

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



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

F. Alijani¹, H. Nasseri¹, M. Amirafzali^{2*} and A. Shamasi³

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.



Received: April 20, 2017 Accepted: December 3, 2017 تأثیر گسل دورود بر هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی دشت دورود- بروجرد، لرستان

فرشاد علیجانی^۱، حمیدرضا ناصری^۱، میلاد امیرافضلی^۳ و عبدالوهاب شماسی^۳

چکیدہ

گسلها به عنوان یک عامل مهم بر روی أبخوان و حرکت آبزیرزمینی تأثير گذار هستند. عملكرد گسلها در أبخوانهای آبرفتی میتواند باعث پیچیدگی سیستم جریان آبزیرزمینی و بی نظمی آن شود. گسل امتداد لغز و فعال دورود به عنوان قطعهای از راندگی زاگرس به موازات آن از دورود تا بروجرد امتداد دارد. تأثير گسل دورود بر هيدروژئولوژی 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 أبرفتی 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 می یابد و سپس در امتداد گسل دورود به طور ناهنجار در برخی مناطق افزایش نشان مے ،دھد.

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

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

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

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

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

۲- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی.

۳– کارشناس ارشد بازنشسته شرکت آبمنطقهای لرستان.

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 كنند (Nouri, 2005; Rawling et al., 2001). ويژگي ها و رفتار گسلها می تواند در طی زمان زمین شناسی تغییر کند. گسلها در مقیاس محلی و ناحیهای میتوانند سیستم جریان آب زیرزمینی را شديداً تحت تأثير قرار دهند (Bense et al., 2003). شيب هيدروليكي آب زیرزمینی در اطراف گسل به شدت توسط فرآیندهای هيدروژئولوژيک از قبيل نرخ تغذيه آبزيرزميني، توپوگرافي، فعالیتهای انسانی مثل استحصال آب و فرآیندهای عمیق مثل فشردگی رسوبات کنترل می شود (Bense and Person, 2006). عملكرد گسل مىتواند باعث اختلاط آبهاى فسيلى با آبهاى زیرزمینی کمعمق و تغییر در خصوصیات شیمیایی آنها از قبیل هدایت الكتريكي، pH و مواد محلول شود (Naseri and Sarvar, 2005). تغییرات واضح در وضعیت سنگ کف آبخوان، تغییر در ضخامت آبخوان و وجود جریان های کانالیزه در امتداد گسل مستقیماً در ارتباط یا تأثیر عملكرد گسل است (Rajabpour et al., 2016). همخوانی مكانی چشمهها با راستای گسلهای مهم و همچنین اختلاف فاحش آبدهی چشمههای گسیلی نسبت به سایر چشمهها از جمله شواهد هیدروژئولوژیک تأثیر گســل بـــر آبخــــوان میباشند (Hashemi et al., 2010). ایجاد سد هیدرولیکی یا برقراری ارتباط بین دو طرف گسل و ظهور چشمهها نحوه عملکرد گسل را نمایان می کند (Bahravand, 2013). در طی زمین لرزههای 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 می تواند باعث افزاش دما و تغییر در عناصر آبهای کم عمق شود (Wannous et al., 2016). الگوی جریان آب زیرزمینی ناشی از پمپاژ آب در آبخوان های گسلی (گسل شیب لغز)، به نفوذپذیری رسوبات و مواد زمین شناسی 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 راست گرد 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 زمین لرزههای 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 زمین شناسی

گستره مورد مطالعه حد فاصل دو شهر بروجرد و دورود در استان لرستان و در مختصات "۲۵ '۴۹°۴۹ تا "۵۳ '۲۹ '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 منطقه ممطالعاتی 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 سانتی گراد و میانگین سردترین دمای هوا در زمستان تا ۱۷- درجه سانتی گراد 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 تقسیم بندی زمین شناسی 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 دادامه دارد، میباشد. واحدهای سنگ شناسی منطقه شامل سنگهای ادامه دارد، میباشد. واحدهای سنگ شناسی 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،

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 چالان چولان هستند که در حاشیه جنوب غربی دشت به کنگلومرای جوان ختم می شوند. سنگ کف آبخوان آبرفتی دشت در بخشهای غربی مارن فشرده و در بخشهای شرقی از جنس سنگهای دگرگونی است فشرده و در بخشهای شرقی از جنس سنگهای دگرگونی است والان 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 زمین شناسی 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 می سازد (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 زمین شناسی محدوده مورد مطالعه



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 روش شناسی

بررسی ساختار و هیدروژئولوژی یک منطقه گسلی، نیازمند شناسایی و درک نحوه تأثیرگذاری گسل و همچنین شناخت مواد زمینشناسی است. زمین شناسی منطقه با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ خرم آباد (Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, 1992) بررسی و واحدهای سنگی مختلف تفکیک شدهاند. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات ۴۱ لاک 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 (Lorestan Regional Water Authority, 2015) ١٣٨٣-١٣٩۴ 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 تهيه 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 تعییرات با زلزله فروردین ماه ۱۳۸۵ منطقه چالان چولان بررسی شد.

۴- نتایج و بحث ۴- 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 ژوالکتریک اکتشافی و روند خطوط تراز آبزیرزمینی در دشت حاکی از نبود ارتباط هیدروژئولوژی مشخص ارتفاعات آهکی زاگرس با الگوی ایجاد شده در اطراف گسل دورود، تأثیر قابل ملاحظه گسل بر سطح آبزیرزمینی را مشخص می کند (شکل ۳). طبق شکل ۳ تراکم نطوط 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.



Fig. 3- The hydraulic head pattern and the groundwater flow direction in both sides of the Doroud fault شكل 3- الكوى سطح آب و جهت جريان آب زيرزميني در دو طرف گسل دورود

منحنیهای بسته تراز آب زیرزمینی میتواند تحت تأثیر تغذیه و تخلیه از سنگ کف و یا به دلیل تراکم بسیار بالای چامهای 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 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 ۲۰۰

وجود چشمههای متعدد در امتداد گسل دورود نشان دهنده 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 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 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 آبدهی و در مقابل برخی با افزایش آبدهی مواجه شدهاند. طبق شکل و شمال غرب به سمت جنوب شرق است. وجود محدودهها با

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 می شود.

نقشه پراکندگی مقدار دبی چاههای بهرهبرداری دشت (شکل ۵) نشان می دهد که در دیواره غربی علی رغم 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 می باشد. 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

یتانسیل و خطوط جریان آبزیرزمینی نشانگر عملکرد گسل دورود بر آبخوان آبرفتی و تغییر در اندازه رسوبات منطقه می باشند. میانه دشت در دیواره غربی گسل به دلیل کانالیزه کردن جریان آب توسط گسل در رسوبات درشت دانه، با توجه به فاصله زياد با منطقه تغذيه، ميزان هدایت الکتریکی متوسط و کمتر از ۲۰۰ میکروموس بر سانتی متر می باشد 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 بخش هایی 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 می رود 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) می تواند 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



Fig. 4- Conceptual model of Doroud fault with exaggeration in the drop down of the eastern block شكل ۴- مدل مفهومي از عملكرد گسل دورود با اغراق در فرو افتادگي ديواره شرقي





۲-۴- 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 چالان چولان شده

است. این زمین لرزه 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 زمین لرزه 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 زمین لرزه سال ۱۳۸۵، سطح آب بعضی از چاههای مشاهدهای که بر روی خط گسل واقع می باشند تغییرات شدیدی در بازه زمانی زمین لرزه نشان میدهند در حالی که چاههای با فاصله از گسل تغییرات شدیدی نشان نمیدهند.

250 1524 A1 1522 Precipitation(mm) 1520 Water level 1518 1516 1514 1512 1510 82 Farvardi. arvardi. Farvardi. arvardi. Mehr Mehr Mehr Mehr Mehr Mehr Mehr arvardi Mehr arvardi Mehr Mehr Farvardi Mehr arvardi arvardi Mehr arvardi arvardi arvardi Mehr 1479 300 1478 250 (mm) 200 150 100 (mm) 50 50 1477 1476 Water level 1475 1474 1473 1472 1471 Mehr Mehr 82 arvardin83 Mehr Mehr Mehr arvardin86 Mehr Mehr Farvardin88 Farvardin89 Mehr ⁷arvardin90 Mehr Mehr ⁷arvardin92 Mehr Mehr arvardin84 urvardin85 Farvardin87 ⁷arvardin93 Farvardin94 Mehr Farvardin91 1465 **C3** 250 200 1460 Precipitation(mm) Water level 150 1455 1450 100 50 1445 1440 Farvardin83 Farvardin86 Mehr Farvardin88 Mehr Farvardin90 Farvardin92 Mehr 82 Mehr Mehr Farvardin85 Mehr Farvardin87 Mehr Farvardin89 Mehr Mehr Farvardin91 Mehr Mehr arvardin93 Mehr arvardin94 Mehr Farvardin84



چاهکها بر اساس تأثیرپذیری از گسل و زمین لرزه در دو گروه جای می گیرند، گروه اول چاهکهایی که سطح آب آنها تحت تأثیر گسل و زمین لرزه می باشند 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 تأثير 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 بی نظمی 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 می دهد که در اثر حرکت گسل دورود و زمین لرزه 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 می شود. 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- نتیجه گیری

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 (A3–۸۵–۸۵



Fig. 10- Groundwater level changes from Esfand 1384 to Farvardin 1385 شکل ۱۰ – نقشه تغییرات سطح آبزیرزمینی بین اسفند ۸۴ و فروردین ۸۵

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) Semidetailed 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

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 ۵/۰ 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.

8- 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