

## تغییرات عمقی هدایت الکتریکی و مرز آب شور و شیرین در آبخوان دشت چاه دراز، سیرجان

حمید رضا ناصری\*

دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

رضا نظری

دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

سعید مکنونی کیلانی

کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، واحد آب‌شناسی شرکت گل‌گهر سیرجان

### چکیده

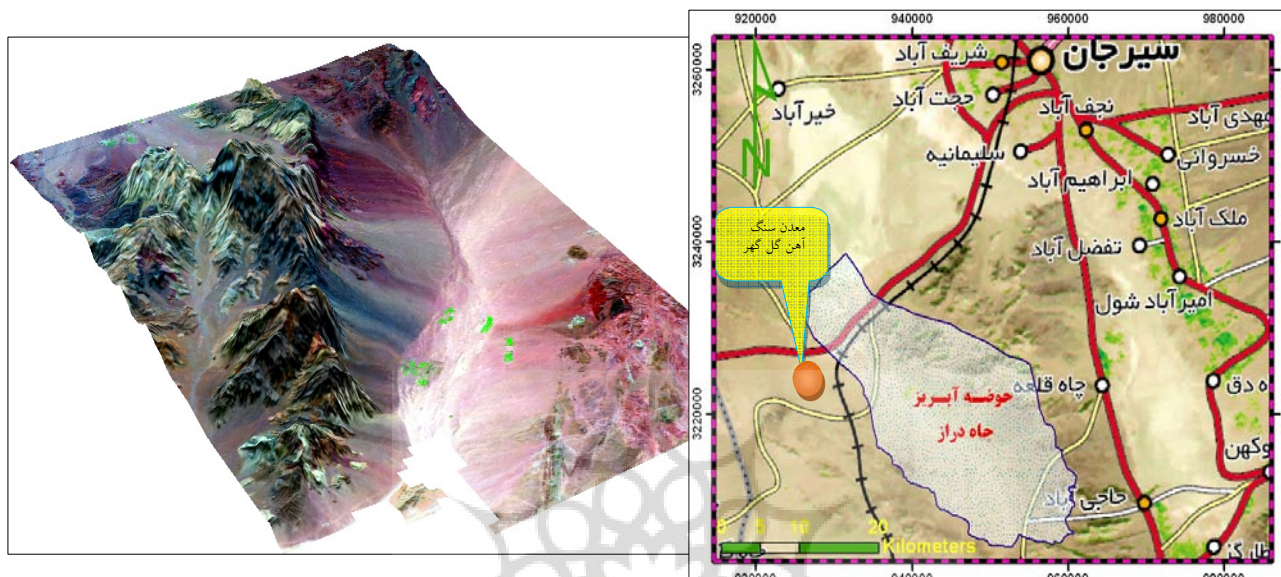
یکی از موانع توسعه در معدن سنگ‌آهن گل‌گهر سیرجان کمبود آب شیرین در منطقه است. آبخوان دشت چاه‌دراز که در مجاور کفه ی نمکی سیرجان قرار دارد در حال حاضر یکی از منابع تأمین کننده ی آب مورد نیاز معدن گل‌گهر می‌باشد، اما وجود آب شور در قسمت زیرین آبخوان، بهره‌برداری از آن را محدود کرده است. مدیریت بهینه و توسعه‌ی بهره‌برداری از این آبخوان نیازمند شناخت موقعیت قرارگیری این توده‌ی آب شور در آبخوان می‌باشد. در این تحقیق سعی شده است تا با بررسی هیدروشیمی آبخوان و نمونه‌برداری از چاه‌های پیژومتری به صورت عمقی و سطحی و تعیین هدایت الکتریکی، موقعیت و مرز آب شور و شیرین تعیین شود. تراز سطح ایستابی در محدوده ی چاه‌های بهره‌برداری حدود ۱۶۸۵ متر و در نواحی خروجی دشت نزدیک به ۱۶۹۰ متر بوده است. با تجزیه و تحلیل داده‌ها، موقعیت مرز آب شور و شیرین در پایین دست چاه‌های بهره‌برداری در تراز ۱۶۲۵ متری و در اطراف چاه‌های بهره‌برداری در تراز ۱۶۴۹ متری تعیین شد. همچنین نتایج مدل جریان نشان می‌دهد که با افزایش دو برابری پمپاژ چاه‌ها، افت حدود سه متر در اطراف چاه‌های بهره‌برداری رخ می‌دهد که در نتیجه‌ی آن، آب شور با هدایت الکتریکی بیش از ۱۰۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به کف چاه‌های بهره‌برداری نفوذ خواهد بود.

واژگان کلیدی: هدایت الکتریکی، عمق، اسکرین‌گذاری، شوری، دشت چاه‌دراز.

### مقدمه

در لژشبین چلو ض های جغرافیایی ۲۸ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۲۹ درجه ۱۳ دقیقه‌ی شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۴ دقیقه‌ی شرقی با عرض حدود ۲۰ کیلومتر و طول ۴۰ کیلومتر در شرق معدن سنگ‌آهن گل‌گهر در جنوب شرق شهرستان سیرجان واقع شده است (شکل ۱). امتداد این دشت

در راستای شمال غربی - جنوب شرقی است که موازی با روند ساختارهای منطقه‌ای می‌باشد. این دشت از سمت شمال غرب به کویر سیرجان و از جنوب شرق به حوضه‌ی قطاربنه منتهی می‌شود و خروجی آن در ناحیه شمال غربی واقع شده است.



(ب)

(الف)

شکل: الف- نقشه‌ی راه‌های دسترسی به محدوده‌ی مطالعاتی (ب)- تصویر سه بعدی حوضه‌ی آبریز چاه دراز برگرفته از ماهواره‌ی لندست، سنجنده ETM (دید رو به جنوب شرق)

یکی از موانع توسعه در معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان کمبود آب شیرین در منطقه است. آبخوان دشت چاه دراز که در مجاور کفه‌ی نمکی سیرجان قرار دارد در حال حاضر یکی از منابع تأمین کننده‌ی آب مورد نیاز معدن گل گهر می‌باشد، اما وجود آب شور در قسمت زیرین آبخوان، بهره‌برداری از آن را محدود کرده است. بهره‌برداری از آبخوان دشت باعث بر هم خوردن تعادل دینامیکی بین آب شور و شیرین در آبخوان شده است. مدیریت بهینه و توسعه‌ی بهره‌برداری از این آبخوان نیازمند شناخت موقعیت قرارگیری این توده‌ی آب شور در آبخوان می‌باشد.

بر اساس نتایج مدل جریان تهیه شده توسط نرم افزار GMS 7.0، با توسعه‌ی بهره‌برداری، معکوس شدن جریان و نفوذ آب شور (Saltwater intrusion) به صورت یک زبانه از طرف کفه‌ی نمکی سیرجان به طرف آبخوان دشت چاه دراز افزایش و پدیده‌ی مخروط برآمالیجا<sup>۱</sup> دشته در اطراف چاه‌های بهره‌برداری توسعه خواهد یافت. این

<sup>۱</sup>- Upconing

پدیده در نقاط مختلف دنیا مثل آبخوان ساحلی نوار غزه در کشور فلسطین (Qahman and Larabi, 2006)، آبخوان ساحلی Motooka در ژاپن (Perera et al., 2008)، آبخوان ساحلی جنوب Po Plain واقع در ایتالیا (Antonellini et al., 2008)، آبخوان ساحلی Tokaimura در ژاپن (Gallardo and Marui, 2007)، آبخوان ساحلی واقع در حاشیه شمال غربی دریاچه مهارلو (قادر و زارع، ۱۳۸۷) و در قسمت‌هایی از استان‌های گیلان و مازندران آب شور دریای خزر تا حد زیادی به داخل لایه‌های آبدار نفوذ کرده است. لذا در استفاده از آب‌های زیرزمینی مناطق مجاور کویرهای نمکی، دریاچه‌ها و دریاها با آب‌های شور بایستی با دقت کافی مسأله‌ی نفوذ آب شور و اختلاط آن با آب شیرین مورد بررسی قرار گیرد و در مورد میزان و نحوه‌ی بهره‌برداری در هر ناحیه برنامه‌ریزی لازم اجرا شود. مرز بین آب شور و شیرین به صورت یک خط واضح (Sharp) نیست بلکه یک زون انتقالی (Transition Zone) با ضخامت متغیر جداکننده‌ی آب شور و شیرین می‌باشد. ضخامت این زون از یک تا بیش از ۱۰۰ متر متغیر است (Bear, 1979).

یانگ کیم و همکاران<sup>۲</sup> ( ) آبخوان جزیره Jeju در کره را برای شناسایی مرز آب شور و شیرین مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در طی یک بازه‌ی زمانی تغییرات آن را بررسی نمودند و همچنین با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی به صورت عمقی، مرز آب شور و شیرین را تعیین کردند.

تیمز و همکاران<sup>۳</sup> ( ) ۲ روند تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی در ارتباط با ذخایر نمکی در آبخوان آبرفتی Lower Murrumbidgee استرالیا را مورد مطالعه قرار دادند. خطر افت کیفی آب‌های زیرزمینی به واسطه‌ی ورود نمک‌های فرو شوئی شده، عمده‌ترین مبحث مورد تجسس آن‌ها بوده است. تیمز و همکاران بیان کردند که تغییرات در ضخامت لایه‌های رسی، نفوذپذیری و ذخیره‌ی لایه‌ی نمکی و تفاوت‌های موجود در شیب‌های هیدرولیکی به واسطه پمپاژ، می‌تواند باعث تغییرات شوری آب‌های زیرزمینی در مقیاس منطقه‌ای شود.

ماری و ونگوشل<sup>۴</sup> ( ) مطالعه ای را جهت شناسایی منشأ شوری آب زیرزمینی ناحیه Jericho دره اردن، انجام دادند. آن‌ها از روش‌های ژئوشیمیایی شاخص جهت ردیابی منشأهای پتانسیل شوری در دو آبخوان در ناحیه Jericho استفاده کردند و بیان کردند که افزایش شوری در هر دو آبخوان از اختلاط با شورابه‌های عمقی که از طریق سیستم گسل Rift، جریان پیدا کرده‌اند ناشی شده است. در نهایت نتیجه‌گیری گردید که ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی شور می‌تواند جهت شناسایی شوری و از این‌رو تهیه مدل تفهیمی برای تشریح فرایندهای شوری‌زا استفاده شود.

<sup>2</sup> - Young Kim et. al.

<sup>3</sup> - Timms et al.

<sup>4</sup> - Marie and Vengosh

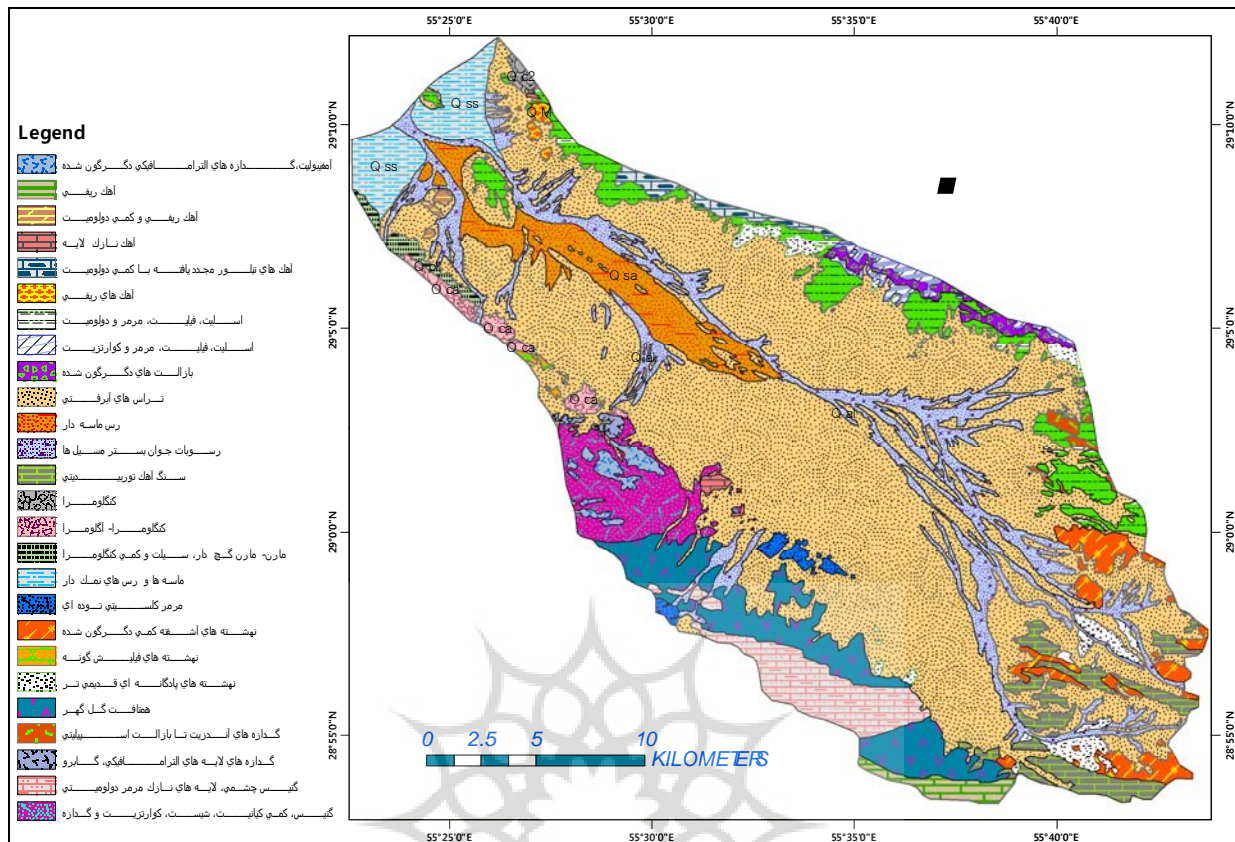
مسترسون<sup>۵</sup> (۲) تقابل بین آب شور و شیرین را در ارتباط با تأثیر بهره‌برداری از چاه‌ها و تغییرات سطح آب دریا در آبخوان ماساچوست شبیه‌سازی کرده و به این نتیجه رسیده است که برداشت بیش از اندازه از چاه‌های بهره‌برداری سبب افزایش تأثیر تغییرات سطح آب دریاچه بر روی آبخوان می‌شود.

سنگ‌آهک‌ها و مرمرها قسمت عمده‌ای از کوه‌های اطراف دشت را تشکیل می‌دهند. سن آن‌ها از سنگ‌آهک‌های دولومیتی و مرمرهای پرمین تا سنگ‌آهک‌های چرتی کرتاسه پایینی تغییر می‌کند. سازندهای پرمین معمولاً لایه‌های هستند. چینه‌بندی نازک لایه با افق سفید مرمر به صورت بین‌لایه با سنگ‌آهک‌های دولومیتی متبلور، هوازده و قهوه‌ای رنگ قرار دارد. با حرکت به سمت سطح، سنگ‌آهک چرتی خاکستری لایه لایه ای به توده ای تبدیل می‌شود و درز و شکاف‌های باز و انحلالی بسیار فشرده در سطح هوازده یافت می‌شود. سنگ‌آهک‌های چرتی خاکستری رنگ به صورت ناپیوسته بر روی رسوبات پرمین قرار می‌گیرند. این سنگ‌آهک‌ها دارای نشانه‌هایی از دگرگونی درجه‌ی پایین هستند و لایه‌بندی خوبی با ماسه‌سنگ‌های توفی که به صورت تصادفی ظاهر می‌شوند، دارند. سنگ‌آهک‌ها نیز در قسمت جنوب غربی حوضه یافت می‌شوند و قسمتی از هسته یک ناودیس فشرده را تشکیل می‌دهند. شیست‌ها و فیلیت‌ها در زیر مرمرها و سنگ‌آهک متبلور که قسمت عمده‌ی کوه‌های اطراف دشت را تشکیل می‌دهند، قرار دارند. بر روی سنگ‌آهک‌ها نیز رسوبات آبرفتی حوضه قرار گرفته است. واحدهای دگرگونی در مناطق شرقی، جنوبی و شمالی محدوده‌ی مطالعاتی گل‌گهر گسترش دارند. در شرق و جنوب منطقه تناوبی از شیست، آمفیبولیت، سنگ‌های کربناته متبلور و مرمر رخنمون دارند. شیست و آمفیبولیت‌ها بیشتر با رنگ سبز تیره و خاکستری تیره نمایان هستند (شکل ۲).

کنگولومرا، گراول، ماسه، سیلت‌های نازک‌لایه و مارن بیش از ۲۰۰ متر از ضخامت رسوبات درون دشت را تشکیل می‌دهند. با حرکت به سمت سطح این رسوبات، بدون هیچ تغییر محسوسی به رسوبات کواترنر و عهد حاضر که در سطح قرار دارند، تبدیل می‌شوند.

تعداد ۵۰ حلقه چاه مشاهده‌ای، اکتشافی و بهره‌برداری در دشت وجود دارد که از این تعداد ۲۵ حلقه چاه مشاهده‌ای، ۲۳ حلقه چاه اکتشافی و دو حلقه چاه بهره‌برداری کشاورزی می‌باشند. تمامی این چاه‌ها در آبرفت حفر شده‌اند. هم‌اکنون هشت حلقه از چاه‌های اکتشافی تبدیل به چاه‌های بهره‌برداری معدن شده‌اند. متوسط عمق حفاری در دشت چاه‌دراز ۸۵ متر می‌باشد (شکل ۳).

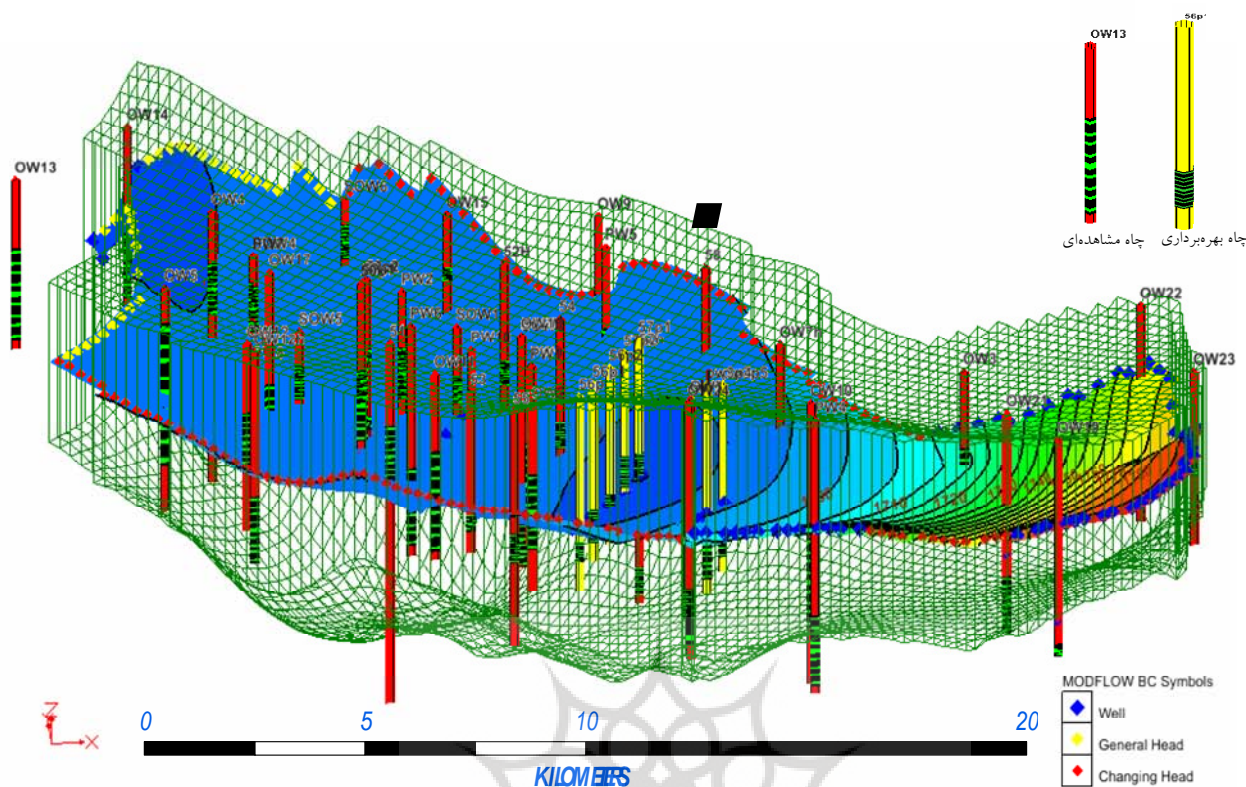
<sup>5</sup> - Masterson



شکل ۲: نقشه‌ی زمین شناسی حوضه‌ی آبریز چاه‌دراز (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۶)

## مواد و روش‌ها

مدل مفهومی آبخوان دشت چاه‌دراز که شامل؛ شبکه‌بندی مدل جریان، موقعیت چاه‌های بهره‌برداری معدن (به رنگ روشن)، چاه‌های مشاهده‌ای (به رنگ تیره)، شرایط مرزی مدل، عمق حفاری چاه‌ها و اسکرین‌گذاری در آن‌ها، توپوگرافی سطح زمین، توپوگرافی سنگ‌کف (به صورت شبکه‌بندی) و سطح آب مشاهده‌ای در آبخوان می‌باشد توسط انترفاز (GMS7.0 (Brigham Young University, 2010 تهیه شده است (شکل ۳). جهت جریان آب زیرزمینی از جنوب شرقی حوضه به سمت شمال غربی (خروجی حوضه) می‌باشد. شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی در ورودی دشت حدود ۰/۰۱۳ و در خروجی دشت کمتر از ۰/۰۰۱ می‌باشد. مرزهای مدل در سرتاسر حاشیه‌ی ارتفاعات و مناطق تغذیه - تخلیه با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری با عنوان GHB، Well و Time Variant Specified Head شبیه‌سازی شده است.



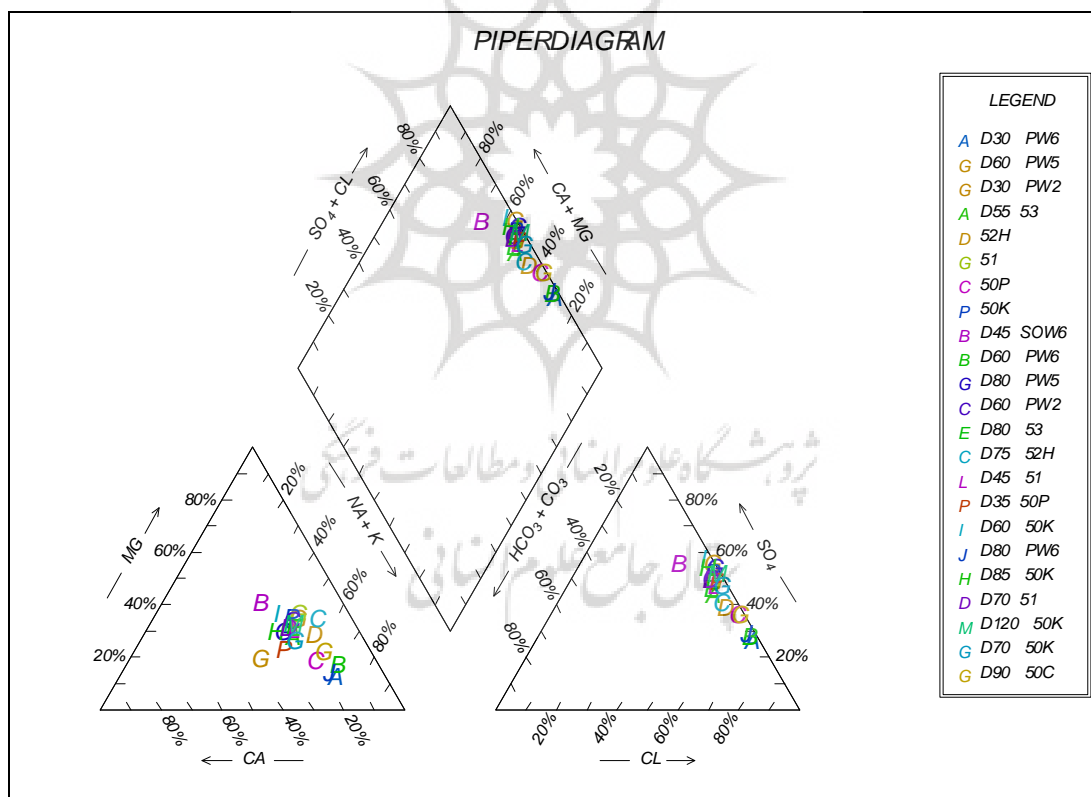
شکل ۳: مدل مفهومی آبخوان دشت چاه دراز تهیه شده با ارتفاعز GMS

در این تحقیق ابتدا تغییرات هدایت الکتریکی در هفت حلقه چاه بهره‌برداری معدن و ۱۵ حلقه پیزومتر (شکل ۳)، طی دوره آماربرداری ۱۰ ساله (۸۷-۷۸) شرکت گل‌گهر بررسی شد (شکل ۵). سپس طی سه دوره‌ی نمونه-برداری (مرداد، آبان و بهمن ۸۸) از پیزومترها که به صورت عمقی و سطحی انجام گرفت، با تعیین هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی در صحرا، اقدام به مشخص کردن مرز آب شور و شیرین گردید. هم‌زمان با نمونه‌برداری، تراز سطح ایستابی در ۲۹ حلقه پیزومتر نیز اندازه‌گیری شد. تراز سطح ایستابی در محدوده‌ی چاه‌های بهره‌برداری حدود ۱۶۸۵ متر و در نواحی خروجی دشت نزدیک به ۱۶۹۰ متر بوده است که نشان‌دهنده‌ی مخروط افت در اطراف چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد.

برای آماده‌سازی و پردازش داده‌های آبخوان دشت چاه‌دراز، نرم‌افزارهای ArcGIS 9.3، AqQA 1.1، Rockworks2006 و Excel به کار برده شد، نتایج حاصله، تجزیه و تحلیل شد و موقعیت زون آب شور در آبخوان تعیین گردید. برای تأثیر افزایش بهره‌برداری بر تراز سطح ایستابی از نتایج مدل تهیه‌شده توسط نرم افزار GMS7.0 استفاده شده است.

## بحث

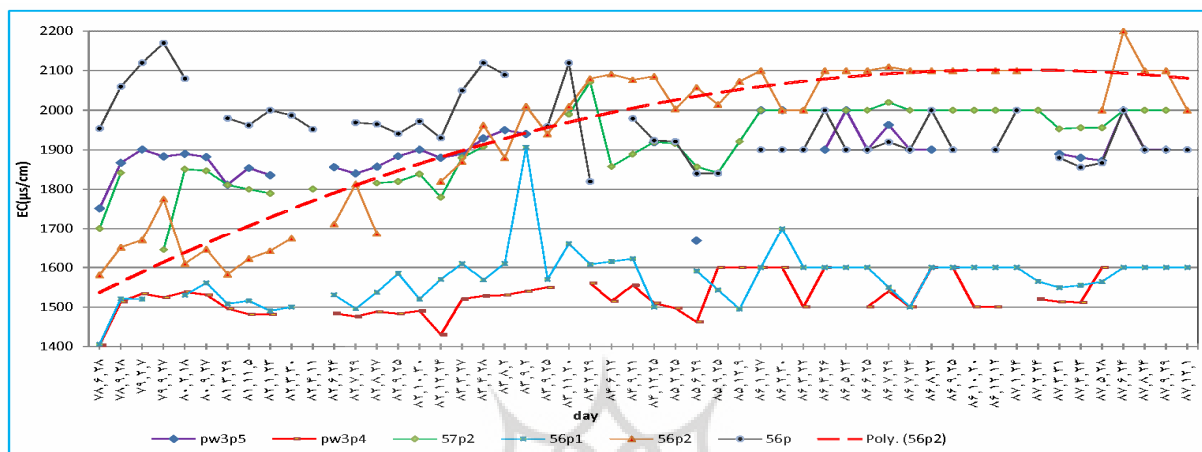
بر اساس نمودار پایپر که از پارامترهای ژئوشیمیایی آنالیز شده توسط آزمایشگاه آنالیز آب شرکت سنگ آهن گل-گهر (بهمن ۸۷) به دست آمده است (شکل ۴) ترکیب غالب آب های زیرزمینی دشت چاه دراز، کلروره-سدیک می باشد. احتمالاً عوامل شوری در اکثر نمونه ها مشابهت دارد. نقشه ی پراکندگی یون های کلر، سدیم و سولفات مربوط به سال ۱۹۷۶ بیانگر افزایش غلظت این یون ها از مناطق تغذیه (جنوب شرقی) به مناطق تخلیه ی آب زیرزمینی (به سمت کفهی نمکی) می باشد (Binnie & Partners Co., 1976) که بر اساس سیر تکاملی هیدرو شیمیایی می تواند نشان دهنده ی تأثیر انحلال کانی های تبخیری هالیت و ژینساید که باعث شوری بیش از حد آب های زیرزمینی دشت چاه دراز شده است. همچنین غلظت یون بی کربنات در مناطق تغذیه بیشتر از مناطق تخلیه ی دشت می باشد.



شکل ۴: نمودار پایپر مربوط به داده های هیدرو شیمیایی دشت چاه دراز (بهمن ۸۷)

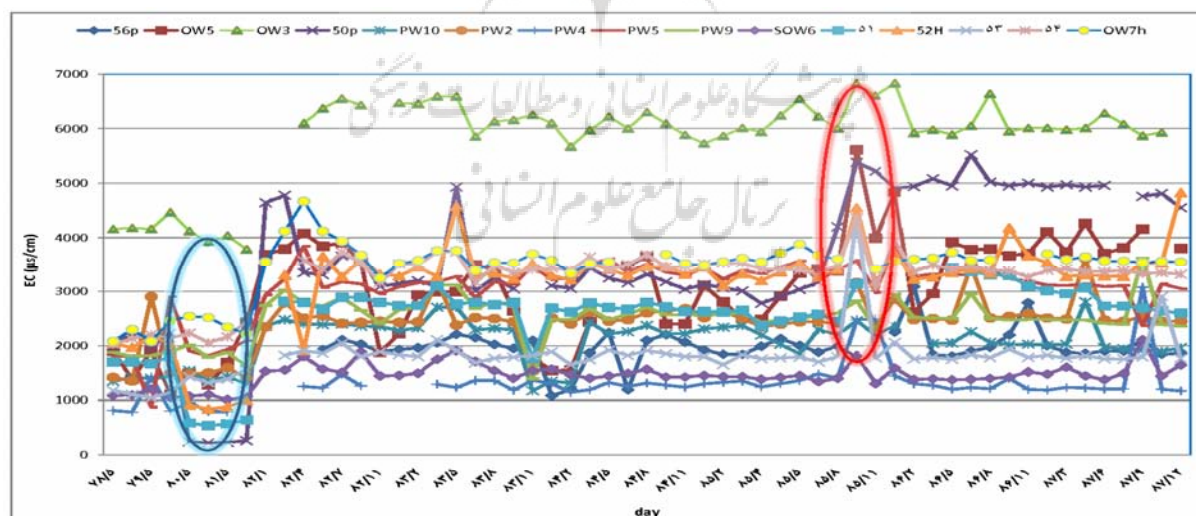
### هدایت الکتریکی (EC) سطحی

شکل ۵ تغییرات EC در چاه های بهره‌برداری را طی دوره ۱۰ ساله (۷۸-۸۷) نشان می‌دهد. به جز چاه 56p<sub>2</sub> (شکل ۳ و ۷) که دارای عمق بیشتری (۱۸۲ m) نسبت به دیگر چاه‌ها می‌باشد و در طول زمان افزایشی چشمگیر نداشته است، در سایر چاه‌ها هدایت الکتریکی آب تغییرات چندانی نداشته است.



شکل ۵: تغییرات هدایت الکتریکی در چاه های بهره برداری معدن در دشت چاه دراز طی دوره ۱۰ ساله (۷۸-۸۷)

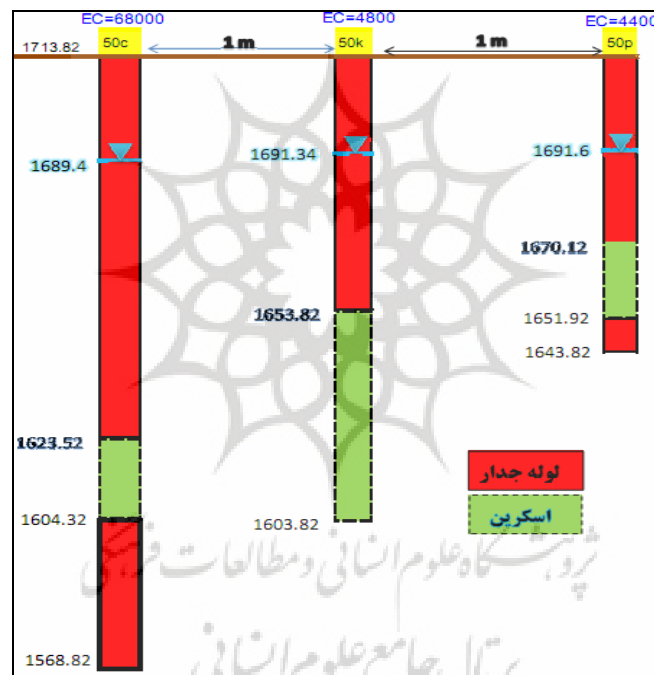
همچنین مقدار هدایت الکتریکی در طی دوره‌ی ۱۰ ساله در پیزومترهای محدوده‌ی آبخوان تغییر چندانی نداشته است، جز در مواقعی که بارندگی زیاد (سال آبی ۸۶-۸۵) و یا خشک‌سالی (سال ۸۵) بوده است که پس از یک دوره‌ی چند ماهه به حالت قبلی رسیده است (شکل ۶).



شکل ۶: تغییرات هدایت الکتریکی در ۱۵ پیزومتر انتخابی طی دوره‌ی ۱۰ ساله (۷۸-۸۷)



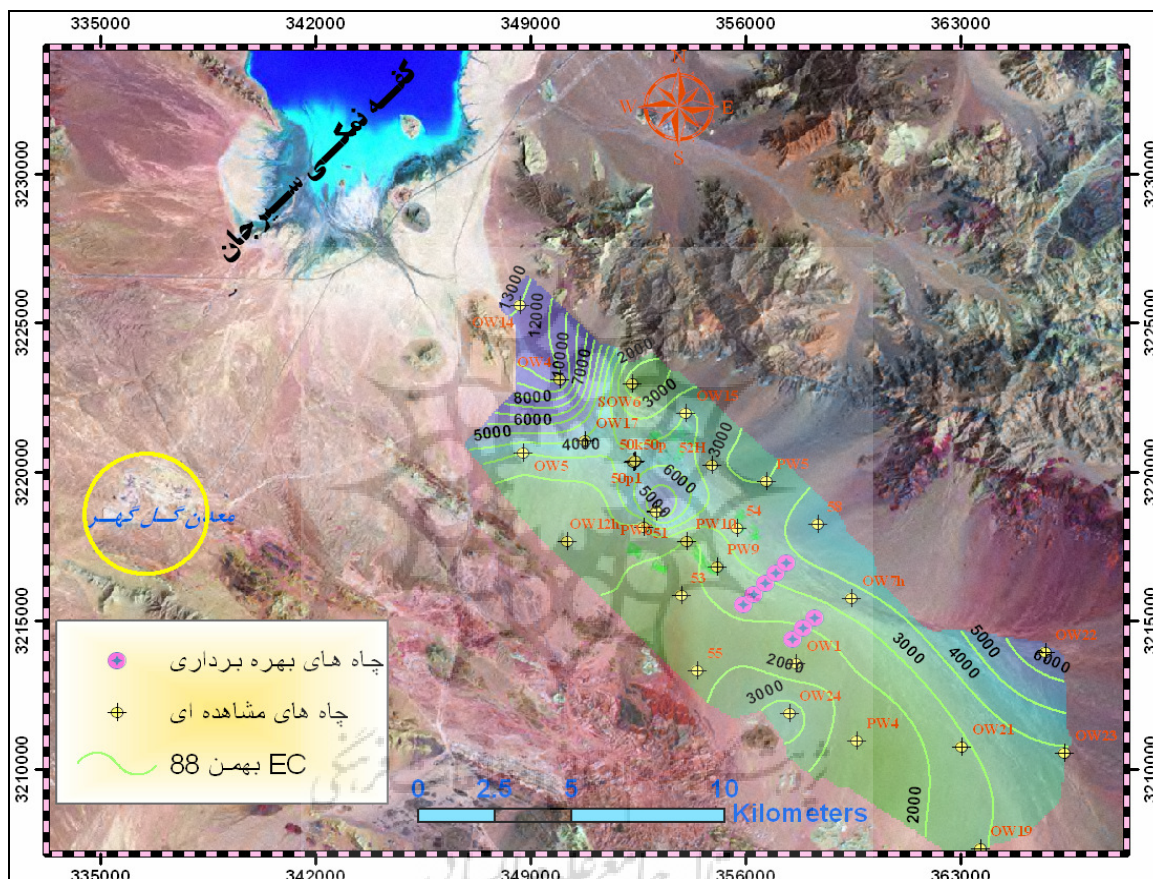
در دشت چاه‌دراز علاوه بر چاه‌های مشاهده‌ای، برای مطالعه‌ی زون آب شور و شیرین، یک‌سری از چاه‌ها به صورت گروهی حفر شده‌اند (گروه 50 و 56) که نزدیک به هم می‌باشند. گروه 56 شامل هفت حلقه چاه است که از این تعداد، دو حلقه چاه مرکزی آب شور و شیرین، یک حلقه چاه کنترلی و چهار حلقه چاه پیزومتری می‌باشند که هم‌اکنون سه حلقه از این چاه‌ها (56P<sub>1</sub>، 56P<sub>2</sub> و 56P<sub>3</sub>)، به چاه‌های بهره‌برداری معدن تبدیل شده‌اند. چاه‌های گروه 50 شامل هشت حلقه چاه می‌باشند که از این تعداد، یک حلقه چاه مرکزی آب شور (50C)، یک حلقه چاه مرکزی آب شیرین (50P)، دو حلقه چاه کنترلی (50K<sub>1</sub> و 50K<sub>2</sub>) و چهار حلقه چاه پیزومتری برای آبخوان آب شور و شیرین حفر شده‌اند. در شکل ۷ چاه‌های مشاهده‌ای گروه 50 (50P، 50C و 50K)، اسکرین-گذاری، سطح ایستابی و هدایت الکتریکی آن‌ها (برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در مرداد ماه ۸۸ ارائه شده است.



شکل ۷: هدایت الکتریکی مرداد ماه ۸۸ و اسکرین‌گذاری در چاه‌های گروه 50

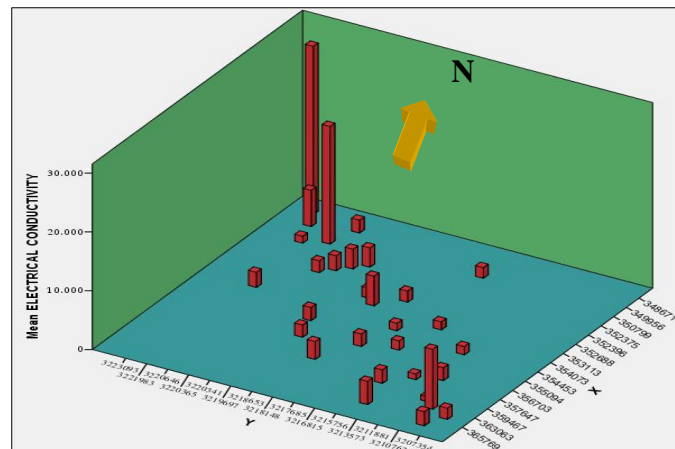
اطلاعات هدایت الکتریکی (EC) آب زیرزمینی دشت چاه‌دراز در بهمن ماه ۱۳۸۸ درون‌یابی و نقشه‌ی هم-هدایت الکتریکی (شکل ۸) ترسیم شده است. قابل ذکر است که به علت تغییرات زیاد هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی دشت در چاه‌های نزدیک به هم، به دلیل عمق و اسکرین‌گذاری مختلف، تعدادی از چاه‌ها مثل 50C، OW17 و OW21 که دارای EC زیاد و یا نمونه‌برداری غیرممکن (57H و PW9) بودند، حذف و نقشه‌ی تهیه شده برای ۲۴ پیزومتر ترسیم شده است.

از جنوب شرقی دشت که محل نفوذ جریان‌های سیلابی به آبخوان است به طرف شمال غربی دشت که ضخامت آبرفت کمتر و سنگ‌کف بالاتر و نزدیک کفه نمکی می‌باشد، مقدار EC افزایش می‌یابد. کمترین EC در جنوب و بیشترین EC در شمال غربی دشت رخ داده است. چندین آنومالی افزایش ناگهانی EC در نمونه‌ها مشاهده می‌شوند که این آنومالی‌ها به‌خاطر عمق‌های مختلف و اسکرین‌گذاری متفاوت در چاه‌های مشاهده‌ای می‌باشند.



شکل ۸: نقشه هم‌هدایت الکتریکی (بهمن ماه ۸۸) و چاه‌های آبخوان دشت چاه دراز

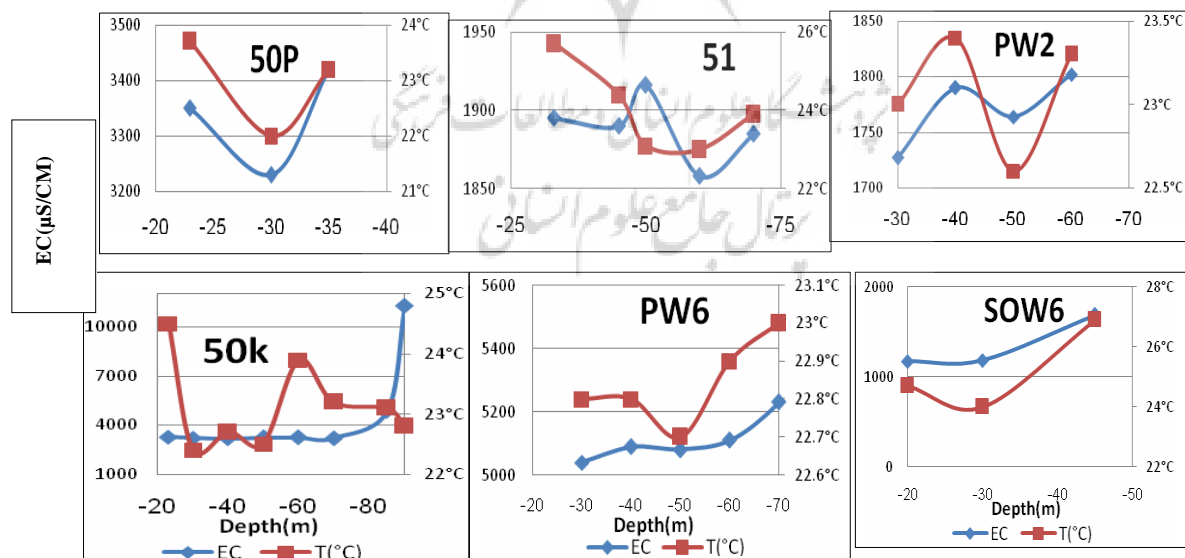
تغییرات هدایت الکتریکی در دوره‌ی نمونه‌برداری آبان ماه ۸۸ نشان‌دهنده‌ی روند افزایش آن‌ها از سمت مناطق تغذیه (جنوب شرقی) به سمت کفه نمکی (شمال غربی) می‌باشد (شکل ۹). با حذف چاه 50C، بیشترین هدایت الکتریکی در چاه‌های OW14 و OW17 که در مجاورت کفه نمکی (خروجی حوضه) قرار دارند، مشاهده می‌شود و کمترین EC نیز در چاه PW4 که در جنوب محدوده‌ی مطالعاتی قرار گرفته است، رخ داده است.



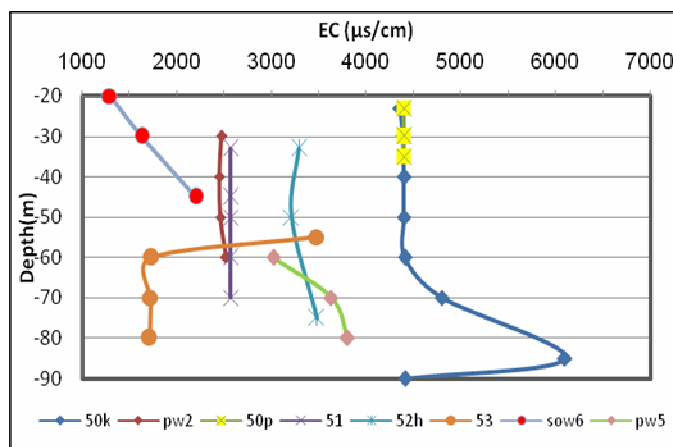
شکل ۹: هیستوگرام EC داده‌های آبان ماه ۸۸ محدوده آبخوان

### تغییرات عمقی EC در چاه‌ها

در دشت چاه‌دراز علاوه بر سه دوره‌ی نمونه‌برداری سطحی (مرداد، آبان و بهمن ماه ۸۸) که از ۲۴ پیزومتر صورت گرفت، در هشت حلقه از آن‌ها نمونه‌برداری و اندازه‌گیری EC و دما به صورت عمقی نیز انجام شد. با توجه به نمودارهای مربوطه (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) تغییرات هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی به دلیل اسکرین گذاری‌های متفاوت در چاه‌ها به صورت عمقی کم و نامشخص، ولی به صورت مکانی (شکل ۶) زیاد می‌باشد.



شکل ۱۰: تغییرات EC و دما نسبت به عمق در مرداد ماه ۸۸



شکل ۱۱: تغییرات EC نسبت به عمق در آبان ماه ۸۸

روند افزایشی منظمی در تغییرات هدایت الکتریکی پیزومترها وجود ندارد تا بتوان روند نفوذ آب شور را تعیین نمود. با توجه به این که پیزومترها دارای عمق و طول اسکرین و عمق حفاری متفاوت می باشند. با توجه به این مشکل، فرض شده است که نمونه های آب برداشت شده از پیزومترها متعلق به میانگین عمق اسکرین گذاری می باشد. بر این اساس، نموداری به دست آمد که نشان می دهد در تراز پایین تر از ۱۶۲۵ متر هدایت الکتریکی آب های زیرزمینی بیشتر از ۱۰۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر می باشد (شکل ۱۲). اگر ۱۰۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر به عنوان فصل مشترک آب شور و شیرین در نظر گرفته شود، با توسعه بهره برداری نباید افت آبخوان در اطراف چاه های بهره برداری به حدی برسد که در اثر پدیده Upconing آب شور که در تراز ۱۶۲۵ متری منطقه ی پایین دست چاه های بهره برداری قرار گرفته است به چاه های بهره برداری نفوذ نماید. از آن جایی که منشأ ورود آب شور کویر نمکی واقع در شمال غربی حوضه ی چاه دراز می باشد، می توان از قانون گین- هرزبرگ (Bear, 1979) برای آبخوان های که مجاور دریا قرار دارند، استفاده نمود و عمق مرز بین آب شور و شیرین را از رابطه ی ۱ به دست آورد.

$$h_s = \frac{f}{s-f} h_f \tag{1}$$

که  $h_s$  ضخامت لایه ی آب شور،  $f$  وزن مخصوص آب شیرین،  $s$  وزن مخصوص آب شور و  $h_f$  ضخامت لایه ی آب شیرین می باشد. برای حوضه ی چاه دراز بر اساس نمونه برداری و تعیین وزن مخصوص آب های زیرزمینی، وزن مخصوص آب شیرین ۱/۰۰۲ و وزن مخصوص آب شور برابر با ۱/۱۴ گرم بر سانتی متر مکعب به دست آمده است. بنابراین طبق رابطه ۱:

$$h_s = \frac{1.002}{1.14-1.002} h_f \quad \longrightarrow \quad h_s = 7.3h_f$$



بهره برداری، سطح آب حدود پنج متر پایین تر از منطقه‌ی خروجی دشت میباشد که این پنج متر به علت نفوذ آب شور از سمت کویر نمکی از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۸ تغییر چندانی نکرده است. ضخامت زون آب شیرین در اطراف چاه‌های بهره‌برداری حدود ۲۳ متر می‌باشد که براساس پیش‌بینی مدل جریان با افزایش دو برابری پمپاژ چاه‌ها، سه متر افت در اطراف چاه‌های بهره‌برداری ایجاد خواهد شد که در نتیجه‌ی آن آب شور با هدایت الکتریکی بیش از ۱۰۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به کف چاه‌های بهره‌برداری نفوذ خواهد کرد.

### منابع

- ۱- آزمایشگاه آنالیز آب شرکت سنگ آهن گل گهر سیرجان (۱۳۸۷): داده‌های هیدروژئوشیمی آبخوان دشت چاه‌دراز.
- ۲- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۶): نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سیرجان و گل‌گهر.
- ۳- قادر، فاطمه و زارع، محمد (۱۳۸۷): بررسی تغییرات شوری نسبت به عمق تعیین مرز تداخل آب شور و شیرین در یک آبخوان ساحلی واقع در حاشیه شمال غربی دریاچه مهارلو. دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز.
- 4- Antonellini, M., Mollema, P., Giabastiani, B. and Bishop, K. (2008): Salt Water Intrusion in The Coastal Aquifer of The Southern Po Plain, Italy, *Hydrogeology Journal*, 16: 1541- 1556.
- 5- Bear, J. (1979): *Hydraulic of Groundwater*. McGraw-Hill Inc, New York, 569p.
- 6- Binie & Partners Co. (1976): *Gol-e-Gohar Mine Water Supply Report on Phase 2*. 97P.
- 7- Brigham Young University (2010): *GMS7.0 Tutorials*. Environmental Modeling Research Laboratory.
- 8- Gallardo, A.H. and Marui, A. (2007): Modeling The Dynamics of The Fresh Water-Salt Water Interface in Response to Construction Activities at a Coastal Site. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 4(3): 285-294.
- 9- Marie, A. and Vengosh, A. (2001): Source of Salinity in Groundwater From Jericho Area, Jordan Valley, *Groundwater*, 39: 240- 248.
- 10- Masterson. J. p. (2004): *Simulated Interaction Between Freshwater and Saltwater and Effects of Groundwater Pumping and Sea-Level Change, Lower Cape Cod Aquifer System, Massachusetts Scientific Investigations Report*, pp. 2004-5014.
- 11- Perera, E.D.P., Jinno, K., Tsutsumi, A. and Hiroshiro, Y. (2008): Numerical Study of Salinity Variation in a Coastal Aquifer. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 1582-1588.
- 12- Qahman, K. and Larabi, A. (2006): Evaluation and Numerical Modeling of Seawater Intrusion in Gaza Aquifer (Palestine), *Hydrogeology Journal*, 14: 713-728.
- 13- Timms, W., Acworth, R.I., Jankowski, J. and Lawson, S. (2000): *Groundwater Quality Trends Related to Aquitard Salt Storage at Selected Sites in The Lower Murubidgee Alluvium, Australia, Groundwater: Past Achievements and Future Challenges*, Pp. 655-660.
- 14- Young Kim, K., Min Chon, C. and Hwa Park, K. (2007): A Simple Method for Locating The Fresh Water-Salt Water Interface Using Pressure Data. *Groundwater*, 45: 223-228.