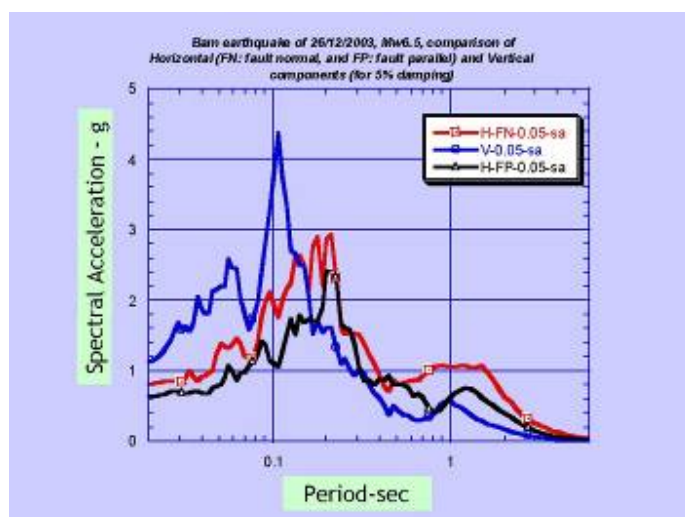


فصل دوم

جنبه‌های زلزله‌شناسی و زلزله‌شناسی

مهندسی



۱-۲- مقدمه

۲-۲- وضعیت لرزه زمینساختی

۳-۲- جنبش شدید زمین

۴-۲- شدت رومرکزی و بررسی پهنه های هم لرز

۵-۲- اثرات ژئوتکنیکی

۶-۲- آموخته ها

۷-۲- مراجع

۲-۱-۱- مقدمه

زمینلرزه ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بم در ساعت ۵:۲۶:۲۶ به وقت محلی (ساعت ۱:۵۶:۲۶ روز ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ به وقت بین‌المللی GMT) در شهر تاریخی بم در جنوب شرقی کشور (جنوب شرقی کرمان) رخ داد (شکل ۲-۱). کانون زمینلرزه، براساس اطلاعات کسب شده از لرزه اصلی و پس‌لرزه‌ها توسط لرزه‌نگارها و شتابنگارهای مستقر در بم، در محدوده شهر بم واقع گردیده بود. براساس بررسی‌های انجام شده بخشی از گسل بم که از کنار شهر بم عبور می‌کند در این زلزله فعال شده است.

شهر بم در استان کرمان، یکی از بزرگترین استانهای کشور با مساحتی حدود ۱۸۶۴۲۲ کیلومتر مربع، واقع است. شهر بم با ارگ تاریخی بم با بیش از ۲۰۰۰ سال قدمت شناخته می‌شود. ارگ بم بزرگترین مجموعه خشتی - گلی در جهان است (شکل ۲-۲). این بنای تاریخی بر روی تپه‌ای ماسه سنگی در کنار جاده ابریشم قرار گرفته است. مساحت ارگ بم حدود ۶ کیلومتر مربع است. اطلاعات دقیقی از زمان ساخت ارگ بم در دسترس نیست علی‌رغم اینکه این بنا چندین بار در طی تاریخ به صورت موضعی بازسازی شده است، بنظر می‌رسد این اولین بار است که در اثر یک زمینلرزه بشدت ویران می‌گردد. ارگ تاریخ بم تا حدود ۱۵۰ سال قبل مسکونی بوده است.

۲-۱-۱-۱- مشخصات چشمه زمینلرزه

چشمه زمینلرزه در محدوده شهر بم واقع بوده است. براساس مشاهده لرزه‌نگاشت‌ها (شکل‌های ۲-۳ و ۲-۴)، مشاهده فاصله کانونی برای هر نگاشت لرزه‌ای، و با درنظر گرفتن کانون زمینلرزه ژرفای کانونی زلزله بم ۸ کیلومتر برآورد می‌شود. نزدیکترین نگاشت لرزه‌ای بدست آمده در این زلزله به کانون آن شتابنگاشت حاصله در ایستگاه بم است که در بند ۲-۳ این فصل مورد بررسی قرار گرفته است. ضمناً یکی از استنادهای مهم به محل کانون زلزله و ژرفای کانونی برآورد فاصله کانونی و درنظر گرفتن محل ثبت داده در ساختمان فرمانداری شهر بم بوده است. در شکل (۲-۳) لرزه‌نگاشت‌های ناحیه‌ای حاصله از لرزه اصلی، و در شکل (۲-۴) نمونه‌ای از نگاشت‌های حاصله از این زلزله در ایستگاههای مختلف لرزه‌نگاری در جهان مشخص شده که توسط مرکز لرزه‌نگاری دانشگاه پلی‌تکنیک زوریخ سوئیس گزارش شده‌اند.

۲-۱-۱-۲- وضعیت عمومی زمین‌شناسی منطقه زلزله زده بم

منطقه بم در جنوب خاوری شهر کرمان و در جنوب باختری ناحیه لوت واقع است. در این ناحیه غلبه روندهای ساختاری با راستای شمال - شمال باختر، جنوب - جنوب خاور واحدهای سنگهای نفوذی دوران سوم را در جنوب باختر لوت قطع می‌کند. در غرب بم گسل سروستان و در ناحیه شهر بم گسل بم با راستاهایی کم و بیش موازی هم واحدهای توف - آندریتی را قطع کرده و در دشت پوشیده شده از آبرفت‌های کواترنر ادامه می‌یابند (شکل ۲-۵).

۲-۲- وضعیت لرزه زمینساختی پهنه زلزله زده بم

۲-۲-۱- وضعیت عمومی

منطقه زلزله زده بم در جنوب شرقی ایران در یک پهنه فعال لرزه خیز واقع است (جدول ۱-۲-۱ فهرست زمینلرزه های بم در شعاع ۱۰۰ کیلومتر را نشان می دهد). از خود شهر هیچ زمینلرزه تاریخی تا پیش از ۱۳۸۲/۱۰/۵ گزارش نشده است. به سوی شمال غرب بم ۴ زمینلرزه بزرگ با بزرگای بیش از ۵/۶ بین سالهای ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۷ در ناحیه گلباف و سیرچ رخ داده است (شکل ۲-۶). روند عمومی گسلهای اصلی (از جمله گسل بم با طول کلی حدود ۱۰۰ کیلومتر) شمالی - جنوبی با کمی تمایل به سوی غرب، و همچنین شمال غربی - جنوب شرقی است. (شکل ۲-۷). این دو سامانه گسله در ناحیه غربی دشت لوت با هم تلاقی می کنند. گسلهای با روند شمال غربی - جنوب شرقی (گسلهای کوهبنان و راور) با گسلهای با راستای شمالی - جنوبی (گسلهای گلباف، نایبند، چهار فرسخ، گوک، سروستان و بم) مرز غربی ناحیه لوت را مشخص می نمایند. سامانه گسل گوک در همین ناحیه در رخدادهای زمینلرزه های ۱۳۶۰ گلباف و سیرچ فعال گردید. این سامانه گسله زلزله های دیگری را در سالهای ۱۳۶۸ و ۱۳۷۷ را موجب شد. سامانه گسلهای غرب دشت لوت موجب یک اختلاف ارتفاع ساختاری قائم در حدود ۴۰۰۰ متر شده است. اکثر زمینلرزه های یاد شده در فوق با گسیختگی سطحی نیز همراه بوده اند. ساز و کار ژرفی این زلزله ها به صورت راستالغز و فشاری گزارش شده است.

جدول (۱-۲): فهرست زمینلرزه های گسترده بم به شعاع ۱۰۰ کیلومتر

Y	M	D	HH	MM	SS	Lat.N	Lon.E	FD	m _b	Ms	Mw	Efa	Ref	Region
۱۹۴۸	۰۷	۰۵	۱۳	۵۳		۲۹,۴۶۰	۵۷,۷۸۰	۰	۵,۹	۶,۰	-		Amb	Gowk
۱۹۶۲	۰۹	۲۹	۰۶	۴۵	۰۰	۲۸,۲۹۰	۵۷,۴۸۰	۸۳	۵,۵	-	-		N.US	
۱۹۶۴	۰۵	۱۱	۰۶	۰۷	۳۸	۲۸,۲۲۰	۵۷,۳۹۰	۷۳	۵,۳	-	-		N.IS	
۱۹۶۴	۰۸	۲۷	۱۱	۵۸	۳۹	۲۸,۱۶۰	۵۸,۸۳۰	۵۰	۵,۱	-	-		N.IS	
۱۹۷۶	۱۱	۱۳	۱۰	۱۲	۳۶	۲۸,۲۵۰	۵۷,۳۴۰	۶۲	۵,۰	-	-		ISC	
۱۹۸۱	۰۶	۱۱	۰۷	۲۸	۲۵	۲۹,۸۹۵	۵۷,۷۱۸	۳۰	۶,۶	-	-	*	ISC	Golbaf
۱۹۸۱	۰۷	۲۸	۱۷	۲۲	۲۳	۲۹,۹۸۷	۵۷,۷۷۰	۱۱	۵,۹	-	-	*	ISC	Sirch
۱۹۸۱	۱۰	۱۴	۰۹	۱۲	۳۹	۲۹,۹۰۰	۵۷,۷۵۸	۴۳	۵,۲	-	-		ISC	
۱۹۸۲	۱۰	۱۵	۰۲	۵۳	۵۵	۲۸,۲۸۰	۵۷,۳۹۸	۸۳	۵,۰	-	-		ISC	
۱۹۸۳	۰۱	۳۱	۱۸	۵۶	۵۳	۲۸,۹۱۹	۵۷,۳۱۸	۱۳۳	۵,۰	-	-		ISC	
۱۹۸۴	۱۰	۱۱	۰۵	۰۹	۲۷	۲۹,۵۳۹	۵۸,۰۳۰	۴۸	۵,۱	-	-		ISC	
۱۹۸۶	۰۷	۲۵	۱۰	۰۸	۰۹	۲۸,۰۶۸	۵۷,۳۰۳	۶۹	۵,۲	-	-		ISC	
۱۹۸۹	۱۱	۲۰	۰۴	۱۹	۰۴	۲۹,۸۸۰	۵۷,۷۲۱	۱۸	۵,۵	۵,۷	۵,۹		ISC	South Golbaf
۱۹۹۸	۰۶	۱۰	۰۸	۳۰	۱۶	۲۸,۲۲۷	۵۸,۵۰۷	۱۱۳	۵,۰	-	-		ISC	

فهرست لرزه اصلی و ۳ پس لرزه اصلی زلزله که توسط مرکز ملی اطلاعات زمینلرزه ایالات متحده NEIC گزارش شده اند در جدول (۲-۲) آمده است. در ناحیه بم راستای گسل بم به سوی شمال به روند گسل

اندوهجرد می‌رسد. بررسی خطواره‌های ساختاری در ناحیه کرمان و غرب لوت نشان می‌دهد که شاخه‌ای از گسل بم ممکن است در ادامه خود به ناحیه ارتفاعات شرق گلباف برسد (زارع ۱۳۷۹). شکل (۲-۸) نشان می‌دهد که گسل بم با سازوکار راستالغز راستگرد (که با جابه‌جائی آبراهه‌ها و نهشته‌های جوان و کواترنری همراه بوده است از کنار شهر بم عبور می‌کند. از این گسل تا قبل از رخداد زلزله ۱۳۸۲/۱۰/۵ بم هیچ رویداد لرزه‌ای مهمی که سازوکار ژرفی آن برآورد شده باشد گزارش نشده بود. مشاهده تغییرمکانهای آبراهه‌ها قبل از رخداد زلزله ۱۳۸۲، نمایانگر تغییرمکانهای راستالغز راستگرد در پهنه گسله بم است. از سوی دیگر سازوکارهای دیگر گزارش شده در این ناحیه (شکل ۲-۹ براساس گزارش پایگاه داده‌های دانشگاه هاروارد، ۲۰۰۳) غلبه سازوکارهای فشاری راستالغز را در راستای گسله‌های ناحیه غرب لوت و جنوب شرقی کرمان نشان می‌دهد. سازوکار ژرفی زلزله ۱۳۸۲/۱۰/۵ در همین قسمت موردبحث واقع می‌شود.

جدول (۲-۲): فهرست لرزه اصلی و ۳ پس‌لرزه مهم زمینلرزه بم که در روز اول در ساعاتی پس از زلزله اصلی رخ داده‌اند (نقل از NEIC)

Date	Time	Lat.N	Long.E	FD	M
۲۶/۱۲/۲۰۰۳	۰۱:۵۶:۵۲	N۲۹,۰۰	E۵۸,۳۴	۱۰	۶,۶
۲۶/۱۲/۲۰۰۳	۰۳:۰۶:۱۳	N۲۸,۸۸	E۵۸,۶۶	۱۰	۵,۳
۲۶/۱۲/۲۰۰۳	۰۳:۵۳:۲۶	N۲۸,۸۴	E۵۸,۳۰	۱۰	۴,۳
۲۶/۱۲/۲۰۰۳	۱۴:۰۸:۱۵	N۲۸,۹۶	E۵۸,۱۹	۱۰	۴,۵

(شکل ۲-۱۰) تصویر ماهواره‌ای لندست ۱۹۹۵ از منطقه زلزله زده بم را، با گسله‌های بنیادی و سازوکار زلزله‌های پهنه گلباف (در شمال غرب بم) نشان می‌دهد. در این تصویر مشخص است که روند گسله بم در انتهای شمالی خود به زون گسله اندوهجرد در ناحیه شهادت می‌رسد. در این قسمت گسله‌های بنیادی منطقه مرز پستی و بلندی را در منطقه غربی و جنوب غربی دشت لوت مشخص می‌کند. در همین تصویر ماهواره‌ای مشخص است که نهشته‌های کواترنری (با رنگ سفید در شرق گسل بم) در اثر جابجایی گسل بم محدود شده‌اند و در بخشی از آنها جابجایی نیز مشخص است (تصویر از پایگاه مؤسسه ERI در دانشگاه توکیو از شبکه اینترنت تهیه شده است).

۲-۲-۲- سازوکار زمینلرزه بم

براساس داده‌های سازوکار ژرفی منتشر شده (وب سایت مرکز ملی اطلاعات زمینلرزه NEIC و پایگاه داده‌های دانشگاه هاروارد، ۲۰۰۳) سازوکار ژرفی این زلزله به صورت امتدادلغز با یک مؤلفه کوچک گسلش معکوس بوده است (شکل ۲-۹). این سازوکار با شواهد تغییر مکان در راستای گسل بم با روند شمالی - جنوبی به صورت راستالغز راستگرد (شکل ۲-۱۰) منطبق است. سازوکار گزارش شده از سوی دانشگاه هاروارد در (شکل ۲-۹) در کنار رو مرکز زلزله مشخص است. یاگی (Yagi) از مؤسسه تحقیقات زلزله

دانشگاه توکیو (ERI) مدل تغییرمکان و بردارهای لغزش را براساس مدل کردن شکل موجهای لرزه‌ای محاسبه کرده است. این مدل تغییرمکان به همراه ساز و کار ژرفی محاسبه شده توسط این مرکز در (شکل ۲-۱۱) آمده است. سازوکار ژرفی برآورد شده توسط ERI تفاوت زیادی با سازوکار گزارش شده از سوی دانشگاه هاروارد نشان نمی‌دهد. ضمناً مدل تغییرمکان نمایانگر بردار لغزش بر روی سطح گسل به سوی سطح زمین به طرف بالا و به صورت مورب (با مؤلفه تغییر مکان قائم و به سوی شمال) است که این موضوع با مشاهده مؤلفه مهم جنبش شدید زمین به صورت عمود بر گسل و همچنین مشاهده مؤلفه شدید جنبش در جهت عمود به گسل قابل توجیه است. ضمناً بزرگای گشتاوری از سوی مؤسسه ERI Mw=6.5 برآورد شده است.

۲-۲-۳- پارامترهای چشمه لرزه‌زا

براساس برآورد مساحت پهنه گسیخته شده و ژرفای کانونی برآورد گشتاور لرزه‌ای صورت گرفت. گشتاور لرزه‌ای در مطالعه حاضر براساس جنبش ثبت شده در بم از لرزه اصلی و برآورد مساحت پهنه گسیخته شده $(M_0=0.92 \times 10^{19} \text{ N-m})$ نیوتن - متر برآورد می‌شود. براساس تخمین گشتاور لرزه‌ای، بزرگای زلزله بم $M_w=6/5$ محاسبه گردید. همچنین ژرفای کانونی زلزله بم براساس مشاهده نگاشت لرزه اصلی و پس‌لرزه‌ها ۸ کیلومتر برآورد می‌شود. از سوی دیگر تخمین پارامترهای جنبش براساس پردازش و بررسی شتابنگاشت حاصله در ایستگاه بم نمایانگر بزرگای گشتاوری $M_w=6/5$ ، شعاع چشمه (با فرض چشمه به صورت دایره ای) در حد $6/2$ کیلومتر و افت تنش 480 بار می‌باشد. این برآورد به صورت اولیه و براساس شتابنگاشت حاصله در بم صورت گرفته است. بدیهی است برآوردهای تفضیلی پارامترهای چشمه با پردازش کلیه شتابنگاشت‌ها صورت خواهد گرفت و متعاقباً منتشر می‌شود.

۲-۲-۴- گسل بم و گسیختگی‌های سطحی

گسل بم با راستای عمومی شمالی - جنوبی از نزدیکی شهر بم (شکل‌های ۲-۱ و ۲-۱۲) عبور می‌کند. این گسل در شرق بم از کنار شهر بروات عبور می‌نماید. (شکل ۲-۱۳). در (شکل ۲-۱۲) روند گسل‌های بم و سروستان بر روی تصویر ماهواره ای تهیه شده توسط ناسا در روز پس از زلزله $82/10/5$ نشان داده شده‌اند. این روندها بر روی زمین به صورت افتگاههایی گسلی با تغییر مشخص در پستی و بلندی (بین ۵ تا ۱۵ متر) در دشت‌های غربی و شرقی بم مشاهده می‌شوند (شکل‌های ۲-۱۴ و ۲-۱۵). روندهای ذکر شده تغییر به صورت موازی با هم ناحیه یاد شده را تحت تأثیر قرار داده و هر دو با تغییر مکان نهشته‌های کواترنر همراهند. براساس تصویر ۲-۱۳ (که زومی از تصویر تهیه شده توسط ناسا است)، مشخص می‌شود که روند رودخانه بم که به صورت تقریباً شرقی - غربی از ناحیه شمالی شهر بم عبور می‌کند به صورت یک خطواره ساختاری روند گسل بم را در شمال و شمال شرق بم قطع می‌نماید. همچنین (شکل ۲-۱۳) نشان می‌دهد که گسل بم به صورت حداقل سه قطعه گسله از شمال شرق، شرق و جنوب شرق بم عبور می‌کند.

احتمالاً قطعه‌های فعال شده در زلزله ۸۲/۱۰/۵ مربوط به قطعه مرکزی (که دقیقاً افتگاه گسلی آن از فاصله حدود ۸۰۰ متری منازل مسکونی شرق بم عبور می‌کند) و قطعه شمال شرقی می‌باشند. افتگاه گسل بم در غرب بروات در عکس هوایی ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان جغرافیائی نیروهای مسلح در سال ۱۳۳۵ نیز کاملاً مشخص است (شکل ۲-۱۶). در این عکس واضح است که روندهای آبراهه‌ها در هنگام عبور از روی افتگاه گسل هم کاملاً به صورت راستالغز راستگرد جابه‌جا شده‌اند. به نظر می‌رسد که محل‌های جابه‌جائی نهشته‌های سطحی هنگام عبور افتگاه گسلی بم پتانسیل‌های مناسبی برای مطالعات دیرینه لرزه‌شناسی در آینده باشند. افتگاه قدیمی گسل بم به صورت تغییر مشخص در پستی و بلندی در (شکل‌های ۲-۱۷ و ۲-۱۸) نشان داده شده‌اند. در این شکل‌ها تغییر مکانهای ۵ تا ۱۰ متری در راستای این گسل مشاهده می‌شوند. در این محل‌ها به نظر می‌رسد که تغییر مکان به صورت تجمعی در راستای گسل بم در طی زمان کوتاه‌تری به میزان‌های یاد شده در (شکل‌های ۲-۱۷ و ۲-۱۸) رسیده است.

در ناحیه بم قنات‌های فراوانی وجود دارد که چندین رشته از آنها در راستای تقریبی شمال شرقی - جنوب غربی از ناحیه شرق به غرب بروات (و شهر بم) مشاهده می‌شوند (شکل ۲-۱۹). در کنار افتگاه گسل بم در راستای گسل بروات فروچاله‌های قدیمی مشاهده می‌شوند (شکل ۲-۲۰) که احتمالاً بخشی از آنها به فروریزش در قنات‌های قدیمی که از این ناحیه عبور می‌کنند بستگی دارند.

گسیختگی‌های سطحی ایجاد شده پس از زلزله بم در پیرامون شهر بم و بین شهرهای بم و بروات دیده شد (شکل‌های ۲-۲۱ و ۲-۲۲). این گسیختگی‌های سطحی به صورت فروچاله نیز در شهر بروات قابل مشاهده است (شکل ۲-۲۳). احتمال دارد که حداقل بخشی از این فرونشست‌های زمین به فروریزش در مسیر قنات‌ها در نزدیکی افتگاه گسلی مرتبط باشند.

همانگونه که در (شکل‌های ۲-۲۱ و ۲-۲۲) نشان داده شده است. گسیختگی‌های سطحی حاصل از زلزله بم را به صورت ناپیوسته و در قطعات ۵۰ تا ۲۰۰۰ متری از ناحیه بین بروات و بم (در راستا و پیرامون افتگاه گسل بم) تا شمال و شمال شرق بم می‌توان دنبال نمود. در بعضی از این قطعات تغییر مکان‌های سطحی به صورت راستالغز راستگرد (شبه آنچه در سازوکار ژرفی در راستای صفحه با روند تقریباً شمالی - جنوبی مشخص است) نیز به صورت موضعی قابل مشاهده بود، ولی به صورت منظم در تمام قطعات گسیختگی سطح چنین تغییر مکان‌هایی را نمی‌توان دنبال نمود. راستای گسیختگی‌های سطحی در طول کلی حدود ۱۰ کیلومتر از غرب بروات تا شمال شرق بم، به صورت N40E تا N30W دیده می‌شوند. بخشی از این گسیختگی‌ها در جاده بم به بروات، پیش از رسیدن به افتگاه، بریدگی‌های سطحی نیز در جاده ایجاد نموده‌اند (شکل ۲-۲۲ a).

۲-۲-۵- نبود لرزه ای

کاتالوگ لرزه خیزی تاریخی ایران نشان می‌دهد که هیچ زمینلرزه تاریخی از بم گزارش نشده است. به نظر می‌رسد که زمینلرزه بم در ۱۳۸۲/۱۰/۵ پایان این نبود لرزه ای در راستای گسل بم باشد. این نبود لرزه ای را می‌توان براساس ویران نشدن ارگ تاریخی بم در طول بیش از ۲۰۰۰ سال توجیه نمود. بنابراین

مهمترین مساله در حال حاضر تعیین آخرین زمینلرزه های مهم رخ داده در طول گسل بم به ویژه در ناحیه بم و بین بم و بروات می باشد. در صورتی که امکان چنین کاری در محلتهائی که در بند ۲-۲-۴ مورد بحث واقع شد، وجود داشته باشد، دوره بازگشت زلزله های مخرب در این ناحیه محاسبه شده و داده مهمی برای برآوردهای خطر زلزله و پهنه بندی خطر در دسترس قرار خواهد گرفت.

۲-۳- زلزله شناسی مهندسی و جنبش شدید زمین

داده های شتابنگاری از زمینلرزه بم در ۲۳ ایستگاه شبکه ملی شتابنگاری ایران ثبت شده است (وب سایت مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن). شتابنگاشت در ایستگاه بم (شکل ۲-۲۴) در فاصله کانونی ۱۲ کیلومتری و فاصله سطحی از گسل به میزان یک کیلومتر بدست آمد. بیشینه شتاب پس از پردازش شتابنگاشت، روی مؤلفه افقی به ترتیب ۷۷۵ و ۶۲۳ سانتی متر بر مجذور ثانیه روی مؤلفه های افقی عمود بر گسل و موازی گسل می باشد. همچنین بیشینه شتاب پس از پردازش ۹۹۲ سانتی متر بر مجذور ثانیه روی مؤلفه قائم است. یادآوری می شود که فیلترهای باند پهن بین ۰/۱۱ و ۴۰ هرتز برای پردازش شتابنگاشت مذکور بر اساس محاسبه نسبت سیگنال به نوفه شکل (۲-۲۵) برآورد گردید. مشاهدات اولیه جنبش زمین در ایستگاه بم و همچنین بررسی خرابی ها در بم نمایانگر اثر جهت پذیری قائم به دلیل قرارگیری در حوضه نزدیک گسل است. این اثر را می توان با مشاهده نگاشت مؤلفه قائم و تغییر مکانهای شدید به سمت بالا و پائین در هنگام لرزه اصلی بم و از سوی دیگر با تغییر مکانهای شدید در راستای عمود بر گسل (شرقی - غربی) توجیه نمود. خرابی ساختمانها و دیوار منازل در جهت یاد شده و همچنین اظهارات اهالی و از نوع جنبش و تکانهای احساس شده نمایانگر چنین اثری می باشد. طیف فوریه ۳ مؤلفه شتابنگاشت بم در (شکل ۲-۲۶) آمده است. در این شکل مشخص است که در نگاشت مورد بحث محتوی فرکانس کوتاه بین حدود ۰/۱ تا ۰/۲ هرتز (پریود بلند بین ۵ تا ۱۰ ثانیه) در مؤلفه افقی عمود بر گسل دیده می شود. طیف تشدید H/V نیز نمایانگر چنین مسأله ای است (شکل ۲-۲۷). شکل های (۲-۲۸)، (۲-۲۹) و (۲-۳۰) به ترتیب طیف های پاسخ مؤلفه های افقی عمود بر گسل، قائم و موازی گسل برای میرائی های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ درصد و (شکل ۲-۳۱) طیف پاسخ برای میرایی ۵٪ روی سه مؤلفه یاد شده را نشان می دهند. بر اساس این طیف های پاسخ مشخص است که پریود غالب جنبش روی مؤلفه افقی در حد ۰/۲ ثانیه و روی مؤلفه قائم ۰/۱ ثانیه بوده است. همچنین بر اساس (شکل ۲-۳۱) مقدارهای شتاب طیفی روی مؤلفه قائم بیشترین مقادارها را نشان داده است. ضمناً مقدارهای طیفی مؤلفه افقی عمود بر گسل بیش از مقدارهای طیفی موازی مؤلفه گسل است.

همانطور که در بند ۲-۲-۲ بحث شد، مدل لغزش در گسل بم که از سوی "یاگی" در مؤسسه تحقیقاتی زلزله دانشگاه توکیو (ERI) محاسبه شده است، نشان می دهد که راستای غالب لغزش روی صفحه گسل به سمت بالا و به سوی شمال (به صورت مورب) بوده است که این موضوع مؤید جهت پذیری قائمی است که بر اساس شتابنگاری که در لرزه اصلی در بم بدست آمد نیز قابل توجیه است. در این حالت به نظر می رسد که جبهه گسیختگی در هنگام زلزله بم (لرزه اصلی) به صورت مورب به سمت بالا (سطح زمین) حرکت

کرده است و به همین ترتیب مؤلفه‌های قائم و عمود بر گسل (شرقی - غربی) جنبش‌های بسیار شدیدی را متحمل شده‌اند. بدیهی است که جمع بندی حاضر براساس بررسی اولیه شتابنگاستر بم انجام شده و تفسیرهای بیشتر پس از پردازش دقیق نگاشت حاصله در بم و در ۲۲ ایستگاه دیگر امکان پذیر خواهد بود.

۲-۴- شدت رومرکزی و بررسی پهنه‌های هم لرز

شدت رو مرکز مهلرزه ای زلزله مخرب ۱۳۸۲/۱۰/۵ بم (شکل ۲-۳۲) در بم I=IX در مقیاس شدت مهلرزه ای EMS98 برآورد می‌شود. شدت زلزله در براوات I=VIII و در محدود ارگ جدید و فرودگاه بم در حد I=VI-VIII و در کرمان و ماهان حدود I=V برآورد گردید. در راستای عمود بر گسل کاهندگی سریع جنبش شدید زمین و شدت زمینلرزه نمایان است به نحوی که خرابی‌ها عمدتاً به ناحیه شهری بم محدود می‌گردد. این کاهندگی سریع با افزایش فاصله از پهنه رومرکز مهلرزه ای زمینلرزه‌های حاشیه ناحیه لوت به ویژه در زلزله ناحیه قائن (۱۹۷۹ و ۱۹۹۷) و زمینلرزه‌های گلباف و سیرچ (۱۹۸۱) نیز محسوس بوده است. به نظر می‌رسد که بررسی دقیق وضعیت افت انرژی در پوسته در ناحیه‌های گسله حاشیه لوت ایران و کاهندگی جنبش شدید زمین باید به صورت پژوهشی مستقل مورد توجه خاص واقع شود.

۲-۵- اثرهای ژئوتکنیکی

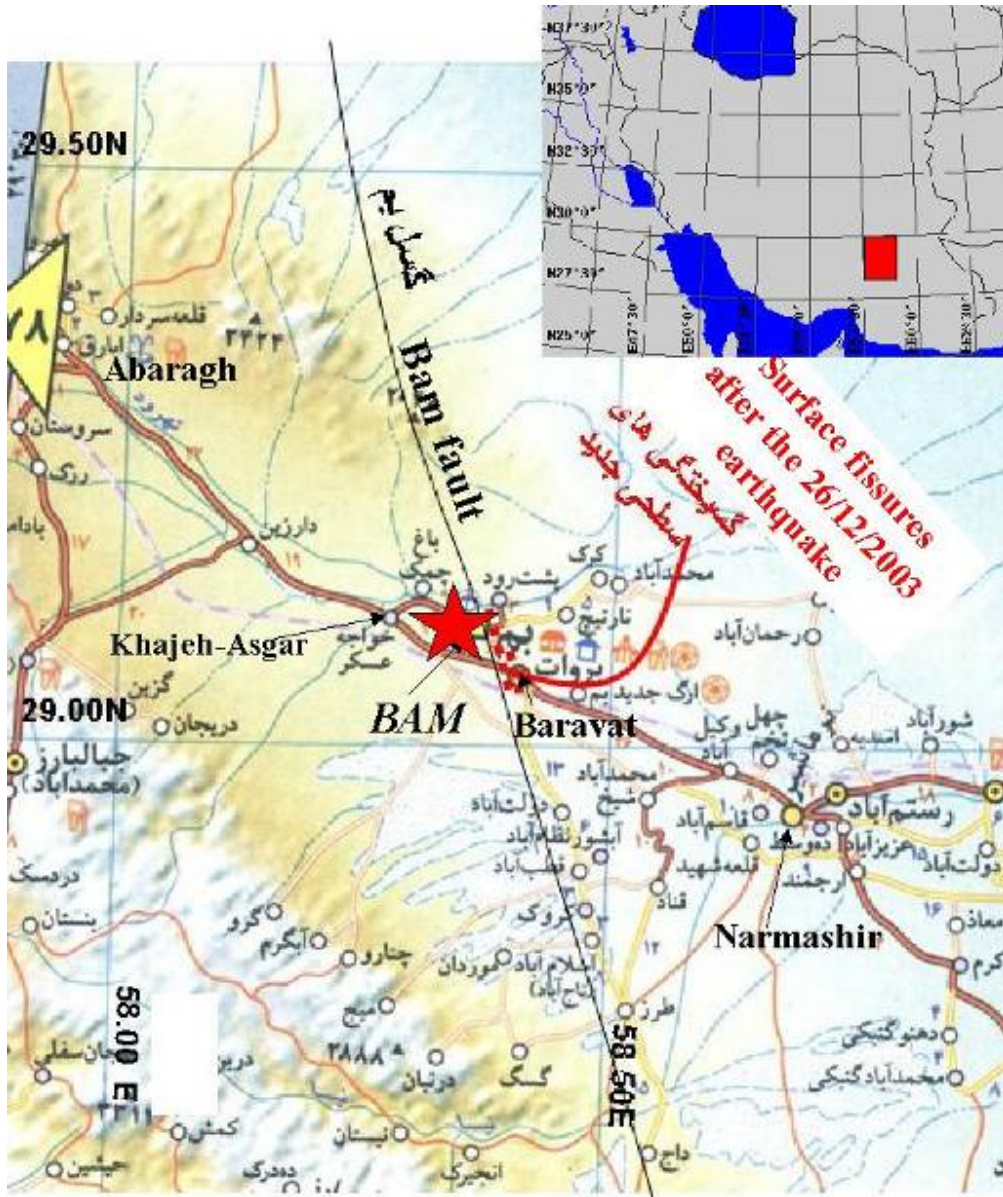
علاوه بر فرونشست‌های زمین که در پیرامون گسل بم (و در نزدیکی مسیر قناتها منطقه) در محدوده شهر براوات توضیح داده شد، مشاهده لغزشهایی موضعی در شرق بم به صورت سنگ افت نیز قابل ذکر است (شکل ۲-۳۳). این سنگ افت‌ها تا حد بررسی‌های انجام شده تا این مرحله موجب خسارت نشده‌اند. از سوی دیگر انجام مطالعات اثر ساختگاه با برداشت پروفیل‌های سرعت موج‌های S و P و همچنین برداشت میکروترمورها می‌تواند تصویر دقیق تری از احتمال مؤثر بودن مسأله تشدید در اثر آبرفت در هنگام زلزله بم به دست دهد. همچنین چنین مطالعاتی برای انتخاب محل ساخت و سازه‌های بعدی (به ویژه برای سازه‌های خاص) حائز اهمیت فراوان است.

۲-۶- آموخته‌ها

زلزله بم با بزرگای گشتاوری ۶/۵ (با محاسبه گشتاور لرزه ای) در اثر جنبائی مجدد گسل بم رخ داد و شهر بم را به دلیل اثر حوزه نزدیک گسل ویران نمود. گسیختگی‌های سطحی بین بم و براوات مشاهده شد. ژرفای کانونی ۸ کیلومتر با در نظر گرفتن لرزه اصلی و پس‌لرزه‌ها برای این زلزله برآورد می‌شود. بیشینه شدت در پهنه رو مرکز مهلرزه ای (شهر بم) در حدود ۹ در مقیاس EMS98 (در آستانه تخریب کامل) تخمین زده می‌شود. اثر حوزه نزدیک موجب جهت‌پذیری قائم و مشاهده جنبش‌های شدید در مؤلفه‌های قائم و عمود بر گسل (شرقی - غربی) شده است. در این زلزله کاهندگی سریع جنبش شدید زمین با افزایش فاصله از پهنه رومرکزی از نکته‌های مهم از دیدگاه زلزله‌شناسی جنبش شدید زمین بوده است.

۲-۷- مراجع

- [۱-۲] زارع، مهدی، ۱۳۷۹، بررسی تلاقی ساختاری در راستای سیستم های گسله کوک - کوهبنان و زمینلرزه ۱۳۷۷-۱۳۵۶ ناحیه زرنند - گلباف - سیرج (کرمان) پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال سوم، ش ۴، صص ۲۲-۳۴.
- [2-2] Ambraseys N.N., and C.P. Melville, 1982, A History of Persian Earthquakes, Cambridge Earth Sci. Ser.
- [2-3] Building and Housing Research Center (BHRC) web site, January 2004, <http://www.bhrc.gov.ir/>.
- [2-4] Earthquake Research Institute (ERI, University of Tokyo), web site, <http://wwwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/>
- [2-5] Harvard University, Seismology Department, web site, June 2002, <http://www.seismology.harvard.edu/>.
- [2-6] Jackson J. and D.P. McKenzie (1984), Active Tectonics of the Alpine Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan, Geoph. J. R. Astron. Soc., Vol.77, pp. 185-264.
- [2-7] National Earthquake Information Center (USGS), web site, <http://neic.usgs.gov/>
- [2-8] United States Geological Survey, USGS, Digital Data Series DDS-62-C, 2001.

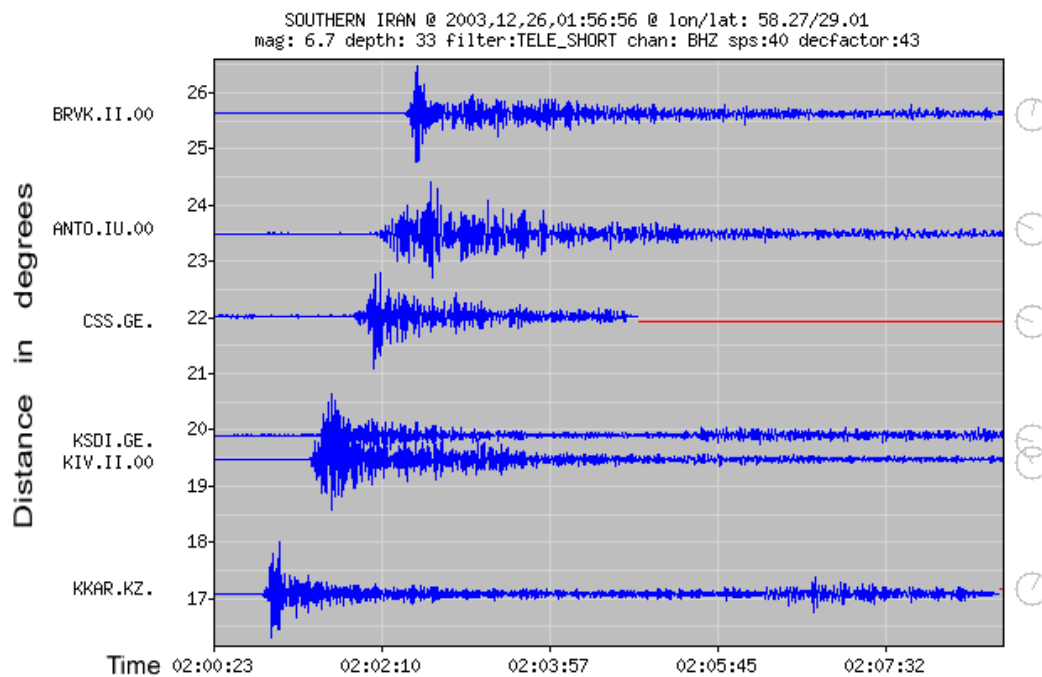


Bam Earthquake of December 26, 2003, Mw 6.5

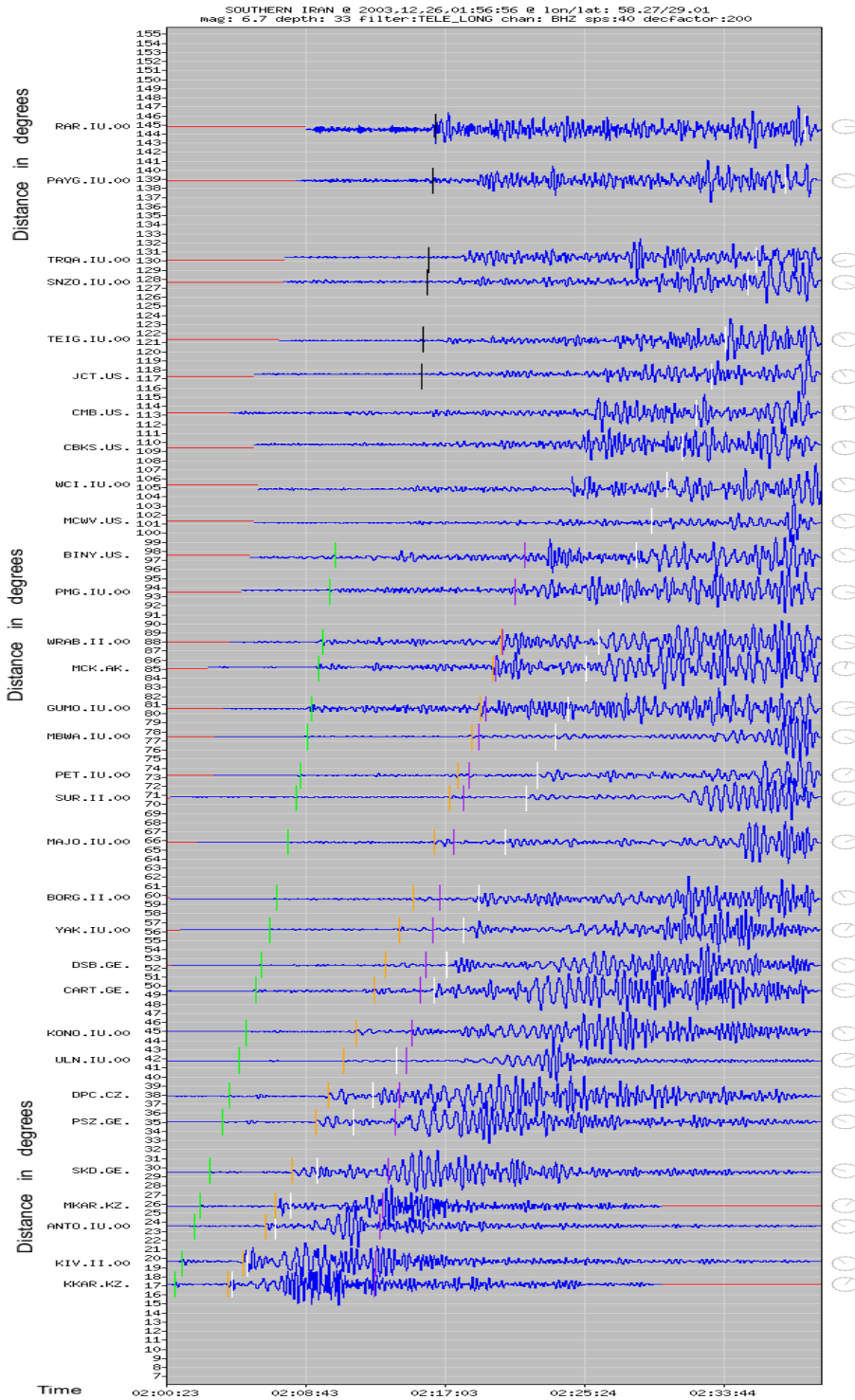
شکل (۱-۲): گستره منطقه زلزله زده بم



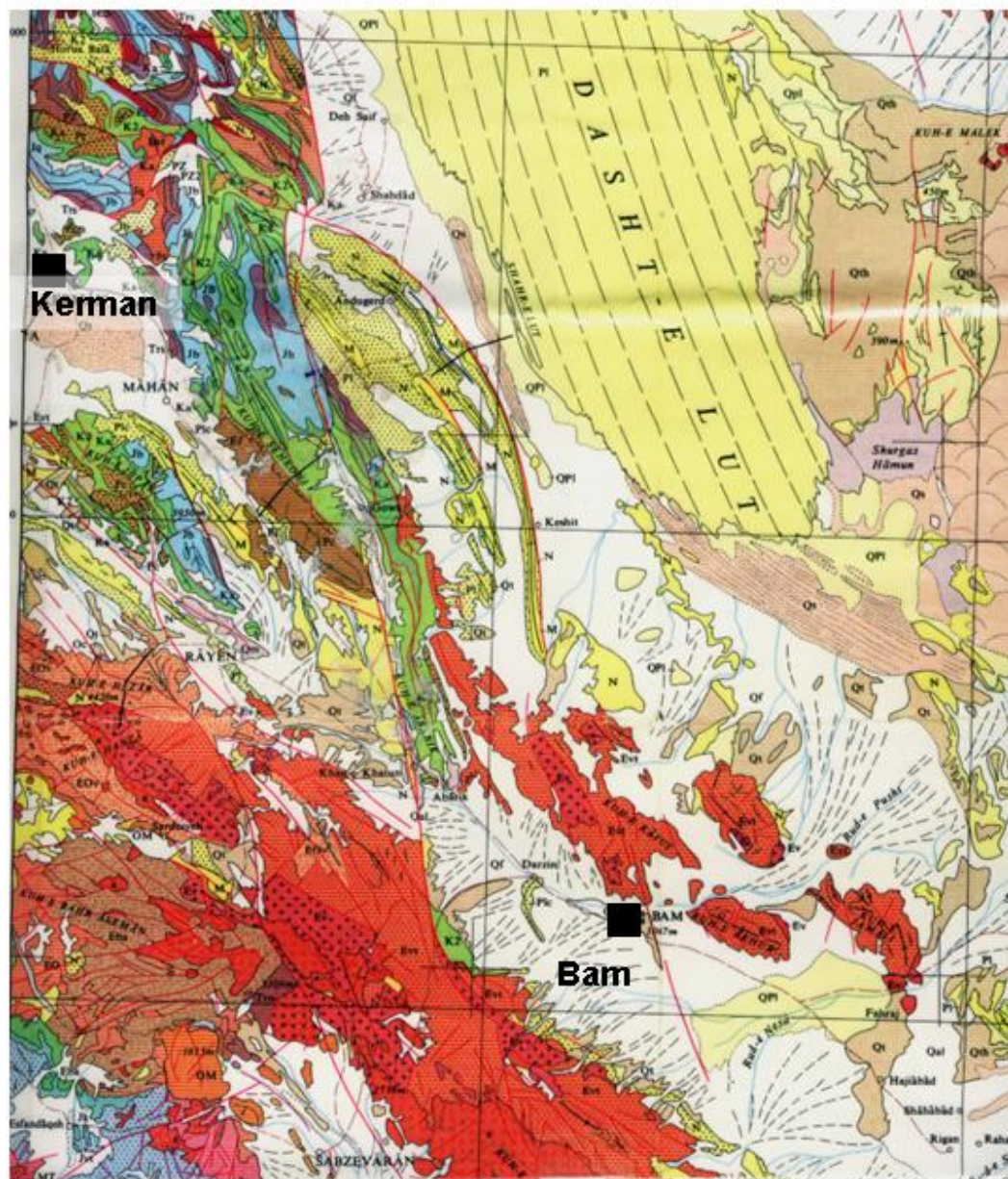
شکل (۲-۲): ارگ تاریخی بم در قبل و پس از زلزله ۱۳۸۲/۱۰/۵



شکل (۳-۲): نداشت لرزه ای زلزله ۱۳۸۲/۱۰/۵ بم که توسط مرکز لرزه نگاری پلی تکنیک زورینگ سوئیس گزارش شده است.

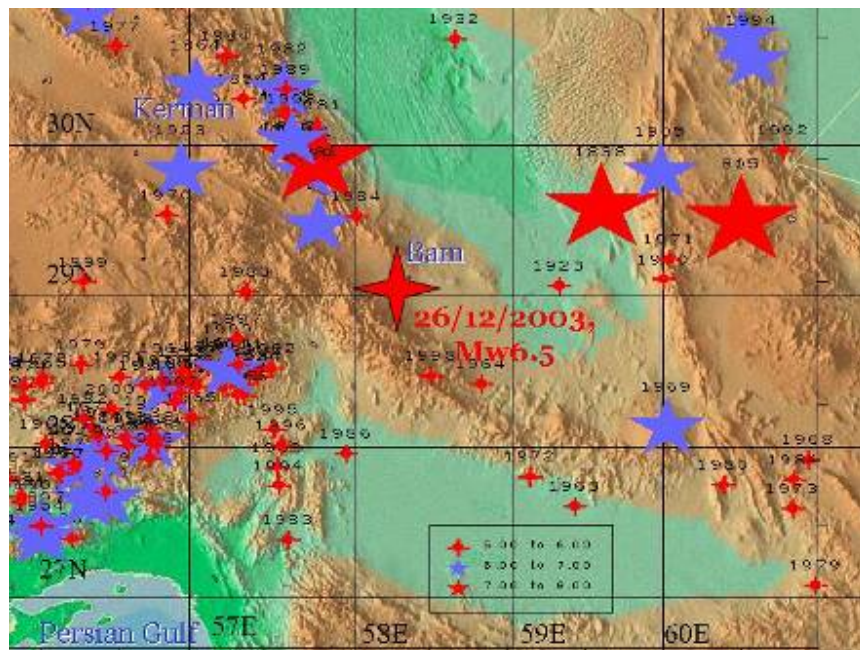


شکل (۲-۴): لرزه نگاشت های ثبت شده در ایستگاههای مختلف در جهان که توسط پایگاه لرزه نگاری پلی تکنیک زوریخ گزارش شده است.

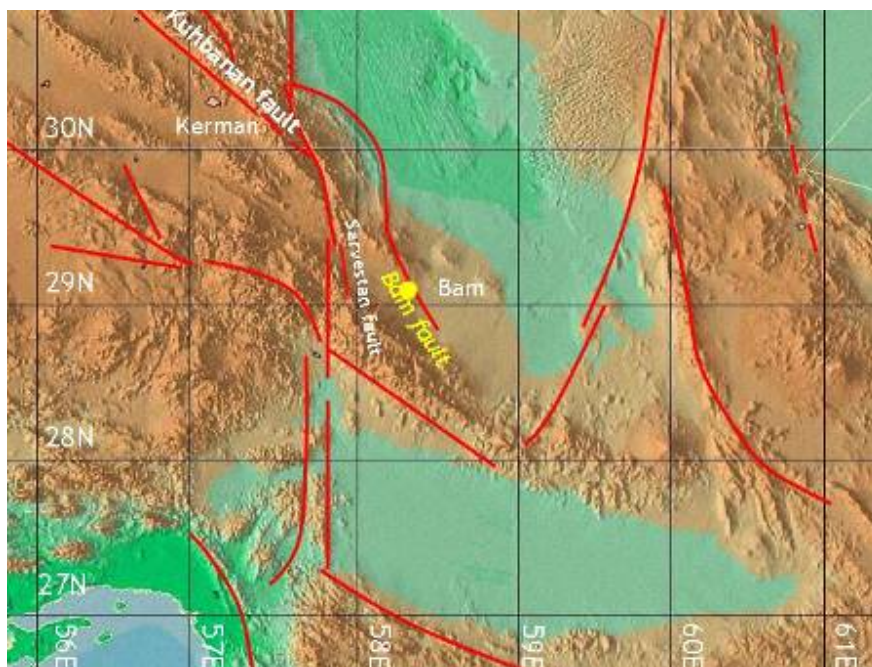


شکل (۲-۵): نقشه زمین شناسی پهنه زلزله زده بم (بخشی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰)

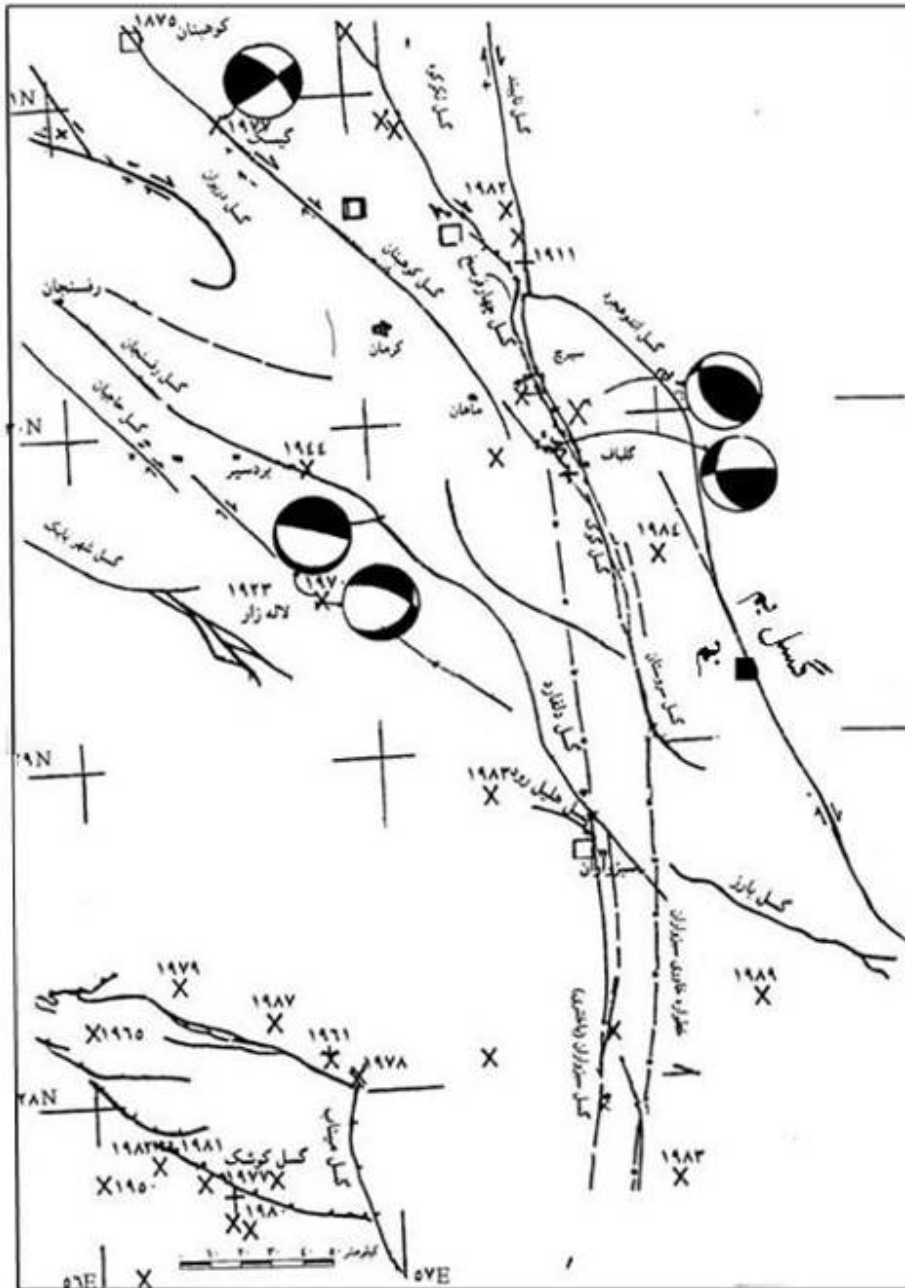
(شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۷۸)



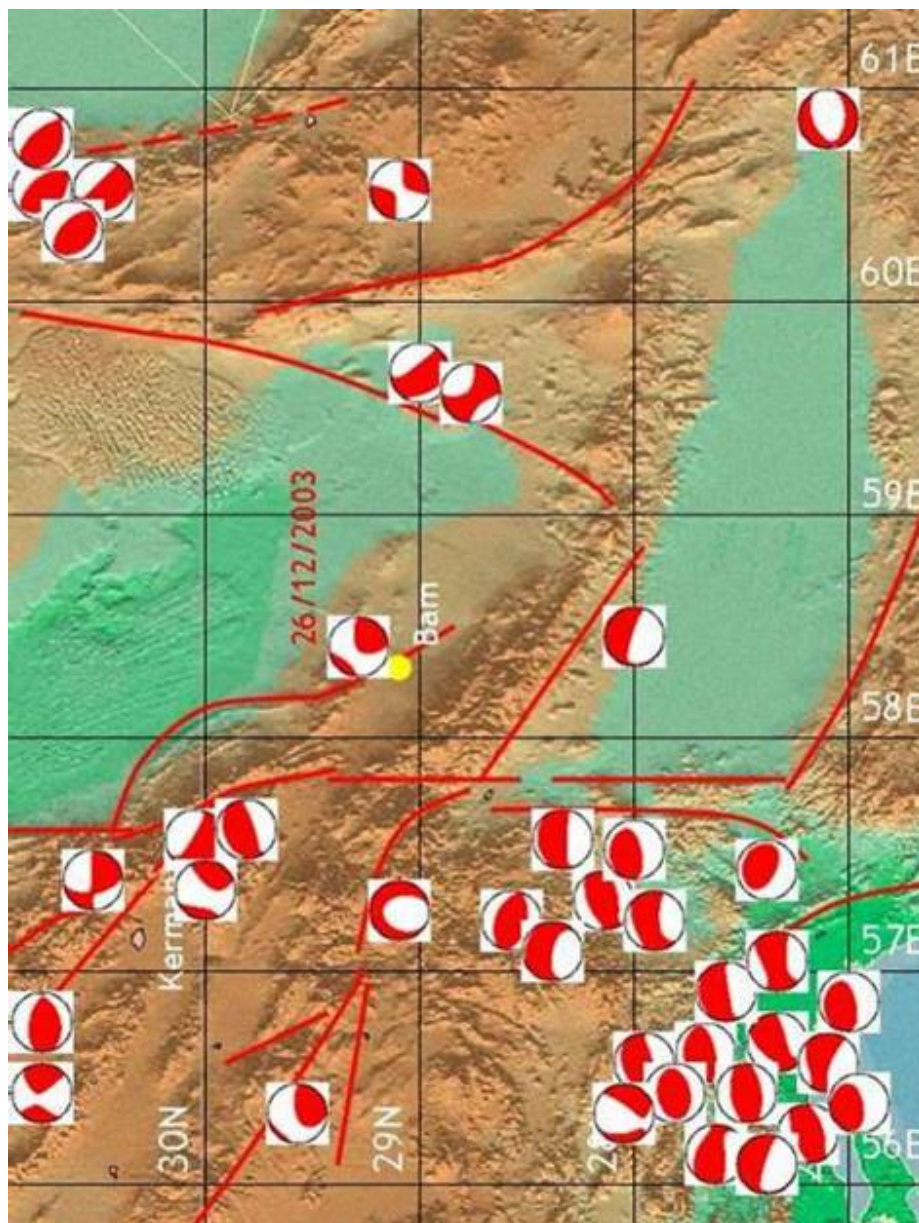
شکل (۲-۶): پراکندگی زمینلرزه‌ها در گستره پیرامون بم



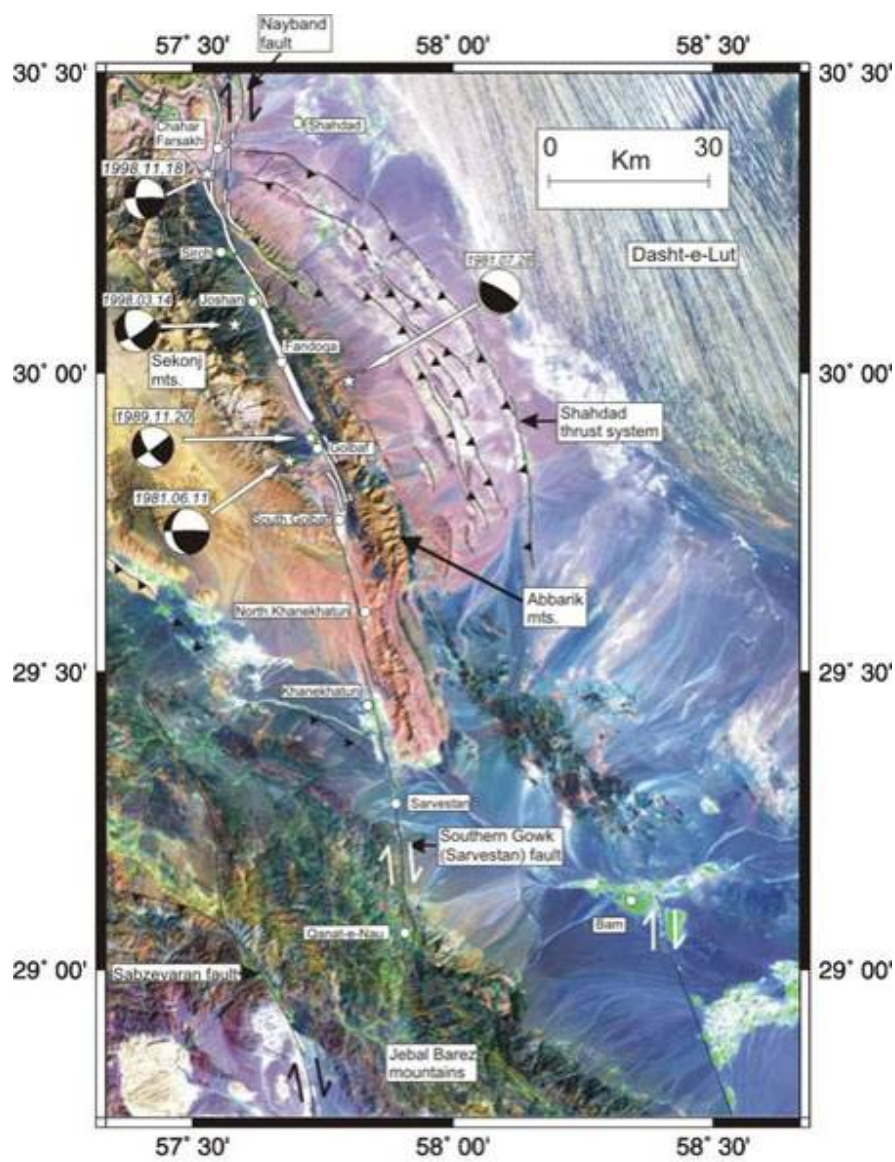
شکل (۲-۷): گسل‌های بنیادی در گستره پیرامون بم ۸۲/۱۰/۵ بم



شکل (۲-۸): نقشه گسلهای پهنه زلزله زده بم (زارع ۱۳۷۹)



شکل (۲-۹): سازو کار ژرفی زمینلرزه ها در گستره پیرامون بم
به همراه سازو کار ژرفی زلزله ۸۲/۱۰/۵ بم



شکل (۲-۱۰): تصویر ماهواره ای لند ست ناحیه بم که گسلهای بنیادی و سازوکار زلزله های ۱۹۸۱ گلباف و سیرچ روی آن پیاده شده است (نقل از وب سایت ERI)



شکل (۲-۱۲): تصویر ماهواره ای تهیه شده توسط ناسا (یک روز پس از زلزله ۲۶/۱۲/۲۰۰۳).



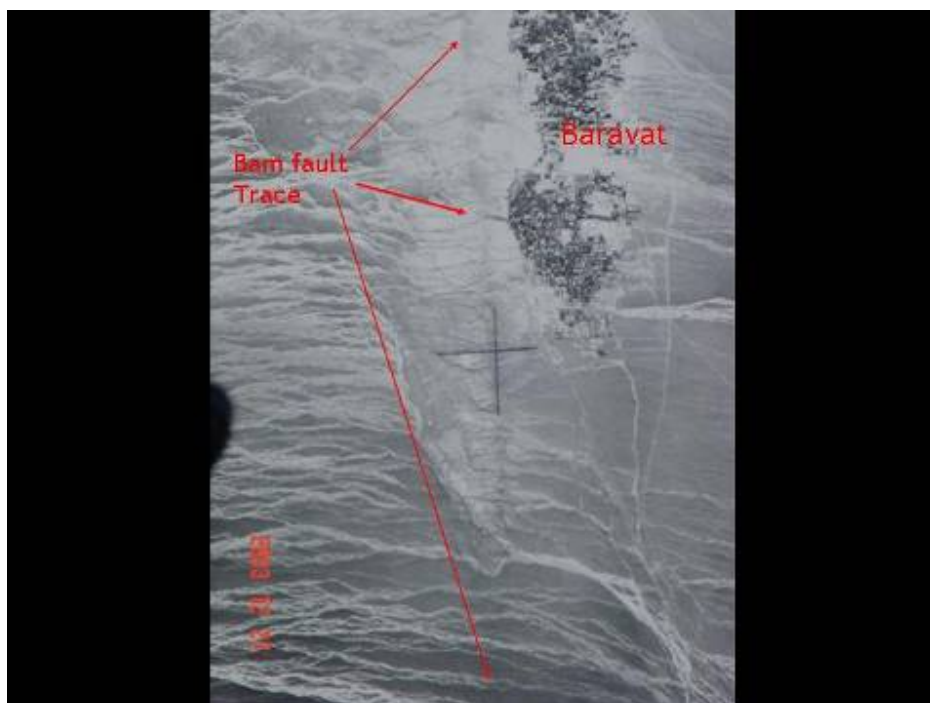
شکل (۲-۱۳): تصویر ماهواره ای تهیه شده توسط ناسا (یک روز پس از زلزله ۲۶/۱۲/۲۰۰۳) موقعیت پهنه رومرکزی و محلهای اصلی آسیب دیده از زلزله بم به همراه قطعات گسل بم در شکل نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۴): افتگاه گسل سروستان در غرب بم.



شکل (۲-۱۵): افتگاه گسل بم در غرب بروات.



شکل (۲-۱۶): عکس هوایی تهیه شده از گسل بم از گسل بم و شهر بروات در سال ۱۳۳۵



شکل (۲-۱۷): افتگاه گسل بم در شمال شرق بم



شکل (۲-۱۸): افتگاه گسل بام



شکل (۲-۱۹): دهانه چاه ها در مسیر قناتها در ناحیه بام



(شکل ۲۰-۲): دهانه فروچاله ها در مسیر قناتها در ناحیه بم (شمال غرب بروات)



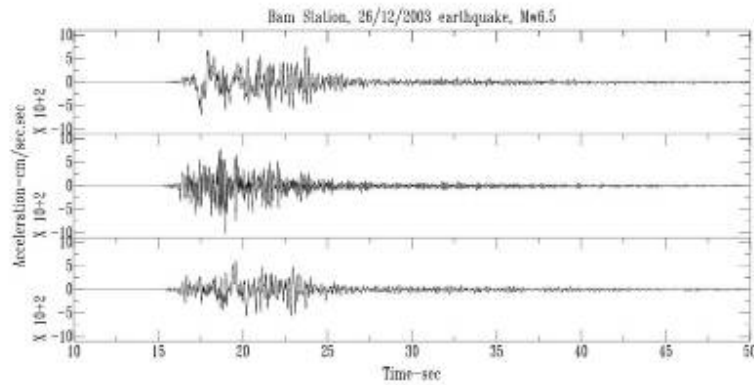
شکل (۲۱-۲): گسیختگی های سطحی در نزدیکی افتگاه گسل بم (بروات)



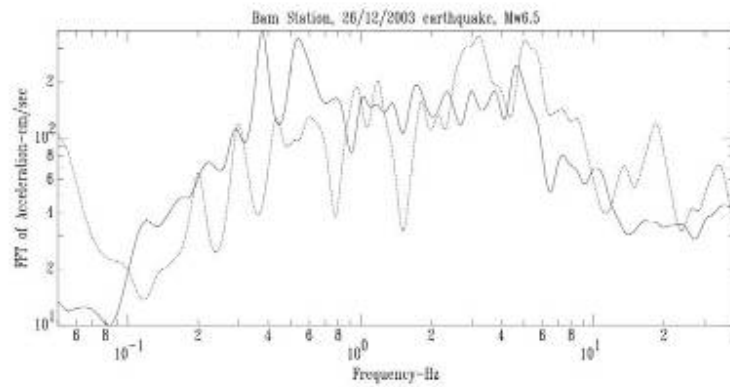
شکل (۲-۲۲): گسیختگی های سطحی در راستای گسل بم



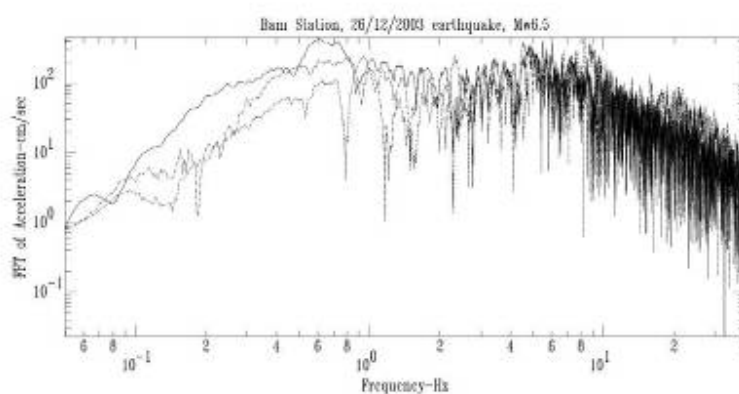
شکل (۲-۲۳): فروچاله ایجاد شده در بروات در نزدیکی افتگاه گسله بم و بر مسیر قنات های بروات



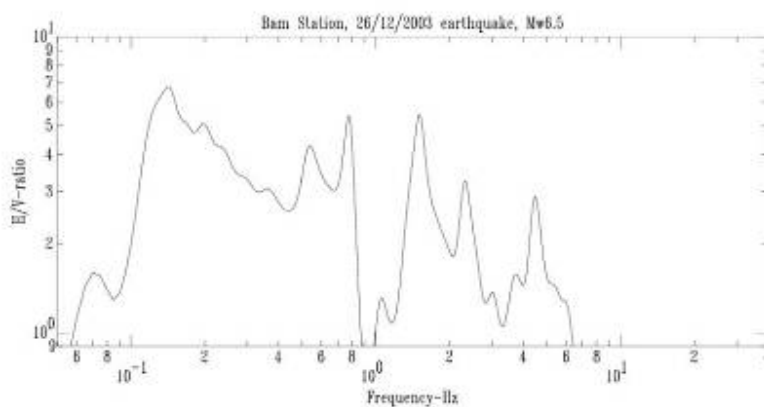
شکل (۲-۲۴): شتابنگاشت ثبت شده در ایستگاه شتابنگاری بم (مستقر در فرمانداری بم). (نگاشت به صورت رقمی از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن دریافت شده است)



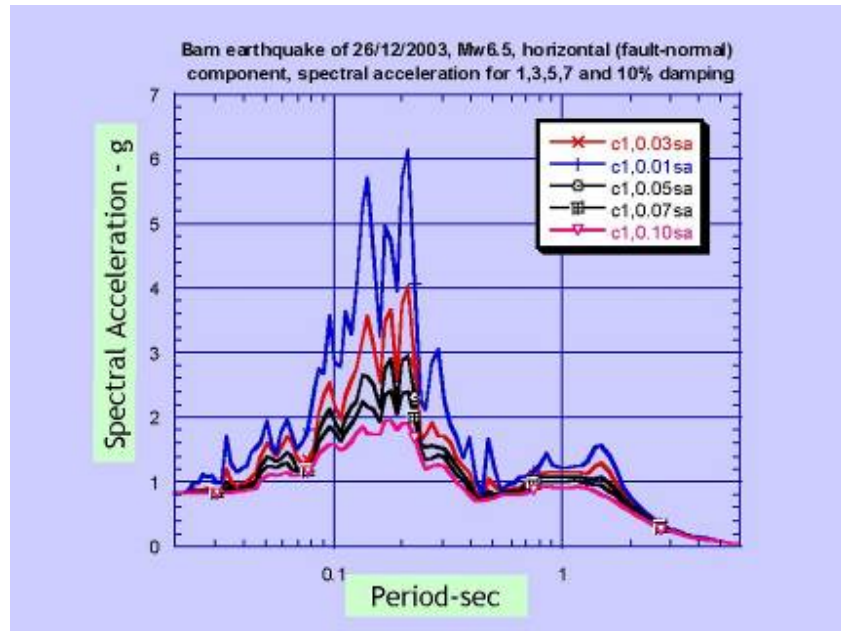
شکل (۲-۲۵): نسبت سیگنال به نوفه برای شتابنگاشت بم (خط چین مولفه قائم و خط پیوسته نسبت طیفی برای مولفه های افقی را نشان می دهد)



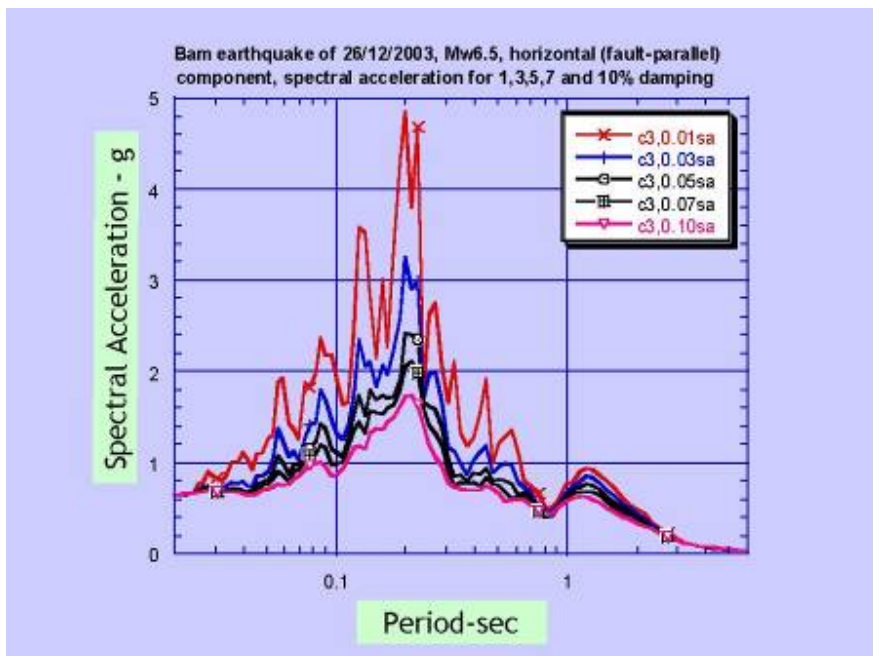
شکل (۲-۲۶): طیف فوریه شتابنگاشت بم (خط چین مولفه قائم و خطهای پیوسته طیف برای مولفه های افقی را نشان می دهد)



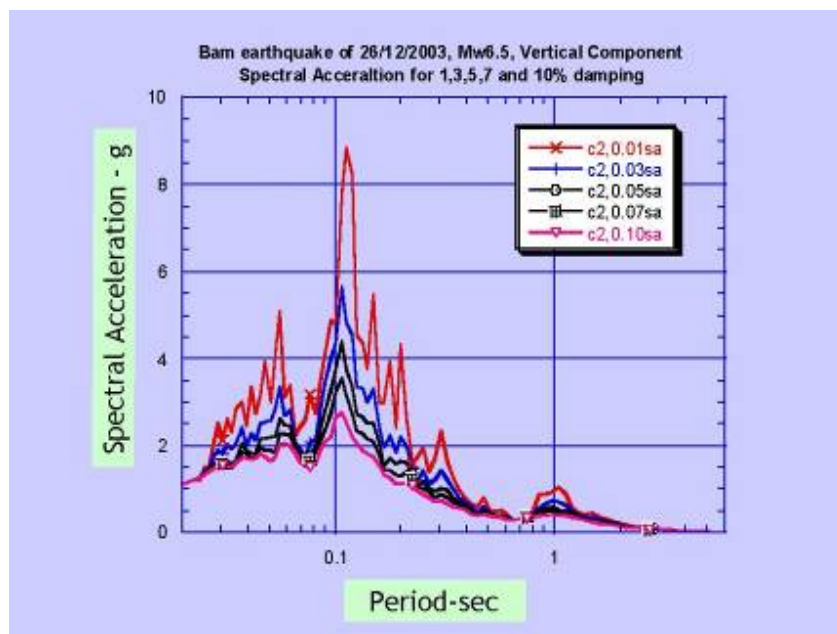
شکل (۲-۲۷): نسبت طیفی مولفه افقی به قائم در شتابنگاشت بم



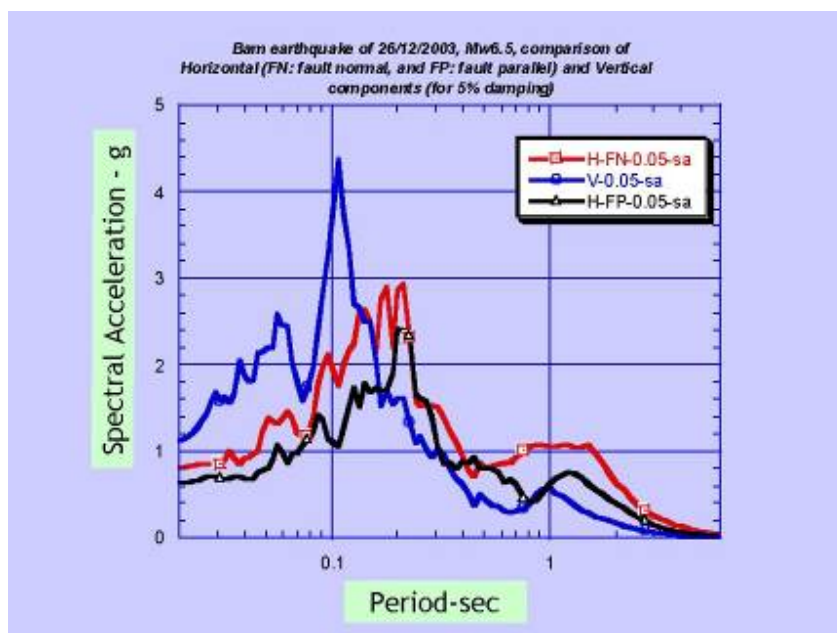
شکل (۲-۲۸): طیفهای پاسخ برای میرائی‌های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۰٪ - مولفه افقی عمود بر گسل



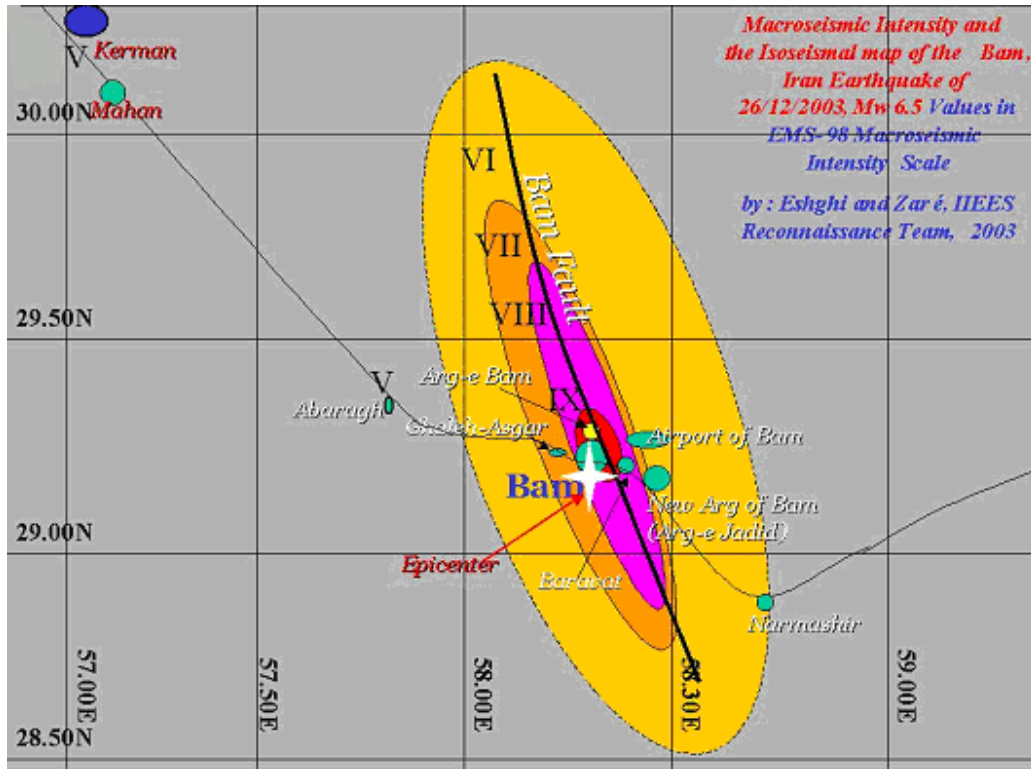
شکل (۲-۲۹): طیفهای پاسخ برای میرائی‌های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۰٪ - مولفه افقی موازی گسل.



شکل (۲-۳۰): طیفهای پاسخ برای میرائی های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۰٪ - مؤلفه قائم



شکل (۲-۳۱): مقایسه طیفهای پاسخ برای ۵ درصد روی مؤلفه های افقی عمود بر گسل و موازی گسل و مؤلفه قائم



شکل (۲-۳۲): نقشه هم شدت زلزله بم



شکل (۲-۳۳): لغزش به صورت سنگ افت در شرق بم. (نزدیک جاده بم - بروات)

