

مکانیسم جریان آب زیرزمینی در آبخوان چندلایه‌ای مرند

هادی جعفری*^۱، خلیل عرفان^۲، علی زینالی^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۵

^۱ - استادیار هیدروژئولوژی، دانشگاه صنعتی شاهرود

^۲ - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه صنعتی شاهرود

^۳ - کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h_jafari@shahroodut.ac.ir

چکیده

بررسی مکانیسم جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های چندلایه در مدیریت بهره‌برداری از آن‌ها اهمیت دارد. لذا هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی مکانیسم جریان در آبخوان دولایه‌ای دشت مرند در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. آبخوان در نیمه شرقی دشت آزاد بوده، ولی از بخش میانی گسترش رسوبات رسی سبب ایجاد لایه آبدار محبوس زیر لایه آزاد شده است. روش انجام تحقیق شامل بررسی داده‌های سطح آب زیرزمینی در چاه‌های حفرشده در هر لایه در مهرماه ۹۱، استفاده از اطلاعات ژئوفیزیکی، نگاره حفاری‌ها و داده‌های کیفی می‌باشد. بدین منظور ابتدا با تلفیق اطلاعات مذکور محدوده گسترش لایه‌های آبخوان اصلاح شده و سپس ارتباط هیدرولیکی آن‌ها بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد سطح ایستابی لایه آزاد بالاتر از سطح پیزومتریک لایه محبوس بوده، لیکن به دلیل ضخامت زیاد و نفوذپذیری پایین رس، جریان عمودی محتمل نمی‌باشد. همچنین تبادل آب زیرزمینی از طریق چاه‌ها در زمان فعالیت آن‌ها وجود ندارد. لایه محبوس ادامه آبخوان آزاد اصلی بوده که به دلیل گسترش لایه رسی، رفتار محبوس نشان می‌دهد. ضریب ذخیره اندک این لایه، سبب افت بیشتر سطح پیزومتریک شده که بایستی در مدیریت برداشت مدنظر باشد. بررسی‌های هیدروشیمیایی ضمن تأیید مکانیسم جریان، نشان‌دهنده تغذیه لایه محبوس از بخش جنوب شرقی لایه آزاد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان چندلایه، جریان عمودی، لایه آزاد، لایه محبوس، مرند

Groundwater Flow Mechanism in Marand Multi-layered Aquifer

H Jafari^{*1}, Kh Erfan², A Zeinali³

Received: 24 January 2016 Accepted: 04 January 2017

¹- Assist. Prof. of Hydrogeology, Shahrood Univ. of Technology, Iran

²- Former M.Sc. Student of Hydrogeology, Shahrood Univ. of Technology, Iran

³- Hydrogeology Expert (M.Sc.), East-Azerbaijan Regional Water Authority, Iran

* Corresponding Author, Email: h_jafari@shahroodut.ac.ir

Abstract

The study of the flow mechanism in multi-layered aquifers is important in managing their operation. So, the aim of this research is to investigate mechanism of groundwater flow in Marand double-layered aquifer in East-Azerbaijan province. The aquifer is unconfined at the east of the plain, however extending a clay layer from central parts to the west causes formation of a confined aquifer beneath the unconfined layer. The method of study consists of using groundwater levels in Oct. 2012 in the wells drilled in each layer, geophysical data, drilling logs and groundwater quality data. Combining these data, the areal extents of the aquifer layers were firstly verified and then their hydraulic connections were investigated. The results show water-table location above the piezometric level, but vertical flow is not probable due to the high thickness and low permeability of the clay confining layer. Groundwater is not exchanged through pumping wells when they are in operation, too. The results show that the confined layer is a part of the main unconfined aquifer, behaving as confined due to extension of the clay layer at the top. The low storage coefficient causes more declines in piezometric level that must be considered in management of aquifer withdrawal. Hydrochemical investigations confirm flow mechanism, showing recharge of the confined layer from south-eastern parts of the unconfined layer.

Key words: Confined layer, Marand, Multi-layered aquifer, Unconfined layer, Vertical flow

مقدمه

طریق لایه‌های با نفوذپذیری کم، اهمیت زیادی در الگوی جریان آبخوان اصلی دارد. در تعدادی از مطالعات پیشین با این فرض که هدایت هیدرولیکی لایه‌های با نفوذپذیری کم در کمترین حالت سه بار کمتر از هدایت هیدرولیکی آبخوان اصلی می‌باشد، جریان عمودی از طریق آن‌ها صرف‌نظر شده است. لیکن در مطالعات جدید، جریان‌های عمودی از طریق لایه‌های کم‌تراوا اغلب مهم و قابل‌توجه دانسته شده‌اند (کاوالانکار و همکاران ۱۹۹۲، راشتون و سالمون ۱۹۹۳، کاریلو و همکاران ۱۹۹۶، جریر و همکاران ۲۰۰۱). بررسی مکانیسم جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های چندلایه که مستلزم شناخت جریان‌های عمودی و اجزای آن هدایت هیدرولیکی و میزان ذخیره‌سازی لایه کم‌تراوا یا

آبخوان چندلایه^۱ به سفره آب زیرزمینی اطلاق می‌گردد که از دو یا بیش از چند لایه آبدار تشکیل شده باشد. این لایه‌ها می‌تواند شامل یک لایه آبدار آزاد و چندین لایه آبدار محبوس یا نیمه‌محبوس بوده که توسط لایه‌های نفوذناپذیر (ناتراوا) یا با نفوذپذیری اندک (کم‌تراوا) از هم جدا شده‌اند (راشتون ۲۰۰۳). در بخش‌هایی از این آبخوان‌ها ممکن است لایه آبدار محبوس به لایه آبدار آزاد یا بالعکس تبدیل شود. در آبخوان‌های چندلایه که توسط لایه‌های نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری پائین از هم مجزا شده‌اند، سیستم جریان آب زیرزمینی محلی وجود داشته و جریان‌های عمودی از

¹ Multi-layered aquifer

وجود لایه‌های متعدد با نفوذپذیری مختلف، که سبب تشکیل لایه‌های آبدار آزاد، محبوس و نیمه محبوس در این دشت شده است، تأییدکننده چندلایه‌ای بودن سیستم آب زیرزمینی در آبخوان مرند می‌باشد. نظر به اهمیت منابع آب زیرزمینی دشت مرند، هدف از این تحقیق شناخت مکانیسم و الگوی جریان آب زیرزمینی و بررسی ارتباط لایه‌های آبدار در آبخوان چندلایه‌ای مرند در راستای مدیریت بهینه بهره‌برداری از این آبخوان ارزشمند می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

دشت مرند در استان آذربایجان شرقی با وسعتی در حدود ۷۳۸ کیلومترمربع در حداقل طول‌های جغرافیایی 21° – 45° و 55° – 66° شرقی و عرض‌های جغرافیایی 34° – 38° و 22° – 38° شمالی در مرکز حوضه آبریز مرند در شمال غرب ایران قرار گرفته است. شهر مرند مهم‌ترین مرکز جمعیتی واقع در این دشت بوده که در فاصله ۶۰ کیلومتری شمال غربی شهر تبریز قرار دارد. زلیبیرچای و زنونچای مهم‌ترین منابع آب سطحی در محدوده دشت مرند می‌باشند. زلیبیرچای در راستای تقریبی شرقی – غربی در دشت مرند جریان دارد. زنونچای از سمت شمال وارد دشت شده و پس از پیوستن به زلیبیرچای در راستای شرق به غرب جریان یافته و در نهایت به قطورچای و رودخانه ارس می‌ریزد.

حوضه آبریز مرند بخشی از پهنه البرز غربی – آذربایجان بوده و سازندهای زمین‌شناسی رخنمون یافته در آن از تنوع زیادی برخوردار می‌باشند (شکل ۱). پهنه‌های نمک و آبرفت‌های حاضر جوان‌ترین رسوبات مربوط به کواترن هستند. پهنه‌های نمک در بخش غربی دشت و در محل خروج جریان‌های سطحی به سمت پایین‌دست و آبرفت‌های عهد حاضر در بستر فعلی رودخانه‌ها و مسیل‌ها ته‌نشین شده‌اند.

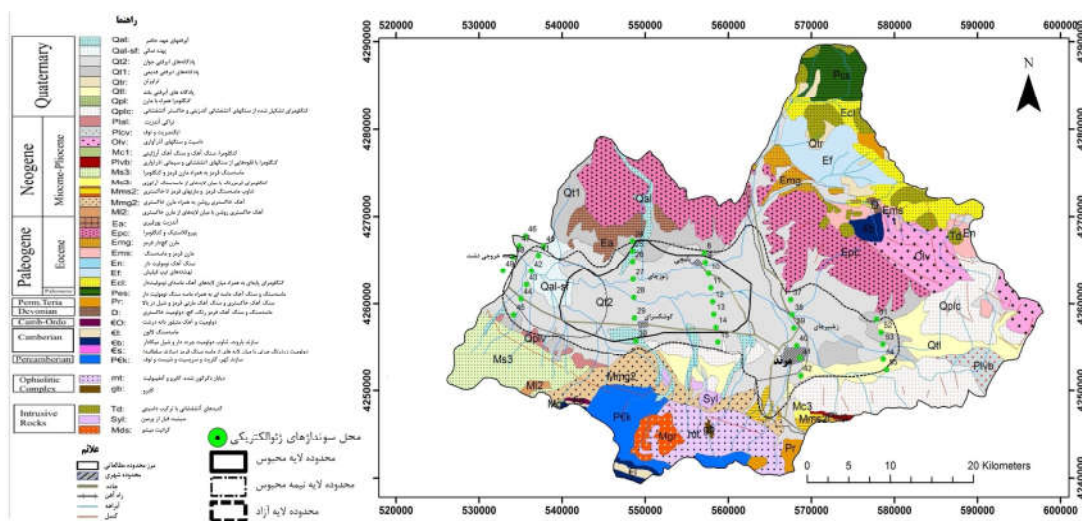
نشستی می‌باشد، بسیار حائز اهمیت بوده و سهم به‌سزایی در مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دارد. به این منظور باید تمامی داده‌ها و اطلاعات موجود منطقه از قبیل میزان بهره‌برداری، لیتولوژی، سطح تراز پیژومتری و سطح ایستابی طولانی‌مدت، میزان بارندگی، نتایج آزمون‌های پمپاژ قبلی و غیره جمع‌آوری و بررسی گردد. مطابق نظر راشتون (۲۰۰۳) بررسی مکانیسم جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های چندلایه از طریق بررسی نگاره‌های (لاگ‌های) لیتولوژیکی، بررسی تراز سطح ایستابی و تراز پیژومتریکی، بررسی دقیق داده‌ها و نتایج آزمون‌های پمپاژ، بررسی خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی و بیلان آب زیرزمینی امکان‌پذیر می‌باشد. از جمله مطالعات انجام‌شده در آبخوان‌های چندلایه با بهره‌گیری از تکنیک‌های فوق می‌توان به مطالعه آبخوان واناتاویلو^۲ در بنگلادش (لاورنس و دارماگون‌واردنا ۱۹۸۳)، آبخوان چندلایه مهسانا^۳ در هند (کاوالانکار و همکاران ۱۹۹۲) و مطالعات مربوط به آبخوان چندلایه سن لویس پوتوسی^۴ در مکزیک (کاریلو ۱۹۹۲) اشاره نمود.

دشت مرند در استان آذربایجان شرقی مهم‌ترین منبع تأمین آب جهت مصارف مختلف به‌ویژه کشاورزی می‌باشد. از جمله مطالعات انجام‌شده در این دشت می‌توان به آماربرداری محدوده مطالعاتی مرند (بی‌نام ۱۳۸۶ الف)، بررسی هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی دشت مرند (بی‌نام ۱۳۸۷)، هیدروژئولوژی دشت مرند و تأثیر تغییرات سطح آب در کیفیت آب زیرزمینی (علاف نجیب ۱۳۸۲)، ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند (فخری و همکاران ۱۳۹۴ الف)، پهنه‌بندی پتانسیل آلودگی و ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان مرند (اصغری مقدم و همکاران ۱۳۹۴، فخری و همکاران ۱۳۹۴ ب) اشاره نمود. بر مبنای نتایج مطالعات قبلی در این دشت

² Vanathavillu

³ Mehsana

⁴ San Luis Potosi



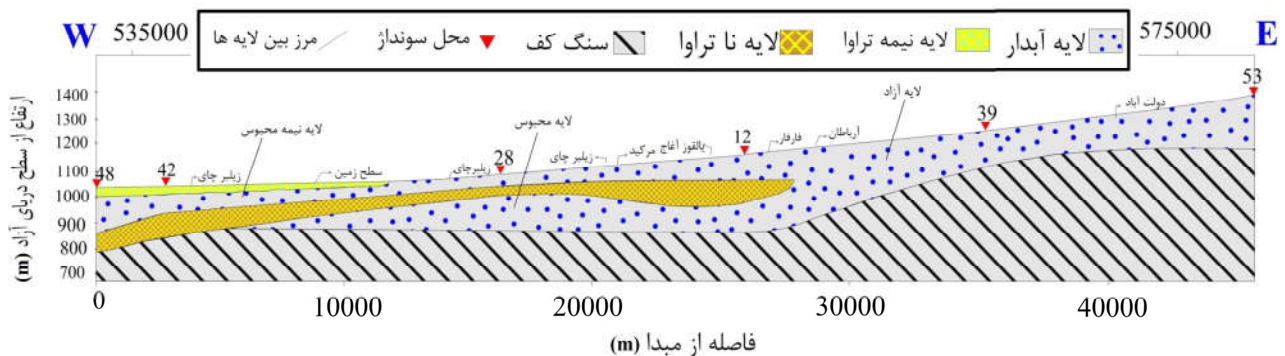
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز مرند، موقعیت سونداژهای ژئوالکتریکی و تفکیک محدوده لایه‌های آبدار آزاد، محبوس و نیمه‌محبوس در دشت مرند (عرفان ۱۳۹۳).

(بی‌نام ۱۳۸۷) وسعت لایه آبدار آزاد حدود ۵۱۰/۱ کیلومترمربع، وسعت لایه آبدار محبوس حدود ۱۸۴/۴ کیلومترمربع و وسعت لایه آبدار نیمه‌محبوس حدود ۸۹/۸ کیلومترمربع می‌باشد. بیشینه ضخامت آبرفت لایه آبدار آزاد در نواحی شرق و جنوب شرق آبخوان بین ۲۲۰ تا ۲۷۰ متر می‌باشد. به سمت غرب ضخامت آبرفت کاسته شده و در مرکز دشت به کمینه کمتر از ۴۰ متر می‌رسد. ضخامت لایه آبدار محبوس بین ۱۵ تا ۲۰۰ متر متغیر می‌باشد. ضخامت آبرفت در لایه نیمه محبوس در قسمت‌های مختلف بین حدود ۱۰ تا ۱۵۰ متر متغیر می‌باشد. لازم به ذکر است که بر اساس نگاره (لاگ) حفاری‌ها، ضخامت رسوبات ناتراوا که سبب ایجاد لایه آبدار محبوس شده از کمتر از یک متر تا ۱۱۰ متر متغیر می‌باشد.

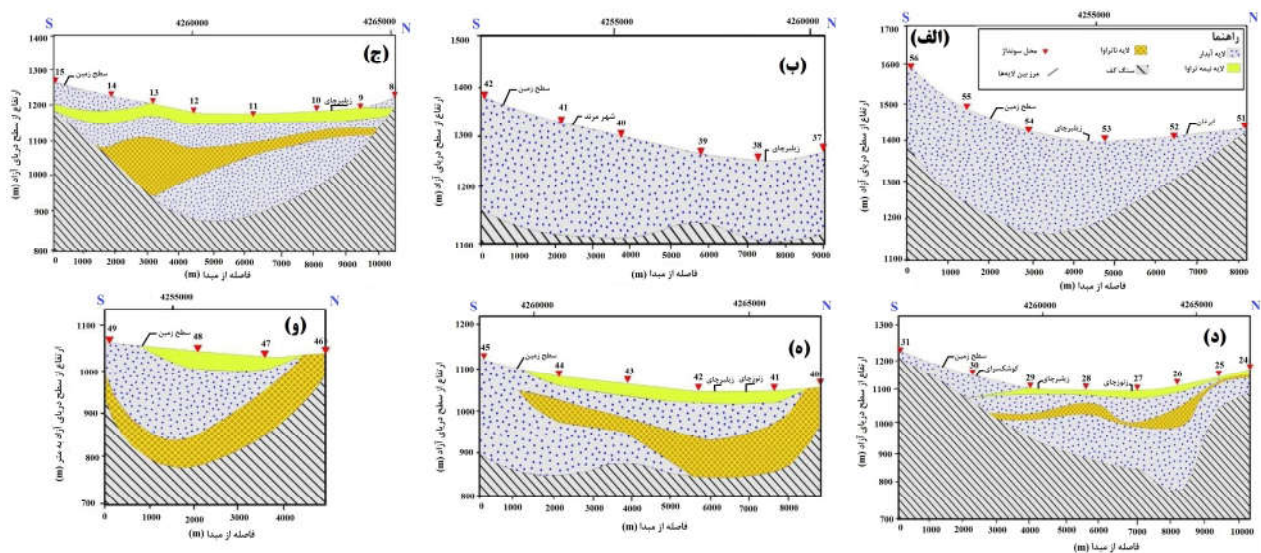
مواد و روش‌ها

سطح آب زیرزمینی در ۴۴ حلقه چاه مشاهده- ای (گمانه‌های حفر شده در لایه آبدار آزاد) و ۱۲ حلقه پیزومتر (گمانه‌های حفر شده در لایه آبدار محبوس) در آبخوان چندلایه‌ای مرند که به صورت ماهیانه توسط شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی اندازه‌گیری می‌شود، اخذ گردید.

بر اساس نتایج مطالعات ژئوفیزیکی به روش ژئوالکتریک (شکل ۱) و نتایج حفاری‌های اکتشافی انجام گرفته در دشت مرند (بی‌نام ۱۳۸۶ الف و ۱۳۸۷)، رسوبات آبرفتی در بخش‌های مختلف از نفوذپذیری مختلفی برخوردار بوده و سبب ایجاد لایه‌های آبدار متعدد در این دشت شده‌اند. تغییرات دانه‌بندی آبرفت در بخش‌های مختلف دشت مرند در مقطع طولی با امتداد شرقی-غربی (شکل ۲) و مقاطع عرضی با امتداد تقریبی شمالی-جنوبی (شکل ۳) نمایش داده شده است. در شرق دشت، رسوبات دانه‌درشت بوده و تغییرات عمقی دانه‌بندی آبرفت زیاد نیست (شکل ۳-الف و ۳-ب). به همین دلیل در این مناطق تنها یک لایه آبدار از نوع آزاد وجود دارد. به سمت مرکز دشت تغییرات عمقی دانه‌بندی لایه‌های آبرفتی زیاد بوده، به طوری که لایه‌های متناوبی از رسوبات دانه‌درشت و بسیار دانه‌ریز بر روی هم قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۳-ج تا ۳-و). بنابراین از بخش‌های میانی آبخوان به سمت غرب علاوه بر لایه آبدار آزاد که ادامه لایه آبدار آزاد حاشیه شرقی دشت می‌باشد، یک لایه آبدار محبوس و یک لایه آبدار نیمه‌محبوس شناسایی شده است. محدوده این لایه‌های آبدار در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس مطالعات شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی



شکل ۲- لایه‌بندی آبرفت دشت مردند در مقطع طولی در امتداد شرقی-غربی (موقعیت سونداژها از مبدأ صفر که نشان‌دهنده غربی‌ترین سونداژ می‌باشد؛ در شکل ۱ نشان داده شده است).



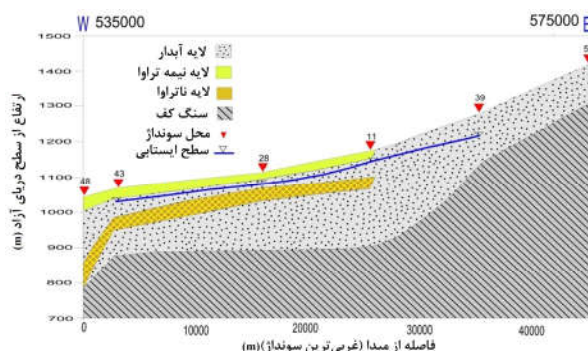
شکل ۳- تغییرات دانه‌بندی و لایه‌بندی آبرفت در مقاطع عرضی (شمالی-جنوبی) دشت مردند (موقعیت هر مقطع در دشت بر اساس شماره سونداژها در شکل ۱ قابل تشخیص می‌باشد. مبدأ صفر نشان‌دهنده جنوبی‌ترین سونداژ می‌باشد).

دشت توسط آب منطقه‌ای انتخاب می‌گردد و متفاوت از چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومترها که در بالا اشاره شد، می‌باشد.

در این تحقیق مکانیسم جریان آب زیرزمینی در آبخوان چندلایه مردند بر پایه اصول نظری حرکت آب در آبخوان‌های چندلایه (راشتون ۲۰۰۳) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین‌منظور پس از تعیین محدوده گسترش هر یک از لایه‌های آبدار (آزاد و محبوس) مراحل زیر انجام شده است:

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای هیدروشیمیایی در آبخوان مردند در ۷۳ حلقه چاه بهره- برداری انتخابی که ۵۸ حلقه از آن‌ها در لایه آبدار آزاد و ۱۵ حلقه در لایه آبدار محبوس حفر شده‌اند، نیز به‌صورت دو بار در سال انجام می‌شود. از نتایج این اندازه‌گیری‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار AqQA که نرم- افزاری مناسب برای ترسیم دیاگرام‌های هیدروشیمیایی می‌باشد، در شناخت مکانیسم جریان در آبخوان مردند استفاده شده است. لازم به ذکر است چاه انتخابی برای بررسی‌های هیدروشیمیایی از چاه‌های بهره‌برداری در

محبوس شناسایی شده است. لایه آبدار آزاد از شرقی-ترین بخش دشت شروع شده و تا مرز لایه آبدار نیمه-محبوس در بخش غربی دشت ادامه می‌یابد. بررسی وضعیت قرارگیری سطح آب زیرزمینی در مهرماه ۱۳۹۱ نسبت به رسوبات نیمه‌تراوا در بخش غربی آبخوان که در این تحقیق انجام شده است (شکل ۴) نشان می‌دهد سطح آب زیرزمینی چندین متر زیر لایه نیمه‌تراوا قرار گرفته است. بنابراین لایه آبدار نیمه‌محبوس موجود در نیمه غربی آبخوان عملاً از بین رفته و جزئی از لایه آبدار آزاد محسوب می‌گردد.



شکل ۴- سطح آب زیرزمینی در نیمه غربی آبخوان مرند (مهر ۹۱) و ارتباط آن با رسوبات نیمه‌تراوا.

بر اساس نتایج تحقیق حاضر لایه آبدار آزاد از ابتدای دشت در شرق تا انتهای آن در غرب گسترش داشته (شکل ۵) و وسعت آن حدود ۶۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد.

برای بررسی و تعیین مرز لایه آبدار محبوس از نگاره گمانه‌های اکتشافی، سطح آب پیزومترها و همچنین نگاره‌های ژئوفیزیکی جدید استفاده گردید. با استفاده از اطلاعات مذکور و ترسیم دو مقطع طولی جدید از آبخوان (شکل ۶) مشخص گردید که رسوبات ناتراوا (محبوس کننده) از نیمه دشت تا انتهای غربی آن امتداد دارد. بنابراین لایه آبدار محبوس زیرین این رسوبات تا انتهای دشت در غرب ادامه داشته و مرز آن که در مطالعات قبلی تا بخش ابتدایی لایه آبدار نیمه

۱- ترسیم نقشه همپتانسیل سطح آب زیرزمینی به صورت مجزا برای هر یک از لایه‌های آبدار آزاد و محبوس.

۲- بررسی مکانیسم و جهت جریان آب زیرزمینی در هر یک از لایه‌های آبدار آزاد و محبوس.

۳- بررسی نحوه ارتباط دو لایه آبدار آزاد و محبوس دشت مرند با توجه به وضعیت قرارگیری سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومترها.

۴- بررسی امکان ارتباط هیدرولیکی لایه‌های آبدار با توجه به داده‌های ژئوفیزیکی و نگاره‌های حفاری.

۵- بررسی داده‌های کیفی (هیدروشیمیایی) در چاه‌های انتخابی حفر شده در دشت مرند جهت بررسی و تأیید مکانیسم جریان حاصل از مطالعات مرحله ۱ تا ۴.

لازم به ذکر است با توجه عدم وجود مطالعات جامع در خصوص مکانیسم جریان آب زیرزمینی در آبخوان مرند و البته سایر آبخوان‌های چندلایه در ایران، این تحقیق در نوع خود جدید بوده و لذا کلیه تحلیل‌های مورد نیاز از جمله ترسیم دقیق نقشه همپتانسیل در هر یک از لایه‌های آبدار، بررسی امکان ارتباط هیدرولیکی لایه‌ها بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی و نگاره‌های حفاری و استفاده از اطلاعات کیفی جهت تأیید مکانیسم جریان در آبخوان چندلایه مرند بر اساس جدیدترین داده‌ها و اطلاعات برداشت شده از آبخوان، در این تحقیق صورت گرفته است.

نتایج و بحث

الف- تصحیح محدوده گسترش لایه‌های آبدار

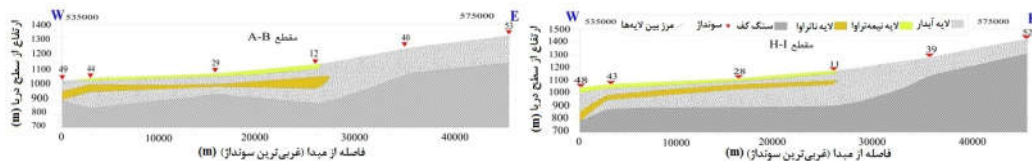
همان‌طور که اشاره شد، بر اساس مطالعات قبلی انجام شده در دشت مرند (بی‌نام ۱۳۸۷) به ترتیب از شرق به غرب سه لایه آبدار آزاد، محبوس و نیمه

غرب را تأیید می‌نماید. وسعت این لایه آبدار حدود ۲۲۸/۴ کیلومترمربع می‌باشد.

محبوس تعیین گردیده بود، اصلاح می‌گردد. وجود پیژومترهای با خاصیت تحت فشار در حاشیه غربی دشت نیز گسترش لایه آبدار محبوس تا انتهای دشت در



شکل ۵- محدوده تصحیح شده لایه‌های آبدار آزاد و محبوس در دشت مردند بر اساس داده‌های سطح آب زیرزمینی در مهر ۹۱.



شکل ۶- مقاطع طولی (شرقی- غربی) ترسیم شده در این تحقیق که مشخص کننده لایه بندی آبرفت در دشت مردند می‌باشد (موقعیت مقاطع در شکل ۵ مشخص می‌باشد. مبدأ صفر نشان دهنده محل غربی ترین سونداژ می‌باشد).

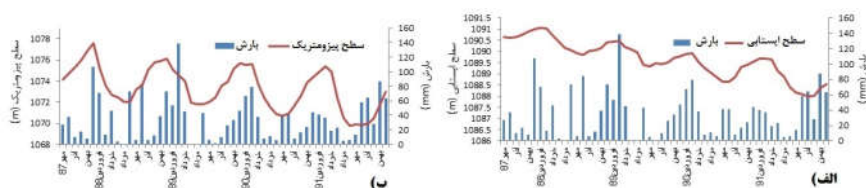
شده است (شکل ۷). طبق تعریف هیدروگراف معرف نشان دهنده متوسط ارتفاع سطح آب در ماه‌های مختلف بوده که بر اساس میانگین وزنی ارتفاع سطح آب زیرزمینی (پیژومترها برای لایه آبدار محبوس و چاه‌های مشاهده‌ای برای لایه آبدار آزاد) محاسبه می‌گردد (برسینگتون ۲۰۱۳).

هیدروگراف معرف ترسیم شده برای لایه آبدار آزاد نشان می‌دهد سطح ایستابی روند نزولی داشته و از حدود ۱۰۹۰/۶ متر در مهرماه ۱۳۸۷ به ۱۰۸۸/۱ متر در مهرماه ۱۳۹۱ کاهش داشته است. با توجه به افت حدود ۲/۵ متر در این دوره چهارساله، نرخ افت حدود ۰/۶ متر بر سال می‌باشد.

طبق نتایج مطالعات، آبخوان مردند از نوع دولایه‌ای بوده که لایه بالایی با گسترش سطحی از شرق تا غرب دشت از نوع آزاد و لایه زیرین که از بخش میانی دشت تا انتهای غربی آن ادامه دارد، از نوع لایه آبدار محبوس می‌باشد (شکل ۵).

ب- هیدروگراف معرف آبخوان مردند

با توجه به تفکیک لایه‌های آبدار در دشت مردند و بر اساس نتایج اندازه‌گیری سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای (مربوط به لایه آبدار آزاد) و پیژومترها (مربوط به لایه آبدار محبوس)، هیدروگراف معرف آبخوان به تفکیک برای هر دو لایه آبدار آزاد و محبوس در یک دوره آماری چهارساله (۱۳۹۱-۱۳۸۷) ترسیم



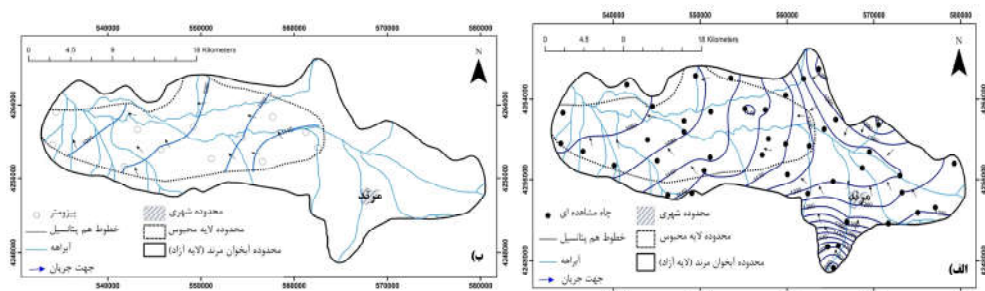
شکل ۷- هیدروگراف معرف لایه آبدار آزاد (الف) و لایه آبدار محبوس (ب) دشت مرند.

بر اساس هیدروگراف معرف لایه آبدار محبوس سطح پیزومتريك در دوره چهارساله مورد بررسی حدود ۴ متر افت نموده و بنابراین نرخ افت سطح پیزومتريك حدود یک متر بر سال می‌باشد. افزایش نرخ افت در لایه آبدار محبوس ناشی از برداشت بی‌رویه از این لایه بوده که با توجه به ضریب ذخیره بسیار کمتر آبخوان‌های محبوس در مقایسه با آبخوان‌های آزاد قابل توجیه می‌باشد. در لایه‌های آبدار آزاد ضریب ذخیره که همان آبدهی ویژه می‌باشد از حدود 3×10^{-1} تا 5×10^{-2} تغییر می‌نماید، درحالی‌که مقدار ضریب ذخیره در سفره‌های محبوس (تحت فشار) از حدود 5×10^{-7} تا 5×10^{-3} متغیر می‌باشد (برسینگتون ۲۰۱۳). لازم به ذکر است آزمون‌های پمپاژ دشت مرند در چاه‌های اکتشافی که در هر دو لایه آبدار آزاد و محبوس نفوذ کرده‌اند انجام شده است (عرفان ۱۳۹۳)، لذا مقدار دقیق ضریب ذخیره لایه تحت فشار مرند بر اساس نتایج آزمون پمپاژ در چاه اکتشافی که مشخصاً در این لایه حفاری شده باشد، تاکنون گزارش نشده است. لیکن بر پایه مطالعات نیمه تفصیلی آبهای زیرزمینی و واسنجی مدل ریاضی دشت مرند (بی‌نام ۱۳۸۶) متوسط ضریب ذخیره سفره تحت فشار مرند حدود $0/003$ برآورد شده است که در مقایسه با متوسط ضریب ذخیره سفره‌های تحت فشار تبریز و سراب (بی‌نام ۱۳۸۸) که به ترتیب برابر $0/00022$ و $0/0001$ برآورد شده است، بیشتر می‌باشد (در کمترین حالت ۱۰ برابر).

ج- نقشه همپتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان مرند

برای ترسیم نقشه همپتانسیل و بررسی آن در آبخوان مرند از داده‌های سطح آب در مهرماه سال ۱۳۹۱ در چاه‌های مشاهده‌ای برای لایه آبدار آزاد و پیزومترها برای لایه آبدار محبوس استفاده شده است. مطابق نقشه همپتانسیل لایه آبدار آزاد (شکل ۸-الف) جهت جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار آزاد در قسمت شرقی از جنوب، جنوب شرق و شمال شرقی به سمت مرکز دشت بوده که در ادامه به سمت غرب امتداد می‌یابد. در انتهای آبخوان جریان به سمت شمال غرب تغییر مسیر داده و از محدوده دشت خارج می‌گردد. بنابراین جهت عمومی جریان در این لایه شرقی-غربی می‌باشد. در بخش مرکزی نیمه شرقی آبخوان، فروافتادگی ناشی از پمپاژ توسط چاه‌های بهره‌برداری سبب تغییر و تمرکز مسیر خطوط جریان شده است.

بر اساس نقشه همپتانسیل مناطق عمده تغذیه‌کننده لایه آبدار آزاد مخروط افکنه‌های موجود در حواشی دشت و محل ورود رودخانه‌ها به دشت بوده، که در نیمه شرقی آبخوان واقع شده‌اند. تخلیه آبخوان در قسمت مرکزی و نیمه شرقی توسط چاه‌های پمپاژ صورت می‌گیرد. خروجی از مرز آبخوان در انتهای غربی نیز از عوامل تخلیه آب زیرزمینی از این لایه می‌باشد. با توجه به خطوط همپتانسیل ترسیم شده جهت عمومی جریان آب زیرزمینی به سمت محور رودخانه-های زنوز و زلیبیرچای بوده که نشان‌دهنده تغذیه این رودخانه‌ها از آب زیرزمینی می‌باشد.

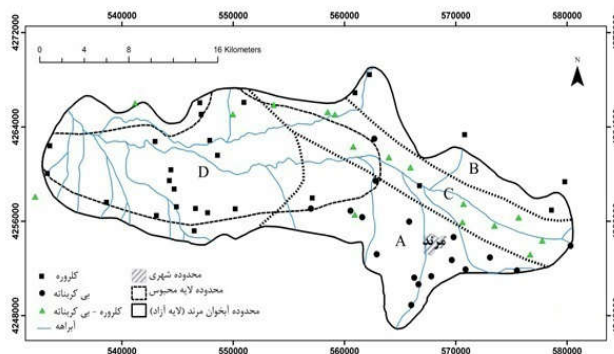


شکل ۸- نقشه هم‌پتانسیل لایه‌های آبدار آزاد (الف) و محبوس (ب) دشت مرند (مهرماه ۱۳۹۱).

براساس ترسیم نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده از چاه‌های انتخابی در لایه آبدار آزاد در تیرماه ۱۳۹۰ در نمودار پایپر (عرفان ۱۳۹۳) نمونه‌های مربوط به این لایه دارای تیپ‌های بیکربناته، کلروره و کلروره - بیکربناته می‌باشند. بر این اساس لایه آبدار آزاد به چهار ناحیه هم‌تیپ قابل‌تقسیم می‌باشد (شکل ۹). ناحیه A در قسمت جنوب و جنوب شرق دشت گسترش داشته و تیپ آب آن بیکربناته می‌باشد. سازندها و واحدهای کربناته که عمدتاً دولومیتی و متعلق به پره کامبرین و پرمین می‌باشند (سازندهای سلطانیه و روته)، در قسمت جنوب و جنوب شرق حوضه گسترش داشته که باعث افزایش یون بیکربنات در آب زیرزمینی این ناحیه شده‌اند. ناحیه B دارای تیپ آب کلروره می‌باشد و در قسمت شمال و شمال شرق دشت گسترش دارد. واحدهای گچی و تبخیری گسترش زیادی در نواحی شمالی داشته و باعث تخریب کیفیت و افزایش میزان املاح آب زیرزمینی شده‌اند. ناحیه C مابین نواحی A و B قرار دارد. تیپ آب در این قسمت بیکربناته - کلروره می‌باشد. بر اساس نقشه هم‌پتانسیل لایه آبدار آزاد (شکل ۸-الف) جریان آب زیرزمینی از نواحی شمالی و جنوبی به این سمت بوده و به احتمال زیاد در این ناحیه اختلاط آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. این موضوع نیز دلیلی بر تأیید مکانیسم جریان مشخص‌شده در لایه آبدار آزاد بر اساس خطوط هم‌پتانسیل در این بخش از آبخوان می‌باشد.

گرادبان هیدرولیکی (شیب سطح ایستابی) در مقاطع ورودی بیشتر و به سمت مرکز و محل خروجی کمتر می‌شود. شیب سطح ایستابی در لایه آبدار آزاد با توجه به موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و تخلیه آب زیرزمینی توسط آن‌ها تحت تأثیر قرار گرفته است. بدین معنی که چاه‌های بهره‌برداری ضمن برداشت از آبخوان باعث کاهش حجم جریان و بنابراین کاهش گرادبان هیدرولیکی در طول مسیر جریان به سمت محل خروجی جریان شده‌اند. بیشترین شیب هیدرولیکی در لایه آبدار آزاد برابر 0.36% در محل ورودی آبخوان در قسمت جنوب شرقی آبخوان و کمترین شیب برابر با 0.29% در مرکز آبخوان در قسمت شرقی قرار دارد. نقشه هم‌پتانسیل لایه آبدار محبوس (شکل ۸-ب) نشان می‌دهد جهت جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار محبوس از سمت جنوب شرق به سمت غرب بوده، که در انتها به سمت شمال غرب تغییر مسیر داده و از مرز آبخوان خارج می‌گردد. بنابراین در این لایه نیز هم‌مانند لایه آبدار آزاد مسیر عمومی جریان آب زیرزمینی شرقی- غربی می‌باشد. بر اساس نقشه هم‌پتانسیل لایه آبدار محبوس، این لایه از سمت جنوب شرق تغذیه و از سمت غرب تخلیه می‌شود. بیشترین شیب هیدرولیکی در ورودی این لایه به میزان 0.14% و کمترین آن به میزان 0.05% در قسمت غربی و خروجی آبخوان ثبت شده است.

د- خصوصیات کیفی آبخوان و تأیید مکانیسم جریان



شکل ۹- توزیع تیپ آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف لایه آبدار آزاد مرند.

می‌رسد منبع اصلی تغذیه لایه آبدار محبوس از این بخش از دشت باشد.

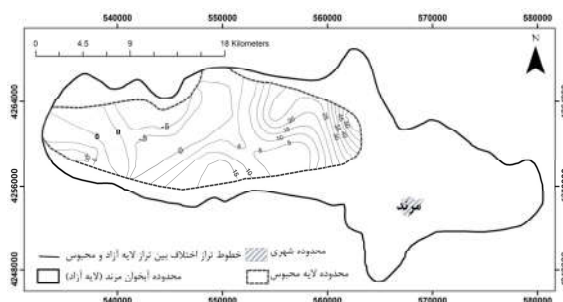
بر اساس نقشه تیپ آب در هر دو لایه آبدار آزاد و محبوس می‌توان استنباط نمود که لایه آبدار محبوس با توجه به تشابه تیپ آب آن با قسمت جنوب شرق لایه آبدار آزاد از این محل تغذیه می‌شود. این نتیجه‌گیری منطبق بر الگوی جریان ترسیمی برای لایه آبدار محبوس بوده که بر اساس نقشه هم‌پتانسیل (شکل ۸-ب) استنباط شده است. طبق این نقشه جهت جریان در محل تغذیه لایه آبدار محبوس جنوب شرقی - شمال غربی بوده که تأییدکننده تغذیه لایه آبدار محبوس از سمت جنوب شرق می‌باشد. همچنین مقادیر هدایت الکتریکی در چاه‌های نفوذ کرده به لایه آبدار محبوس کمتر از چاه‌های مجاور آن در لایه آبدار آزاد بوده (عرفان ۱۳۹۳)، که این موضوع نیز تأییدکننده تغذیه لایه آبدار محبوس از بخش جنوب شرق آبخوان می‌باشد.

۵- بررسی ارتباط هیدرولیکی لایه‌های آبدار آزاد و محبوس

طبق اصول نظری آب زیرزمینی همیشه از محل دارای انرژی (بار) بیشتر به سمت محل با انرژی کمتر جریان می‌یابد (تاد و میز ۲۰۰۵).

ناحیه D در ادامه مسیر جریان و در قسمت غرب منطقه گسترش دارد. این قسمت دارای تیپ آب کلروره می‌باشد. در قسمت‌های غربی دشت، آبرفت ریزدانه بوده و ضمن افزایش سطح تماس سبب انحلال املاح بیشتری در آب می‌گردد. همچنین در این بخش مقداری نمک در ترکیب آبرفت وجود دارد که سبب افزایش املاح آب زیرزمینی و تغییر تیپ آن به کلروره می‌گردد.

به‌منظور بررسی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی در لایه آبدار محبوس و ارتباط آن با الگوی جریان، ابتدا چاه‌های نفوذ کرده به لایه آبدار محبوس از چاه‌های مربوط به لایه آبدار آزاد تفکیک گردید. بدین منظور از مقاطع ژئوفیزیکی آبخوان و میزان عمق چاه‌های انتخابی (شکل ۱۰) استفاده شده و چاه‌هایی که به‌طور یقین به لایه آبدار محبوس نفوذ کرده‌اند مشخص و تفکیک گردیدند. ترسیم نتایج تجزیه شیمیایی این چاه‌ها بر روی نمودار پایپر (عرفان ۱۳۹۳) نشان می‌دهد تیپ آب در لایه آبدار محبوس عمدتاً بیکربناته می‌باشد. شکل ۱۱ توزیع تیپ آب در بخش‌های مختلف لایه آبدار محبوس را نشان می‌دهد. با توجه به مشابهت تیپ آب در چاه‌های حفر شده در لایه آبدار محبوس با تیپ آب در بخش جنوب شرقی آبخوان (لایه آبدار آزاد) به‌نظر



شکل ۱۲- بررسی اختلاف بار هیدرولیکی (پتانسیل) بین لایه‌های آبدار آزاد و محبوس دشت مرند.

آن، که حدود $0/001$ متر بر روز ($m day^{-1}$) تخمین زده می‌شود (تاد و میز ۲۰۰۵)، امکان تبادل بین دو لایه از طریق این رسوبات نفوذناپذیر ضعیف می‌باشد.

ب- وجود اختلاف بین سطح پیزومتریک و سطح ایستابی در تمام طول سال نیز مؤید عدم ارتباط بین دو لایه می‌باشند. در صورتی که این لایه به صورت نفوذپذیر عمل نماید، بایستی این دو سطح به هم نزدیک شده و نهایتاً تراز انرژی هر دو لایه یکسان گردد. با توجه به اینکه در فصل زمستان که بیشتر چاه‌های بهره‌برداری خاموش می‌باشند و برداشت از آبخوان کمتر می‌باشد، هنوز اختلاف بین سطح پیزومتریک و سطح ایستابی وجود دارد، به نظر می‌رسد لایه جداکننده ماهیت ناتراوا داشته و مانع هرگونه تبادل می‌گردد.

ج- بر اساس مذاکره با کارشناسان محلی امکان تبادل بین دو لایه آبدار آزاد و محبوس از طریق چاه‌های بهره‌برداری نیز مطرح بوده که به تعداد زیاد در آبخوان مرند حفاری شده و ضمن نفوذ به لایه آبدار محبوس به طور هم‌زمان از هر دو لایه آبدار آزاد و محبوس برداشت می‌نمایند. برداشت از چاه‌های حفر شده در هر دو لایه آبدار آزاد و محبوس سبب می‌گردد جریان به سمت محل قرارگیری پمپ از هر دو لایه صورت گیرد. به عبارت دیگر بخشی از آب تخلیه شده توسط چاه از لایه آبدار آزاد و بخشی از لایه آبدار محبوس تأمین - گردد. بدیهی است با توجه به اینکه در محل چاه‌های پمپاژ جریان در هر دو لایه شعاعی و به سمت چاه می‌باشد، امکان ورود آب از یک لایه به لایه دیگر و جابجایی و حرکت آن در لایه دریافت‌کننده وجود

پایین‌تر بودن سطح پیزومتریک لایه آبدار محبوس در مقایسه با سطح ایستابی لایه آزاد را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که در لایه آبدار آزاد سطح ایستابی نشان‌دهنده سطح آب زیرزمینی بوده در حالی که سطح پیزومتریک نشان‌دهنده سطح هم‌فشار در لایه آبدار محبوس می‌باشد. با توجه به اینکه ضریب ذخیره سفره‌های آزاد بسیار بیشتر از سفره‌های محبوس می‌باشد، با برداشت آب توسط چاه‌های بهره‌برداری، سطح پیزومتریک بیشتر از سطح ایستابی افت نموده و به همین دلیل سطح پیزومتریک پایین‌تر از سطح ایستابی قرار گرفته است. در قسمت شمال غربی آبخوان، تراز انرژی لایه آبدار محبوس به میزان ۵ متر بیشتر از تراز انرژی لایه آبدار آزاد بوده که به صورت عدد منفی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. تجمع کمتر چاه‌های بهره‌برداری و برداشت کمتر از آب زیرزمینی که ناشی از پایین بودن کیفیت آب (هدایت الکتریکی بیش از ۲۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در هر دو لایه) در این بخش از آبخوان است، دلیل این اختلاف می‌باشد.

از دیدگاه نظری با توجه به اینکه تراز انرژی در لایه‌های آبدار آزاد و محبوس متفاوت می‌باشد، بنابراین پتانسیل جریان بین این دو لایه وجود دارد. لیکن به دلایل زیر رخداد این پدیده در منطقه مورد مطالعه امکان‌پذیر نیست:

الف- بر اساس نگاره‌های حفاری و نتایج مطالعات ژئوفیزیک، لایه رسوبی جداکننده لایه‌های آبدار آزاد و محبوس یک لایه رسی با ضخامت زیاد (متوسط حدود ۷۰ متر) بوده، که با توجه به هدایت هیدرولیکی اندک

جنوب شرقی مشابه می‌باشد. همچنین مقادیر هدایت الکتریکی چاه‌های نفوذ کرده به آبخوان محبوس کمتر از هدایت الکتریکی چاه‌های مجاور در لایه آزاد می‌باشد. این نتایج ضمن تأیید مکانیسم جریان بیانگر تغذیه لایه آبدار محبوس از بخش جنوب شرقی لایه آبدار آزاد می‌باشد. به‌طور کلی سطح ایستابی لایه آبدار بالاتر از سطح پیزومتریک لایه آبدار محبوس می‌باشد، لیکن به دلیل ضخامت زیاد رسوبات جداکننده دو لایه آبدار که نفوذپذیری بسیار پایینی دارند، امکان برقراری جریان عمودی آب زیرزمینی بین این دو لایه ضعیف می‌باشد. مطابق نتایج این تحقیق، لایه آبدار محبوس در دشت مردند یک لایه آبدار مجزا با منشأ تغذیه متفاوت نبوده، بلکه بخشی از لایه آبدار آزاد اصلی دشت بوده که به دلیل گسترش لایه‌های رسی در عمق آبرفت، رفتار محبوس (تحت فشار) نشان می‌دهد. برداشت از این لایه با توجه به ضریب ذخیره اندک آن، سبب افت بسیار زیادتری در مقایسه با لایه آبدار آزاد می‌گردد. به‌منظور جلوگیری از عوارض سوء افت سطح آب زیرزمینی این موضوع بایستی در مدیریت برداشت از لایه آبدار محبوس مردند مدنظر قرار گیرد. از جمله این عوارض می‌توان به فرونشست زمین در دشت مردند اشاره نمود که با نرخ حدود $0/4$ میلی‌متر بر روز رخ داده و بیشینه آن در بخش‌های شرقی، شمالی و شمال‌غربی دشت مشاهده شده است (دهقان سورکی ۱۳۹۰).

سپاسگزاری

از همکاری مسئولین و کارشناسان محترم شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی قدردانی می‌گردد.

نخواهد داشت. در حقیقت در این چاه‌ها برداشت از هر دو لایه صورت گرفته و عملاً استفاده از مفهوم تبادل که بیانگر حرکت و جابه‌جایی آب بین دو سفره است، جایگاهی ندارد. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به تعدد چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان مردند که بعضاً لایه ناتراوا را قطع نموده و در هر دو لایه حفر شده‌اند، امکان حرکت آب بین دو لایه (تبادل) در مواقعی از سال که چاه‌ها خاموش می‌باشند، وجود خواهد داشت. لیکن به دلیل اینکه دوره‌های خاموشی چاه‌ها کوتاه‌مدت می‌باشد، زمان کافی برای تبادل کامل و یکسان شدن سطح پیزومتریک و سطح ایستابی وجود ندارد. بدیهی است در این مواقع از سال با توجه به اختلاف تراز انرژی بین دو لایه، امکان جابه‌جایی (تبادل) آب بین آن‌ها از لایه با تراز انرژی بیشتر به سمت لایه با تراز انرژی کمتر خواهد بود (تاد و میز ۲۰۰۵).

نتیجه‌گیری کلی

تفلیق اطلاعات حاصل از مطالعات ژئوفیزیک، نگاره‌های حفاری و بررسی داده‌های سطح آب بیانگر دولایه‌ای بودن آبخوان مردند می‌باشد. در نیمه شرقی دشت آبخوان از نوع آزاد بوده، ولی از بخش میانی لایه‌ای از رسوبات ضخیم رسی سبب ایجاد لایه آبدار محبوس شده است. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد لایه آبدار نیمه‌محبوس شناسایی شده در مطالعات قبلی به دلیل افت سطح آب زیرزمینی در نیمه غربی دشت از بین رفته و این بخش ادامه لایه آبدار آزاد اصلی دشت می‌باشد. جهت عمومی جریان در آبخوان مردند شرقی-غربی می‌باشد. تیپ آب در لایه آبدار محبوس از نوع بیکربناته بوده که با تیپ آب در لایه آبدار آزاد در ناحیه

منابع مورد استفاده

- اصغری مقدم، ا.، فخری م. و نجیب م.، ۱۳۹۴. پهنه‌بندی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی آبخوان دشت مردند به روش AVI و مدل‌های DRASTIC در محیط GIS. نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۴، صفحه‌های ۱۹ تا ۴۱.
- بی‌نام، ۱۳۸۶ الف. گزارش آماربرداری محدوده مطالعاتی مردند. امور مطالعات منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی.

- بی‌نام، ۱۳۸۶. گزارش مدل ریاضی دشت مرند. مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار. کارفرما: آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی.
- بی‌نام، ۱۳۸۷. گزارش هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی دشت مرند. امور مطالعات منابع آب، آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی.
- بی‌نام، ۱۳۸۸. مدل کمی آبخوانهای تبریز و سراب. مهندسین مشاور یکم، کارفرما: آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی.
- دهقان سورکی ی، ۱۳۹۰. بکارگیری تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR) در تعیین نرخ و دامنه فرونشست زمین در دشت مرند. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- عرفان خ، ۱۳۹۳. مکانیسم جریان آب زیرزمینی در دشت چند سفره‌ای مرند. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- علاف نجیب م، ۱۳۸۲. هیدروژئولوژی دشت مرند و تأثیر تغییرات سطح آب در کیفیت آب زیرزمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- فخری م، اصغری مقدم ا و نجیب م، ۱۳۹۴ الف. کاربرد آنالیزهای چند متغیره و اندیس‌های اشباع در ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۶، صفحه‌های ۱۱۷ تا ۱۳۳.
- فخری م، اصغری مقدم ا، نجیب م و برزگر ر، ۱۳۹۴ ب. بررسی غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت مرند و ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با روش‌های AVI و GODS. مجله محیط‌شناسی، دوره ۴۱، شماره ۱، صفحه‌های ۴۹ تا ۶۶.
- Brassington R, 2013. Field Hydrogeology. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Carrillo-Rivera JJ, 1992. The hydrogeology of the San Luis Potosi area, Mexico. PhD thesis, University of London, England.
- Carrillo-River JJ, Cardona A and Moss D, 1996. Importance of vertical components of groundwater flow: a hydrogeochemical approach in the valley of San Luis Potosi, Mexico. Journal of Hydrology 185: 23–44.
- Gerber RE, Boyce JI and Howard KWF, 2001. Evaluation of heterogeneity and field-scale groundwater flow regime in a leaky till aquitard. Hydrogeology Journal 9: 60–78.
- Kavalanekar NB, Sharma SC & Rushton KR, 1992. Over-exploitation of an alluvial aquifer in Gujarat, India. Hydrological Sciences Journal 37: 329–346.
- Lawrence AR and Dharmagunwardena HA, 1983. Vertical recharge to a confined limestone in northwest Sri Lanka. Journal of Hydrology 63: 287–297.
- Rushton KR, 2003. Groundwater Hydrology: Conceptual and Computational Models. John Willey & Sons Inc., U.S.A., 416p.
- Rushton KR and Salmon S, 1993. Significance of vertical flow through low-conductivity zones in Bromsgrove sandstone aquifer. Journal of Hydrology 152: 131–152.
- Todd DK and Mays LW, 2005. Groundwater Hydrology, Wiley, New Jersey.