

گزارش فوری و مقدماتی پدیده های زمین شناسی مهندسی و
ژئوتکنیک مرتبط با زلزله ۱۳۸۲/۱۰/۵ بم

کامبد امینی حسینی
محمد رضا مهدویفر
محمد کشاورز بخشایش
معصومه رخشنده



۱۳۸۲/۱۰/۱۶

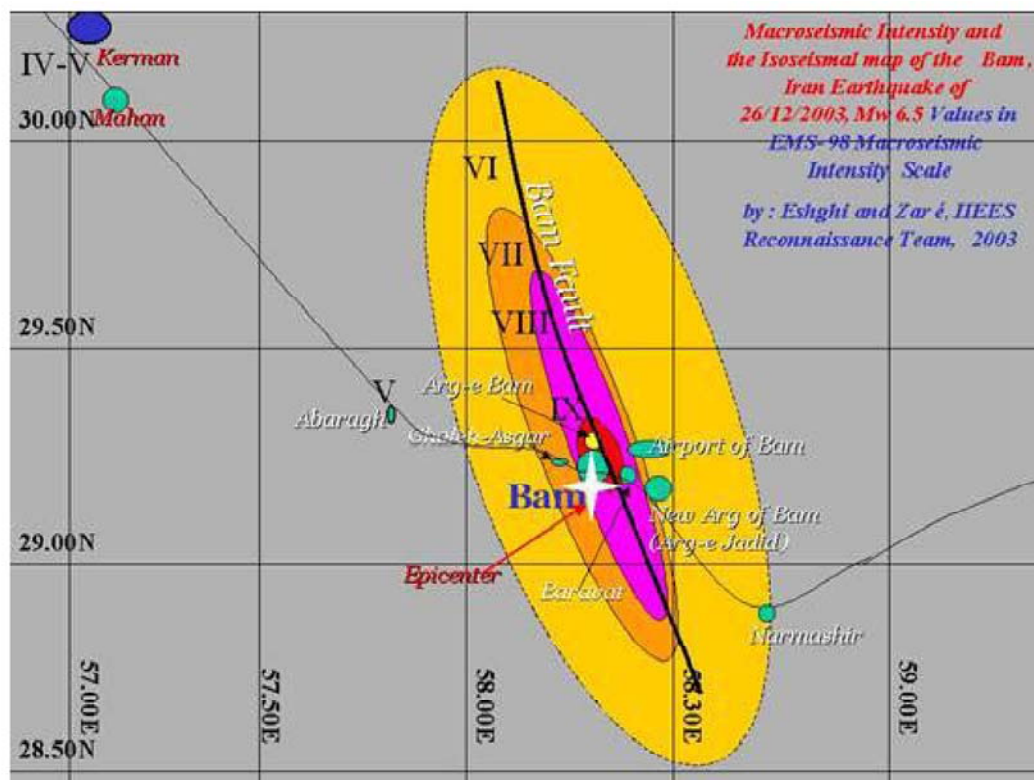
۱- مقدمه

زلزله بم در تاریخ ۱۳۸۲/۱۰/۵ در ساعت ۵:۲۶:۲۶ به وقت تهران (۱:۵۶:۵۶ به وقت GMT) به بزرگی گشتاوری ۶/۵ (پژوهشکده زلزله شناسی، ۱۳۸۲) در اطراف شهر بم در جنوب غربی ایران رخ داد. موقعیت کانونی این زمین لرزه طبق داده های شبکه زلزله نگاری پژوهشگاه ۲۹/۰۱ درجه عرض شمال و ۵۸/۲۶ درجه طول خاوری در حدود ۱۰ کیلومتری جنوب غرب شهر بم واقع می‌گردد (پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۲)، که با موقعیت گزارش شده توسط (USGS 2003) (۲۹/۰۰ شمالی ۵۸/۲۹ خاوری) تقریباً همخوانی دارد. اما براساس شواهد سطحی بدست آمده توسط گروه شناسایی پژوهشگاه (زارع، ۱۳۸۲) موقعیت کانون سطحی در زیر شهر بم تعیین شده است. عمق زلزله در حدود ۸ کیلومتر (پژوهشکده زلزله شناسی، ۱۳۸۲) و شدت آن در رو مرکز IX در مقیاس شدت EMS 98 (زارع، ۱۳۸۲) تخمین زده شده است. در راستای عمود بر گسل کاهندگی سریع جنبش شدید زمین و شدت زمین لرزه نمایان است به نحوی که خرابی‌ها همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است عمدتاً به ناحیه شهری بم محدود می‌گردد (زارع ۱۳۸۲). مکانیزم کانونی زلزله امتداد لغز راستگرد با مولفه کوچک عمودی تعیین شده است (USGS, 2003 و پژوهشکده زلزله شناسی، ۱۳۸۲) با اینحال براساس شتابنگاشت تصحیح شده بدست آمده از ایستگاه بم (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۲) مقدار PGA عمودی در رومرکز (g/۰.۱)، بیش از PGA بدست آمده برای شتابنگاشتهای افقی (g/۰.۸۱ و g/۰.۶۵) می باشد.

در این زمین لرزه نیز همچون بسیاری دیگر از زمین لرزه‌های ایران مانند زلزله ۱۳۶۹ منجیل و رودبار، زلزله ۱۳۸۱ آوج و زلزله ۱۳۷۵ اردبیل، برخی پدیده های زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی نظیر زمین لغزش، فرونشست زمین و در برخی مناطق روانگرایی دیده می شود. در این نوشتار در ابتدا به شرح کلی سازندهای زمین شناسی منطقه اشاره می شود سپس به نمونه هایی از پدیده های ژئوتکنیکی ایجاد شده همراه با زلزله اشاره می شود.

۲- وضعیت زمین شناسی منطقه

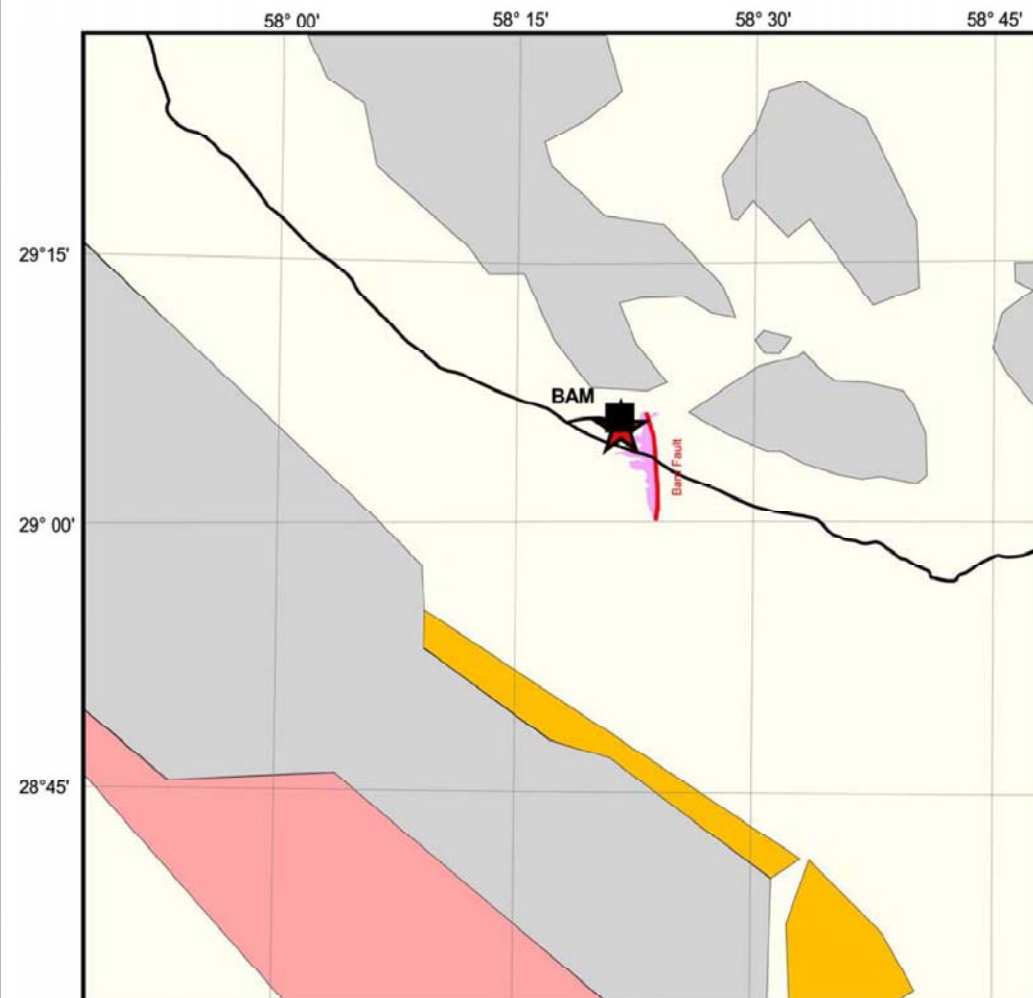
نقشه ساده شده زمین شناسی منطقه در شکل ۲ نشان داده شده است که براساس چهارگوشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور تهیه شده است. همانطور که در شکل ملاحظه می شود سازندهای اصلی منطقه شامل پنج گروه سازندهای آبرفتی کواترنری (قدیمی و جدید)، سازندهای رسوبی پالئوژن، سنگهای آذرین خروجی مربوط به ائوسن و توده سنگ گرانودیوریت (که سن آن در نقشه های اصلی تعیین نشده است) می باشد. جنس آبرفتهای کواترنری در برخی نواحی از جمله اطراف شهر بم عمدتاً از سیلت و ماسه ریز تشکیل شده است. سنگهای آذرآواری منطقه به دلیل فعالیت های تکتونیکی و جریان آبهای هیدروترمال، خرد شده و در برخی قسمتها شدیداً هوازده شده اند.











شکل ۱: نقشه هم شدت زلزله بم (زارع، ۱۳۸۲)

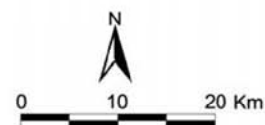
رسوبات آبرفتی شهرستان بم و روستاهای اطراف عموماً مربوط به دوران چهارم می باشند. این رسوبات به ترتیب از قدیم به جدید عبارتند از واحد ماسه ای و سیلتی به رنگ زرد پررنگ تا قهوه ای (Qm1)، رسوبات دشت سیلابی با جنس ماسه و سیلت و به رنگ نخودی (Qm2)، رسوبات مخروط افکنه ای درشت دانه شنی (Qf2) و بالاخره رسوبات درشت دانه بستر آبراهه ها و رودخانه های سیلابی منطقه که بیش از ۹۰ درصد پوشش سطحی منطقه را به خود اختصاص داده اند. رسوبات واحد Qm2 که بخش وسیعی از شهر بم و برآوات بر روی آن احداث شده است، در واقع نهشته های پهنه سیلابی رودخانه های منطقه به حساب می آیند. به نظر می رسد که در گذشته نه چندان دور جریانهای سیلابی بیشتری در منطقه رخ می داده که حاصل آن بر جای گذاشته شدن رسوبات سیلتی و ماسه ای در سطح وسیعی از سیلابدشت رودخانه های جاری در منطقه بوده است. ضخامت این رسوبات حدود ۵۰ متر ارزیابی شده و از تراکم کم تا متوسطی برخوردار می باشند. وجود آثار فرسایش عمیق از مشخصه های رسوبات مذکور به حساب می آید. شکلهای ۳ تا ۵ برخی رسوبات آبرفتی موجود در محدوده مورد مطالعه و نیز نمونه هایی از فرسایش های انجام شده در آنها را نشان می دهند.

Geological Map of Bam Area



Legend

- | | | | |
|---|---|---|-----------|
|  | Recent Quaternary Deposits (Alluvium) |  | Epicenter |
|  | Late Quaternary Deposits (Sedimentary Rocks) |  | Fault |
|  | Neogene Formation (Sedimentary Rocks) |  | Main Road |
|  | Oligocene Formation (Grano-diorite) | | |
|  | Eocene Formation (Pyroclastics, Lava, Tuff,...) | | |




International Institute of Earthquake
Engineering and Seismology

شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی ساده شده محدوده اطراف بم
(برگرفته از نقشه‌های ۱:۲۵۰,۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور)



شکل ۳: مقطعی از رسوبات ماسه ای و سیلتی (Qm2) در غرب روستای براوات



شکل ۴: پدیده فرسایش خندقی در آبرفتهای (Qm2) در غرب شهر بم



شکل ۵: منظره ای از واحد مخروط افکنه ای درشت دانه (Qf2) در جنوب شهر بم

۳- ویژگیهای جغرافیایی منطقه

شهر بم با وسعت حدود ۵۴۰۰ هکتار در ۱۷۵ کیلومتری جنوب شرقی کرمان قرار گرفته است. از نظر ریخت شناسی این شهر دارای توپوگرافی ملایمی بوده و از عمده عوارض توپوگرافیکی منطقه تنها می توان به ارتفاعات آذرین موجود در شمال و جنوب غربی آن اشاره نمود. بدلیل شرایط خاص ژئومورفولوژیکی حاکم بر ناحیه، آبهای سطحی و زیرسطحی منطقه عموماً به طرف شهر بم زهکشی می شود. شهر بم با ارتفاع متوسط ۱۰۵۰ متر در پهنه سیلاب دشت رودخانه پشت رود که تقریباً از مرکز شهر عبور می کند، ایجاد شده است. رودخانه مزبور از بهم پیوستن دو رودخانه کوچکتر به نام های تهرور و تلگنو در غرب بم تشکیل شده و پس از گذر از شهر بم به شوره زارهای شرقی منتهی می شود. رودخانه پشت رود یک رودخانه فصلی محسوب می شود و آب آن علاوه بر بارشهای فصلی از طریق قناتهای حفر شده در پای ارتفاعات جبال بارز تامین می شود. تعداد این قناتها به حدود ۱۲۶ رشته بالغ می شود. آب استحصال شده از این قناتها، حدود ۵۰ درصد آب مصرفی شهری و کشاورزی شهرستان بم و اطراف

را تامین می نماید. ۵۰ درصد بقیه آب مصرفی در کشاورزی و شرب، توسط چاههای حفر شده در منطقه تامین می شود.

۴- پدیده‌های ژئوتکنیکی مرتبط با زلزله بم

۴-۱: زمین لغزش

باتوجه به شکل ۲ از میان لیتولوژی های موجود، رسوبات آبرفت کواترن، سازندهای رسوبی پالئوژن و سنگهای آذرین خروجی کاملاً مستعد وقوع زمین لغزش هستند ولی به دلیل کم بودن شیب در بیشتر نواحی، عملاً بجز در نواحی کوهستانی و آبکندها پتانسیل رخداد زمین لغزش وجود نداشته است. در این مطالعه قبل از انجام بازدید محلی، برای ارزیابی سریع پتانسیل رخداد زمین لغزه از دو پارامتر لیتولوژی و شیب استفاده شده است:

لیتولوژی: بخش وسیعی از منطقه دارای لیتولوژی های حساس توف، مارن، سنگهای آذرآواری ماسه سنگ و آبرفتهای سخت نشده می باشد؛

شیب: بخشهای زیادی از غرب و جنوب غرب منطقه را ارتفاعات تشکیل می دهند همچنین بخشهای کوچتری از شمال و شرق منطقه نیز توسط ارتفاعات پست تری پوشیده شده است.

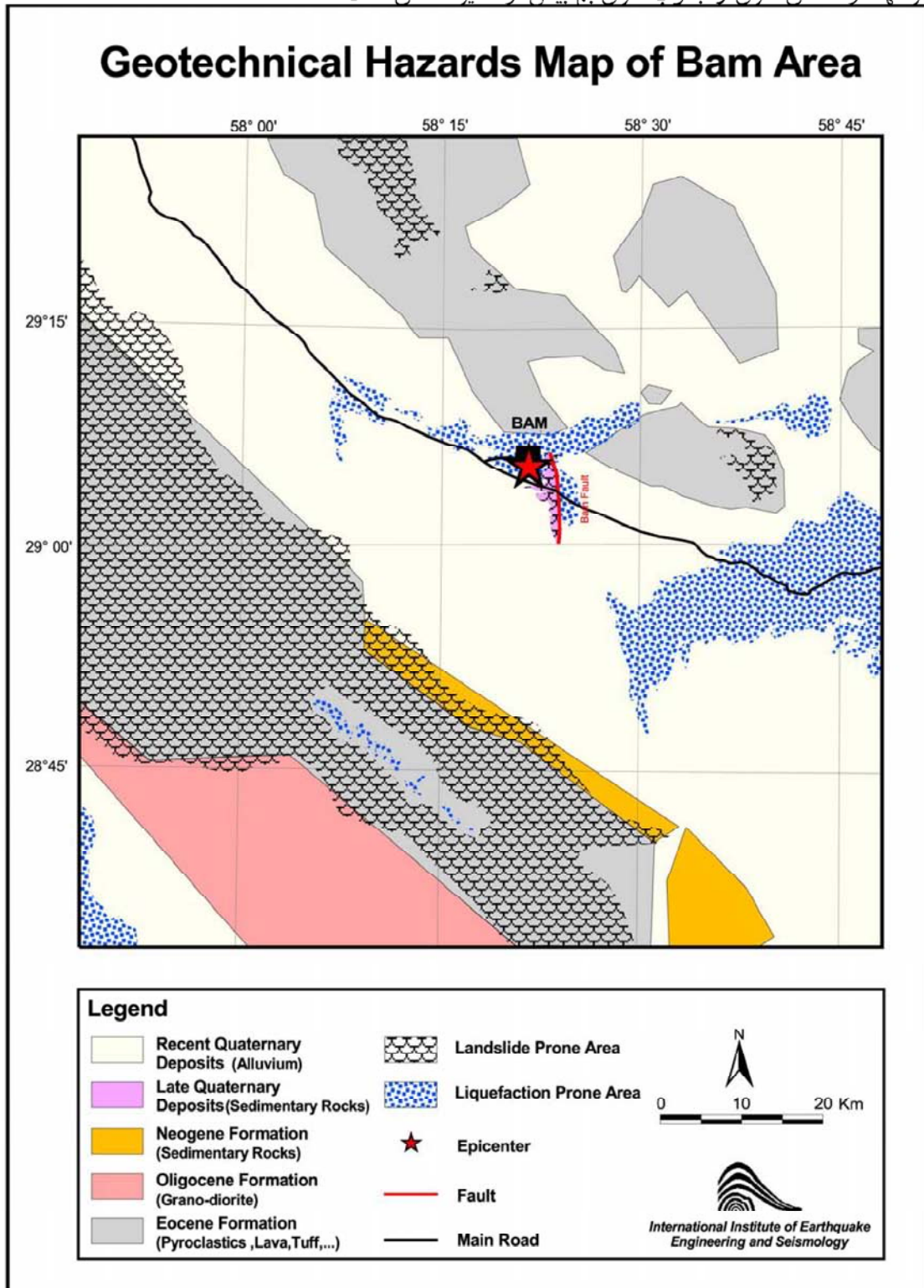
با روی هم اندازی نقشه های شیب و لیتولوژی نقشه حساسیت منطقه به وقوع زمین لغزش (شکل ۶) تهیه شده است. همانگونه که در این شکل ملاحظه می گردد مناطق وسیعی از غرب و جنوب غرب و مناطق کوچتری از شرق و شمال غرب منطقه دارای پتانسیل وقوع زمین لغزش در طی زلزله بوده اند.

۴-۱-۱-۴ زمین لغزشهای ایجاد شده در اثر زلزله بم

از آنجاییکه شیبهای عمودی آبکندها در نقشه های مسطحاتی قابل مشاهده نیست، عملاً بخشهای مذکور از نقشه پتانسیل حذف گردیده اند. با بررسی عکسهای هوایی ۱:۱۰,۰۰۰ که دو روز پس از زلزله از منطقه گرفته شده است (سازمان نقشه برداری، ۱۳۸۲) وقوع پهنه های وسیع ریزش خاکی در اطراف آبکندها مشخص شده است (شکل های شماره ۷ تا ۱۰) اندازه بلوکهای جابجا شده گاه تا ۲۵۰ متر مکعب نیز می رسد.

همچنین تعداد زیادی لغزش بلوکی خاکی (شکل های ۱۱ و ۱۲) نیز در حاشیه آبکندها دیده شده است از آنجاییکه تعداد زمین لغزشهای رخ داده در اثر زلزله بم بسیار زیاد است مشخص کردن موقعیت هر یک از آنها در حال حاضر امکانپذیر نیست، لذا در این مطالعه نقشه تراکم لغزشها، تهیه شده است (شکل ۱۳).

این نقشه بسیار کلی بوده و نقشه دقیق آن متعاقبا ارائه خواهد شد. همانگونه که مشاهده می شود تراکم لغزشها در مناطق شرق و جنوب شرق، به بیش از سایر مناطق است.



شکل ۶: نقشه حساسیت به لغزش منطقه



شکل ۷: موقعیت برخی از لغزشها در عکس های هوایی



شکل ۸: ریزشهای رخ داده در اثر زلزله (شرق بم)



شکل ۹: ریزشهای رخداده در اثر زلزله (شرق بم)



شکل ۱۰: ریزشهای رخداده در اثر زلزله (جنوب شرق بم)

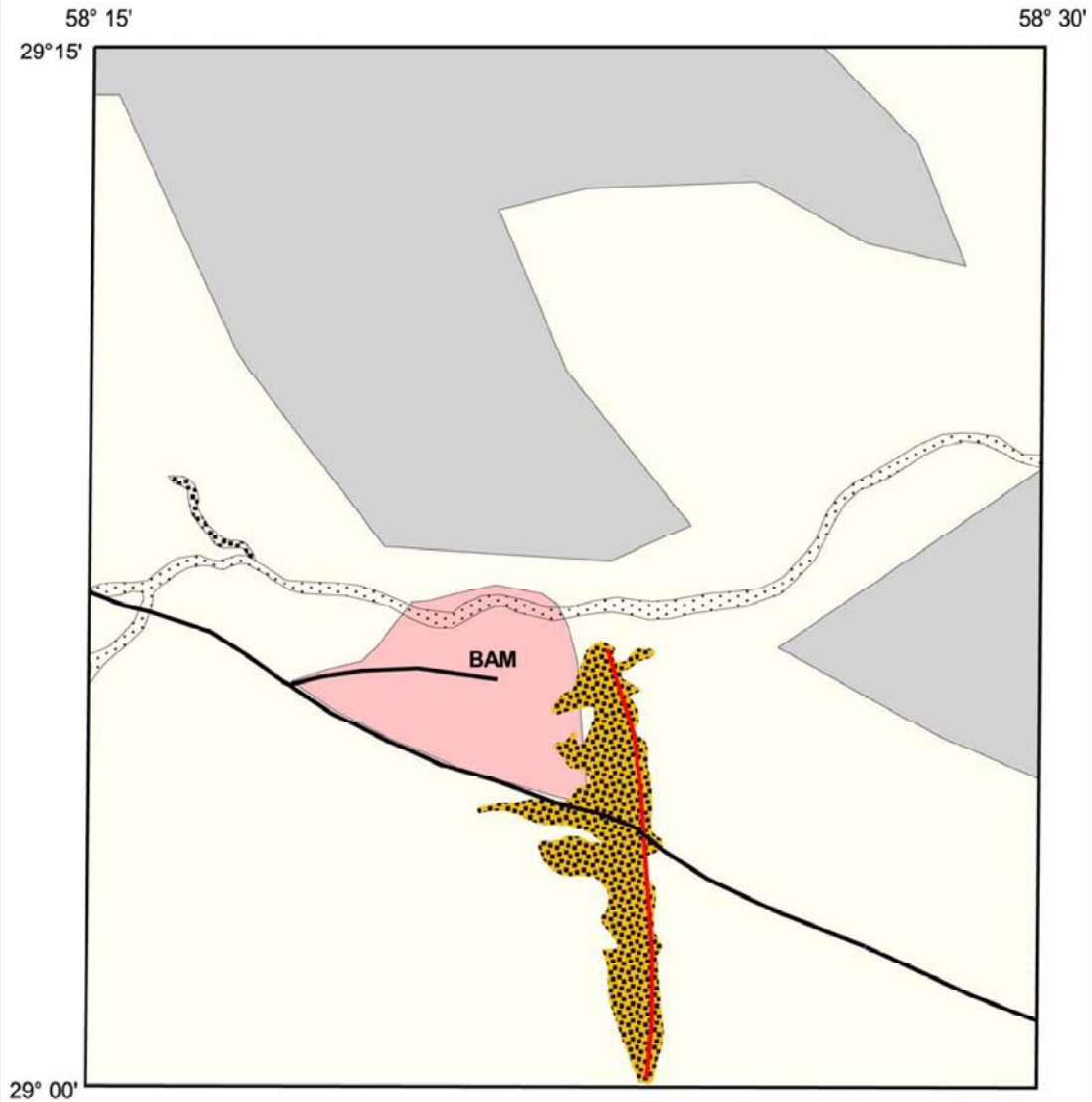


شکل ۱۱: لغزش بلوکی خاکی در اثر زلزله (شمال روستای رحمانی ۵ کیلومتری شمال غرب بم)

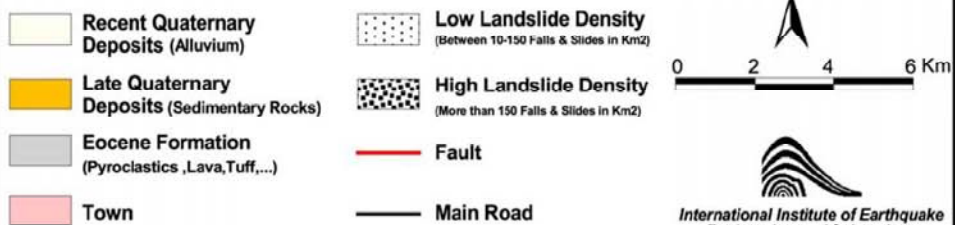


شکل ۱۲: لغزش بلوکی خاکی در اثر زلزله (شمال روستای رحمانی ۵ کیلومتری شمال غرب بم)

Landslide Density Map of Bam Area



Legend



شکل ۱۳: نقشه تراکم لغزش منطقه

محدوده اشغال شده توسط لغزشها دارای دو خصوصیت متمایز نسبت به سایر مناطق است. اولاً به دلیل وجود گسل، سازندهای متعلق به کواترنر پیشین متشکل از ماسه سنگ و سیلت (Q1) بر روی نهشته‌های کواترنر پسین رانده شده است. این راندگی موجب ایجاد پرتگاه گسلی کاملاً مشخص و مورفولوژی تپه ماهوری پست در راستای شمالی - جنوبی در میان دشت بهم شده است. بالا آمدگی آرام لیتولوژی مذکور با بریدگی آن توسط آبراهه‌ها همراه بوده و در نتیجه آبکندهای عمیقی در آن ایجاد شده است و لیتولوژی سست Q1 همراه با شیب تند حاشیه آبکندها شرایط مناسبی را جهت ناپایداری در حین زلزله فراهم آورده اند. ثانیاً این منطقه کاملاً در نزدیکی گسل بهم (گسل مسبب زلزله) قرار گرفته و کانون زلزله در زیر آن واقع شده است.

علاوه بر محدوده شرقی شهر بهم، محدوده کوچکتتری با تراکم بالای لغزش در شمال غربی شهرستان بهم دیده می شود که علت تراکم بالای این منطقه در دست بررسی می باشد. با استفاده از نمونه برداری آماري، تعداد تقریبی زمین لغزشهای رخ داده در اثر زلزله به شرح زیر تعیین شده است:

ریزش	۶۰۰۰ مورد
لغزش بلوکی خاکی	۵۵ مورد
لغزش خاکی	۱۵ مورد

۵- ارزیابی خطر روانگرایی

بررسی شرایط زمین ریخت شناسی و نوع نهشته های منطقه بهم و اطراف، بیانگر استعداد قابل ملاحظه آنها برای وقوع روانگرایی به هنگام زمین لرزه می باشد. در بررسیهای صحرایی شواهدی دال بر رخداد پدیده روانگرایی در اثر زمین لرزه، بخش جنوبی و غربی منطقه بهم به دست نیامده است. این امر بدلیل پایین بودن سطح عمومی آب زیرزمینی در بخش وسیعی از گستره شهر می باشد. سطح آب زیرزمینی منطقه بهم متأثر از شرایط توپوگرافی و ریخت شناسی حاکم بر آن، از سمت غرب به سمت نواحی شرقی کاهش پیدا می کند. بطوریکه در ورودی غربی شهر بهم، سطح آب زیرزمینی در عمق بیش از ۲۰ متر از سطح زمین قرار گرفته است که ظاهراً به همین دلیل در بازدیدهای صحرایی هیچ گونه آثاری از پدیده روانگرایی مشاهده نگردید.

با اینحال در نواحی شمالی و شمال شرقی منطقه بهم و در حوالی آبادیهای اسفیکان و چهل تخم، بدلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی و همچنین وجود نهشته های ماسه ای وسیلتی سست شواهدی از وقوع روانگرایی ملاحظه شده است. این شواهد در عکسهای هوایی منطقه شهری بهم که ۲ روز پس از وقوع زمین لرزه توسط سازمان نقشه برداری کشور تهیه گردیده، قابل مشاهده است. مطالعات تکمیلی در این خصوص در حال انجام می باشد که نتایج آن متعاقباً ارائه خواهد شد.

۶- تاثیر زلزله روی وضعیت قناتها در شهرستان بم و روستاهای همجوار:

یکی از مهمترین منابع تامین آب شرب و کشاورزی در محدوده شهرستان بم و روستاهای مجاور شبکه قناتها موجود در سطح منطقه می باشند. رشته قناتهای متعددی در سطح منطقه وجود دارند که بسیاری از آنها قدیمی و خشک می باشند و برخی دیگر جدیدتر و فعال می باشند. بنا به اظهارات معاونت وزارت جهاد کشاورزی، ۱۲۶ رشته قنات فعال در سطح منطقه وجود داشته است که بسیاری از آنها از روی عکسهای هوایی و نقشه های توپوگرافی قابل مشاهده می باشند. قناتهای دیگری نیز در سطح منطقه وجود دارند که دهها سال و شاید چند قرن پیش حفر شده اند و موقعیت آنها امروزه به دلیل تغییرات سطح زمین و تسطیح اراضی چندان شناخته شده نیست. مطالعات صحرایی و نیز بررسی عکسهای هوایی نشان داده اند که صدمات قابل ملاحظه ای به بسیاری از رشته قناتهای موجود در سطح منطقه در اثر زلزله بم وارد شده است. در این بخش از گزارش نتایج مقدماتی مطالعات زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک انجام شده روی قناتهای منطقه مورد بررسی قرار داده می شود و تاثیر ریزش قناتها در افزایش آسیب پذیری ساختمانها و شریانهای حیاتی مورد اشاره قرار داده می شود.

۶-۱- بررسی اثر زلزله های گذشته روی قناتها:

زلزله می تواند باعث تخریب میل چاهها و کوره های قناتهای قدیمی و جدید و ایجاد فرونشست زمین و خشک یا کم آب شدن قناتها گردد بخصوص اگر رو مرکز زلزله به محل قرار گیری قنات نزدیک باشد. صدمات وارده به رشته قناتها در بسیاری از زلزله های گذشته ایران زمین گزارش شده است که برخی از آنها در جدول ۱ ارائه شده اند.

همانطور که دیده می شود علیرغم پایداری نسبی فضاهای زیرزمینی در برابر امواج لرزه ای، تخریب رشته قناتها، ایجاد فرونشست زمین و نیز خشک شدن قناتها در بسیاری از رویدادهای لرزه ای گذشته مشاهده شده است.

۶-۲- وضعیت قناتها در محدوده شهرستان بم:

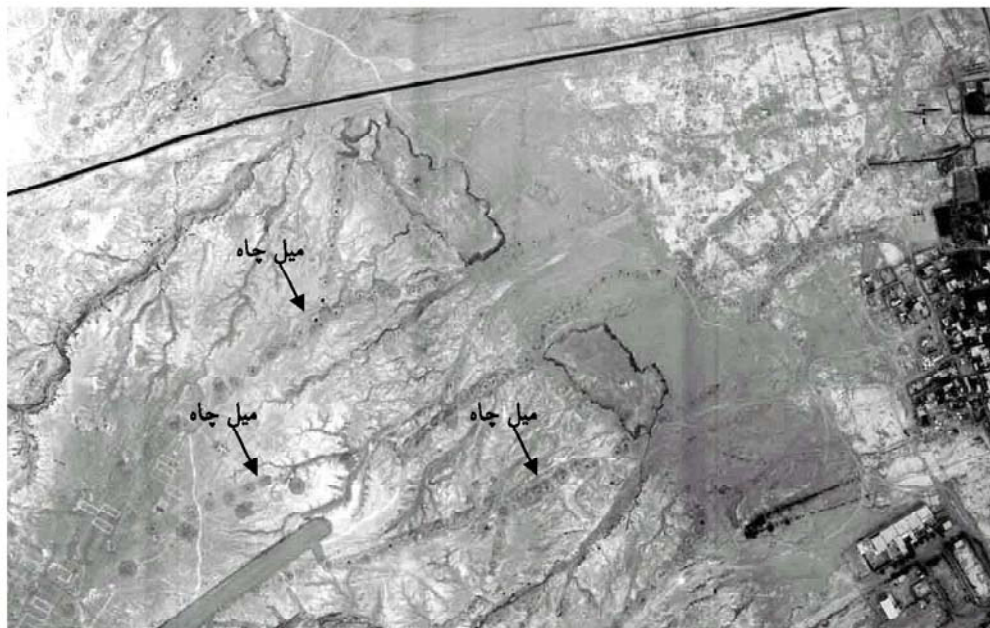
به علت شرایط خاص آب و هوایی منطقه بم، قنات متعددی در محدوده شهر بم و روستاهای اطراف در گذشته حفر شده اند که بسیاری از آنها در حال حاضر خشک بوده و برخی نیز فعال می باشند که به عنوان منابع اصلی تامین آب کشاورزی و یا آب شرب منطقه مورد استفاده قرار می گیرند. طبق اظهارات مسئولین محلی حدود ۵۰ درصد آب مورد نیاز در بخش کشاورزی و شرب منطقه پیش از زلزله از محل آب قناتها تامین می شده است که در اثر زلزله حدود ۴۰ درصد از این قناتها در اثر زلزله تخریب شده و یا صدمات جدی دیده اند. بررسی عکسهای هوایی، تراکم قناتهای جدید و قدیمی را در محدوده بم به وضوح نشان می دهد (شکلهای ۱۴ تا ۱۶).

جدول ۱: اثر زلزله های تاریخی و سده بیستم روی قناتهای ایران تا سال ۱۹۸۰ (امبرسز و ملویل، ۱۳۷۰)

سال وقوع زلزله (میلادی)	محل	وضعیت آسیب دیدگی قنات
۸۵۶	قومس	خشک شدن برخی قنات
۱۷۸۰	تبریز	خشک شدن برخی قنات
۱۸۵۳	شیراز	ریزش و تخریب قنات
۱۸۹۳	قوچان	ریزش قناتها و ایجاد شکاف هایی به عمق ۵ تا ۸ متر
۱۸۹۵	قوچان	فروریزش قناتها در طولی بیش از ۵ کیلومتر
۱۹۲۳	لاله زار	ریزش برخی قناتها
۱۹۲۹	کبه داغ	ریزش برخی قناتها
۱۹۳۰	آه مبارک آباد	ریزش برخی قناتها
۱۹۳۳	شمال بهاباد	شکستگی در امتداد یک قنات متروک
۱۹۴۷	دوست آباد	ریزش و خشک شدن برخی قناتها
۱۹۴۸	گوک	خشک شدن برخی قناتها
۱۹۶۸	دشت پیاض	ریزش برخی قناتها
۱۹۶۸	فردوس	ریزش برخی قناتها
۱۹۷۲	فیر - کازرین	تخریب ۵ کیلومتر کوره قنات و ۱۸۰ میل چاه
۱۹۷۹	کریزان - خواف	ریزش برخی قناتها



شکل ۱۴: برخی قناتهای مشخص شده روی عکسهای هوایی سازمان نقشه برداری در غرب بروات



شکل ۱۵: برخی قناتهای موجود در شمال شرق بم (عکس هوایی سازمان نقشه برداری)



شکل ۱۶: برخی قناتهای موجود در جنوب بم (عکس هوایی سازمان نقشه برداری)

شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نیز تصاویری از میل چاه‌های مربوط به قنوات موجود در سطح منطقه را نشان می‌دهند. مشاهدات انجام شده هنگام بازدیدهای صحرایی نشان داده اند که بیشتر قنات‌های موجود در منطقه عمیق بوده و با سیستم‌های تقویتی به نام کول نگهداری شده اند.



شکل ۱۷: نمایی از یک رشته قنات دایر در مسیر کرمان به بم (حدود ۸ کیلومتری شهر بم)



شکل ۱۸: آثار برخی قنات‌های قدیمی در مجاورت روستای خواجه عسگر (حدود ۵ کیلومتری بم)

۳-۶- وضعیت صدمات وارده به قناتهای منطقه در اثر زلزله بم:

مشاهدات اولیه در محدوده شهرستان بم و روستاهای اطراف نشان می دهد که صدمات قابل توجهی به رشته قناتهای موجود در سطح منطقه در اثر زلزله وارد شده است. در برخی موارد تخریب قناتها منجر به تخریب بخشهایی از ساختمانها و شریانهای حیاتی موجود در محدوده زلزله زده شده است. میزان صدمات و خسارات وارده به قناتها با نزدیک شدن به گسل بم به شدت افزایش یافته و در فواصل دورتر آثار صدمات به سختی قابل پیگیری و مشاهده می باشد. در قسمتهای زیر وضعیت صدمات ناشی از زلزله روی رشته قناتها مورد بررسی قرار می گیرد.

الف- فرونشست زمین و تخریب میل چاهها و کوره قناتها:

مهمترین صدمات ناشی از زلزله روی قناتهای موجود در سطح منطقه تخریب میل چاهها و در مواردی کوره های قناتها می باشد. فروچاله های عظیمی در منطقه به واسطه ریزش قناتها ایجاد شده است که قطر برخی از آنها به چندین متر می رسد. در مجاورت گسل بم، گسیختگی های ناشی از ریزش قناتها بسیار بیشتر است بطوریکه اشکالی غار مانند در مجاورت سطح زمین دیده می شود. با دور شدن از محدوده گسل فروریزشها بصورت محلی همراه با ایجاد ترکهایی در سطح زمین می باشند. شکلهای ۱۹ تا ۲۲ تصاویری از برخی فرونشستهای ناشی از زلزله را در اثر تخریب میل چاهها یا کوره قناتها نشان می دهند.



شکل ۱۹: فرونشست سطح زمین در اثر ریزش لایه های فوقانی به داخل کوره قنات در اثر ارتعاشات ناشی از زلزله بم در محدوده غرب پروات



شکل ۲۰: فرونشستهای متعدد سطح زمین در اثر ریزش میل چاهها و لایه های فوقانی کوره قناتهای موجود در منطقه جنوب بم و غرب بروات در اثر ارتعاشات ناشی از زلزله



شکل ۲۱: فرونشست ناشی از ریزش لایه های فوقانی کوره قنات موجود در منطقه غرب بروات در اثر ارتعاشات ناشی از زلزله



شکل ۲۲: فرونشست زمین و ایجاد ترکهای کششی ناشی از ریزش لایه های فوقانی کوره ها و میل چاههای قنوت در غرب بروات در اثر ارتعاشات ناشی از زلزله

ب- صدمات ناشی از فرونشست زمین روی ساختمانها و شریانهای حیاتی

ریزش و فرونشست زمین در محل قناتهای قدیمی در قسمتهای مختلف شهر بم در مواردی منجر به ایجاد صدمات قابل توجهی به راهها، ساختمانها و منازل مسکونی گردیده است. این صدمات بخصوص در بخشهای بروات و شمال شرق بم که بیشترین میزان تخریب و فرونشست زمین وجود دارند مشاهده می‌گردد. بسیاری از این صدمات مرتبط با قناتهای بسیار قدیمی می باشند که به مرور زمان آثار سطحی آنها از بین رفته است و ساخت و ساز بر روی آنها انجام شده است. در این موارد معمولاً کوره‌ها و فضای خالی باقیمانده میل چاهها که در اعماق نسبتاً زیاد قرار گرفته اند در اثر ارتعاشات زلزله و جابجایی زمین گسیخته شده و منجر به فرونشست زمین گردیده اند.

شکلهای ۲۲ تا ۲۳ برخی از خسارات وارده به راهها را در اثر فرونشست زمین ناشی از ریزش قناتها در سطح منطقه نشان می دهند. در چند مورد فرونشست زمین بر روی راههای اصلی ایجاد گردیده است که باعث ایجاد خلل در تردد اتومبیلها و در نتیجه افزایش ترافیک شده است. با توجه به اینکه تردد روان ماشین آلات سنگین و اتومبیلها نقش عمده ای در امداد رسانی بعد از زلزله دارد لذا این ریزشها در واقع تا حدودی منجر به کندی امداد رسانی گردیده اند. شکلهای ۲۴ و ۲۵ نیز خسارات وارده به برخی منازل و ساختمانها را در محدوده شهر بم در اثر ایجاد فروچاله حاصل از وجود قنات را نشان می دهند.



شکل ۲۳: فرونشست زمین در زیر یکی از راههای فرعی منطقه بروات در اثر ریزش لایه های فوقانی کوره ها و میل جاههای قنات در غرب بروات در اثر ارتعاشات ناشی از زلزله



شکل ۲۴: فرونشست زمین در مجاورت راه اصلی بم به زاهدان در منطقه بروات در اثر وجود قنات، مشابه این فروچاله در زیر جاده اصلی نیز ایجاد شده که در روزهای اولیه بعد از زلزله پر گردیده است



شکل ۲۵: فرونشست زمین در غرب منطقه بروات در اثر زلزله بم، این فروچاله منجر به تخریب بخشهایی از یک ساختمان مسکونی شده است.



شکل ۲۶: آسیب دیدگی پایه های یک تاق نصرت موجود در منطقه بروات در اثر فرونشست زمین ناشی از وجود قنات

فهرست منابع:

- ۱- امیرسز، ن. ن. و ملویل، ج. پ. (۱۳۷۰) تاریخ زمین لرزه های ایران، ترجمه ابوالحسن رده، انتشارات آگاه، تهران.
- ۲- پژوهشکده زلزله شناسی ۱۳۸۲. جنبه های زلزله شناسی زمین لرزه ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بم، با بزرگای گشتاوری $Mw=6/5$ سایت اینترنتی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله؛
http://www.iiecs.ac.ir/Bam_Report_2.pdf
- ۳- پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله ۱۳۸۲. گزارش مقدماتی زلزله بم، سایت اینترنتی http://www.iiees.ac.ir/Bam_report.html
- ۴- زارع، مهدی. ۱۳۸۲. گزارش مقدماتی شناسایی مناطقی زلزله زده، سایت اینترنتی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله؛
http://www.iiees.ac.ir/bam_report_recon_farsi.html
- ۵- سازمان نقشه برداری کشور، عکسهای موزائیک شده ۱۰۰۰۰ : اچاپ شده در مقیاس ۱:۲۵۰۰ بعد از زلزله بم؛
- ۶- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۸۲، سایت اینترنتی http://www.bhrc.gov.ir/bhrc/reports/bam/bam_pdf.pdf ;
- 7- USGS, 2003. <http://earthquake.usgs.gov/recenteqsww/Quakes/uscvad.htm> ;