تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 2, Summer 2018 (IR-WRR)
۱۶۳-۱۷۳

تأثیر گسل دورود بر هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی دشت دورود- بروجرد، لرستان

فرشاد علیجانی[۱]، حمیدرضا ناصری[۱]، میلاد امیرافضلی[۲*] و عبدالوهاب شماسی[۳]

چکیده

گسل‌ها به عنوان یک عامل مهم بر روی آبخوان و حرکت آب‌زیرزمینی تأثیرگذار هستند. عملکرد گسل‌ها در آبخوان‌های آبرفتی می‌تواند باعث پیچیدگی سیستم جریان آب‌زیرزمینی و بی‌نظمی آن شود. گسل امتداد لغز و فعال دورود به عنوان قطعه‌ای از راندگی زاگرس به موازات آن از دورود تا بروجرد امتداد دارد. تأثیرگسل دورود بر هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور تعیین این تأثیر، نقشه‌های هم تراز آب زیرزمینی، هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای، هدایت الکتریکی، مقایسه تغییرات سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای روی خط گسل دورود با مناطق مجاور در طی زلزله فروردین ماه ۱۳۸۵ در منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که گسل دورود با جابجایی لایه‌های آبرفتی باعث تغییرات ناگهانی جنس و ضخامت آبخوان و همچنین تغییر در کیفیت آب‌زیرزمینی بر خلاف روند مورد انتظار شده است. وجود رسوبات ریزدانه دریاچه‌ای با هدایت هیدرولیکی کم و کیفیت آب زیرزمینی نامطلوب در شرق گسل، کانالیزه شدن آب زیرزمینی در امتداد گسل و آبخوان با آبدهی و کیفیت آب مناسب در غرب گسل دورود از اثرات هیدروژئولوژیک این گسل می‌باشند. بررسی‌ها نشان داد که سطح ایستابی در چاه‌های مشاهده‌ای در امتداد گسل دورود در طی زلزله شش ریشتری فروردین سال ۱۳۸۵ چالان چولان، در یک ماه تا بیش از دو متر بالا آمدگی (قابل قیاس با بالا آمدگی سطح آب کمتر از ۰/۵ متر در چاه‌های مشاهده‌ای با فاصله از گسل) داشته است. بر خلاف انتظار هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در دشت دورود- بروجرد در جهت جریان آب زیرزمینی کاهش می‌یابد و سپس در امتداد گسل دورود به طور ناهنجار در برخی مناطق افزایش نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: گسل دورود، ناهنجاری هیدروژئولوژی، دشت دورود- بروجرد، آبخوان آبرفتی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱/۳۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۹/۱۲

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
۲- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی.
۳- کارشناس ارشد بازنشسته شرکت آب‌منطقه‌ای لرستان.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Effect of Doroud Fault on Hydrogeology of Doroud-Boroujerd Alluvial Aquifer, Lorestan Province

F. Alijani [1], H. Nasseri[1], M. Amirafzali[2] and A. Shamasi [3]*

Abstract

Faults are among very important factors that makes the groundwater flow systems complicated. Doroud Fault in Doroud-Borujerd plain, as a segment of the main Zagros thrust, is an active and strike-slip fault with NW-SE trend . The aim of this study was to evaluate the Doroud Fault impact on alluvium aquifer after the earthquake event of March 2006 using the groundwater iso-potential map, hydrographs of observation wells, electrical conductivity of the groundwater, and the water table fluctuations in relation to the earthquake. Results showed that the abrupt changes in the lithology and thickness of the aquifer as well as the groundwater salinity are probably associated with Doroud Fault's movement. In addition, lagoonal fine grained sediments and the low quality of groundwater observed in the eastern fault block and moreover, the groundwater channelized in the western block of the fault are among the hydrogeological effects of this fault. This study suggests that in one month the earthquake caused up to an approximate two meter rise in water table in the areas adjacent to the fault comparing to 0.5 meter water table rise in other areas. Unexpectedly, the electrical conductivity of groundwater has a decreasing trend in the flow line direction, but with some local increasing anomalies along the fault zone.

Keywords: Doroud Fault, Hydrogeology Anomaly, Doroud-Boroujerd Plain, Alluvial Aquifer.

Received: April 20, 2017
Accepted: December 3, 2017

1- Earth Science Department, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2- M.Sc. Student in Hydrogeology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: milad.a.afzali@gmail.com
3- Retired senior expert, Lorestan Regional Water Authority, Khoramabad, Iran.
*- Corresponding Author

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

گسل‌ها در مناطق مختلف، رفتارهای متفاوتی نشان می‌دهند. پهنه‌های گسلی می‌توانند آب زیرزمینی را از عرض خود عبور دهند و یا خود به صورت خطوط جریان عمل کنند و از جریان آب زیرزمینی ازخود ممانعت کنند (Nouri, 2005; Rawling et al., 2001). ویژگی‌ها و رفتار گسل‌ها می‌تواند در طی زمان زمین‌شناسی تغییر کند. گسل‌ها در مقیاس محلی و ناحیه‌ای می‌توانند سیستم جریان آب زیرزمینی را شدیداً تحت تأثیر قرار دهند (Bense et al., 2003). شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی در اطراف گسل به شدت توسط فرآیندهای هیدروژئولوژیک از قبیل نرخ تغذیه آب‌زیرزمینی، توپوگرافی، فعالیت‌های انسانی مثل استحصال آب و فرآیندهای عمیق مثل فشردگی رسوبات کنترل می‌شود (Bense and Person, 2006). عملکرد گسل می‌تواند باعث اختلاط آب‌های فسیلی با آب‌های زیرزمینی کم‌عمق و تغییر در خصوصیات شیمیایی آنها از قبیل هدایت الکتریکی، pH و مواد محلول شود (Naseri and Sarvar, 2005). تغییرات واضح در وضعیت سنگ کف آبخوان، تغییر در ضخامت آبخوان و وجود جریان‌های کانالیزه در امتداد گسل مستقیماً در ارتباط با تأثیر عملکرد گسل است (Rajabpour et al., 2016). همخوانی مکانی چشمه‌ها با راستای گسل‌های مهم و همچنین اختلاف فاحش آبدهی چشمه‌های گسلی نسبت به سایر چشمه‌ها از جمله شواهد هیدروژئولوژیک تأثیر گسل بر آبخوان می‌باشند (Hashemi et al., 2010). ایجاد سد هیدرولیکی یا برقراری ارتباط بین دو طرف گسل و ظهور چشمه‌ها نحوه عملکرد گسل را نمایان می‌کند (Bahravand, 2013). در طی زمین‌لرزه‌های نسبتاً بزرگ تغییراتی در سطح آب زیرزمینی به وجود می‌آید که مقدار این تغییرات نسبت به فاصله از گسیختگی اصلی گسل متغیر است (Wang et al., 2001). در مناطقی که گسل نسبت به جریان عمیق آب زیرزمینی هادی عمل می‌کند، حرکت آب‌های نیمه‌گرم عمیق می‌تواند باعث افزایش دما و تغییر در عناصر آب‌های کم‌عمق شود (Wannous et al., 2016). الگوی جریان آب زیرزمینی ناشی از پمپاژ آب در آبخوان‌های گسلی (گسل شیب لغز)، به نفوذپذیری رسوبات و مواد زمین‌شناسی دو طرف گسل (Antonio and Pacheco, 2002) و (Anderson, 2006) و همچنین به شدت به زاویه شیب گسل (Liu et al., 2015) وابسته است.

در دشت دورود- بروجرد واقع در شمال لرستان، گسل امتداد لغز راست‌گرد دورود به موازات راندگی اصلی زاگرس، باعث تغییرات شدید و ناگهانی در ضخامت (Amirafzali, 2017) و جنس رسوبات آبرفتی اطراف خود شده است به طوری که آبرفت در شرق گسل عمدتاً شامل رسوبات ریزدانه سیلتی و رسی و در غرب گسل شامل رسوبات درشت دانه شنی می‌باشد. در این مطالعه سعی شده است تا با استفاده از بررسی‌های هیدروژئولوژی (نقشه‌های هم پتانسیل و نوسانات هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای) و کیفیت آب (نقشه هدایت الکتریکی آبخوان آبرفتی) ناهنجاری‌های مرتبط با تأثیرگسل دورود بر دشت شناسایی و سپس اثرات زلزله شش ریشتری فروردین ماه ۱۳۸۵ چالان چولان که بر اثر فعالیت گسل دورود رخ داده است بر نوسانات سطح آب زیرزمینی مشخص شود. مطالعات نشان می‌دهندکه چگونه می‌توان رفتار هیدرولیکی گسل‌ها و زمین‌لرزه‌های بزرگ را با استفاده از نمایانگرهای ساده و کاربردی همچون تغییرات سطح ایستابی و شوری شناسایی کرد که این مهم خود از اهداف اصلی این مطالعه است.

۲- موقعیت منطقه و زمین‌شناسی

گستره مورد مطالعه حد فاصل دو شهر بروجرد و دورود در استان لرستان و در مختصات "۲۵ '۴۶ °۴۸ تا "۵۳ '۱۴ °۴۹ طول جغرافیایی و "۴۶ '۲۴ °۳۳ تا "۰۰ '۵۶ °۳۳ عرض جغرافیایی قرار دارد (شکل ۱). دشت دورود- بروجرد با راستای شمال غربی و جنوب شرقی و به موازات راندگی اصلی زاگرس در زون سنندج- سیرجان قرار دارد. منطقه دارای آب و هوای سرد و کوهستانی و متوسط سالانه بارش در منطقه مطالعاتی دورود ۵۰۰ میلی‌متر است که عمدتاً به صورت برف زمستانه می‌باشد. بر اساس دوره آماری ۳۰ ساله میانگین بالاترین دمای هوای منطقه در تابستان در حدود ۳۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین سردترین دمای هوا در زمستان تا ۱۷- درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. بر طبق شکل ۱ گستره مورد مطالعه از مسیر اصلی بروجرد- دورود و همچنین جاده خرم آباد- دورود قابل دسترسی است.

بر طبق تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران (Aghanabati, 2004) دشت دورود- بروجرد در پهنه ایران مرکزی زیرپهنه سنندج- سیرجان واقع شده است. دشت مذکور حد فاصل ارتفاعات زاگرس مرتفع و ارتفاعات پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان و با راستای شمال غرب- جنوب شرقی قرار دارد. گسل‌های اصلی منطقه شامل راندگی زاگرس که واحدهای آهکی زاگرس را از دشت دورود- بروجرد جدا می‌کند و گسل دورود که به موازات راندگی زاگرس و در حاشیه غربی، رسوبات کواترنر دشت را قطع کرده است و از جنوب شهر دورود تا انتهای شمالی دشت ادامه دارد، می‌باشد. واحدهای سنگ‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های دگرگونی پهنه سنندج- سیرجان در حاشیه شمالی دشت و همچنین واحدهای آهکی کرتاسه در حاشیه جنوبی و غربی دشت در ارتباط با زاگرس مرتفع می‌باشند (شکل ۲). واحدهای سنگی زاگرس مرتفع در ارتباط با دشت دورود شامل آهک سازند گرین با پتانسیل کارستی بالا،

Archive of SID
www.SID.ir

ماسه سنگ و به صورت محدود کنگلومرای سازند کشکان هستند. سازند آهکی گرین، در اثر راندگی زاگرس بر روی واحدهای جوانتر قرار گرفته است. رسوبات دشت شامل رسوبات منفصل با اندازه‌های ماسه درشت تا سیلت ریز در اطراف شهر چالان‌چولان هستند که در حاشیه جنوب غربی دشت به کنگلومرای جوان ختم می‌شوند. سنگ کف آبخوان آبرفتی دشت در بخش‌های غربی مارن فشرده و در بخش‌های شرقی از جنس سنگ‌های دگرگونی است (Lorestan regional water authority, 2010). رودخانه فصلی چالان چولان از شمال غرب به سمت جنوب شرق دشت جریان دارد. در مرکز دشت حضور رسوبات عمدتاً ریزدانه، شاهدی برای تشکیل محیط مردابی در گذشته است که بقایای آن به صورت دریاچه‌های سیلاخور در شمال غرب منطقه هنوز وجود دارد. بقایای دریاچه‌های سیلاخور در منطقه احتمالا بر اثر عملکرد گسل دورود و عدم وجود آب در آنها در نقشه‌های زمین‌شناسی و همچنین نقشه ۱ مشخص نگردیده است. احتمالاً بر اثر عملکرد گسل امتداد لغز راست گرد دورود، فروافتادگی در آبرفت باعث تشکیل دریاچه‌های قدیمی و نشست رسوبات ریزدانه و محیط احیایی در آبرفت شده است. مشاهدات صحرایی در دشت دورود- بروجرد وجود یک پایین افتادگی حدودا سه تا پنج متری را در دیواره شرقی گسل نسبت به دیواره غربی آن مشخص می‌سازد (شکل ۲). قرارگیری خطی چشمه‌ها در امتداد گسل دورود تأیید بر نقش هیدروژئولوژیک این گسل است (شکل ۳).

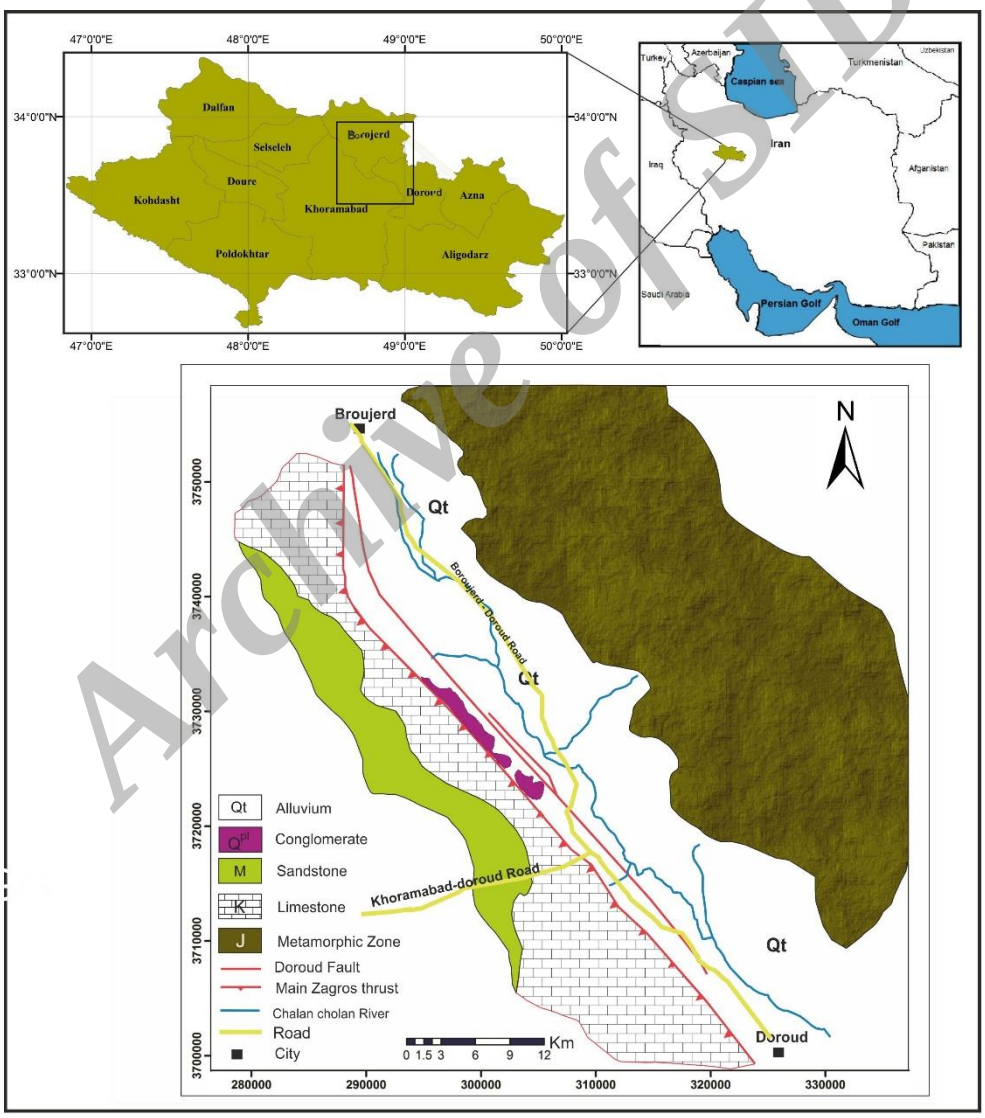

Fig. 1- Geographical location and geological map of the study area

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

Archive of SID
www.SID.ir

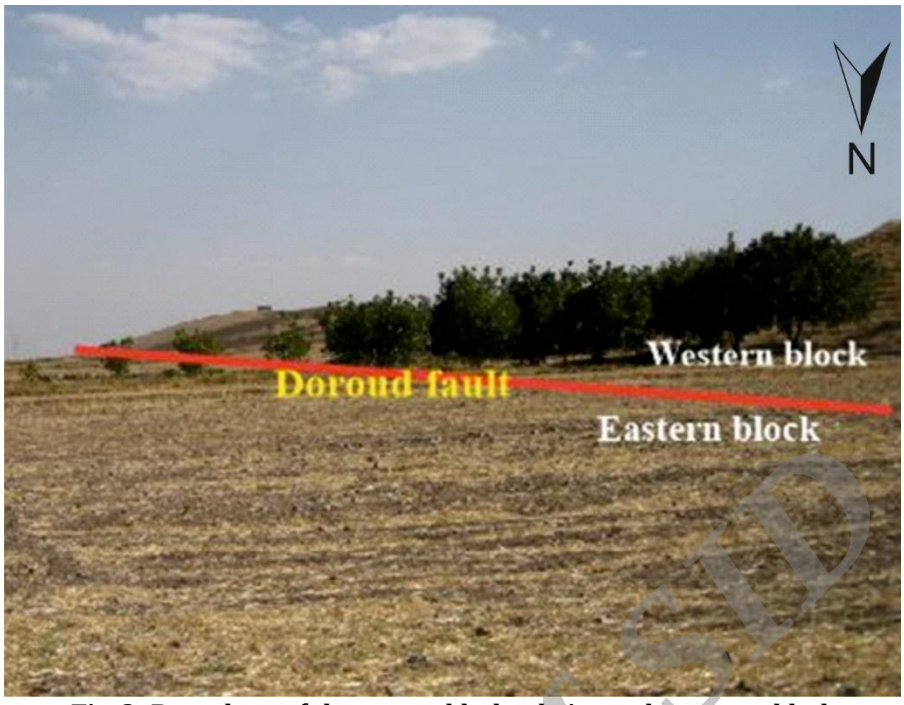

Fig. 2- Drop down of the eastern block relative to the western block

شکل ۲- فروافتادگی دیواره شرقی نسبت به دیواره غربی

۳- داده‌ها و روش‌شناسی

بررسی ساختار و هیدروژئولوژی یک منطقه گسلی، نیازمند شناسایی و درک نحوه تأثیرگذاری گسل و همچنین شناخت مواد زمین‌شناسی است. زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ خرم‌آباد (Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, 1992) بررسی و واحدهای سنگی مختلف تفکیک شده‌اند. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات ۴۱ لاگ حفاری (Lorestan Regional Water Authority, 2015) مربوط به چاه‌های بهره‌برداری منطقه، ضخامت نسبی آبرفت و همچنین جنس سنگ کف مشخص شده است. در سال ۱۳۹۴ سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای دشت دورود- بروجرد برای تهیه نقشه هم‌تراز و جریان آب زیرزمینی استفاده شده تا ناهنجاری‌های مرتبط با گسل دورود بر روی آن مشخص شود. با استفاده از داده‌های سطح آب در دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۸۳ (Lorestan Regional Water Authority, 2015)، هیدروگراف سطح آب برای تک تک چاه‌های مشاهده‌ای تهیه شده است. داده‌های آنالیز شیمیایی نمونه‌های مربوط به شبکه پایش (Lorestan Regional Water Authority, 2015) جهت تهیه نقشه هدایت الکتریکی آبخوان دشت، به منظور شناسایی بی‌نظمی‌های هیدروژئولوژیک ناشی از عملکرد گسل دورود به کار گرفته شده است. با استفاده از هیدروگراف مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای در سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ و تعیین تغییرات سطح آب نسبت به زمان، رابطه این تغییرات با زلزله فروردین ماه ۱۳۸۵ منطقه چالان چولان بررسی شد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- اثرات گسل بر هیدروژئولوژی آبخوان

دشت دورود- بروجرد دشت بسته‌ای است که از اطراف توسط کوه‌ها احاطه شده است. ارتفاعات منطقه در فصل زمستان پوشیده از برف می‌باشند. وجود واحدهای آهکی مرتفع خرد شده و با پتانسیل کارست شدگی بالا در غرب منطقه در پهنه زاگرس مرتفع، به طور طبیعی می‌توانست منبع بزرگ تغذیه آبرفت دشت باشد. با این حال حفاری‌های عمیق اکتشافی ناموفق (تا عمق ۳۰۰ متری)، بررسی‌های ژئوالکتریک اکتشافی و روند خطوط تراز آب‌زیرزمینی در دشت حاکی از نبود ارتباط هیدروژئولوژی مشخص ارتفاعات آهکی زاگرس با آبخوان دشت دورود- بروجرد است. با توجه به خطوط تراز آب‌زیرزمینی الگوی ایجاد شده در اطراف گسل دورود، تأثیر قابل ملاحظه گسل بر سطح آب‌زیرزمینی را مشخص می‌کند (شکل ۳). طبق شکل ۳ تراکم خطوط تراز در سمت راست و افزایش ناگهانی فواصل خطوط تراز در سمت چپ گسل، نشانگر افزایش و کاهش شیب هیدرولیکی در دو طرف گسل است. این تغییرات شیب هیدرولیکی ناشی از تغییر اندازه رسوبات در دو طرف گسل است.

Archive of SID

www.SID.ir

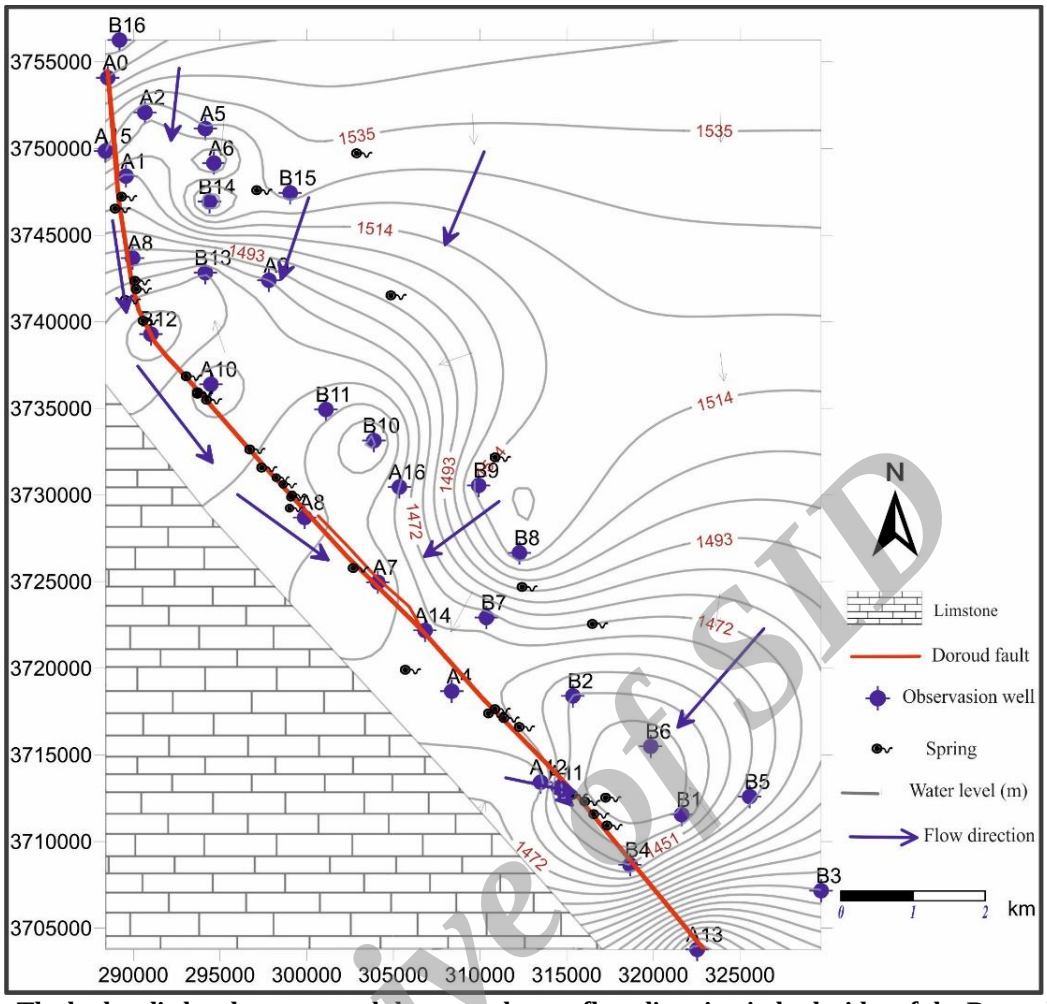

Fig. 3- The hydraulic head pattern and the groundwater flow direction in both sides of the Doroud fault

شکل ۳- الگوی سطح آب و جهت جریان آب زیرزمینی در دو طرف گسل دورود

وجود چشمه‌های متعدد در امتداد گسل دورود نشان‌دهنده تأثیر گسل بر روی الگوی جریان آب‌زیرزمینی دشت است. گسل دورود خود در مقابل جریان آب زیرزمینی تراوا عمل کرده اما پایین افتادگی دیواره شرقی نسبت به دیواره غربی گسل محل مناسبی را برای نهشت رسوبات ریزدانه فراهم کرده است. این رسوبات به عنوان سد هیدروژئولوژیک در مقابل جریان آب زیرزمینی از غرب گسل عمل کرده و رخداد چشمه‌های خطی در امتداد گسل را باعث شده است (شکل ۴). آبدهی چشمه‌های مذکور بین ۴ تا ۱۵ لیتر بر ثانیه متغیر است. تغییرات زیادی در آبدهی این چشمه‌ها در سال‌های گذشته در اثر جابجایی‌های گسل دورود ایجاد شده است، به طوری که بسیاری از چشمه‌ها پس از زلزله فروردین ماه ۱۳۸۵ چالان چولان با کاهش آبدهی و در مقابل برخی با افزایش آبدهی مواجه شده‌اند. طبق شکل ۳ الگوی عمومی جریان آب‌زیرزمینی در دشت دورود- بروجرد از شمال و شمال غرب به سمت جنوب شرق است. وجود محدوده‌ها با منحنی‌های بسته تراز آب زیرزمینی می‌تواند تحت تأثیر تغذیه و تخلیه از سنگ کف و یا به دلیل تراکم بسیار بالای چاه‌های بهره‌برداری در آن مناطق باشد. موضوع قابل توجه در الگوی جریان آب زیرزمینی دشت، الگوی جریان در دیواره غربی گسل دورود است که با توجه به منطقه تغذیه در شمال غرب، نبود ارتباط هیدرولیکی با آهک‌های غربی و شیب عمومی منطقه جریان در امتداد غربی گسل از شمال غرب به سمت جنوب شرق است. طبق شکل‌های ۳ و ۴، جریان آب زیرزمینی در دیواره غربی گسل دورود به موازات گسل و همچنین به موازات واحدهای آهکی زاگرس مرتفع بوده است و گسل در قسمت اعظم دشت با کانالیزه کردن آب‌زیرزمینی از بخش شمالی به بخش جنوبی باعث تغذیه بخش‌های جنوبی دشت شده است. همچنین نبود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان آبرفتی دشت و آهک‌های کارستی گرین در کوه‌های زاگرس مرتفع با استناد به حفاری‌های اکتشافی ۲۰۰ و ۳۰۰ متری شرکت آب منطقه‌ای لرستان در این آهک‌ها و همچنین داده‌های

Archive of SID
www.SID.ir

ژئوالکتریک (Amirafzali, 2017) مشخص می‌باشد. عدم تغذیه دشت از آهک‌های غربی و موازی بودن جریان آب زیرزمینی با امتداد واحدهای آهکی، به استثناء شمال غربی دشت، نشان از این است که دشت بیشتر از منطقه شمال غربی (احتمالاً محل تقاطع گسل دورود و راندگی اصلی زاگرس) و منطقه شمالی تغذیه زیرزمینی می‌شود.

نقشه پراکندگی مقدار دبی چاه‌های بهره‌برداری دشت (شکل ۵) نشان می‌دهد که در دیواره غربی علی‌رغم وسعت کم آبرفت نسبت به دیواره شرقی چاه‌ها آبدهی بالایی دارند که نشان از آبگذری و پتانسیل بالای آبخوان در این دیواره است. در دیواره شرقی وضعیت متفاوت و با توجه به وسعت و ضخامت زیاد (بیش از ۱۵۰ متر) آبخوان آبرفتی، آبدهی بعضی از چاه‌ها در محدوده‌های دور ازگسل و در محدوده‌هایی که تغذیه زیرزمینی وجود دارد زیاد است اما در نواحی نزدیک به گسل عمدتاً آبدهی چاه‌ها کم می‌باشد. آبدهی کم در چاه‌های نزدیک به هسته گسل در دیواره شرقی در ارتباط با ریزدانه بودن رسوبات در این محدوده است.

داده‌های کیفی آب‌زیرزمینی برای تفسیر شبکه جریان آب‌زیرزمینی به منظور شناسایی اثر گسل دورود بر آبخوان آبرفتی استفاده شده است. قرارگیری خطی چشمه‌ها در امتداد گسل، تغییر در منحنی‌های هم پتانسیل و خطوط جریان آب‌زیرزمینی نشانگر عملکرد گسل دورود بر آبخوان آبرفتی و تغییر در اندازه رسوبات منطقه می‌باشند. میانه دشت در دیواره غربی گسل به دلیل کانالیزه کردن جریان آب توسط گسل در رسوبات درشت دانه، با توجه به فاصله زیاد با منطقه تغذیه، میزان هدایت الکتریکی متوسط و کمتر از ۷۰۰ میکروموس بر سانتی متر می‌باشد که با توجه به نبود تغذیه از آهک‌های غربی دشت، کمتر از میزان قابل انتظار است. همچنین در دیواره شرقی گسل و در منطقه تغذیه شمالی و بخش‌هایی از میانه دشت، با توجه به عملکرد گسل دورود و ایجاد مناطق با رسوبات دانه ریز (محیط مردابی)، میزان هدایت الکتریکی بر خلاف انتظار زیاد و به طور متوسط بیشتر از ۱۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر است. با توجه به جهت عمومی جریان آب‌زیرزمینی (شکل ۳)، انتظار می‌رود میزان هدایت الکتریکی (شوری) در مناطق تغذیه (شمال و شمال غرب دشت) کم و به تدریج به سمت میانه و جنوب دشت افزایش یابد. با این حال بر خلاف انتظار بی‌نظمی‌های موجود و روند غیر متعارف در تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت دورود- بروجرد (شکل ۶) می‌تواند مبین نقش گسل دورود در ایجاد مناطق ریزدانه کم تراوای موضعی، کانالیزه کردن آب زیرزمینی از منطقه تغذیه به بخش‌های میانی دشت و نهشت رسوبات تبخیری دریاچه‌ای قدیمه به صورت میان لایه‌های آبرفتی باشد.

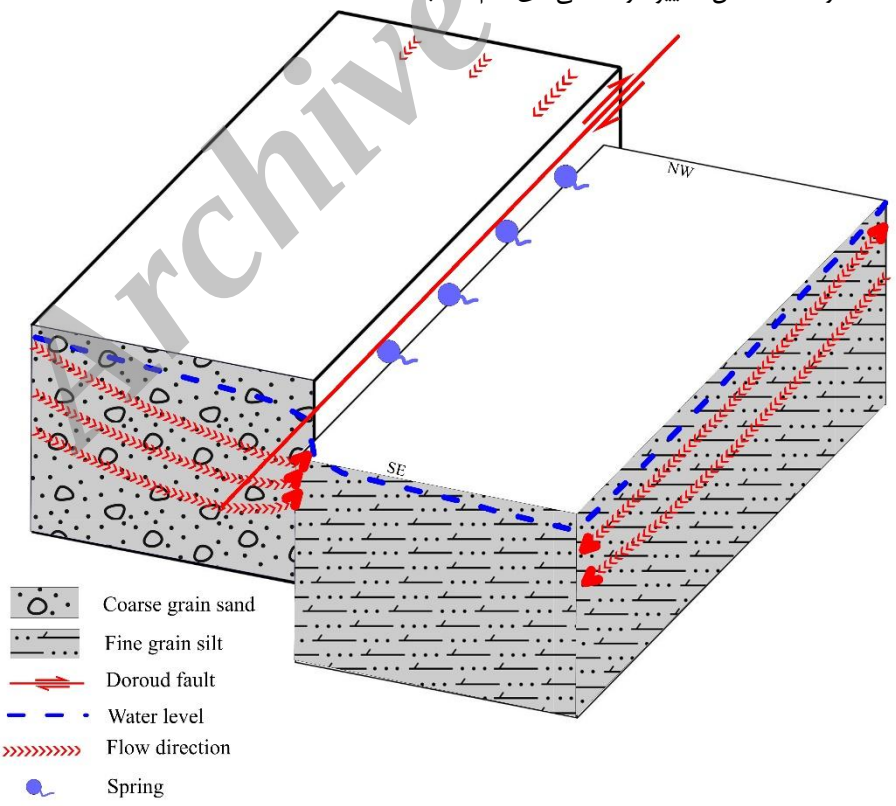

Fig. 4- Conceptual model of Doroud fault with exaggeration in the drop down of the eastern block

شکل ۴- مدل مفهومی از عملکرد گسل دورود با اغراق در فرو افتادگی دیواره شرقی

Archive of SID
www.SID.ir

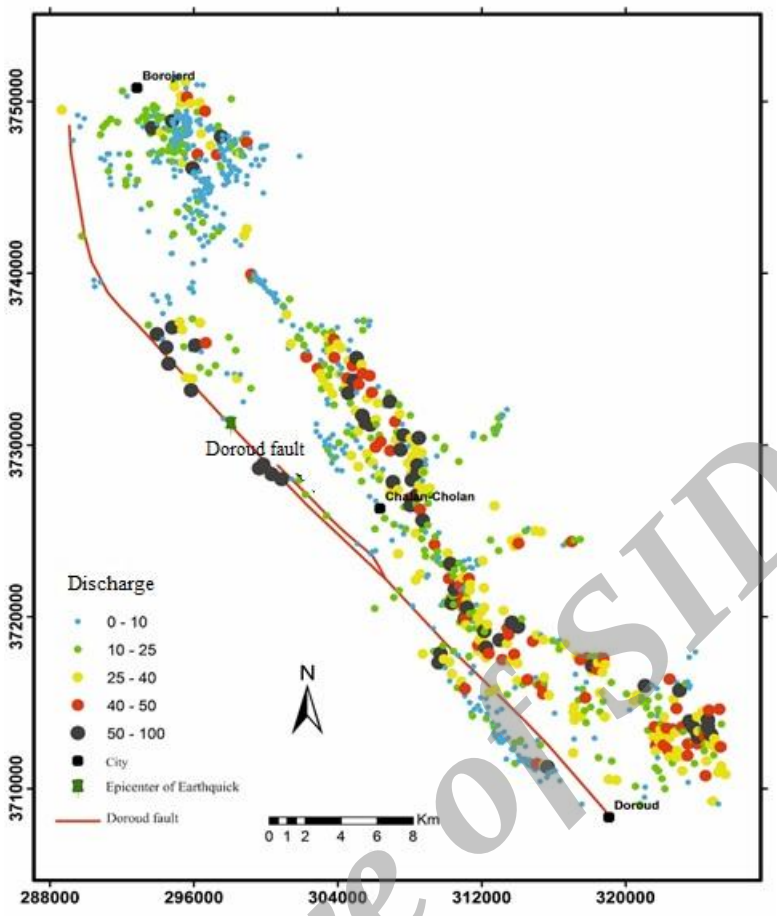

Fig. 5- Water wells' discharge dispersion map in the plain

شکل ۵- نقشه پراکندگی دبی چاه‌های بهره‌برداری دشت

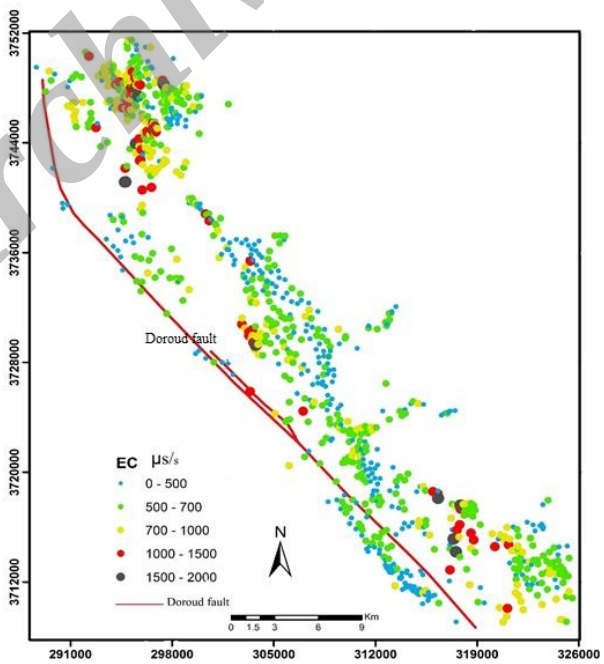

Fig. 6- Groundwater EC dispersion map in the plain

شکل ۶- نقشه پراکندگی هدایت الکتریکی آب‌زیرزمینی در دشت

Archive of SID
www.SID.ir

۴-۲- زلزله و نوسانات سطح ایستابی

حرکت گسل دورود در فروردین سال ۱۳۸۵ باعث به وجود آمدن زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۶/۱ ریشتر در نزدیکی شهر چالان‌چولان شده است. این زمین‌لرزه در عمق هفت کیلومتری سطح زمین در میانه دشت دورود- بروجرد رخ داده است (University of Tehran Institute of Geophysics, 2006). با استفاده از اطلاعات ماهانه سطح آب ۳۳ چاه مشاهده‌ای در دشت (شکل ۳) و رسم هیدروگراف، اثرپذیری آن‌ها از گسل دورود و زمین‌لرزه سال ۱۳۸۵ بررسی شده است. هیدروگراف بعضی از چاه‌های مشاهده‌ای به طور مثال چاه‌های A1 و A7 در فاصله بین اسفند ۱۳۸۴ و فروردین ۱۳۸۵ تغییرات ناگهانی را نشان می‌دهند و از طرفی در بعضی از چاه‌ها مثل چاه C3 این تغییرات ناگهانی قابل مشاهده نیست (شکل ۷). با بررسی تغییرات سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای در زمان زمین‌لرزه سال ۱۳۸۵، سطح آب بعضی از چاه‌های مشاهده‌ای که بر روی خط گسل واقع می‌باشند تغییرات شدیدی در بازه زمانی زمین‌لرزه نشان می‌دهند در حالی که چاه‌های با فاصله از گسل تغییرات شدیدی نشان نمی‌دهند.

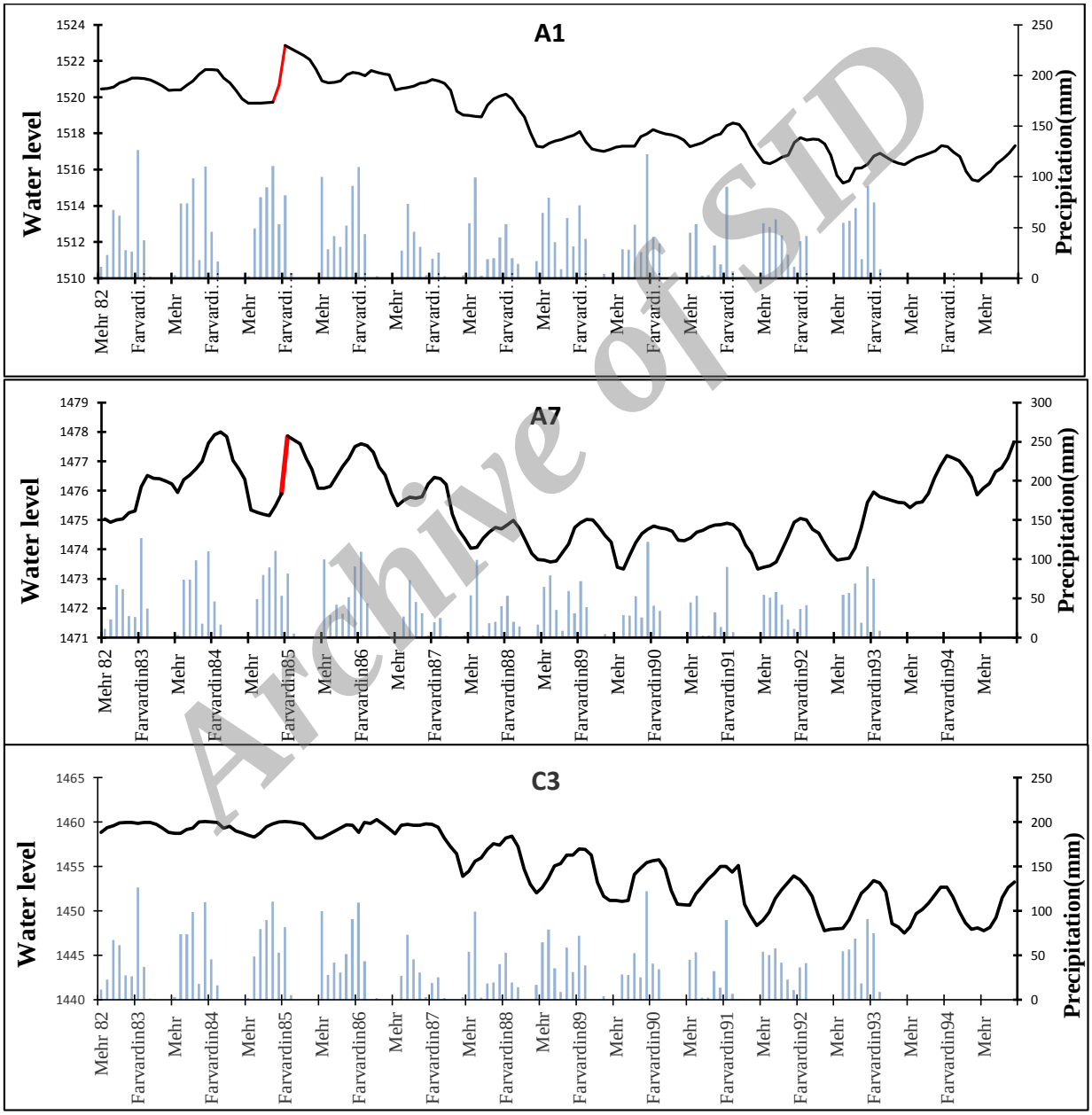

Fig. 7- Hydrographs of the observation wells A1, A7, and C3 during the 12-year survey time

شکل ۷- هیدروگراف چاهک‌های مشاهده‌ای C3 و A7، A1 در طول دوره آماری ۱۲ ساله

Archive of SID

www.SID.ir

چاهک‌ها بر اساس تأثیرپذیری از گسل و زمین‌لرزه در دو گروه جای می‌گیرند، گروه اول چاهک‌هایی که سطح آب آنها تحت تأثیر گسل و زمین‌لرزه می‌باشند و اتفاقاً با فاصله کم از هسته گسل قرار دارند و گروه دوم چاهک‌هایی که سطح آب آنها متأثر از گسل و زلزله نیستند.

چاه‌های A0 تا A16 در گروه اول (متأثر از گسل دورود) و چاه‌های B1 تا B15 در گروه دوم (بدون تأثیر از گسل و عمدتاً با فاصله از هسته گسل) قرار دارند. بررسی هیدروگراف چاه‌های A3، A4 و A7 از گروه اول در سال وقوع زلزله نشان می‌دهد که سطح آب در این چاه‌ها در دو ماه اسفند ۱۳۸۴ و فروردین ۱۳۸۵ (پس از وقوع زلزله) با شیب بسیار زیادی افزایش یافته که با در نظر گرفتن میزان بارش و برداشت در این زمان، این خیز ناگهانی طبیعی نیست (شکل ۸). افزایش و کاهش سطح آب در چاه‌هایی که در گروه اول قرار دارند حاکی از عملکرد شدید گسل و جابجایی سطح ایستابی در نزدیکی این چاه‌ها تحت تأثیر زلزله است، در همین زمان چاه B5 از گروه دوم هیدروگراف یکنواختی نشان می‌دهد (شکل ۸)، که این نشان از بی‌نظمی در نوسانات سطح ایستابی می‌تواند تحت تأثیر زلزله فروردین ۱۳۸۵ دورود باشد. برای درک بهتر موضوع هیدروگراف میانگین چاهای هر دو گروه در سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ همراه با هیدروگراف میانگین کل دشت در کنار هم تهیه شد (شکل ۹). سطح ایستابی در چاه‌های مشاهده‌ای در امتداد گسل دورود در طی زلزله شش ریشتری فروردین سال ۱۳۸۵ چالان چولان، تا بیش از دو متر بالا آمدگی در یک ماه (قابل قیاس با بالا آمدگی سطح آب کمتر از ۰/۵ متر در چاه‌های مشاهده‌ای با فاصله از گسل) داشته است.

نقشه هم تغییرات سطح آب‌زیرزمینی دشت از اسفند ۱۳۸۴ تا فروردین ۱۳۸۵ (شکل۱۰) نشان می‌دهد که در اثر حرکت گسل دورود و زمین‌لرزه حاصل از آن، تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در نقاط مختلف دشت متفاوت است. در بعضی بخش‌ها مانند نزدیکی خط گسل اختلاف سطح آب مثبت بوده و بالا آمدگی سطح آب کاملاً مشهود است. در بخش‌های دیگر اختلاف سطح آب منفی و کاهش ارتفاع سطح آب مشاهده می‌شود. با توجه به شکل‌های ۳ و ۱۰، تراکم چشمه‌های متعدد بر روی خط گسل دورود در محدوده‌هایی که تغییرات سطح آب مثبت است، احتمالاً نشان از عملکرد شدیدتر گسل در محدوده‌های با فاصله‌های کمتر از هسته گسل است.

۵- نتیجه‌گیری

گسل دورود با عملکرد خود باعث تغییرات در ویژگی‌های هیدروژئولوژیک آبخوان آبرفتی دشت دورود- بروجرد شده است. عملکرد گسل دورود در دیواره غربی خود با افزایش ضخامت آبخوان و کانالیزه کردن آب به میانه دشت و در دیواره شرقی محیط دریاچه‌ای- باتلاقی قدیمه را ایجاد و باعث نهشت رسوبات سیلتی- رسی همراه با مواد آلی شده است.

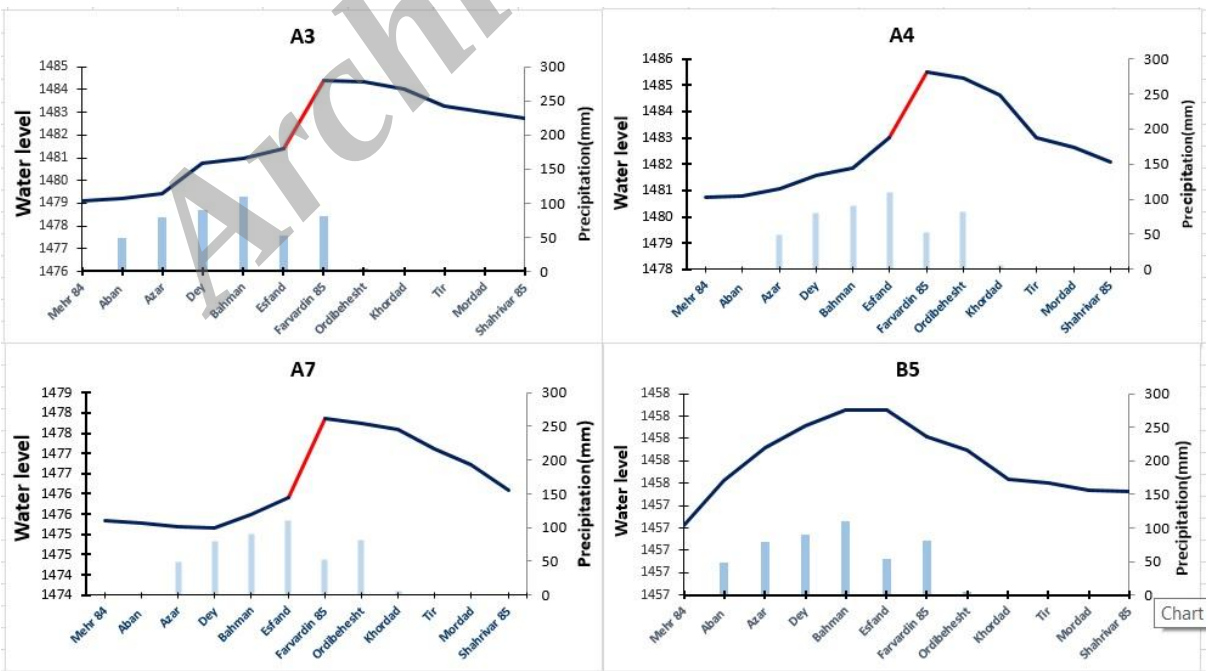

Fig. 8- The hydrograph of the observation wells A3, A4, A7, and B5 for water year 1384-85

شکل ۸- هیدروگراف چاهک‌های مشاهده‌ای (A3, A4, A7, B5) در سال آبی ۸۵-۱۳۸۴

Archive of SID
www.SID.ir

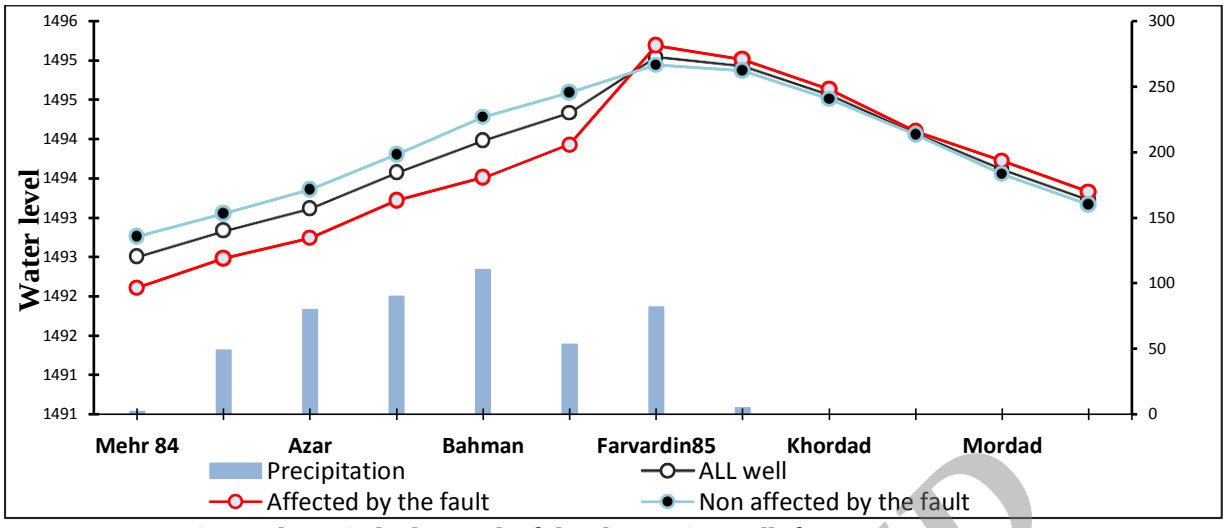

Fig. 9- The main hydrograph of the observation wells for water year 1384-85

شکل ۹- هیدروگراف میانگین چاهک‌های مشاهده‌ای در سال آبی ۸۵-۱۳۸۴

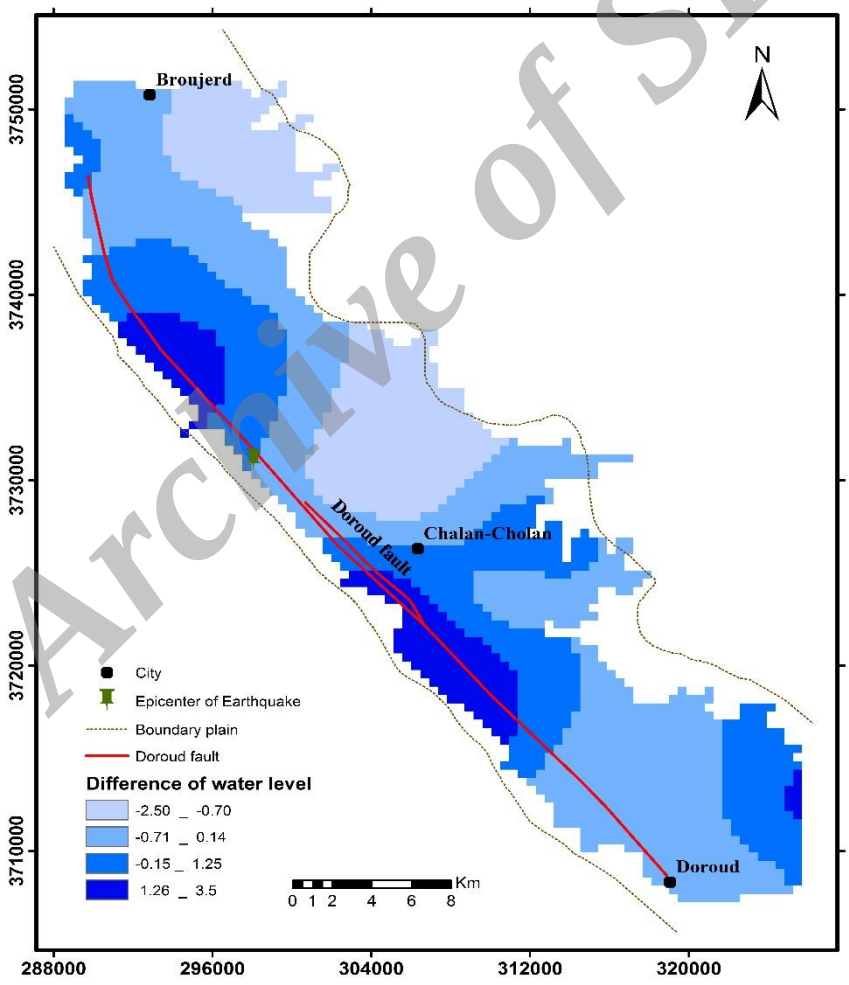

Fig. 10- Groundwater level changes from Esfand 1384 to Farvardin 1385

شکل ۱۰- نقشه تغییرات سطح آب‌زیرزمینی بین اسفند ۸۴ و فروردین ۸۵

Archive of SID

www.SID.ir

شدت عملکرد گسل دورود با افزایش فاصله از گسل کاهش یافته و بیشترین تأثیرگذاری در فاصله کمتر از ۵۰۰ متر نسبت به گسل رخ داده است. بررسی نقشه‌های هم‌تراز آب‌زیرزمینی و هدایت الکتریکی دشت، نشان‌دهنده بی‌نظمی‌های محلی در سطح ایستابی و تغییرات غیر قابل توقع در شوری در جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان است. سطح ایستابی در چاه‌های مشاهده‌ای در امتداد گسل دورود در طی زلزله شش ریشتری فروردین سال ۱۳۸۵ چالان چولان، تا بیش از دو متر بالا آمدگی در یک ماه (قابل قیاس با بالا آمدگی سطح آب کمتر از ۰/۵ متر در چاه‌های مشاهده‌ای با فاصله از گسل) داشته است. تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در سال‌های مختلف، وجود ناهنجاری در نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت را در ارتباط با فعالیت گسل دورود و زمین‌لرزه فروردین ۱۳۸۵ نشان می‌دهد.

۶- مراجع

Aghanabati A (2004) Geology of Iran. Geological Survey of Iran Publications, 586 p (In Persian)

Amirafzali M (2017) Study of the effect of Doroud fault on Chalan Chulan aquifer (Lorestan Province) in order to groundwater exploration by geoelectric method. MSc. Thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University of Tehran (In Persian)

Anderson EI (2006) Analytical solutions for flow to a well through a fault. Advances in Water Resources 29(12):1790-1803

António F, Pacheco L (2002) Response to pumping of wells in sloping fault zone aquifers. Journal of Hydrology 259(1):116-135

Bahravand R (2013) Study of the effect of Doroud fault on water resources in Silakhor plain (Lorestan Province). MSc. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz (In Persian)

Bense V, Person M (2006) Faults as conduit barrier systems to fluid flow in siliciclastic sedimentary aquifers. Water Resources Research 42(0542):1-18

Bense V, Van Balen R, De Vries J (2003) The impact of faults on the hydrogeological conditions in the Roer Valley Rift System: An overview. Netherlands Journal of Geosciences 82(01):41-54

Geological Survey & Mineral Exploration of Iran (1992) Khoramabad 1/25000 Geology map (In Persian)

Hashemi SN, Taghipor N, Ghoshei M, Zare Raisabadi H (2010) Investigation the role of major faults in controlling groundwater resource in Semnan Province, First Conference of Applied Water Resource Researches of Iran, Kermanshah University of Technology, Kermanshah, Iran (In Persian)

Liu Y, Shao J, Cui Y (2015) A double-porosity slug test model for a sloping fracture zone. Environmental Earth Sciences 74(7):5875-5884

Lorestan Regional Water Authority (2015) Water well drilling logs of Doroud-Broujerd plain (In Persian)

Lorestan Regional Water Authority (2015) Water level data of observation wells and groundwater qualitative monitoring data in Doroud-Broujerd (In Persian)

Lorestan Regional Water Authority (2010) Semi-detailed study of Doroud-Broujerd and Ashtarinan, groundwater report of Doroud-Broujerd. 5th Edition (In Persian)

Nasseri HR, Sarvar A (2005) The role of the Caspian fault on physical and chemical properties of groundwater. 9th Symposium of Geological Society of Iran, Kharazmi University (In Persian)

Nori M (2012) Study of role of Tabrae fault on hydrogeological behavior of Arak plain. MSc. Thesis, Kharazmi University (In Persian)

Rajabpour H, Vaezihir A, Sedghi MH (2016) The North Tabriz fault, a barrier to groundwater flow in an alluvial aquifer northwest of Tabriz, Iran. Environmental Earth Sciences 75(10):1-13

Rajabpour H, Vaezihir A (2016) Hydrogeological studies to identify the trend of concealed section of the North Tabriz fault (Iran). Ground Water 55(3):327-333

Rawling GC, Goodwin LB, Wilson JL (2001) Internal architecture, permeability structure, and hydrologic significance of contrasting fault-zone types. Geology 29(1):43-46

University of Tehran, Institute of Geophysics (2006) Chalan-Cholan earthquake report. Technical Report (In Persian)

Wang Cy, Cheng LH, Chin CV, Yu SB (2001) Coseismic hydrologic response of an alluvial fan to the 1999 Chi-Chi earthquake, Taiwan. Geology 29(9):831-834

Wannous M, Siebert C, Tröger U (2016) The investigation of fault-controlled groundwater recharge within a suburban area of Damascus, Syria. Hydrogeology Journal 24(5):1185-1197

Archive of SID

www.SID.ir