



بررسی کمی اثرات زمین لرزه سال ۱۳۸۲ بم بر روی آبخوان دشت بم

غلامرضا لشکری پورا^۱ و هادی سالاری^۲

(۱) استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد lashkarg @ hamoon. ub. ac. ir

(۲) گروه زمین شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده

دشت بم در شرق استان کرمان و در حاشیه ی کویر لوت قرار دارد. این دشت با وسعت ۴۳۵۷ کیلومتر مربع جزئی از حوضه ی آبریز کویر لوت محسوب می گردد. آب و هوای منطقه خشک با بارندگی سالانه حدود ۶۰ میلیمتر است. تنها منبع تأمین آب این دشت جهت مصارف شرب و کشاورزی آبخوان بم می باشد. زمین لرزه ی مخرب ۵ دی ماه ۱۳۸۲ با بزرگی حدود ۶/۵ درجه در مقیاس ریشتر از نظر هیدروژئولوژی باعث تغییرات کمی این آبخوان شده است. مسبب اصلی این زمین لرزه گسل ناشناخته ای موسوم به گسل ارگ بم می باشد. این گسل انشعابی از گسل بم بوده و ساختار آن به صورت یک زون گسلی با عملکرد لغز راستگرد می باشد. تغییرات کمی ایجاد شده در آبخوان به صورت تغییر در میزان آبدهی قنوات و چاه ها، افت سطح آب زیرزمینی، تغییر شیب هیدرولیکی و جهت جریان آب زیرزمینی مشاهده شده است. در این مقاله تغییرات کمی ایجاد شده بر روی آبخوان دشت بم بعد از زلزله در مقایسه با سال های قبل از آن مقایسه و مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: آبخوان، آب های زیرزمینی، زلزله، گسل بم، کویر لوت

An investigation on the quantitative effect of the 2003 Bam earthquake on Bam plain aquifer

G. R. Lashkaripour¹ & H. Salari²

1) Department of Geology, University of Ferdowsi, Mashhad, I.R. Iran

2) Department of Geology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, I.R. Iran

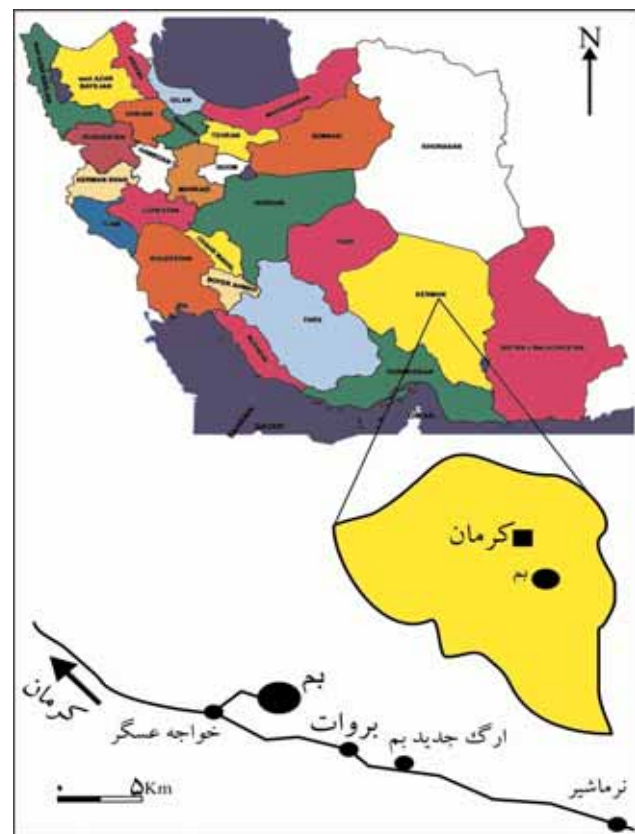
Abstract

The Bam plain is located in the eastern part of Kerman Province and adjacent to Kavir-e-Lut. This plain is a part of the Lut catchment area with a total drainage area of about 4357 km. The Bam plain with a dry climate has an average annual precipitation of about 60 mm. The Bam aquifer is the unique source of water for domestic and agricultural purposes. The devastating Bam earthquake on 26 December 2003 with a magnitude of 6.5 has affected the hydrogeology parameters of the Bam aquifer. The earthquake happened due to the action of an unrecognized fault called Arg-e- Bam fault. This fault seems to be a branch of the well-known Bam strike slip fault. The Bam earthquake affects the water quantity parameters of the Bam aquifer. The quantitative variation includes the change of discharge, decline of groundwater level, changes in groundwater gradient and flow direction. This paper deals with the variation of quantity parameters in the Bam aquifer before and after the earthquake.

Key words: Aquifer, ground water, earthquake, Bam fault, Lut playa

۱. مقدمه

دشت بم بین طولهای جغرافیایی $۱۵^{\circ}۵۷'$ تا $۳۰^{\circ}۵۹'$ شرقی و عرضهای $۳۰^{\circ}۲۸'$ تا $۲۹^{\circ}۴۵'$ شمالی واقع شده است. شهر بم در مرکز این دشت در فاصله ی حدود ۲۰۷ کیلومتری جنوب شرق کرمان قرار دارد. این شهر یکی از شهرهای تاریخی و مهم استان کرمان محسوب می گردد. در تصویر ۱ موقعیت جغرافیائی منطقه نشان داده شده است. این دشت قسمتی از حوضه ی آبریز کویر لوت محسوب شده و وسعت آن ۴۳۵۷ کیلومترمربع می باشد. ارتفاع مرکز شهر بم از سطح دریا ۱۰۶۷ متر و ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا ۹۶۰ متر است. وسعت کل حوضه ی آبریز این دشت حدود ۹۶۹۶ کیلومترمربع می باشد که ۴۳۵۷ کیلومترمربع آن به دشت اختصاص دارد (مهندسین مشاور آساران ۱۳۷۷). شهر بم دارای آب و هوایی خشک و کویری بوده و میزان بارندگی در منطقه بسیار کم است. متوسط بارندگی سالانه ی شهر بم حدود ۶۰ میلیمتر و متوسط درجه حرارت سالانه ی آن ۲۳ درجه سانتیگراد می باشد. شغل عمده ی ساکنین این منطقه کشاورزی و باغداری است و تأمین آب مورد نیاز برای کشاورزی، شرب و... از طریق



تصویر ۱. نقشه ی موقعیت و راه های دسترسی منطقه.

بهره برداری از منابع آب زیرزمینی (قنوات و چاه ها) تأمین می گردد. وقوع زلزله ی ۵ دی ماه ۱۳۸۲ و حرکت گسل ارگ بم بر منابع آب زیرزمینی و به ویژه در تخریب و تغییرات آبدی قنوات و چاه های منطقه مؤثر بوده

است. در این مقاله علت کاهش و یا افزایش آبدی قنوات و چاه های اطراف گسل بم قبل و بعد از زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. در منطقه ی بم کل سطح زیر کشت زراعات و باغات با استفاده از منابع آب زیرزمینی به وسیله قنوات و چاه ها آبیاری می گردد. وضعیت آب و هوایی منطقه از دامنه ی سلسله جبال بارز به سمت شمال شرقی به طرف دشت بم به سرعت به سمت شرایط خشک و کویری میل می کند به طوری که در شمال شرق دشت متوسط نزولات جوی سالانه به میزان ناچیزی می رسد (حمزه ۱۳۸۱). بهره برداری از منابع آبی دشت بم -نرماشیر توسط ۷۶۸ حلقه چاه (۶۰۵ چاه عمیق، ۱۶۳ چاه نیمه عمیق) و ۲۷۵ رشته قنات انجام می گیرد. بعد از زلزله تعداد زیادی از این چاه ها و قنوات تخریب و یا کاملاً خشک گردیده اند (فدایی زاده ۱۳۸۲).

۲. زمین شناسی منطقه

دشت بم از نظر تقسیم بندی زمین شناسی جزء ایران مرکزی (میانی) محسوب می گردد. این دشت از جنوب با کوه های سلسله جبال بارز که از مرتفع ترین کوه های استان کرمان است محصور می گردد. کوه کشیت در قسمت شمال غربی و غرب دشت، و لوت زنگی احمد در قسمت شمال آن قرار دارد (آقنابتی ۱۳۷۴). اغلب سنگ های این کوه ها آذرین و سازندهای رسوبی حاشیه ی جنوبی دشت در نوار سلسله جبال بارز، شامل سازند کنگلومرانی میوپلیوسن (نئوژن) می باشند (افتخار نژاد ۱۳۷۲).

در این منطقه رسوبات مربوط به کامبرین دیده نمی شود. قدیمی ترین رسوبات مزوزوئیک که در این ناحیه بیرون زدگی دارند مربوط به ژوراسیک میانی می باشند. این رسوبات در حاشیه ی غربی کوه خانه خاتون - شمال غربی دشت قرار دارند. رخنمون های مربوط به سنوزوئیک بیشتر شامل سنگ های آندزیت، بازالت به اتفاق سنگ های پیروکلاستیک است که در کوه های فاش کوه و دسک مشاهده می شود و ائوسن بالائی که شامل پیروکلاستیک، ماسه سنگ توفی، ریولیت های تجزیه شده و ریوداسیت، تراکی آندزیت، خاکستر آتشفشانی، آگلومرا و گدازه های بازالتی و لایه های نازک آهک ائوسن میانی می باشد. این رسوبات در کوه های شرق ابارق منطقه ی تیگرو آب تلخک و کوه های شمال فهرج و شمال شهر بم بیرون زدگی دارند.

دشت بم دشت آبرفتی است که بر روی آبرفت های کوتاه تر قرار گرفته است. این آبرفت ها در دامنه دانه درشت بوده و محل مناسبی برای اجرای پروژه های تغذیه ی مصنوعی می باشند. رسوبات کواترنری شامل گراول های قدیمی و جوان و تراس های رودخانه ها و آبرفت های جوان و پهنه های رسی می باشد. گراول های قدیمی از قلوه هایی با گردشگری خوب از سنگ های ائوسن و نفوذی که رنگ آن تیره بوده و سخت می باشد

۴. هیدروژئولوژی منطقه

آبرفت های دشت بم بر روی کنگلومرای نئوژن قرار گرفته که به این جهت این کنگلومرا سست بافت سنگ کف سفره ی آب زیرزمینی را در بیشتر قسمت های دشت بم تشکیل می دهد (مهندسین مشاور آبکاو ۱۳۸۰). بررسی های اکتشافی صورت گرفته در دشت شامل مطالعات ژئوفیزیکی به روش ژئوالکترونیک و حفاری اکتشافی می باشد. نظر به این که جنس سنگ کف کنگلومرای سست بافت می باشد از نظر مقاومت الکتریکی تقریباً مشابه آبرفت بوده و تفکیک آن از آبرفت مشکل است. به همین دلیل تنها به کمک مطالعات ژئوفیزیکی نمی توان جنس سنگ کف و ضخامت آبرفت را تعیین کرد. شکل هندسی مخزن آب زیرزمینی دشت تقریباً مستطیل شکل بوده و گستردگی طولی آن در امتداد شمال غربی و جنوب شرقی قرار دارد (مهندسین مشاور آبکاو ۱۳۵۱).

نوع سفره ی آب زیرزمینی در قسمت های جنوبی دشت از نوع آزاد بوده و به طرف شمال به تدریج آبرفت ها دانه ریزتر شده و در بین آن ها لایه های دانه ریز از جنس رس و سیلت به صورت زبانه ای (Interfingering) به وجود آمده است. به همین دلیل در قسمت های شمالی دشت به خصوص در مجاورت زهکش نرماشیر، لایه های آبدار تحت فشار در عمق تشکیل

تشکیل شده اند. تراس های رودخانه ی نساء که اغلب دانه های هتروژن بوده و اندازه ی آن ها متفاوت می باشد. در بین این رسوبات تخته سنگ های بزرگ تا ذرات سیلت دیده می شود. آبرفت دشت از ذرات ریز تشکیل یافته که از نظر تشکیل تابع جریانات سیلابی است (فدایی زاده ۱۳۸۲). به طور کلی مخروط افکنه هایی که از ارتفاعات شمالی و جنوبی (جبال بارز) منشأ گرفته اند، دشت مسطح و همواری را تشکیل داده اند که شهرهای بم و بروات در منتهی الیه آن ها بنا شده اند (مهندسین مشاور آبساران ۱۳۷۷).

۳. تکتونیک منطقه ی مطالعاتی

این منطقه در کامبرین وضعیتی شبیه دیگر قسمت های ایران داشته یعنی حالت پلاتفرم در آن حاکم بوده است. در دوران های مزوزوئیک و سنوزوئیک منطقه ی پرتحرکی از لحاظ تکتونیکی محسوب می شده به طوری که فعالیت ماگمایی به صورت سنگ های ولکانیکی خروجی و نفوذی همراه بوده است. این تحرک در کواترنر و عصر حاضر ادامه داشته و باعث شکستگی های متعددی در آبرفت دشت شده و حالت پلکانی در آن ایجاد نموده است (Aghanabati 1995). علاوه بر گسل های فعال جوان فعالیت سنگ های خروجی با ترکیب بازالت در کواترنر در چند منطقه مشاهده می گردد (درویش زاده ۱۳۷۶).

در این منطقه چندین گسل تشخیص داده شده است. مهمترین این گسل ها شامل گسل بم، گسل دارزین، گسل فهرج، گسل کنگرو و گسل ارگ بم (گسل کور) می باشند. از میان این گسل ها، گسل بم نقش مهمی در شکل گیری آبخوان دشت بم داشته است. مسبب اصلی زمین لرزه پنجم دی ماه ۱۳۸۲ گسل ارگ بم بوده که به نظر می رسد انشعابی از گسل بم باشد. فعالیت این گسل باعث تغییرات زیادی در آبخوان بم شده است (Polrincon 2004).

گسل بم از شرق شهر بم و در مجاور روستای بروات و با امتداد تقریباً شمالی- جنوبی می گذرد که قسمت شرقی آن به صورت یک پله ی تکتونیکی پائین افتاده است (Towhata et al. 2004). این گسل قسمتی از رسوب های دانه ریز پائین دشت مخروط افکنه آدوری را قطع کرده و قسمت شرقی آن را بیش از ۱۰ متر پائین آورده است. تصویر ۲ فعالیت گسل بم را نشان می دهد که باعث جابه جایی سازندهای زمین شناسی شده است. گسل بم دارای طول تقریبی ۶۵ کیلومتر و امتداد NNW-SSE می باشد. (Atsumi et al. 2004) گسل ارگ بم با طولی در حدود ۱۰ کیلومتر در ۴ کیلومتری غرب گسل بم واقع شده و عملکرد آن مشابه گسل بم، امتداد لغز راستگرد می باشد (ناظم زاده شعاعی ۱۳۸۳).



تصویر ۲. تصاویری از فعالیت گسل بم. الف) رسوبات پلیستوسن بر روی رسوبات عهد حاضر. ب) رسوبات پلیستوسن شامل سیلستون و آهک بر روی رسوبات عهد حاضر (حسینی ۱۳۸۴)

گردیده است. با این وجود سفره در بخش های شرقی و غربی دشت از نوع آزاد می باشد (شرکت مهندسی آبکاو ۱۳۵۱).

منبع اصلی تغذیه ی طبیعی سفره ی آب زیرزمینی دشت بم را جریان های سطحی ورودی به دشت تشکیل می دهند که مهمترین آن ها رودخانه های نساء، فاشکوه (آدوری)، تهرود (پشت رود) و تعدادی مسیل دیگر می باشد (سالاری ۱۳۸۴).

قسمت اعظم جریان های سطحی در آبرفت های دانه درشت در حاشیه دامنه جبال بارز نفوذ می کند و به صورت جریان زیرزمینی وارد سفره دشت بم می گردد. در دشت بم ۲۷۵ رشته قنات وجود دارد. مادر چاه اغلب این قنات در مجاورت مخروط افکنه های آدوری و نساء قرار گرفته و به همین دلیل آبدهی قنات این دشت نسبتاً زیاد است (فدایی زاده ۱۳۸۲). علاوه بر این بهره برداری از منابع آب زیرزمینی توسط ۷۶۸ حلقه چاه (۶۰۵ حلقه چاه عمیق و ۱۶۳ حلقه چاه نیمه عمیق) نیز انجام می گردد. در این تحقیق مطالعات بر روی ۱۹ حلقه چاه و ۵۲ رشته قنات جهت بررسی تغییرات آبدهی قبل و بعد از زلزله انجام گرفته است. به دلیل تأثیر زلزله تعدادی از قنات و چاه ها تخریب شده اند.

۵. اثرات زلزله بر روی آبخوان بم از نظر کمی

زمین لرزه ی بم سبب تغییر خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان مانند نفوذپذیری (K)، ضریب ذخیره (S) و قابلیت انتقال آبخوان (T) و به طور کلی تغییرات کمی آبخوان دشت بم شده است. با بررسی آبدهی چاه های دشت بم در آذرماه ۱۳۸۲ (قبل از وقوع زلزله) و مقایسه ی آن با آبدهی چاه ها در اردیبهشت ماه ۱۳۸۳ بعد از وقوع زلزله نشان می دهد که آبدهی چاه ها بعد از زلزله در شمال و غرب دشت همراه با کاهش بوده و در شرق و مرکز دشت افزایش داشته است. البته هر چه به طرف گسل بم نزدیک شویم چاه هایی که در طرف شرق گسل قرار دارند آبدهی آن ها کاهش یافته و چاه های طرف غرب گسل همراه با افزایش آبدهی بوده اند. در اثر تنش های وارد شده و عملکرد گسل به صورت سازوکار غالب امتداد لغز راستگرد با مؤلفه ی شیب لغز باعث شده تا چاه هایی که در طرف شرق گسل قرار دارند به دلیل حرکت گسل و تنش های کمپرسیونی (تراکمی) بافت خاک و رسوبات تغییر کند و خلل و فرج رسوبات و تخلخل (آبدهی ویژه) آن ها کاهش یابد. در طرف غرب گسل تنش کششی حاکم بوده و باعث افزایش درز و شکاف و خلل و فرج در رسوبات آبخوان شده و آبدهی چاه ها افزایش یافته است (Okumura et al. 2004).

به طور کلی امواج زلزله در سازندهای سخت انرژی کمتری را جهت انتقال مصرف می کنند. بنابراین چون در برخی از نقاط دشت سازندهای سخت وجود دارد تغییرات در سنگ ها کمتر بوده ولی در رسوبات نرم و سست

امواج برای انتقال نیاز به انرژی زیادی دارند و باعث تغییر شکل زیادی در این رسوبات شده و خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه را تغییر داده است. در اثر تغییرات پارامترهای هیدروژئولوژیکی و تغییرات بافت رسوبات، آبدهی سفره آب زیرزمینی کاهش یافته است. بررسی رسوبات دو طرف گسل بم نشان می دهد که رسوبات طرف شرق گسل (Qm2) جوان تر از رسوبات غرب گسل (Qm1) بوده و بنابراین این رسوبات سست تر و نرم تر می باشند. لذا در برابر امواج زلزله ای مقاومت زیادتری از خود نشان داده و در طی زمین لرزه تغییرات زیادتری در بافت آن ها به وجود آمده است. در اثر تغییرات پارامترهای هیدروژئولوژیکی آبخوان و تغییرات بافت رسوبات، آبدهی چاه هایی حفر شده در این رسوبات کاهش یافته است.

در جدول ۱ و تصویر ۳ آبدهی چاه های دشت بم در آذر ماه ۱۳۸۲ (قبل از زلزله) و اردیبهشت ۱۳۸۳ (بعد از زلزله) جهت مقایسه با یکدیگر نشان داده شده است. با توجه به مقایسه ی انجام شده کاهش و یا افزایش آبدهی در منطقه تنها به دلیل تأثیر امواج زلزله بر روی رسوبات منطقه در جهات مختلف دشت بوده که بستگی به مقاومت و سختی رسوبات دارد که تغییر شکل در بافت آنها باعث تأثیر در خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان شده است. در نتیجه ی آبدهی چاه ها در بخش های مختلف دشت کاهش و یا افزایش داشته است (Talebian et al. 2004).

۶. آبدهی قنات

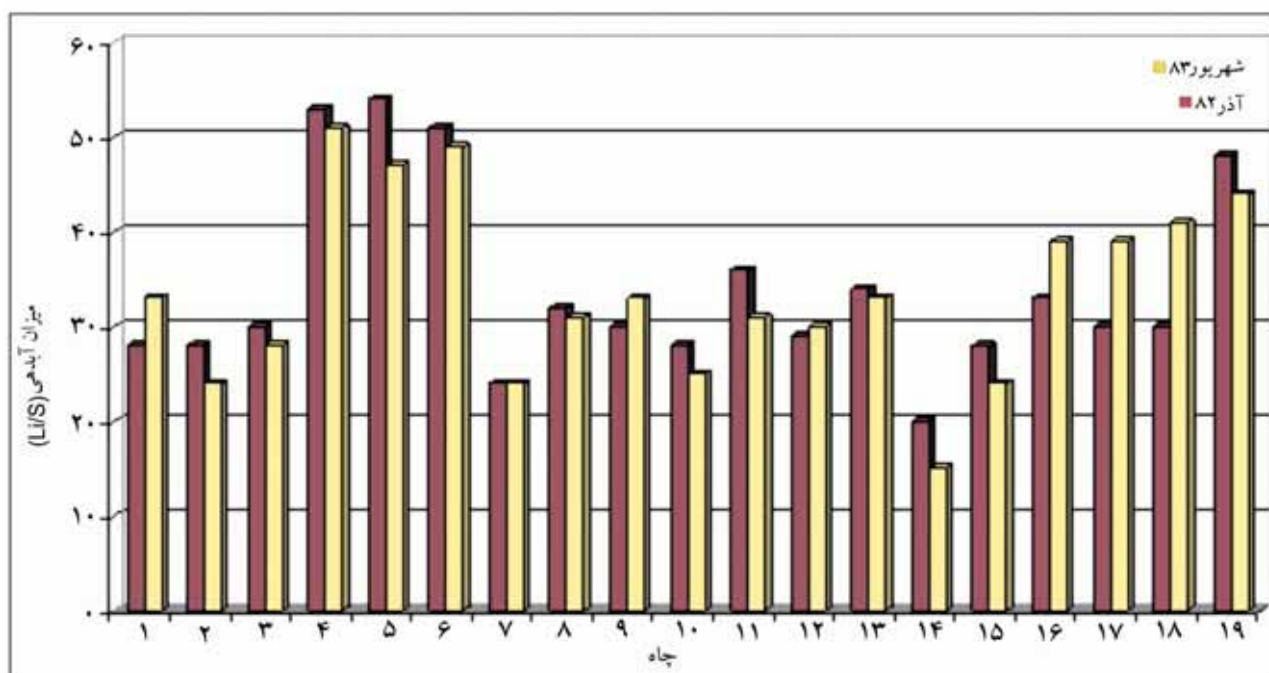
به طور کلی در این تحقیق حدود ۴۸ رشته قنات مورد بررسی قرار گرفته که بعد از وقوع زلزله تعداد ۲۶ رشته قنات تخریب شدند و در اثر آن آبدهی قنات یا کمتر شد یا کاملاً خشک شد. براساس آماربرداری مهندسی شرکت پویان شیراز در بهمن ماه ۱۳۸۲ آبدهی بعضی قنات شامل قنات پاکم، علیاچشمه، حشرآباد، قاسم آباد، بروات، رحمانیه، باغچمک، اکبرآباد و نوروزآباد بروات افزایش یافته است. قنات دیگری نیز با کاهش آبدهی مواجه بوده است (مهندسی مشاور پویان شیراز ۱۳۸۳). با مقایسه ی آبدهی آذرماه ۸۲ (قبل از وقوع زلزله) و اردیبهشت و شهریورماه ۸۳ (بعد از وقوع زلزله) می توان نتیجه گیری کرد که عامل تغییرات آبدهی در قنات دشت بم، تأثیر امواج زمین لرزه و فعالیت گسل بم می باشد (شکل ۴). در کاهش یا افزایش آبدهی یک قنات بر قنات دیگر تأثیر گذاشته است. برطبق آماربرداری اداره آبیاری بم بر روی ۲۱۴ رشته قنات در منطقه مطالعاتی، ۱۵۰ رشته کمتر از ۸۰ درصد، ۳۰ رشته بین ۸۰ تا ۹۰ درصد و ۳۴ رشته نیز ۱۰۰ درصد در اثر زمین لرزه تخریب شده و آبدهی آن ها کاهش و یا کاملاً خشک شده اند. البته در اثر زمین لرزه در بعضی از قنات به دلیل درز و شکافی که در دیواره ی مادر چاه قنات ایجاد شده باعث افزایش خلل و فرج رسوبات شده و نفوذپذیری را از سازند به طرف مادر چاه افزایش داده است و آبدهی

جدول ۱. میزان آبدهی چاه‌های دشت بم قبل و بعد از زلزله (لیتر بر ثانیه).

| شماره چاه | Y | X | آذر ماه ۸۲ | اردیبهشت ماه ۸۳ |
|-----------|--------|---------|------------|-----------------|
| ۱ | ۶۹۳۱۷۴ | ۳۱۷۷۳۳۷ | ۲۸ | ۳۵ |
| ۲ | ۷۰۲۰۴۶ | ۳۱۸۵۴۲۴ | ۲۸ | ۲۶ |
| ۳ | ۶۳۸۴۰۷ | ۳۲۰۷۳۵۵ | ۳۰ | ۳۳ |
| ۴ | ۶۴۳۷۹۷ | ۳۱۹۴۱۱۶ | ۵۳ | ۴۹ |
| ۵ | ۶۵۱۹۹۴ | ۳۲۰۴۰۷۰ | ۵۴ | ۵۰ |
| ۶ | ۶۴۳۱۴۵ | ۳۲۰۰۶۹۶ | ۵۱ | ۵۱ |
| ۷ | ۶۶۱۲۴۸ | ۳۲۰۵۳۶۳ | ۲۴ | ۲۲ |
| ۸ | ۶۴۷۱۲۲ | ۳۱۹۹۷۰۲ | ۳۲ | ۳۶ |
| ۹ | ۶۷۹۵۱۶ | ۳۲۱۲۵۰۶ | ۳۰ | ۳۲ |
| ۱۰ | ۶۶۳۴۰۹ | ۳۲۲۵۶۵۳ | ۲۸ | ۲۷ |
| ۱۱ | ۶۵۶۵۲۵ | ۳۲۲۴۴۷۸ | ۳۶ | ۳۵ |
| ۱۲ | ۶۷۰۲۲۱ | ۳۲۱۰۹۹ | ۲۹ | ۳۰ |
| ۱۳ | ۶۶۷۸۱۱ | ۳۲۱۱۵۹۳ | ۳۴ | ۳۴ |
| ۱۴ | ۶۴۴۹۲۰ | ۳۲۲۶۱۵۴ | ۲۰ | ۱۸ |
| ۱۵ | ۶۸۳۹۰۵ | ۳۲۰۲۶۶۲ | ۲۸ | ۲۸ |
| ۱۶ | ۶۷۳۱۵۱ | ۳۲۰۷۴۷۷ | ۳۳ | ۳۵ |
| ۱۷ | ۶۷۲۵۹۶ | ۳۲۰۰۳۷۰ | ۳۰ | ۳۶ |
| ۱۸ | ۶۸۰۵۴۴ | ۳۲۰۵۸۴۶ | ۳۰ | ۳۵ |
| ۱۹ | ۶۷۷۱۴۳ | ۳۱۹۹۴۹۸ | ۴۸ | ۴۷ |

قنات بعد از وقوع زلزله زیاده‌تر شده است. بر طبق آماربرداری اداره آبیاری بم بر روی ۲۱۴ رشته قنات در منطقه مطالعاتی، ۱۵۰ رشته کمتر از ۸۰ درصد، ۳۰ رشته بین ۸۰ تا ۹۰ درصد و ۳۴ رشته نیز ۱۰۰ درصد در اثر زمین لرزه تخریب شده و آبدهی آن‌ها کاهش و یا کاملاً خشک شده‌اند. البته در اثر زمین لرزه در بعضی از قنات‌ها به دلیل درز و شکافی که در دیواره‌ی مادر چاه قنات ایجاد شده باعث افزایش خلل و فرج رسوبات شده و نفوذپذیری را از سازند به طرف مادر چاه افزایش داده است و آبدهی قنات بعد از وقوع زلزله زیاده‌تر شده است. تخریب قنات‌ها به هر دلیلی که اتفاق افتاده مستقیماً بر روی آبدهی آن تأثیر گذاشته است. معمولاً آبدهی قنات بعد از زمین لرزه کاهش می‌یابد. اما گاهی نیز به دلایلی از جمله حرکت زمین و تغییر شیب آبخوان و خشک شدن یا کاهش آبدهی قنات مجاور، آبدهی بعضی از قنات‌ها افزایش می‌یابد. طبق بررسی‌های انجام شده ۴۵/۸ درصد از قنات‌ها خشک و آبدهی حدود ۲۲/۹ درصد از قنات‌ها کاهش یافته است. همچنین آبدهی ۱۷۷ درصد از قنات‌ها بعد از زلزله افزایش یافته است (سالاری ۱۳۸۴). با توجه به مطالب ذکر شده و با مقایسه آبدهی قنات‌ها در این دوره‌های زمانی مشخص شده، علت تغییر آبدهی قنات‌ها بعد از زلزله در دشت بم در اثر عوامل زیر می‌باشد:

- ۱- تغییر جهت و شیب آب زیرزمینی، ۲- واکنش متفاوت رسوبات و سازندهای مختلف منطقه نسبت به حرکت و جابه‌جایی امواج زلزله، ۳- قطع رشته قنات‌ها توسط زون برشی گسل، ۴- ریزش دیواره‌ی قنات.
- به‌طور کلی می‌توان گفت در اثر تغییرات جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه به خصوص تغییر شیب آب زیرزمینی و جهت جریان در محدوده‌ی



تصویر ۳. مقایسه آبدهی چاه‌های دشت بم قبل و بعد از زلزله.

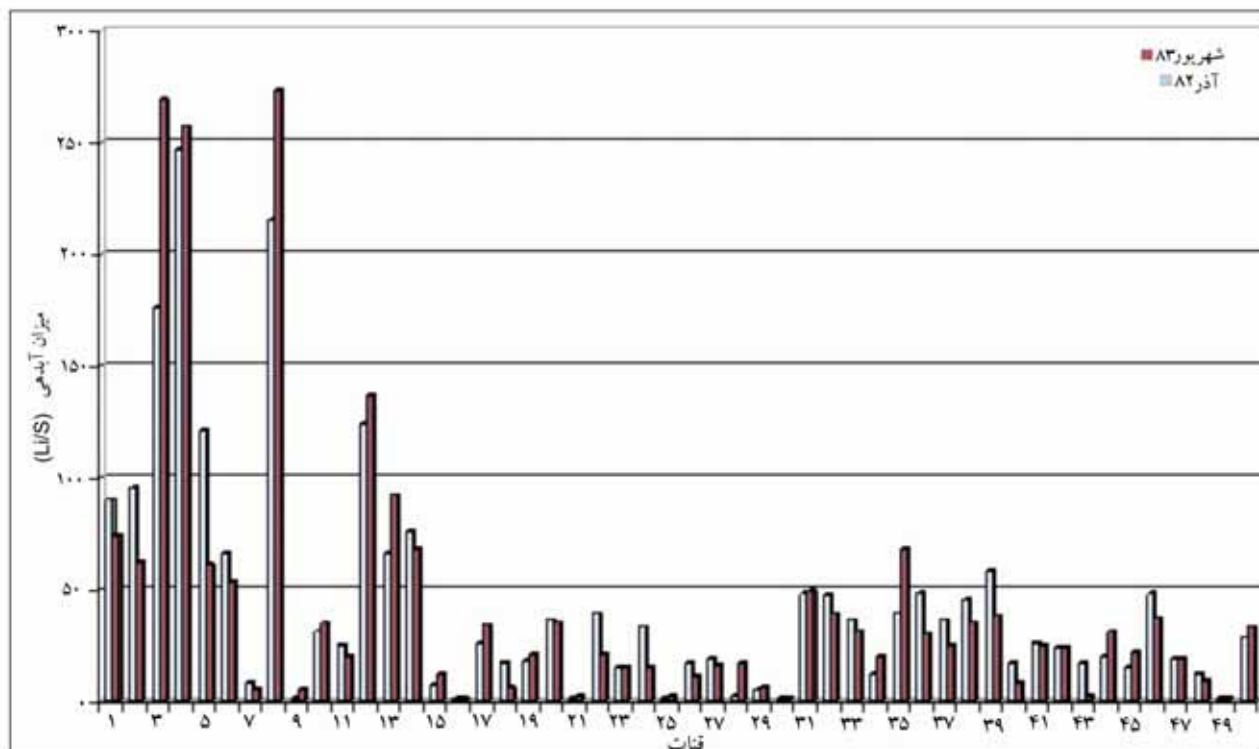
به دلیل این که جهت جریان آب زیرزمینی در دشت بم از غرب به شرق می باشد در نتیجه عمق آب زیرزمینی به تدریج به طرف شرق کاهش یافته و در انتهای دشت به کمتر از ۱۰ متری سطح زمین می رسد (بهندسین مشاور آبساران ۱۳۷۷).

با مقایسه ی عمق آب زیرزمینی در مهرماه سال ۸۲ (قبل از زلزله) و مهرماه ۸۳ (بعد از زلزله) سطح آب زیرزمینی در اغلب چاه ها افزایش یافته و تنها در ۶ پیزومتر در دشت کاهش عمق آب زیرزمینی مشاهده شده است (پیزومتر شماره ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۲۵، ۲۶، ۳۴). علت کاهش عمق آب در اثر حرکت امواج زلزله واکنش متفاوت نقاط مختلف دشت نسبت به انتقال و جابه جایی این امواج می باشد. البته امواج زلزله و حرکت گسل باعث شده ضمن تغییراتی که در بافت و خلل و فرج رسوبات ایجاد کرده میزان نفوذپذیری، از سازند آبدار به پیزومترها کاهش یابد و عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی در بعضی از پیزومترها افزایش پیدا کند. برعکس در بعضی از پیزومترها، میزان نفوذپذیری از سازند آبدار به طرف چاه افزایش یافته و سطح آب زیرزمینی بالا آمده و عمق رسیدن به سطح آب کاهش پیدا کرده است. با دور شدن از گسل بم روند افزایش عمق سطح آب زیرزمینی هماهنگ و منظم می گردد و تعدادی از پیزومترها که مجاور گسل قرار دارند کاملاً خشک و تخریب شده اند. مانند پیزومتر شماره ۵۰ در غرب گسل بم به دلیل مجاورت با گسل تخریب و آب آن خشک شده است. علاوه بر این پیزومترهای شماره ۲۲ (اکتشافی بروات) ۲۰ (بین دو شاخ دولت آباد انصاری) نیز تخریب و خشک شده اند. در شرق گسل بم پیزومترهای شماره ۹ (کریم آباد اسدی به بالا)، ۳۳

گسل بم باعث تغییر آبدهی قنات بعد از زلزله شده است. در قسمت شمال و شمال غربی دشت بم و در طرف غرب گسل بم به دلیل تغییرات شدید جهت جریان آب زیرزمینی بعد از وقوع زلزله، اکثر قنات کاملاً خشک و یا آبدهی آن ها به شدت کاهش پیدا کرده است. در تصویر ۵ شکل چند رشته از قنات های منطقه مطالعاتی نسبت به گسل بم بر روی عکس هوایی نشان داده شده است.

۷. مقایسه ی عمق آب زیرزمینی قبل و بعد از وقوع زلزله

با استفاده از آمار سطح آب چاه های مشاهده ای منطقه، نقشه هم عمق آب زیرزمینی دشت بم قبل از وقوع زلزله و بعد از وقوع زلزله تهیه شده است. با توجه به این نقشه ها عمق سطح آب زیرزمینی در قسمت غرب، شمال غربی و جنوب غربی دشت نسبت به شرق، جنوب شرقی و جنوب دشت زیادتر می باشد. به طور کلی حداکثر عمق آب زیرزمینی در قسمت غربی (مجاور گسل بم) و جنوب غرب، حدود ۶۰ متر بوده که به تدریج به سمت شمال شرق کاهش می یابد. حداقل عمق آب زیرزمینی در مجاورت زهکش نرماشیر در شمال شرق منطقه کمتر از ۲۵ متر است. البته در مجاورت زهکش نرماشیر به دلیل برداشت مصنوعی از آبخوان ناهماهنگی هایی در عمق آب زیرزمینی مشاهده می شود. عمق آب زیرزمینی در بخش شرقی سفره کمتر از سایر قسمت های دشت و عموماً کمتر از ۳۰ متری از سطح زمین می باشد. حداکثر عمق آب زیرزمینی در دامنه های جنوب این بخش حدود ۳۰ متر بوده که به تدریج به طرف شمال و شرق سفره کاهش می یابد.



تصویر ۴. آبدهی قنات در دشت بم قبل و بعد از وقوع زمین لرزه.

داشته و در شرق دشت که شیب هیدرولیکی تغییر نکرده جهت جریان غربی-شرقی است. در مرکز دشت نیز جهت جریان تغییر نکرده و از غرب به شرق می‌باشد. در جنوب دشت، شیب هیدرولیکی به میزان کمی به سمت جنوب منحرف شده (کمتر از ۵ درجه) و جهت جریان از شمال غرب به طرف شرق می‌باشد. تغییرات شیب هیدرولیکی و جهت جریان در اطراف گسل بم زیادتر است. این تغییرات در اثر حرکت گسل (امتداد لغز راستگرد) ایجاد شده است. براساس اطلاعات به دست آمده شیب هیدرولیکی در غرب گسل حدود ۱۰-۵ درجه به سمت جنوب منحرف شده است. در سمت راست گسل شیب هیدرولیکی به سمت شمال انحراف پیدا کرده است. در اطراف گسل جهت جریان از حالت غربی-شرقی به حالت شمال غربی-جنوب شرقی در آمده است. با دور شدن از گسل بم و حرکت به سمت شرق دشت، تغییرات شیب هیدرولیکی و جهت جریان کمتر شده و جریان حالت غربی-شرقی خود را حفظ می‌کند.

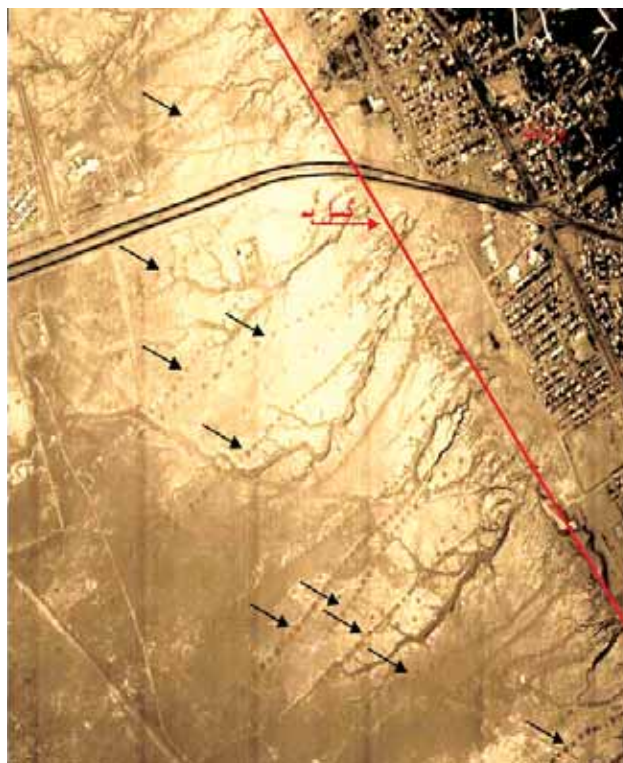
۹. نتیجه‌گیری

زمین لرزه‌ی مخرب سال ۱۳۸۲ بم به دلیل فعالیت گسل ناشناخته ارگ بم باعث تغییر در خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان دشت بم و تغییرات کمی در این آبخوان شده است. این تغییرات در محدوده‌ی اطراف گسل ارگ بم بیشتر بوده و به صورت تغییر در میزان آبدهی قنات و چاه‌ها، افت سطح آب زیرزمینی، تغییر شیب هیدرولیکی و جهت جریان آب زیرزمینی مشاهده شده است.

افت سطح تراز آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۳ (بعد از وقوع زمین لرزه) در مقایسه با سال‌های گذشته شدیدتر بوده و عامل آن حرکت گسل ارگ بم و تأثیر امواج لرزه‌ای ناشی از فعالیت آن بر روی آبخوان بم بوده است.

میزان آبدهی قنات و چاه‌ها بعد از زلزله در شمال و غرب دشت کاهش و در جنوب و مرکز دشت افزایش داشته است. البته هر چه به طرف گسل بم نزدیک شویم چاه‌هایی که در طرف شرق گسل قرار دارند از میزان آبدهی آن‌ها کاسته شده و چاه‌هایی که در غرب گسل قرار دارند میزان آبدهی آن‌ها افزایش یافته است. عملکرد مؤلفه شیب لغز گسل در شرق گسل باعث ایجاد تنش‌های تراکمی و کاهش خلل و فرج و تخلخل رسوبات شده است. در غرب گسل تنش کششی حاکم بوده و باعث افزایش درز و شکاف و خلل و فرج در رسوبات آبخوان شده و آبدهی چاه‌ها افزایش یافته است.

در برخی قنات، قطع شدگی آن‌ها توسط زون برشی گسل و جابجایی مسیر قنات باعث کاهش آبدهی و یا خشک شدن آن‌ها بوده است. با توجه به متراکم بودن قنات در منطقه‌ی بم تغییر در آبدهی یک قنات بر روی قنات مجاور تأثیر به‌سزایی داشته است.



تصویر ۵. تصویر چند رشته قنات در دشت بم بر روی عکس هوایی (Zare and Eshghi 2003)

(نظام آباد)، ۳۷ (مهدی آباد روداب) و ۴۰ (حسین آباد اصغرخان) که در مجاورت گسل قرار دارند، تحت تأثیر حرکت گسل قرار گرفته و تخریب شده‌اند.

۸. مقایسه‌ی جهت جریان و شیب هیدرولیکی قبل و بعد از زمین لرزه

بررسی جهت جریان آب‌های زیرزمینی در مهرماه ۸۲ نشان می‌دهد که جهت جریان قبل از وقوع زمین لرزه در مرکز دشت غربی-شرقی و در شمال دشت از شمال غرب به جنوب شرق بوده است. جهت جریان در شرق دشت از غرب به شرق بوده و جهت جریان در غرب دشت از شمال غرب به جنوب شرق و در جنوب دشت از سمت غرب به سمت شرق بوده است. با مقایسه‌ی جهت جریان بعد از زلزله سال ۸۲ و جهت جریان قبل از زلزله مشخص شده که تأثیر امواج زلزله بر روی سازندهای آبدار سفره‌ی آب زیرزمینی باعث تغییراتی در شیب هیدرولیکی شده و با تغییر شیب، جهت جریان آب زیرزمینی تغییر کرده است. بعد از وقوع زلزله شیب هیدرولیکی در شمال دشت حدود ۱۰-۵ درجه به سمت شمال منحرف شده و جهت جریان به صورت غربی-شرقی در آمده است.

در غرب دشت شیب هیدرولیکی به میزان خیلی ناچیزی به سمت جنوب منحرف شده (کمتر از ۵ درجه) و جریان جهت شمال غرب به جنوب شرق

۱۰. مراجع

- of local soil and foundations in Bam city during the 2003 Bam", *Earthquake in Iran. Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 79: 69-80*
- Zare, M., & Eshghi, S., 2003**, "Seismological aspect of Bam (SE Iran) Earthquake of 26 December 2003, MW 6.5", *A preliminary Reconnaissance Report. Website: [http://www.Mehdizare.com/lecture-present.htm#NEW%20Journal%20Paper%20\(Updated%207%20April%202000\)](http://www.Mehdizare.com/lecture-present.htm#NEW%20Journal%20Paper%20(Updated%207%20April%202000))*
- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۷۲، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی بم، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آقابیاتی، ع.، ۱۳۷۴، شرح نقشه ی زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش بم، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سالاری، ع.، ۱۳۸۴، اثرات زمین لرزه ی بم بر روی آبخوان دشت بم از نظر کمی، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- حسینی، س.ع.، ۱۳۸۴، بررسی خصوصیات ژئوتکتونیک دشت بم، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد.
- حمزه، م.، ۱۳۸۱، مطالعات آبیاری بم، گزارش ادامه مطالعات دشت بم، ۳۰۰ ص.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۶، سنگ شناسی دگرگونی، دانشگاه پیام نور، ۳۶۴ ص.
- فدایی زاده، ح.، ۱۳۸۲، گزارش ادامه مطالعات دشت بم-نرماشیر، مطالعات آبیاری بم، ۸۰ ص.
- مهندسین مشاور آبساران، ۱۳۷۷، گزارش آماری آب های زیرزمینی دشت بم و نرماشیر، ۲۵۰ ص.
- مهندسین مشاور آبکاو، ۱۳۸۰، گزارش حفاری چاه های مشاهده ای محدوده های مطالعاتی بم و رحمت آباد، شرکت سهامی آب منطقه ای کرمان، ۴۱ ص.
- مهندسین مشاور آبکاو، ۱۳۵۱، مطالعات ژئوالکتریکی ناحیه ی بم و نرماشیر، ۲۵ ص.
- ناظم زاده شعاعی، م.، ۱۳۸۳، گزارش مشاهدات و بررسی های اخیر در منطقه زلزله زده بم-بروات، مدیریت زمین شناسی شعبه کرمان، ۱۰ ص.
- Atsumi, T., & Okano, K., 2004**, "Disaster relief from Kobe and it's significance in the Bam, Iran Earthquake of December 26, 2003", *Journal of Seismology, Vol.69: 163-169*.
- Aghanabati, A., 1995**, "Explanatory text of the Bam quadrangle map 1: 250000", *G. S. I (Geological Survey of Iran), 81 p*.
- Okumura, K., Kondo, H., Azuma, T., Echigo, T. & Hessami, K., 2004**, "Surface effects of the December 26th, 2003 Bam earthquake along the Bam fault in south-eastern Iran", *Bam. Bull. Earth Res. Inst. Univ. Tokyo, Vol.79: 29-36*.
- Polrincon, T., 2004**, "Report Bam earthquake", *Scientific Newspaper of BBC, 2pp. <http://www.Farsi BBC.com>*
- Suzuki, S., Fatemi Aghda, S.A., Nakamura, T., Matsushima, T., Ibo, Y., Sadeghi, H., Maleki, M., Jafar Gandomi, A. & Hosseini, S. K., 2004**, "Temporal seismic observation and preliminary hypocenter determination of aftershocks of the 2003 Bam earthquake, southeastern Iran", *Bam Bull. Earth Res. Inst. Univ., Tokyo, Vol. 79: 37-45*.
- Suzuki, S., Kabeyasawa, T. & Hirata, N., 2004**, "Preface of special Issue", *Reconnaissance Report on the 2003 Bam Earthquake in southeastern Iran*
- Talebian, M., Fielding, J., Gharashi, M. & Nazari, H., 2004**, "The 2003 Bam (Iran) earthquakes, blind strike-slip fault", *Geophysical Research Letters, Vol. 31: L11611*
- Towhata, I., Ghalandarzadeh, A., Shahnazari, H., Mohajeri, M. & Shafiee, A., 2004**, "Seismic behavior or