۱	۸۷	۱۱	۳۸	۰/۱	۴۹	۷/۹	۱۰۲۰۰	کارخانه مروارید سهند	۳۹
۰/۵	۳/۸	۴/۷	۶۵/۶	۳۷	۱۴/۲	۰/۱	۲۲	۷/۶	۷۲۰۰	شرب ۲ خوشه مهر	۴۳
۰/۴	۱۰/۷	۴/۴	۲۷/۶	۴/۷	۲۴/۳	۰/۱	۱۳/۳	۷/۹	۴۲۵۰	شرب ۱ خوشه مهر	۴۴
۰/۷	۵/۱	۵/۹	۱۲/۳	۵/۴	۱۱/۸	۰/۶	۷/۸	۷/۹	۲۷۸۰	علی خواجه	۱۸
۰/۸	۳/۵	۴/۱	۳۳/۷	۱۰/۶	۵/۱	۰/۶	۳۰/۳	۸	۴۶۵۰	آخوند قشلاق	۱۶
۱/۴	۳/۹	۵/۳	۳/۲	۳/۳	۶/۶	۰/۶	۳	۸/۱	۱۳۱۹	قره چیق	۱۷
۴	۳/۸	۱۶/۸	۲۳/۲	۷/۱	۸/۸	۰/۱	۳۱/۴	۷/۹	۴۹۸۰	غرب دشت	۳۵
۳/۹	۶۲/۱	۹/۵	۲۶۵۰	۳۴۱	۱۹	۵/۳	۲۱۰۰	۷/۷	۲۳۶۰۰۰	نمونه دریاچه ارومیه	

() :

	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	pH	EC(μs/cm)	
تیر	۰/۳۵	۱۱۸	۳/۰۵	۱۷۴۰	۶۴	۹۷۰	۰/۴۳	۸۴۰	۷/۳	۱۴۶۷۰۰
مرداد	۱/۰۳	۱۱۹	۳	۱۷۱۰	۶۵	۹۶۵	۰/۴	۸۴۰	۶/۸	۱۴۵۵۰۰
مهر	۱/۰۶	۱۲۰	۱/۲۸	۲۲۵۰	۶۵	۱۳۸۰	۱/۷۹	۸۷۴/۸	۶/۶۳	۱۶۷۳۸۴

(۴) رسم شده است. شماره نمونه‌ها منطبق بر شماره‌های شکل (۲) و جدول شماره (۱) است که محل برداشت را بخوبی نشان می‌دهد. نمونه‌های ۴، ۱۲ و ۴۶ از قسمت‌های بالا دست دشت و نمونه‌های ۲۳ و ۴۵ از قسمت میانی دشت برداشت شده است. شکل کلی و ترکیب شیمیایی این نمونه‌ها نشان می‌دهد آب زیرزمینی در این قسمت‌ها از کیفیت خوبی برخوردار است و منشأ واحدی دارد.

یکی از نمودارهای گرافیکی مناسب برای مقایسه سریع ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی، دیاگرام استیف است. با توجه به شکل کلی به دست آمده از دیاگرام استیف می‌توان تا حدی به محیطی (نوع سنگ‌ها، یا رسوبات) که آب از آنجا منشأ گرفته پی‌برد (Hounslow, 1995). نمودار استیف برای نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از قسمت‌های مختلف دشت در شکل شماره



() :

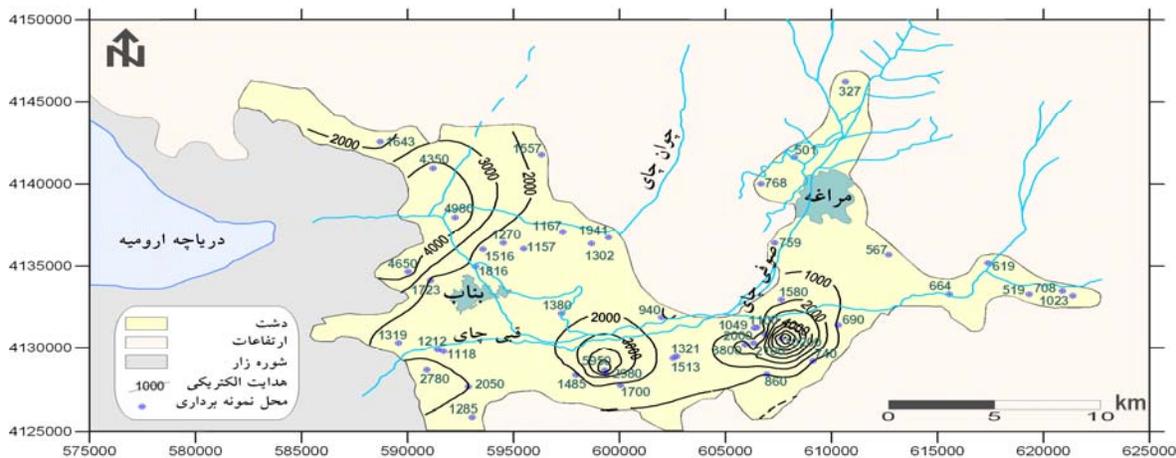
()

یون‌های کلر، کلسیم، سدیم و سولفات در این سه نمونه مشابه نمونه پساب بسیار بالاست و افزایش غیرعادی این یون‌ها بر اختلاط حجم بسیار زیادی پساب با آب زیرزمینی دلالت می‌کند. حوضچه‌های پساب به صورت آلاینده نقطه‌ای و زهکش انتقالی پساب به عنوان آلاینده غیرنقطه‌ای عمل می‌کنند. هدایت الکتریکی که تابعی از مواد جامد حل شده و درجه حرارت است از جمله مشخصه‌های صحرایی است که بسادگی و با دقت نسبتاً بالایی اندازه‌گیری می‌شود و به همین دلیل

شکل و ترکیب شیمیایی نمونه‌های ستون دوم کاملاً متفاوت از ستون اول است. دو نمونه ۲۸ و ۱۶ از انتهای دشت برداشت شده‌اند که آب زیرزمینی این منطقه به علت نزدیکی به دریاچه ارومیه از کیفیت بسیار نامطلوبی دارد نمونه شماره ۳۹ از دو کیلومتری کارخانه و پساب‌های صنعتی در شرق دشت برداشت شده و نمونه‌های ۴۳ و ۴۴ متعلق به چاه‌های شرب روستای خوشه مهر هستند که زهکش منتقل‌کننده پساب‌های صنعتی از نزدیکی این چاه‌ها عبور می‌کند.

قارچ مورد استفاده قرار می‌گرفته و در یک سال اخیر غیر قابل استفاده شده‌است) به فاصله حدود ۱۵۰۰ متر از پساب‌ها به ۱۰۲۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر رسیده است. در قسمت میانی دشت نیز کیفیت چاههای شرب روستای خوشه مهر به علت نفوذپذیری بالای این قسمت از دشت و قرار گرفتن آنها در مسیر زهکش پساب‌ها بشدت تنزل یافته و غیر قابل شرب شده است.

معرف خوبی برای بررسی تغییرات کیفیت آب است (Davis, 1966). تغییرات هدایت الکتریکی در آبخوان دشت مراغه- بناب برای تیرماه ۱۳۸۵ در شکل شماره (۵) به صورت خطوط هم EC نشان داده شده است. دو آنومالی در قسمت شرقی و مرکزی دشت وجود دارد. در قسمت شرق دشت مقدار هدایت الکتریکی در نمونه برداشت شده از چاهی نیمه عمیق (متعلق به کارخانه مروارید سهند که برای کشت

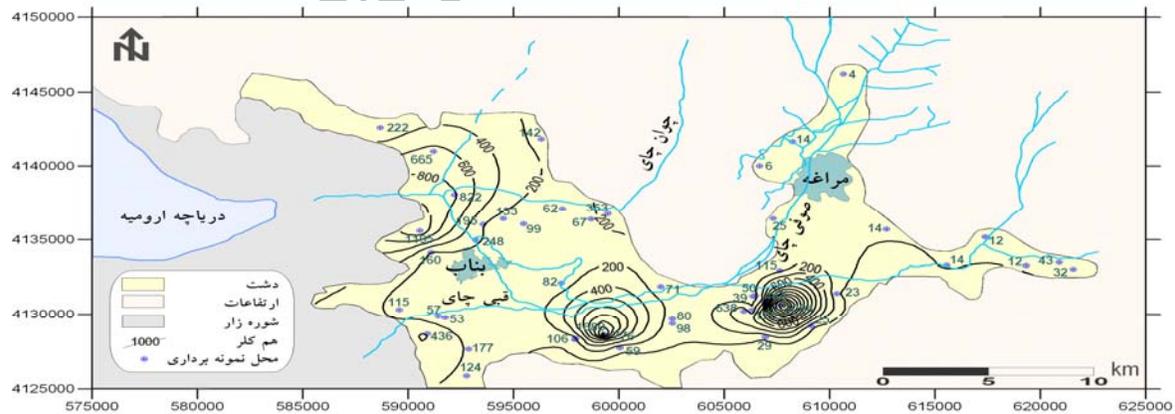


(۵)

(۵) :

آب شور دریا و سایر فرایندهای کلردار است (Fetter, 1999). آنومالی‌های ذکر شده در نقشه هم ارزش هدایت الکتریکی، در نقشه هم کلر نیز مشاهده می‌شود (شکل شماره ۶).

آنیون کلر در مقایسه با یون‌های دیگر بندرت تحت تأثیر واکنش‌های شیمیایی، جذب سطحی و تعویض یونی قرار می‌گیرد و بنابراین معرف خوبی برای بررسی آلودگی آبهای زیرزمینی توسط نفوذ

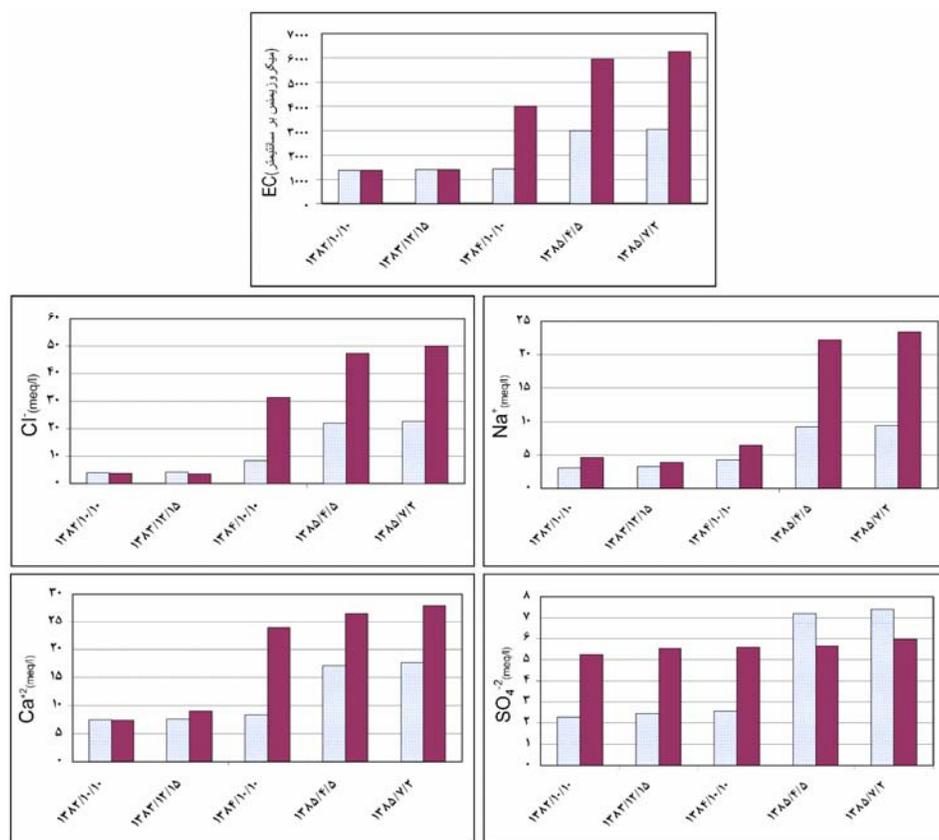


(۶)

(۶) :

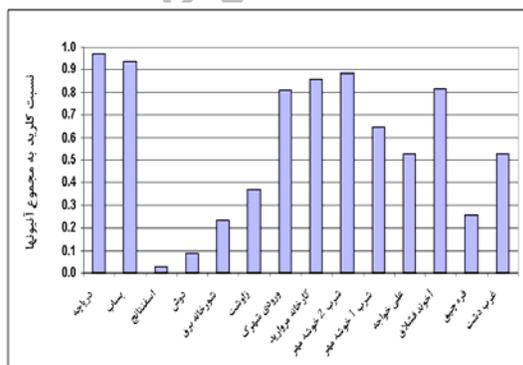
تغییرات بلندمدت کیفیت آب زیرزمینی در محدوده آنومالی‌ها، از آمار کیفی مربوط به چاههای شرب شماره ۱ و ۲ روستای خوشه مهر استفاده شده‌است. داده‌های مربوط به این چاهها از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ در شکل شماره (۷) رسم شده‌است.

چاه بهره‌برداری واقع در کارخانه مرواریدسهند که بهترین شاخص نشان‌دهنده پیشرفت آلودگی در آب زیرزمینی این دشت است خصوصی بوده و هیچ آمار کیفی درازمدت که نشان‌دهنده روند تغییرات کیفی در این چاه باشد در دسترس نیست. برای بررسی



() :

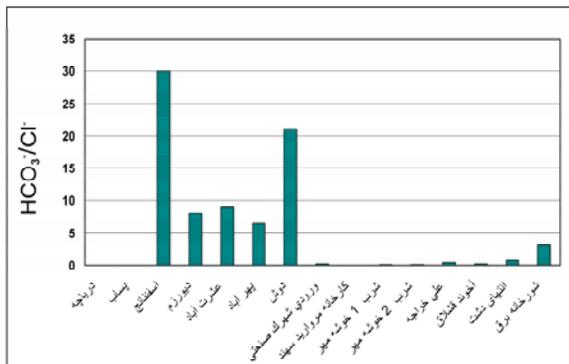
همان‌طورکه در شکل شماره (۸) ملاحظه می‌شود این نسبت در اکثر نمونه‌ها کمتر از ۰/۸ است و هوازگی سنگ‌ها طی مسیر در ایجاد ترکیب مؤثر بوده است.



() :

همان‌طورکه در شکل نشان داده شده آب چاههای مذکور تا سال ۸۳ از کیفیت خوبی برخوردار بوده، اما از این سال به بعد کیفیت آب بشدت تنزل یافته و در حال حاضر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. شایان ذکر است افزایش مقادیر یون‌های کلر، سدیم، کلسیم و سولفات در چاههای شرب خوشه‌مهر با مقادیر بسیار بالای این یون‌ها در نمونه‌ی سبب همخوانی دارد. از نسبت $Cl^- / HCO_3^- + Cl^-$ می‌توان به منشأ آنومالی‌های موجود در دشت پی برد. در صورتی‌که این نسبت کمتر از ۰/۸ باشد، هوازگی سنگ‌ها در ایجاد ترکیب نمونه مورد نظر مؤثر بوده است. اگر این نسبت بزرگتر از ۰/۸ و TDS نمونه کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد، منشأ نمونه از آب باران است. در مورد نمونه‌هایی که این نسبت بزرگتر از ۰/۸ و TDS بیشتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است، آب دریا، شورابه‌ها، یا تبخیری‌ها در ایجاد ترکیب نقش داشته‌اند (Hounslow, 1995).

یکی دیگر از نسبت‌هایی که برای مطالعه نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نسبت $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ است (Bennetts, 2006). با توجه به شکل شماره (۱۰) این نسبت در نمونه دریاچه ارومیه ۰/۰۲۲ و در نمونه پساب ۰/۰۱۷ است. نسبت $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ در نمونه‌های بالادست دشت (اسفندانج، دیورزم، عشرت آباد، پهرآباد و دوش) بیشتر از ۵ است. این نسبت در تعدادی از نمونه‌های منطقه تخلیه در غرب دشت (علی‌خواجه، آخوندقشلاق و انتهای دشت) کمتر از ۰/۸ است که به علت تغییر تیپ آب زیرزمینی به کلروه، مقدار کلر افزایش و این نسبت کاهش یافته است. در نمونه‌های چاه ورودی شهرک صنعتی، چاه بهره‌برداری کارخانه مروارید سهند و چاه‌های شرب (۲ و ۱) خوشه‌مهر که در قسمت شرقی و میانی دشت واقع شده‌اند، این نسبت در مقایسه با نمونه‌های بالا دست و پایین دست بشدت کاهش یافته و در نمونه چاه بهره‌برداری مروارید سهند، ۰/۰۳۶ است. این مقادیر بر اختلاط حجم زیادی آب شور با آب زیرزمینی شیرین دلالت می‌کند.



(۱۰)

درصد اختلاط پساب با نمونه آب زیرزمینی برداشت شده از ۱/۵ کیلومتری پساب با استفاده از رابطه زیر تعیین شده است (Hounslow, 1995):

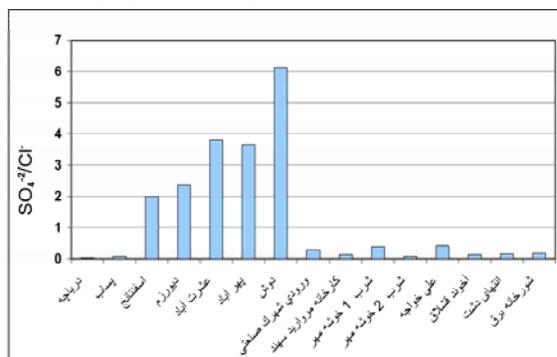
$$Q_1 = \frac{(C_m - C_2)}{(C_1 - C_2)} \times 100$$

Q_1 : درصد اختلاط

C_1 : غلظت یون کلر در پساب (meq/l)

C_m : غلظت یون کلر در نمونه برداشت شده از ۱/۵ کیلومتری پساب (meq/l)

در چهار نمونه این نسبت بزرگتر از ۰/۸ و TDS نیز بیشتر از ۵۰۰ است. این نمونه‌ها به ترتیب شماره متعلق به چاه بهره‌برداری کارخانه مروارید سهند (به فاصله ۱/۵ کیلومتری از پساب‌ها)، چاه ورودی شهرک صنعتی (به فاصله ۲/۵ کیلومتری از پساب‌ها)، چاه واقع در روستای آخوندقشلاق (واقع در انتهای دشت در مجاورت شوره‌زار) و چاه خوشه‌مهر (در مجاورت زهکش) هستند. با توجه به زمین‌شناسی منطقه در قسمت شرقی و میانی دشت هیچ‌گونه سازند تبخیری وجود ندارد. بنابراین منشأ آنومالی‌های ایجاد شده به علت وجود حجم بسیار زیاد پساب‌های صنعتی در شرق دشت و نفوذ آن به آبخوان است. نسبت یون سولفات به کلر به منزله ردیابی طبیعی برای مطالعه مسیرهای نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pulido, 2003). با توجه به شکل شماره (۹) نسبت سولفات به کلر در نمونه آب دریاچه ارومیه ۰/۰۴ (به علت کوچکی این مقدار در شکل مشخص نیست) و در نمونه برداشت شده از پساب‌های صنعتی ۰/۰۶ است. این نسبت در نمونه‌های بالادست دشت (اسفندانج، دیورزم، عشرت آباد، پهرآباد و دوش) به میزان چشمگیری بیشتر است که به علت زمان ماندگاری کمتر آب در این نواحی و غلظت کمتر یون کلر در نمونه‌هاست. نسبت سولفات به کلر در نمونه‌های منطقه تخلیه (علی‌خواجه، آخوندقشلاق، شورخانه برق و انتهای دشت) به علت افزایش تبخیر و نفوذ آب شور از شوره‌زار به سمت دشت کاهش یافته است. پایین بودن این نسبت در نمونه‌های برداشت شده از چاه ورودی شهرک صنعتی، چاه بهره‌برداری کارخانه مروارید سهند و چاه‌های شرب (۲ و ۱) خوشه مهر نشان‌دهنده اختلاط حجم زیادی آب شور (پساب‌های صنعتی) با آب شیرین می‌باشد.



(۹)

نمودارهای هیدروشیمیایی $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ ، $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ و $\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-$ مبین اختلاط پساب با آبهای زیرزمینی است. با توجه به تغییرات بلندمدت مشخصه‌های هیدروشیمیایی در نمونه‌های چاههای شرب شماره ۱ و ۲ خوشه‌مهر، این آنومالی‌ها طی سه سال گذشته ایجاد شده‌اند و از آنجایی که در منطقه سازندهای تبخیری وجود ندارد یگانه عامل ایجادکننده این آنومالی‌ها پساب‌های صنعتی‌اندکه به صورت نقطه‌ای و خطی منابع آب زیرزمینی منطقه را آلوده می‌کنند. ادامه چنین روندی تهدید جدی برای منابع آب زیرزمینی این دشت حاصلخیز است.

- 1-Soda
- 2-Soda ash
- 3-Solvay

C_2 : غلظت یون کلر در نمونه آب شیرین در بالادست منطقه (meq/l)

$$Q_1 = \frac{(87 - 3.24)}{(1740 - 3.24)} \times 100 = 4.82\%$$

طبق رابطه فوق، ۴/۸۲ درصد از نمونه آب زیرزمینی برداشت شده از یک و نیم کیلومتری مربوط به پساب است که تهدیدی جدی برای منابع آب زیرزمینی این دشت حاصلخیز محسوب می‌شود.

افزایش غیرعادی یون‌های کلر، کلسیم، سدیم و سولفات در نمونه‌های برداشت شده از چاههای بهره‌برداری کارخانه مروارید سپند، ورودی شهرک صنعتی و چاههای شرب شماره ۱ و ۲ روستای خوشه‌مهر نشان‌دهنده نفوذ پساب‌ها به آبخوان و آلودگی آب زیرزمینی است.

Bennetts, D.A., et al. 2006. Understanding the Stalinization process for groundwater in an area of south-eastern Australia using hydro chemical and isotopic evidence. Journal of Hydrology, Vol 323: 178-192.

Davis, N.S.; Dewiest, R.J.M. 1966. Hydrogeology. John wily and sons, Inc, U.S.A.: 284 pp.

Fetter, C.W., Jr Associates. 1999. Contaminant Hydrogeology, second edition. Prentice Hall, Inc: 592 pp.

Hounslow, A.W. 1995. Water quality data analysis and interpretation. Lewis publishers, CKC press, LLC: 378 pp.

Othmer, K. 1978. Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition. Volum 1, John wiley & sons publications.

Othmer, K. 1980. Fluorine Compounds, Organic to Gold and Gold Compounds, Third Edition. Volum 11, John Wiley & sons publications.

Othmer, K. 1981. Noise Pollution to Perfumes, Third Edition. Volum 16, John Wiley & sons publications.

Pulido- Leboeuf, P.; Pulido-Bosch, A. and Calvache, M.L. 2003. Strontium, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ and $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ ratios as tracers for evolution of seawater into coastal aquifers, C.R. Geoscience 335. 1039-1048.

Soliman, M., et al. 1998. Environmental hydrogeology, by CRC Press LLC.

Todd, D.K.; Arary, W.M. 2005. Groundwater Hydrology. John Wiley & sons publications: 636 pp.

Yong, S.; Hamidi, A. 1998. Groundwater and Surface Water Pollution. 150 pp