



## بررسی کمی اثرات زمین‌لرزه سال ۱۳۸۲ بم بر روی آبخوان دشت بم

غلامرضا لشکری‌پور<sup>۱</sup> و هادی سالاری<sup>۲</sup>

(۱) استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد lashkarg@hamoon.usb.ac.ir

(۲) گروه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

### مکیده

دشت بم در شرق استان کرمان و در حاشیه‌ی کویر لوت قرار دارد این دشت با وسعت ۴۳۵۷ کیلومتر مربع جزئی از حوضه‌ی آبریز کویر لوت محسوب می‌گردد 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 می‌باشد. زمین‌لرزه‌ی مخرب ۵ دی ماه ۱۳۸۲ با بزرگی حدود ۶.۵ درجه در مقیاس ریشتر از نظر هیدروژئولوژی باعث تغییرات کمی این آبخوان شده است. سبب اصلی این زمین‌لرزه گسل ناشناخته‌ای موسوم به گسل ارگ بم می‌باشد. این گسل انشعابی از گسل بم بوده و ساختار آن به صورت یک زون گسلی با عملکرد امتداد لغز راستگرد می‌باشد. تغییرات کمی ایجاد شده در آبخوان به صورت تغییر در میزان آبدهی قنوات و چاه‌ها 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 سال‌های قبل از آن مقایسه و مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، آب‌های زیرزمینی، زلزله گسل بم، کویر لوت.

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

G. R. Lashkaripour<sup>1</sup> & H. Salari<sup>2</sup>

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.

شهر بم از سطح دریا ۱۰۶۷ متر و ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا ۹۶۰ متر است. وسعت کل حوضه‌ی آبریز این دشت حدود ۹۶۹۶ کیلومتر مربع می‌باشد که ۴۳۵۷ کیلومتر مربع آن به دشت اختصاص دارد (مهندسین مشاور آبساران ۱۳۷۷). شهر بم دارای آب و هوایی خشک و کویری بود.

### ۱. مقدمه

دشت بم بین طول‌های جغرافیایی ۱۵° تا ۳۰' ۵۷° شرقی و عرض‌های ۳۰' تا ۲۸' ۴۵° شمالی واقع شده است. شهر بم در مرکز این دشت در فاصله‌ی حدود ۲۰۷ کیلومتری جنوب شرق کرمان قرار دارد این شهر یکی از شهرهای تاریخی و مهم استان کرمان محسوب می‌گردد. در تصویر ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه نشان داده شده است. این دشت قسمتی از حوضه‌ی آبریز کویر لوت محسوب شده و وسعت آن ۴۳۵۷ کیلومتر مربع می‌باشد. ارتفاع مرکز

۲۷۵ رشته قنات انجام می‌گیرد. بعد از زلزله تعداد زیادی از این چاه‌ها و قنات تخریب و یا کاملاً خشک گردیده‌اند (فدایی‌زاده ۱۳۸۲).

## ۲. زمین‌شناسی منطقه

دشت بم از نظر تقسیم‌بندی زمین‌شناسی جزء ایران مرکزی (میانی) محسوب می‌گردد. این دشت از جنوب با کوه‌های سلسله جبال بارز که از مرتفع‌ترین کوه‌های استان کرمان است محصور می‌گردد. کوه کشیت در قسمت شمال غربی و غرب دشت، و لوت زنگی احمد در قسمت شمال آن قرار دارد (آقباتی ۱۳۷۴). اغلب سنگ‌های این کوه‌ها آذرین و سازندهای رسوبی حاشیه‌ی جنوبی دشت در نوار سلسله جبال بارز، شامل سازند کنگلومراتی میوپلیوسن (نئوژن) می‌باشند (افتخارنژاد ۱۳۷۲).

در این منطقه رسوبات مربوط به کامبرین دیده نمی‌شود. قدیمی‌ترین رسوبات مزوزوئیک که در این ناحیه بیرون زدگی دارند مربوط به ژوراسیک میانی می‌باشند. این رسوبات در حاشیه‌ی غربی کوه خانه خاتون - شمال غربی دشت قرار دارند. رخنمون‌های مربوط به سنوزوئیک بیشتر شامل سنگ‌های آندزیت، بازالت به اتفاق سنگ‌های پیروکلاستیک است که در کوه‌های فاش کوه و دسک مشاهده می‌شود و ائوسن بالائی که شامل پیروکلاستیک، ماسه‌سنگ توفی، ریولیت‌های تجزیه شده و ریوداسیت، تراکی آندزیت، خاکستر آتشفشانی، آگلومرا و گدازه‌های بازالتی و لایه‌های نازک آهک ائوسن میانی می‌باشد. این رسوبات در کوه‌های شرق ابارق منطقه‌ی تیگرو آب تلخک و کوه‌های شمال فهرج و شمال شهر بم بیرون زدگی دارند.

دشت بم دشت آبرفتی است که بر روی آبرفت‌های کوترنر قرار گرفته است. این آبرفت‌ها در دامنه دانه‌درشت بوده و محل مناسبی برای اجرای پروژه‌های تغذیه‌ی مصنوعی می‌باشند. رسوبات کوترنری شامل گراول‌های قدیمی و جوان و تراس‌های رودخانه‌ها و آبرفت‌های جوان و پهنه‌های رسی می‌باشد. گراول‌های قدیمی از قلوه‌هایی با گردش‌گی خوب از سنگ‌های ائوسن و نفوذی که رنگ آن تیره بوده و سخت می‌باشد تشکیل شده‌اند. تراس‌های رودخانه‌ی نساء که اغلب دانه‌های هتروژن بوده و اندازه‌ی آن‌ها متفاوت می‌باشد. در بین این رسوبات تخته سنگ‌های بزرگ تا ذرات سیلت دیده می‌شود. آبرفت دشت از ذرات ریز تشکیل یافته که از نظر تشکیل تابع جریانات سیلابی است (فدایی‌زاده ۱۳۸۲).

به‌طورکلی مخروط افکنه‌هایی که از ارتفاعات شمالی و جنوبی (جبال بارز) منشأ گرفته‌اند، دشت مسطح و همواری را تشکیل داده‌اند که شهرهای بم و بروات در منتهی‌الیه آن‌ها بنا شده‌اند (مهندسین مشاور آبساران ۱۳۷۷).



تصویر ۱. نقشه‌ی موقعیت و راه‌های دسترسی منطقه.

میزان بارندگی در منطقه بسیار کم است. متوسط بارندگی سالانه‌ی شهر بم حدود ۶۰ میلیمتر و متوسط درجه حرارت سالانه‌ی آن ۲۳ درجه سانتیگراد می‌باشد. شغل عمده‌ی ساکنین این منطقه کشاورزی و باغداری است و تأمین آب مورد نیاز برای کشاورزی، شرب و... از طریق بهره برداری از منابع آب زیرزمینی (قنات و چاه‌ها) تأمین می‌گردد. وقوع زلزله‌ی ۵ دی‌ماه ۱۳۸۲ و حرکت گسل ارگ بم بر منابع آب زیرزمینی و به‌ویژه در تخریب و تغییرات آبدهی قنات و چاه‌های منطقه مؤثر بوده است. در این مقاله علت کاهش و یا افزایش آبدهی قنات و چاه‌های اطراف گسل بم قبل و بعد از زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. در منطقه‌ی بم کل سطح زیر کشت زراعات و باغات با استفاده از منابع آب زیرزمینی به‌وسیله قنات و چاه‌ها آبیاری می‌گردد. وضعیت آب و هوایی منطقه از دامنه‌ی سلسله جبال بارز به سمت شمال شرقی به طرف دشت بم به‌سرعت به سمت شرایط خشک و کویری میل می‌کند به‌طوری‌که در شمال‌شرق دشت متوسط نزولات جوی سالانه به میزان ناچیزی می‌رسد (حمزه ۱۳۸۱). بهره برداری از منابع آبی دشت بم - نرماشیر توسط ۷۶۸ حلقه چاه (۶۰۵ چاه عمیق، ۱۶۳ چاه نیمه عمیق) و

### ۳. تکتونیک منطقه‌ی مطالعاتی

این منطقه در کامبرین وضعیتی شبیه دیگر قسمت‌های ایران داشته یعنی حالت پلاتفرم در آن حاکم بوده است. در دوران‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک منطقه‌ی پرتحرکی از لحاظ تکتونیکی محسوب می‌شده به طوری که فعالیت ماگمایی به صورت سنگ‌های ولکانیکی خروجی و نفوذی همراه بوده است. این تحرک در کواترنر و عصر حاضر ادامه داشته و باعث شکستگی‌های متعددی در آبرفت دشت شده و حالت پلکانی در آن ایجاد نموده است (Aghanabati 1995). علاوه بر گسل‌های فعال جوان فعالیت سنگ‌های خروجی با ترکیب بازالت در کواترنر در چند منطقه مشاهده می‌گردد (درویش زاده ۱۳۷۶).

در این منطقه چندین گسل تشخیص داده شده است. مهمترین این گسل‌ها شامل گسل بم، گسل دارزین، گسل فهرج، گسل کنگرو و گسل ارگ بم (گسل کور) می‌باشند. از میان این گسل‌ها، گسل بم نقش مهمی در شکل‌گیری آبخوان دشت بم داشته است. مسبب اصلی زمین‌لرزه پنجم دی‌ماه ۱۳۸۲ گسل ارگ بم بوده که به نظر می‌رسد 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 بروت و با امتداد تقریباً شمالی - جنوبی می‌گذرد که قسمت شرقی آن به صورت یک پله‌ی تکتونیکی پائین افتاده است (Towhata et al. 2004). این گسل قسمتی از رسوب‌های 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 می‌دهد که باعث جابه‌جایی سازندهای زمین‌شناسی شده است.

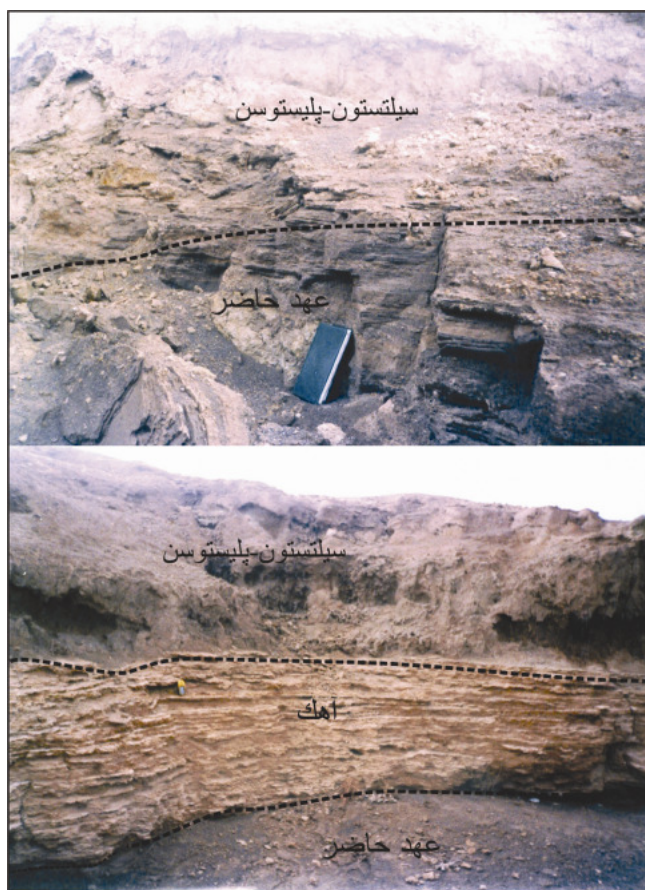
گسل بم دارای طول تقریبی ۶۵ کیلومتر و امتداد NNW-SSE می‌باشد (Atsumi et al. 2004). گسل ارگ بم با طولی در حدود ۱۰ کیلومتر در ۴ کیلومتری غرب گسل بم واقع شده و عملکرد آن مشابه گسل بم، امتداد لغز راستگرد می‌باشد (ناظم‌زاده شعاعی ۱۳۸۳).

### ۴. هیدروژئولوژی منطقه

آبرفت‌های دشت بم بر روی کنگلومرای نئوژن قرار گرفته که به این جهت این کنگلومرا سست بافت سنگ کف سفره‌ی آب زیرزمینی را در بیشتر قسمت‌های دشت بم تشکیل می‌دهد (مهندسین مشاور آبکاو ۱۳۸۰). بررسی‌های اکتشافی صورت گرفته در دشت شامل مطالعات ژئوفیزیکی به روش ژئوالکتریک و حفاری اکتشافی می‌باشد. نظر به این‌که جنس سنگ کف کنگلومرای سست بافت می‌باشد از نظر مقاومت الکتریکی تقریباً

مشابه آبرفت بوده و تفکیک آن از آبرفت مشکل است. به همین دلیل تنها به کمک مطالعات ژئوفیزیکی نمی‌توان 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 سفره‌ی آب زیرزمینی در قسمت‌های جنوبی دشت از نوع آزاد بوده و به طرف شمال به تدریج آبرفت‌ها دانه ریزتر شده و در بین آن‌ها لایه‌های دانه ریز از جنس رس و سیلت به صورت زبانه‌ای (Interfingering) به وجود آمده است. به همین دلیل در قسمت‌های شمالی دشت به خصوص در مجاورت زهکش نرماشیر، لایه‌های آبدار تحت فشار در عمق تشکیل گردیده است. با این وجود سفره در بخش‌های شرقی و غربی دشت از نوع آزاد می‌باشد (شرکت مهندسی آبکاو ۱۳۵۱).



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

منبع اصلی تغذیه‌ی طبیعی سفره‌ی آب زیرزمینی دشت بم را جریان‌های سطحی ورودی به دشت تشکیل می‌دهند که مهمترین آن‌ها رودخانه‌های

وجود دارد تغییرات در سنگ‌ها 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 می‌دهد که رسوبات طرف شرق گسل ( $Qm_2$ ) جوان‌تر از رسوبات غرب گسل ( $Qm_1$ ) بوده و بنابراین این رسوبات سست‌تر و نرم‌تر می‌باشند. لذا در برابر امواج زلزله‌ای مقاومت بیشتری از خود نشان داده و در طی زمین‌لرزه تغییرات بیشتری در بافت آن‌ها بوجود آمده است. ، در اثر تغییرات پارامترهای هیدروژئولوژیکی آبخوان و تغییرات بافت رسوبات، آبدهی چاه‌هایی حفر شده در این رسوبات کاهش یافته است.

در جدول ۱ و تصویر ۳ آبدهی چاه‌های دشت بم در آذر ماه ۱۳۸۲ (قبل

نساء، فاشکوه (آدوری)، تهرود (پشت رود) و تعدادی مسیل دیگر می‌باشد (سالاری ۱۳۸۴).

قسمت اعظم جریان‌های سطحی در آبرفت‌های دانه درشت در حاشیه دامنه جبال بارز نفوذ می‌کند و به‌صورت جریان زیرزمینی وارد سفره دشت بم می‌گردد. در دشت بم ۲۷۵ رشته قنات وجود دارد. مادر چاه اغلب این قنات در مجاورت مخروط افکنه‌های آدوری و نساء قرار گرفته و به همین دلیل آبدهی قنات این دشت نسبتاً زیاد است (فدایی‌زاده 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 می‌گردد. 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. به‌دلیل تأثیر زلزله تعدادی از قنات و چاه‌ها تخریب شده‌اند.

## ۵. اثرات زلزله بر روی آبخوان بم از نظر کمی

زمین‌لرزه‌ی بم سبب تغییر خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان مانند نفوذپذیری ( $K$ ) ضریب ذخیره ( $S$ ) و قابلیت انتقال آبخوان ( $T$ ) و به‌طورکلی تغییرات کمی آبخوان دشت بم شده است. با بررسی آبدهی چاه‌های دشت بم در آذرماه ۱۳۸۲ (قبل از وقوع زلزله) و مقایسه‌ی آن با آبدهی چاه‌ها در اردیبهشت ماه ۱۳۸۳ بعد از وقوع زلزله نشان می‌دهد که آبدهی چاه‌ها 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 چاه‌هایی که در طرف شرق گسل قرار دارند آبدهی آن‌ها کاهش یافته و چاه‌های طرف غرب گسل همراه با افزایش آبدهی بوده‌اند. در اثر تنش‌های وارد شده و عملکرد گسل به‌صورت سازوکار غالب امتداد لغز راستگرد با مؤلفه‌ی شیب‌لغز باعث شده تا چاه‌هایی که در طرف شرق گسل قرار دارند به‌دلیل حرکت گسل و تنش‌های کمپرسیونی (تراکمی) بافت خاک و رسوبات تغییر کند و خلل و فرج رسوبات و تخلخل (آبدهی ویژه) آن‌ها 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 چاه‌ها افزایش یافته است (Okumura et al. 2004).

به‌طورکلی امواج زلزله در سازندهای سخت انرژی کمتری را جهت انتقال مصرف می‌کنند. بنابراین چون در برخی از نقاط دشت سازندهای سخت

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

شماره چاه	X	Y	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	۳۲۱۰۹۹۰	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

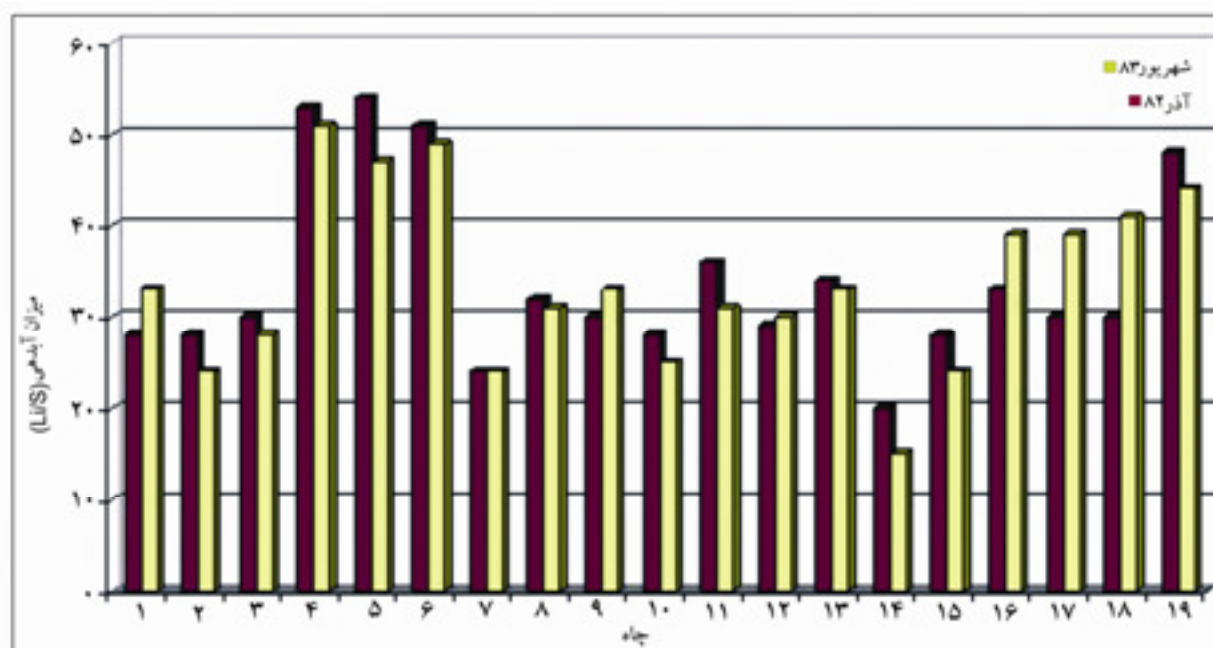


آماربرداری اداره آبیاری بم بر روی ۲۱۴ رشته قنات در منطقه مطالعاتی، ۱۵۰ رشته کمتر از ۸۰ درصد، ۳۰ رشته بین ۸۰ تا ۹۰ درصد و ۳۴ رشته نیز ۱۰۰ درصد در اثر زمین لرزه تخریب شده و آبدهی آنها کاهش و یا کاملاً خشک شده‌اند. البته در اثر زمین لرزه در بعضی از قنات به دلیل درز و شکافی که در دیواره‌ی مادر چاه قنات ایجاد 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 زیادتر شده 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 آنها کاهش و یا کاملاً خشک شده‌اند. البته در اثر زمین لرزه در بعضی از قنات 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 زیادتر 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،

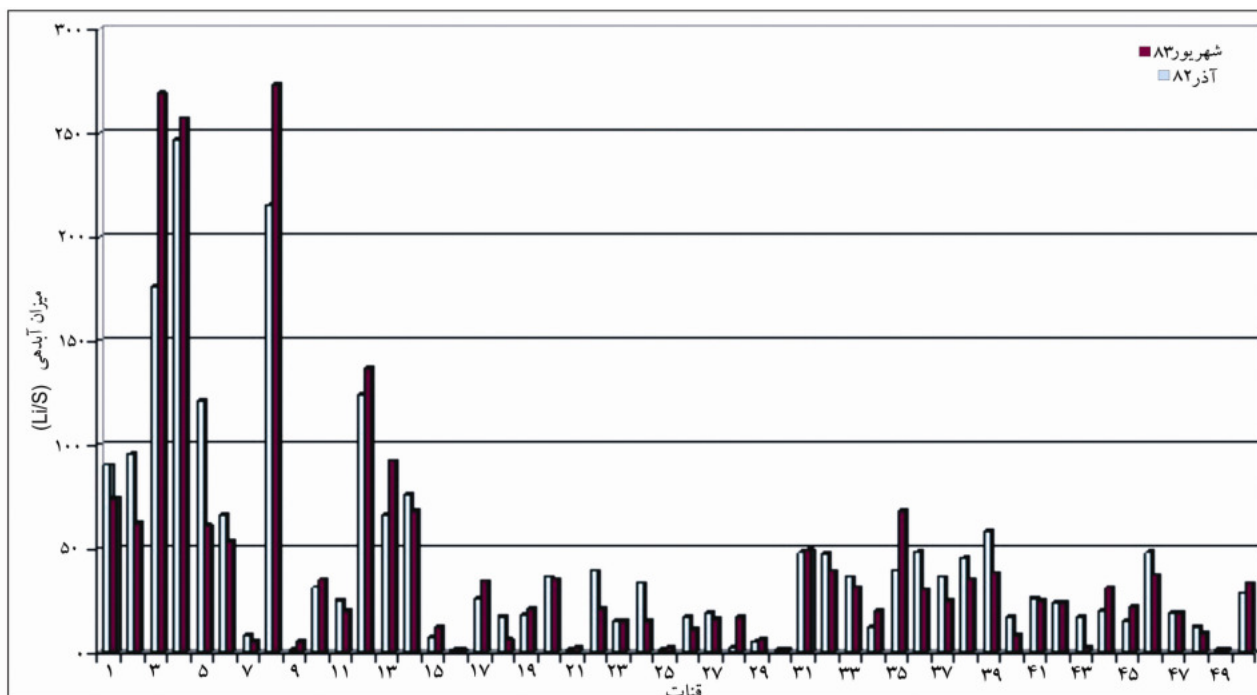
از زلزله) و اردیبهشت ۱۳۸۳ (بعد از زلزله) جهت مقایسه با یکدیگر نشان داده شده است. با توجه به مقایسه‌ی انجام شده کاهش و یا افزایش آبدهی در منطقه تنها به دلیل تأثیر امواج زلزله بر روی رسوبات منطقه در جهات مختلف دشت بوده که بستگی به مقاومت و سختی رسوبات دارد که تغییر شکل در بافت آنها باعث تأثیر در خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان شده است. در نتیجه‌ی آبدهی چاه‌ها در بخش‌های مختلف دشت کاهش و یا افزایش داشته است (Talebian et al. 2004).

#### ۶. آبدهی قنات

به‌طورکلی در این تحقیق حدود ۴۸۵ 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 مهندسین شرکت پویان شیراز در بهمن ماه ۱۳۸۲ آبدهی بعضی قنات شامل قنات پاکم، علیاچشمه، حشرآباد، قاسم‌آباد پروات، رحمانیه، باغچمک، اکبرآباد و نوروزآباد پروات افزایش یافته است. قنات دیگری نیز با کاهش آبدهی مواجهه بوده است (مهندسین مشاور پویان شیراز ۱۳۸۳). با مقایسه‌ی آبدهی آذرماه ۸۲ (قبل از وقوع زلزله) و اردیبهشت و شهریورماه ۸۳ (بعد از وقوع زلزله) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که عامل تغییرات آبدهی در قنات دشت بم، تأثیر امواج زمین لرزه و فعالیت گسل بم می‌باشد (شکل ۴). در کاهش یا افزایش آبدهی یک قنات بر قنات دیگر تأثیر گذاشته است. برطبق



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



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

مطالعاتی نسبت به گسل بم بر روی عکس هوایی نشان داده شده است.

آبدی بعضی از قنات‌ها افزایش می‌یابد. طبق بررسی‌های انجام شده ۴۵/۸ درصد از قنات خشک و آبدی حدود ۲۲/۹ درصد از قنات کاهش یافته است. همچنین آبدی ۱۸/۷ درصد از قنات بعد از زلزله افزایش یافته است (سالاری ۱۳۸۴).



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

با توجه به مطالب ذکر شده و با مقایسه آبدی قنات در این دوره‌های زمانی مشخص شده، علت تغییر آبدی قنات 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 قنات توسط زون برشی گسل، ۴- ریزش دیواره‌ی قنات.

به‌طورکلی می‌توان گفت در اثر تغییرات جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه به‌خصوص تغییر شیب آب زیرزمینی و جهت جریان در محدوده‌ی گسل بم باعث تغییر آبدی قنات بعد از زلزله شده است. در قسمت شمال و شمال غربی دشت بم و در طرف غرب گسل بم به‌دلیل تغییرات شدید جهت جریان آب زیرزمینی بعد از وقوع زلزله، اکثر قنات کاملاً خشک و یا آبدی آن‌ها به شدت کاهش پیدا کرده است. در تصویر ۵ شکل چند رشته از قنات‌های منطقه

(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 زمین‌لرزه

بررسی جهت جریان آب‌های زیرزمینی در مهرماه ۸۲ نشان می‌دهد که جهت جریان قبل از وقوع زمین‌لرزه 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 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 قنوات و چاه‌ها، افت

## ۷. مقایسه‌ی عمق آب زیرزمینی قبل و بعد از وقوع زلزله

با استفاده از آمار سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای منطقه، نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی دشت بم قبل از وقوع زلزله و بعد از وقوع زلزله تهیه شده است. با توجه به این نقشه‌ها عمق سطح آب زیرزمینی در قسمت غرب، شمال غربی و جنوب غربی دشت نسبت به شرق، جنوب شرقی و جنوب دشت زیادتر می‌باشد. به‌طور 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 می‌یابد. حداقل عمق آب زیرزمینی در مجاورت زهکش نرمایش در شمال شرق منطقه کمتر از ۲۵ متر است. البته در مجاورت زهکش نرمایش به دلیل برداشت مصنوعی از آبخوان ناهماهنگی‌هایی در عمق آب زیرزمینی مشاهده می‌شود. عمق آب زیرزمینی در بخش شرقی سفره کمتر از سایر قسمت‌های دشت و عموماً کمتر از ۳۰ متری از سطح زمین می‌باشد. حداکثر عمق آب زیرزمینی در دامنه‌های جنوب این بخش حدود ۳۰ متر بوده که به تدریج به طرف شمال و شرق سفره کاهش می‌یابد. به دلیل این که جهت جریان آب زیرزمینی در دشت بم از غرب به شرق می‌باشد در نتیجه عمق آب زیرزمینی به تدریج به طرف شرق کاهش یافته و در انتهای دشت به کمتر از ۱۰ متری سطح زمین می‌رسد (مهندسین مشاور آباران ۱۳۷۷).

با مقایسه‌ی عمق آب زیرزمینی در مهرماه سال ۸۲ (قبل از زلزله) و مهرماه ۸۳ (بعد از زلزله) سطح آب زیرزمینی در اغلب چاه‌ها 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 و واکنش متفاوت نقاط مختلف دشت نسبت به انتقال و جابه‌جایی این امواج می‌باشد. 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 می‌گردد و تعدادی از پیزومترها که مجاور گسل قرار دارند کاملاً خشک و تخریب شده‌اند. 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 (اکشافی بروات) ۲۰ (بین دو شاخ دولت آباد انصاری) نیز تخریب و خشک شده‌اند. در شرق گسل بم پیزومترهای شماره ۹ (کریم آباد اسدیه بالا)، ۳۳ (نظام آباد)، ۳۷

ناظم‌زاده شعاعی، م.، ۱۳۸۳، "گزارش مشاهدات و بررسی‌های اخیر در منطقه زلزله زده بم - بروت"، مدیریت زمین‌شناسی شعبه کرمان، ۱۰ص.

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., Azima, T., Echigo, T. & Hessami, K., 2004, "Surface effects of the December 26<sup>th</sup>, 2003 Bam earthquake along the Bam fault in southeastern 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 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.Mehdzare.com/lecture-present.htm#NEW%20Journal%20Paper%20\(Updated%207%20April%202000\)](http://www.Mehdzare.com/lecture-present.htm#NEW%20Journal%20Paper%20(Updated%207%20April%202000))*

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 زمین‌لرزه) 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 قنوت 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 شیب‌لغز 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 قنوت، قطع‌شدگی آن‌ها توسط زون برشی گسل و جابجایی مسیر قنات باعث کاهش آبدهی و یا خشک شدن آن‌ها بوده است. با توجه به مترام بودن قنوت در منطقه‌ی بم تغییر در آبدهی یک قنات بر روی قنوت مجاور تأثیر به‌سزایی داشته است.

## ۱۰. مراجع

افتخارزاد، ج.، ۱۳۷۲، "نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی بم"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

آقابیانی، ع.، ۱۳۷۴، "شرح نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش بم"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

سالاری، ه.، ۱۳۸۴، "اثرات زمین‌لرزه‌ی بم بر روی آبخوان دشت بم از نظر کمی"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان.

حسینی، س. ع.، ۱۳۸۴، "بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی دشت بم"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد.

حمزه، م.، ۱۳۸۱، "مطالعات آبیاری بم"، گزارش ادامه مطالعات دشت بم، ۳۰۰ ص.

درویش‌زاده، ع.، ۱۳۷۶، "سنگ‌شناسی دگرگونی"، دانشگاه پیام نور، ۳۶۴ ص.

فدایی‌زاده، ح.، ۱۳۸۲، "گزارش ادامه مطالعات دشت بم - نرماشیر"، مطالعات آبیاری بم، ۱۰ ص.

مهندسین مشاور آبساران، ۱۳۷۷، "گزارش آماری آب‌های زیرزمینی دشت بم و نرماشیر"، ۲۵۰ ص.

مهندسین مشاور آبکاو، ۱۳۸۰، "گزارش حفاری چاه‌های مشاهده‌ای محدوده‌ی مطالعاتی بم و رحمت‌آباد"، شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۴۱ ص.

مهندسین مشاور آبکاو، ۱۳۵۱، "مطالعات ژئوالکتریکی ناحیه‌ی بم و نرماشیر"، ۲۵ ص.