

# لرزه‌ی زمین ساخت و گسلش سطحی گسل مسبب زمین لرزه سال ۱۳۸۲ بم

حمیدرضا رمزی

استادیار

دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

این مقاله به لرزه زمین ساخت منطقه بم، و گسلش سطحی گسل مسبب رویداد زمین لرزه‌ی بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۳ میلادی بم پرداخته است. از نظر لرزه‌ی زمین ساختی، بم در یک منطقه پرتکاپو قرار گرفته که گسل‌های جنبه‌ای مهمی در آن گسترش دارند، و بنظر می‌رسد ساختارهای زمین ساختی بطرف خاور این منطقه همگرایی یافته، و یک گره تکنو نیکی را ایجاد می‌کنند، که گسل لرزه‌زای بم در کناره‌ی خاوری این گره قرار دارد.

بررسی‌های محلی نشان می‌دهد، گسل بم که از بین بم و بروات می‌گذرد؛ گسل مسبب رویداد زمین لرزه بم می‌باشد. این گسل که دارای روند تقریباً شمالی - جنوبی است، یک گسل بزرگ زاویه است و افزون بر ۸۰ کیلومتر درازا دارد، که نهشته‌های جوان را جابجا نموده، و پهلوی باختری آن نسبت به پهلوی دیگر بطرف بالا حرکت نموده است.

ویژگی‌های گسل مسبب زمین لرزه بم توسط حل صفحه گسل برآورد شده است. براساس این برآورد، گسلش سطحی دارای روند N174 است، که گسلی است بزرگ زاویه، و ساز و کار جابجایی راست‌لغز آن، راست گرد است. این ویژگی‌ها با ویژگی‌های گسل بم همخوانی دارد؛ اما بررسی‌های محلی نشان می‌دهد که جابجایی نهایی امتداد لغز، یک جابجایی چپ گرد است نه راست گرد. علت اختلاف بین ساز و کار جابجایی نهایی (که روی زمین قابل مشاهده است)، و جابجایی حاصل از حل صفحه گسلی این است که شکست در چند مرحله اتفاق افتاده است؛ بطوری که ساز و کار نخستین مرحله راست گرد بوده ولی ساز و کار نهایی (باقی مانده)، بصورت چپ گرد است. طول گسلش سطحی حدود ۹ کیلومتر در بین بم و بروات بویژه جنوب جاده بم - بروات قابل ردیابی است و بیشترین جابجایی قائم و افقی مشاهده شده به حدود ۵ سانتیمتر می‌رسد.

## کلمات کلیدی

لرزه زمین ساخت، گسلش سطحی، گسل مسبب، زمین لرزه بم

## Seismotectonic and Surface Refaulting of the Causative Fault of 26 December 2003 Bam Earthquake

H. Ramazi

Assistant Professor

Department of Mining, Metallurgical & Petroleum-Engineering,  
Amirkabir University of Technology



## Abstract

*This paper is devoted to seismotectonic of Bam region and surface refaulting associated with the destructive Bam earthquake of 26 December 2003. The earthquake with Magnitude 6.7 Ms, shook Bam district, most of buildings were totally collapsed in Bam and surrounding villages and caused a lot of killed and injured people. From seismotectonic point of view, Bam is located in a high active zone involving a number of active faults. Bam fault is located in the extremely east-north part of this zone, which seems to be a tectonic tie. According to the macroseismic studies the causative source of the quake is Bam fault, which is a high angle fault and its trend is nearly N-S. The surface refaulting is about 9 kilometers long and the maximum residual strike slip displacement is 5 cm, which is left lateral. Bam city is situated on the west block of the fault and its distance to the fault zone is 1.5 km.*

## Key words

*Earthquake, seismotectonic, seismology, refaulting, Bam, Iran*

## مقدمه

در سحرگاه روز جمعه پنجم دی ماه سال ۱۳۸۲ خورشیدی زمین‌لرزه بزرگی شهر بم و روستاهای پیرامون آنها را در جنوب خاوری استان کرمان به شدت لرزاند، به گونه‌ای که درصد زیادی از ساختمان‌ها در این منطقه ویران، و شمار چشمگیری از مردم کشته و زخمی شدند. زمان رویداد این زمین‌لرزه، به وقت بین‌المللی و تاریخ میلادی، برابر است با ساعت یک و ۵۶ دقیقه و ۵۶ ثانیه (ساعت ۵ و ۲۶ دقیقه و ۵۶ ثانیه به وقت محلی) روز جمعه بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۳ میلادی. بزرگی این زمین‌لرزه، توسط مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ۶/۳ (به احتمال قوی mb)، و توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا  $M_w = 6/5$  و  $M_s = 6/7$  گزارش شده است.

این زمین‌لرزه، به وسیله ۲۲ دستگاه شتابنگار، مربوط به شبکه شتابنگاری کشور، مستقر در ایستگاه‌های پیرامون منطقه نگاشته شده است. بیشترین شتاب نگاشته شده (تصحیح نشده)، مربوط به مؤلفه قائم نگاشت، حاصل از ایستگاه شتابنگاری بم می‌باشد که به حدود  $g/10$  رسیده است.

بررسی‌های مهلرزهای نشان می‌دهد، مرکز این زمین‌لرزه در فاصله حدود ۴ کیلومتری جنوب خاوری شهر بم، بین بم و بروات قرار داشته. گستره بیشترین شدت زمین‌لرزه، گستره محدودی است که با دور شدن از مرکز زمین‌لرزه، از میزان ویرانی‌ها، گزندها و دیگر اثرهای زمین‌لرزه به حد چشم‌گیری کاسته شده است. به گونه‌ای که، در فاصله‌ی کمتر از ده کیلومتری مرکز زمین‌لرزه، گزندها اندک بوده است. این در حالی است که بخشهای زیادی از شهر بم، و بخش بروات به کلی ویران شده، و شمار کشته شدگان در این دو محل، افزون بر ۳۵ هزار نفر است.

براساس بررسی‌های مقدماتی انجام شده در محل، شدت زمین‌لرزه در بم حدود درجه  $IX^+$ ، MSK بوده است. در این درجه از شدت، فقط تعداد اندکی از ساختمان‌هایی که اصول مهندسی در آنها رعایت شده گزند جدی دیده، و بقیه پایدار می‌مانند. وضعیت ساخت و ساز در شهر بم و بروات، بسیار غیراصولی و بدون ضابطه بوده است، و ساختمان‌های ساخته شده مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران (آئین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله [2]) بسیار اندک بوده و فقط چند درصد از ساختمانهای کل شهر را شامل شده‌اند. از همین رو، اکثر ساختمان‌ها از مصالح نامقاوم خشت و گل، آجر باملات نامناسب بدون شناژهای افقی و قائم، ساخته شده بودند که همگی فرو ریخته‌اند.

## پیشینه لرزه خیزی منطقه

کهن‌ترین زمین‌لرزه‌ای که در منطقه روی داده، و داده‌ای از آن در دسترس است؛ زمین‌لرزه دوم دسامبر سال ۸۰۵ میلادی است، که بزرگی آن حدود ۷Ms برآورد شده است. این زمین‌لرزه در فاصله حدود ۲۰۰ کیلومتری خاور روی بم داده است. افزون بر آن، زمین‌لرزه‌ای در سال ۸۱۵ میلادی، با بزرگی ۷ در همان محل زمین‌لرزه سال ۸۰۵ گزارش شده است [3]. این



زمین‌لرزه‌ها، در سیستان روی داده‌اند و تأثیری در بم نداشته‌اند. در سال ۱۸۳۸ میلادی نیز، زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۷ در فاصله حدود ۱۵۰ کیلومتری خاور - شمال خاوری بم، در نصرت آباد سیستان روی داده، که مهمترین زمین‌لرزه تاریخی تا شعاع حدود ۱۵۰ کیلومتری بم است. همچنین در سال ۱۸۷۷ میلادی، زمین‌لرزه دیگری با بزرگی حدود ۵/۶ در فاصله حدود ۱۳۰ کیلومتری شمال باختری بم روی داده است.

ویژگیهای مهمترین زمین‌لرزه‌های تاریخی پیرامون بم، تا شعاع ۲۱۰ کیلومتری، در جدول (۱) ارائه شده است. همانگونه که در این جدول دیده می‌شود زمین‌لرزه‌ی درخور توجهی تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری گزارش نشده، و فاصله اکثر زمین‌لرزه‌هایی که داده‌ای در مورد آنها در دسترس است، از شهر بم بیش از ۱۵۰ کیلومتر می‌باشد.

البته با توجه به کویری بودن منطقه، نبود داده‌های لرزه‌ای نمی‌تواند دلیل قاطعی بر فعال نبودن منطقه در گذشته باشد. اما با توجه به تاریخی بودن شهر بم و ارگ کهن آن، چنانچه زمین‌لرزه ویرانگری در این شهر روی می‌داد، قاعدتاً باید در اسناد تاریخی نگاشته می‌شد. از سوی دیگر باید توجه نمود که دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های بزرگ، زیاد است و یک دوره ۱۲۰۰ ساله کفایت نمی‌کند.

فهرست زمین‌لرزه‌های دستگاهی (سده بیستم میلادی) بزرگتر از ۵ که در گستره‌ای به مرکز بم، و شعاع حدود ۱۵۰ کیلومتری، و زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیشتر از ۴/۵ که تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری روی داده‌اند، در جدول (۲) ارائه شده است.

همان گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، داده‌های زیادی در مورد زمین‌لرزه‌های نیمه اول سده بیستم میلادی در دسترس نیست. عدم پیشرفت نگاشت دستگاهی زمین‌لرزه‌ها در آن زمان مربوط می‌شود. اما در نیمه دوم، به ویژه در چند دهه پایانی سده بیستم، تقریباً تمام زمین‌لرزه‌های بزرگ تر از ۴/۵ نگاشته و گزارش شده‌اند؛ در این میان زمین‌لرزه‌هایی که در پیرامون گلباف، در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری شمال باختری بم روی داده‌اند، دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. از جمله این زمین‌لرزه‌ها می‌توان به زمین‌لرزه دوم ژانویه سال ۱۹۴۳ میلادی با بزرگی ۵/۶؛ زمین‌لرزه پنجم ژانویه سال ۱۹۴۸ میلادی با بزرگی ۶؛ زمین‌لرزه یازدهم ژوئن سال ۱۹۸۱ میلادی با بزرگی ۶/۶؛ زمین‌لرزه بیست و هشتم ژوئن سال ۱۹۸۱ میلادی با بزرگی ۷ و زمین‌لرزه چهارم مارس سال ۱۹۹۹ میلادی با بزرگی ۶/۵ اشاره نمود. در هنگام روی دادن تمام این زمین‌لرزه‌ها، لرزش در شهر بم حس شده، تا حدی که وحشت برخی از مردم را برانگیخته، اما گزندی به شهر نرسیده است.

جدول (۱): لیست زمین‌لرزه‌های تاریخی روی داده در منطقه بم

Y	m	d	N	E	M	R	a
805	12	2	29.5	60.5	7.0	203	28
815			29.5	60.5	7.0	203	28
838			29.6	59.9	7.0	153	47
1849			27.7	57.6		170	
1854	11		30.5	57.3	5.8	184	13
1864	1	17	30.6	57.0	6.0	208	12
1871	8	4	30.6	57.0	5.0	208	
1877			30.1	57.6	5.6	131	20
1897	5	27	30.6	57.0		208	

Y :year, m :month, d:day,(N and E):coordinates of epicenter, M : magnitude, R: epicentral distance to Bam town, a :acceleration in Bam (calculated Cm/s/s)



جدول (۲): فهرست زمین‌لرزه‌های دستگاهی (سده بیستم) روی داده در منطقه بم [4]

Y	m	d	T	N	E	Fd	mb	Ms	R	a	Ref
1909	10	27	18453	30.09	57.58	20	5.5	5.5	131	18	AMB*
1923	9	14	810	28.97	59.33	20	5.6	5.6	91	40	AMB
1934	1	2	2055	29.97	57.42	20	5.6	5.6	130	20	AMB
1948	7	5	135314	29.88	57.73	20	5.9	6.0	104	43	AMB
1956	6	29	21832	28.60	57.20	15	4.5		121		WDC
1960	8	23	65814	29.10	59.80	64	5.6		133	18	USA
1963	10	16	1902	28.80	58.00	32	4.9		47	32	USA
1963	11	18	14256	29.30	57.00	33	5.0		128	10	USA
1964	5	11	60741	28.13	57.38	68	5.3		141	11	ISS
1971	12	20	232743	28.32	57.18	84	5.0		139		ISS
1976	11	13	101236	28.25	57.34	62	5.0		133		ISS
1981	6	11	72425	29.89	57.71	30	6.0	6.6	106	70	ISS
1981	6	12	64402	29.76	57.90	62	4.6		85	10	ISS
1981	6	21	130848	29.85	57.84	47	4.9	4.3	96	11	ISS
1981	7	28	172222	29.98	57.77	11	5.9	7.0	112	90	ISS
1981	10	14	91239	29.90	57.75	43	5.2	4.6	105	13	ISS
1982	10	15	25355	28.28	57.39	83	5.0		128	10	ISS
1983	1	31	185653	28.91	57.31	33	5.0		99	14	ISS
1984	10	11	50927	29.53	58.03	48	5.1		57	35	ISS
1988	12	3	12333	30.25	57.54	28	5.2		148	10	USGS
1989	4	2	64204	28.25	57.31	44	5.3		135	12	USGS
1989	11	20	41904	29.89	57.71	18	5.6	5.5	106	27	USGS
1990	6	26	45901	28.54	59.06	33	4.9		90	14	USGS
1991	12	19	195517	28.10	57.30	27	5.3	4.8	148	11	USGS
1993	4	12	140040	28.33	57.14	33	5.2		141	10	USGS
1996	2	26	80819	28.32	57.09	33	5.3	5.2	146	12	USGS
1996	2	26	80924	28.32	57.10	33	5.4		145	12	USGS
1996	9	28	135355	28.48	57.55	33	4.8		100	10	USGS
1997	10	20	60904	28.50	57.27	33	5.6	5.0	121	14	USGS
1998	3	14	194027	30.15	57.61	9	5.9	6.1	136	24	USGS
1998	6	10	83014	28.28	58.54	88	5.1		92	18	USGS
1998	12	9	213660	28.58	57.64	33	4.7		88	11	USGS
1999	3	4	53826	28.34	57.19	33	6.2	6.5	137	38	USGS
1999	3	4	54750	28.32	57.15	33	5.6		141	16	USGS
1999	3	4	55028	28.41	57.10	33	5.1		139	10	USGS
1999	3	4	71636	28.50	57.08	33	5.0		136	10	USGS
1999	3	4	72604	28.47	56.94	33	5.2		149	11	USGS
1999	3	4	91936	28.48	58.01	33	4.5		76	11	USGS
1999	3	4	95203	28.51	57.21	33	5.3		125	14	USGS
1999	5	25	111729	28.46	57.65	33	4.7	3.8	97		USGS
2001	11	25	213054	28.31	57.27	40	5.1	4.2	133		USGS
2002	1	4	90618	28.40	57.24	33	4.0		129		USGS

Y:year, m :month, d:day, T:Time (hour,minut,second), N,E:coordinates of epicenter, Fd :focal depth, mb :body waves magnitude, Ms :surface waves magnitude, R:epicentral distance to Bam, a :acceleration in Bam Cm/s/s, Ref: refrence

## لرزه زمین ساخت منطقه

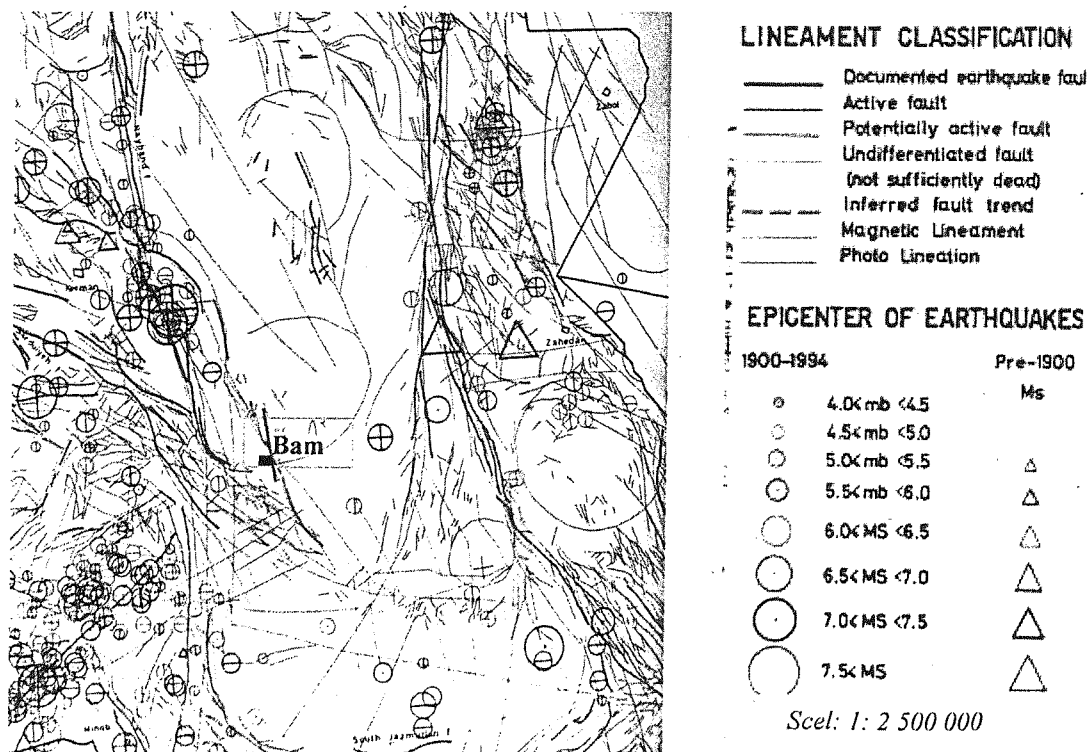
منطقه بام از دیدگاه لرزه زمین ساختی، دارای شرایطی ویژه است و به نظر می‌رسد، این منطقه در خاوری‌ترین بخش یک گره زمین ساختی واقع شده است، که گسل بام در کناره جنوب خاوری آن قرار گرفته، و ساختارهای زمین ساختی، از این نقطه بطرف شمال، شمال باختری و باختر گسترش دارند (شکل ۱). گسل بام دارای روند تقریباً شمالی - جنوبی است که از بین شهر بام و بخش بروات می‌گذرد [5]. اما این گسل نهشته‌های جوان دوران چهارم را قطع نموده و دارای سیمای جوان گسلی است. در چند سده گذشته زمین لرزه مهمی به این گسل نسبت داده نشده است؛

همانگونه که در این نقشه پیداست، در گسل بام قبل از رویداد زمین لرزه، بام یک گسل لرزه زا تشخیص داده شده است، که می‌توانسته مسبب رویداد زمین لرزه‌های ویرانگر باشد؛ ولی متأسفانه توجهی به این امر نشده، و شهر بام و بخش بروات بدون در نظر گرفتن خطرات ناشی از آن در پیرامون آن گسترش غیراصولی یافته‌اند.

در شمال خاوری منطقه، گسل گلباف قرار دارد که روند آن هم تقریباً شمالی - جنوبی است. این گسل در دهه‌های اخیر جنبش درخور توجهی داشته، و همانگونه که اشاره شد مسبب رویداد زمین لرزه‌های دوم ژانویه ۱۹۳۴، پنجم ژوئیه ۱۹۴۸، پانزدهم ژوئن ۱۹۸۱، بیست و هشتم ژوئیه ۱۹۸۱ و چهارم مارس ۱۹۹۹ گلباف می‌باشد، و نشان از تکاپوی شدید این گسل دارد [5].

گسل نایبند در ادامه گسل، گلباف و هم روند آن بسوی شمال گسترش دارد. و این گسل نیز مسبب رویداد چندین زمین لرزه بوده است. چند گسل دیگر نیز با روند تقریباً شمال باختری - جنوب خاوری به طرف باختر گسترش دارد، که این گسل‌ها هم دارای توان لرزه‌زایی چشمگیری هستند [5].

بطور خلاصه باید گفت، شهر بام از نظر لرزه زمین ساختی، در منطقه‌ای پرجنبش و تکاپو قرار دارد که رویداد زمین لرزه‌های بزرگ در آن قابل پیش‌بینی است.



شکل (۱): نقشه لرزه زمین ساختی منطقه بام و پیرامون آن [5]

## بزرگی زمین‌لرزه (Magnitude)

بزرگی زمین‌لرزه اخیر بم، از سوی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برابر  $6/3$  (احتمالاً mb) [6]، و از سوی سازمان زمین‌شناسی آمریکا بزرگی گشتاوری آن (Mw) برابر  $6/5$  گزارش شده است [7] و بزرگی امواج سطحی آن (Ms) از سوی برخی از مراکز بین‌المللی تا  $6/7$  گزارش شده است.

## ژرفای کانونی (Focal depth)

ژرفای کانونی این زمین‌لرزه، توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا، حدود  $14$  کیلومتر برآورد و گزارش شده است [7]؛ اما به نظر می‌رسد ژرفای گزارش شده بیشتر از مقدار واقعی است. با توجه به کوچک بودن منطقه‌ی بیشترین شدت زمین‌لرزه، و بررسی گزندهای وارده در محل، می‌توان گفت ژرفای کانونی این زمین‌لرزه کم است (حتی کمتر از  $10$  کیلومتر)، و در گروه زمین‌لرزه‌های با ژرفای بسیار کم می‌گنجد. بر اساس بررسی‌های صحرائی، و با توجه به گستره‌ی بیشترین شدت زمین‌لرزه، گسلش سطحی بررسی شده در محل، و با در نظر گرفتن شتاب نگاشت ثبت شده در بم، ژرفای کانونی این زمین‌لرزه حدود  $2 \pm 7$  کیلومتر برآورد می‌شود [1].

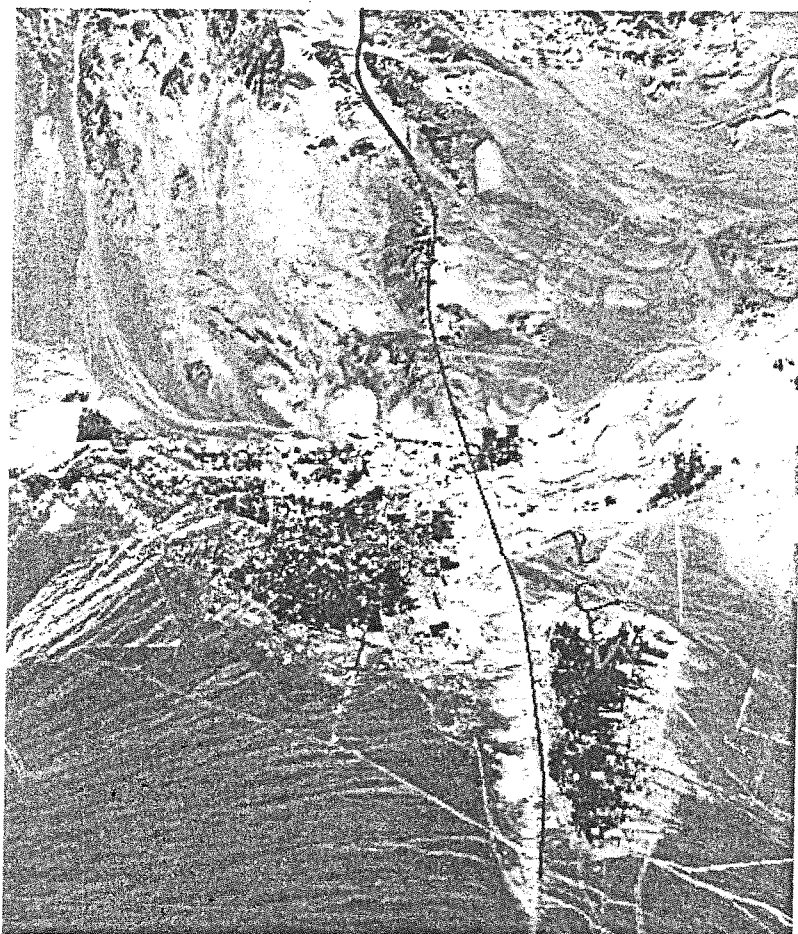
## مرکز زمین‌لرزه

مرکز زمین‌لرزه بم، از سوی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)، در مختصات جغرافیایی  $58/27$  درجه طول خاوری (درجه و صدم درجه) و  $29/01$  درجه عرض شمالی است که در فاصله حدود  $5$  کیلومتری جنوب باختری شهر بم قرار می‌گیرد. اما براساس بررسی‌های انجام شده، در گستره‌ی بیشترین شدت زمین‌لرزه، مرکز این زمین‌لرزه در مختصات جغرافیایی  $58/36$  درجه طول خاوری، و  $29/01$  درجه عرض شمالی، در بین شهر بم و بخش بروات قرار می‌گیرد. این محل روی زون گسل بم است که در زمین‌لرزه اخیر نیز دچار گسلش سطحی شده است. فاصله‌ی خاوری‌ترین بخش شهر بم (ارگ بم)، از این محل حدود  $1/5$  کیلومتر است [1].

## گسلش سطحی (Surface refaulting)

از دیدگاه لرزه زمین‌ساختی، منطقه بم در یک زون پرتکاپو قرار گرفته، و به نظر می‌رسد یک گره تکنونیک در این محل وجود دارد، وضعیت گسل‌های منطقه به گونه‌ای است که گسل گلباف و گسل نایبند، با امتداد تقریباً شمالی - جنوب در شمال خاوری منطقه گسترش یافته‌اند [3]. این گسلها، هر دو از جمله گسل‌های لرزه‌ای با توان لرزه خیزی زیاد می‌باشند. گسل سردویه با روند شمال باختری - جنوب خاوری، در شمال باختری منطقه، و چندین گسل دیگر در این منطقه گسترش دارند که در جنوب خاوری به هم نزدیک شده و یک زون با حالت بادبزنی ایجاد نموده‌اند [5]. در جنوب خاوری این زون، و در فاصله حدود  $1/5$  کیلومتری از خاور شهر بم، گسل بم با روند تقریباً شمالی جنوبی، با اندکی تمایل بسوی شمال باختری قرار دارد، که گسلی است جوان و نهشه‌های جوان دوران چهارم را جابجا نموده است. بررسی‌های روی زمین نشان می‌دهد، که گسل بم در زمین‌لرزه اخیر گسلش سطحی دوباره داشته، و در واقع گسل بم مسبب رویداد این زمین‌لرزه است. آثار گسل بم در درازای حدود هشتاد کیلومتر، بر روی نگاره‌های هوایی و ماهواره‌ای پیدا ست (شکل ۲). برداشتهای صحرائی و بررسی‌های روی زمین، در زون گسل بم نشان می‌دهد که در این زون شکستگی‌های پرشماری به موازات روند گسل وجود دارد. (شکل‌های ۴ و ۳). این شکستگی‌ها که در باختر بروات قابل رؤیت‌اند؛ در یک زون با پهنای حدود  $50$  تا  $60$  متر دیده می‌شوند. تمرکز اصلی این شکستگی‌ها، در فاصله حدود چند صد متری باختر بروات، (جنوب جاده بم - بروات) دیده می‌شوند. این شکستگی‌ها مربوط به گسلش دوباره گسل بم هستند، و در جاده بم - بروات در فاصله حدود  $200$  متری بروات نیز مشاهده می‌شوند (شکل ۵)؛ و سبب ایجاد یک دست انداز در جاده شده‌اند، اما جابجایی آنها اندک است. در همین محل حدود  $2$  تا  $3$  سانتیمتر جابجایی امتداد لغز، که بصورت چپ گرد است (شکل‌های ۲ تا ۵). جابجایی قائم دیده می‌شود، که اندکی سبب ایجاد دست انداز در جاده شده است.

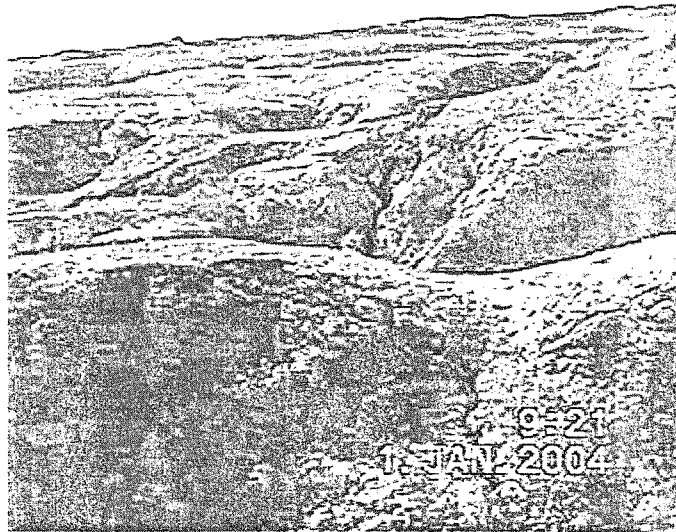




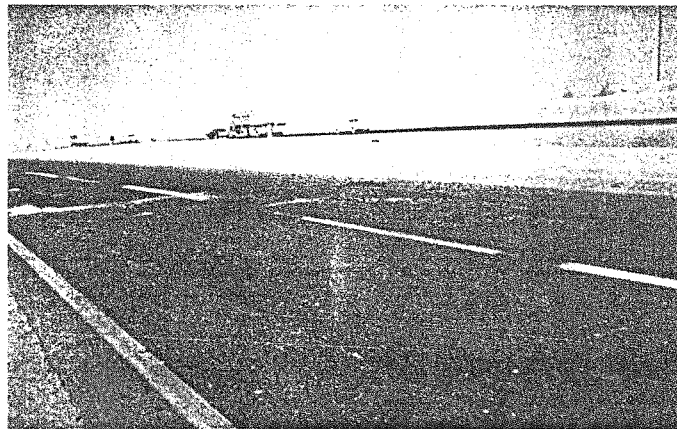
شکل (۲): آثار گسل بیم در یک درازای حدود هشتاد کیلومتر بر روی تگاره ماهواره‌ای



شکل (۳): آثار گسلش سطحی در باختر پروات. شکستگی اصلی علی‌رغم جابجائی کم به روشنی در روی زمین دیده می‌شود



شکل (۴): شکستگی در زون گسل. شکستگی اصلی و شکستگی های فرعی در یک زون حدود ۵۰ تا ۶۰ متر دیده می شود



شکل (۵): گسلش سطحی در جاده بم - پروات



شکل (۶): گسلش سطحی در جاده بم - پروات جابجایی چپ گرد در حدود ۳ سانتیمتر است

در مجموع، بررسی شکستگی‌هایی که هم روند گسل بم هستند، نشان می‌دهد که پهلوی باختری گسل اندکی بطرف بالا حرکت کرده است؛ اما زون شکسته شده گسل بم در باختر پروات به طول حدود ۹ - ۸ کیلومتر قابل مشاهده است. با توجه به جنس زمین در این محدوده که از گل سنگ‌ها، سیلت‌ها و مارن‌های به شدت هوازده تشکیل شده و در سطح بسیار سست هستند، آثار شکستگی در سطح زمین تا حد زیادی محو شده است. بارانی، که چند روز پس از رویداد زمین‌لرزه در منطقه

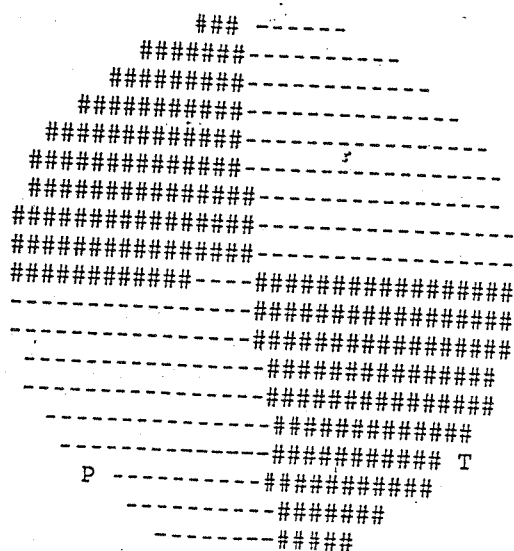


باریده نیز، در محو شدن ترک‌های سطحی در زون گسلش سطحی کمک کرده است. به هر حال باید گفت، گسلش سطحی همراه این زمین‌لرزه، با توجه به بزرگی و شدت ناشی از آن، به مراتب کمتر از حد انتظار است.

```

USGS MOMENT TENSOR SOLUTION
Depth 14          No. of sta: 26
Moment Tensor;   Scale 10**18 Nm
Mrr= 1.11        Mtt=-1.89
Mff= 0.78        Mrt=-0.15
Mrf=-0.23       Mtf= 6.43
Principal axes:
T Val= 6.03      Plg= 3    Azm=129
N          1.10      87      313
P          -7.12     0       219

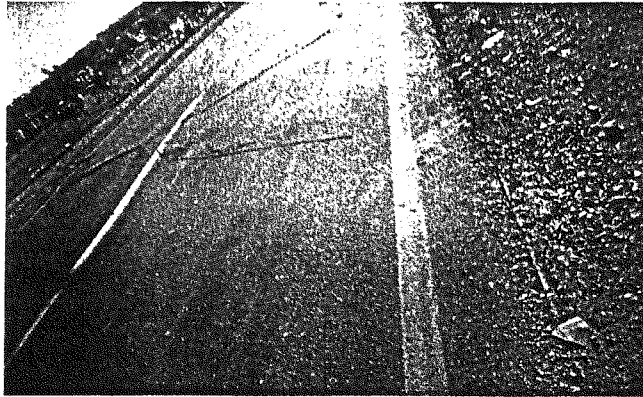
Best Double Couple: Mo=6.6*10**18
NP1: Strike=264 Dip=88 Slip= 2
NP2:          174      88      178
    
```



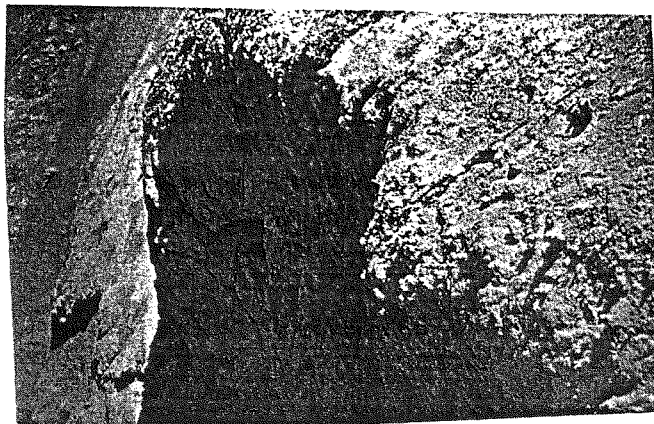
شکل (۷): مشخصات صفحه گسل مسبب رویداد زمین‌لرزه که بوسیله حل صفحه گسل بدست آمده است [7]

حل صفحه گسل (شکل ۲) که از طریق پلاریته نخستین موج ورودی حاصل می‌شود، نشان می‌دهد، گسل مسبب رویداد زمین‌لرزه، دارای روند تقریباً شمالی - جنوبی است، که با روند گسل بیم کاملاً هماهنگ است. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود، از دو صفحه‌ای که از طریق حل صفحه گسل بدست آمده، صفحه دوم NP2، که امتداد آن برابر ۱۷۴ درجه و شیب آن حدود ۸۸ درجه بر آورد شده است، با ویژگیهای گسل بیم همخوانی کامل دارد. اما نکته درخور توجه این است که نوع جابجایی امتداد لغز بدست آمده از حل صفحه گسل، جابجایی راست گرد است، در صورتیکه جابجایی مشاهده شده در روی زمین، جابجایی چپ گرد است. باید توجه کرد که جابجایی مشاهده شده در روی زمین جابجایی باقیمانده (Residual displacement) می‌باشد، که با ماکزیمم جابجایی آنی متفاوت است. مفهوم آن اختلاف این است که ساز و کار نخستین شکست ایجاد شده، در لحظه اول یک ساز و کار راست گرد بوده، اما بزرگترین شکست ایجاد شده، و در نتیجه برآیند آنها، دارای ساز و کار چپ گرد است. اگرچه همه این شکست‌ها، می‌تواند در کمتر از یک ثانیه اتفاق بیافتد ولی با توجه به نتایج حاصل از حل صفحه گسلی، جابجایی باقیمانده، و همچنین وجود سنگهای رسوبی نسبتاً پلاستیک، با ضخامت زیاد در منطقه، نشان می‌دهد که شکست در یک لحظه روی نداده است. همانگونه که اشاره شد، جابجایی مشاهده شده در زمین بسیار، کم و فقط در حد چند سانتیمتر است. اما زون خردشده، و حاوی شمار زیادی شکستگی در روی زمین با پهنایی حدود ۵۰ تا ۶۰ متر است، که افزون بر شکستگی‌هایی گروه اول (شکستگی‌های اصلی که در امتداد گسل هستند)، شمار زیادی از شکستگی‌های گروه دوم را، که با روند گسل زاویه‌ای حدود ۳۰ تا ۳۵ درجه می‌سازند، ایجاد نموده است (شکل‌های ۷ و ۸).





شکل (۸): گسلش سطحی در جاده بم - بروات (همراه شکستگی‌های سری دوم)



شکل (۹): گسلش سطحی - همراه شکستگی‌های سری دوم در زون گسلی حدود ۴ کیلومتری جنوب جاده بروات

## نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت:

الف - بم از دیدگاه لرزه زمین‌ساختی، در یک زون پرتکاپو قرار گرفته، که گسل‌های با توان لرزه‌زایی بالایی در آن گسترش داشته، و خطر نسبی زمین‌لرزه در آن زیاد است.

ب - ویژگی‌های گسلش سطحی همراه زمین‌لرزه بم را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:

- گسل مسبب رویداد زمینلرزه: گسل بم با درازای حدود ۸۰ کیلومتر

- روند گسلش سطحی: تقریباً شمالی - جنوبی

- شیب گسل: بزرگ زاویه نزدیک به قائم

- ساز و کار جابجایی امتدادی باقیمانده: چپ‌گرد

- ساز و کار جابجایی شیبی باقیمانده: حرکت پهلوی باختری گسل به طرف بالا

- بیشترین پهنای زون گسلش سطحی: حدود ۵۰ متر در جنوب جاده بم - بروات، باختر بروات

- درازای زون گسلش سطحی: بین ۸ تا ۹ کیلومتر قابل ردیابی در روی زمین

- جابجایی امتداد لغز باقیمانده: چند سانتیمتر (حدود ۵ سانتیمتر)

- جابجایی قائم باقیمانده: چند سانتیمتر (حدود ۵ سانتیمتر)

- محل عبور گسل: در فاصله حدود ۲۰۰ متری باختر بروات و حدود ۱/۵ کیلومتری خاور بم

## References

- [1] رمضی حمید رضا و همکاران (۱۳۸۲) گزارش زمین لرزه بم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران - ایران
- [2] آئین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله ویرایش دوم دی ماه ۸۲ استاندارد ۲۸۰۰ ایران، کمتۀ دائمی بازنگری استاندارد ۲۸۰۰ ایران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران
- [3] Ambraseys, N. N. and Melville, C. P. (1982). A history of Persian earthquakes, Cambridge, Earth. Sciences service. London
- [4] Ramazi, H.R. (2003), A file of the 20<sup>th</sup> and 21<sup>th</sup> Iranian earthquakes, continuously updated
- [5] Ramazi, H.N. (1996). Earthquake epicenters and tectonic Lineaments map of Iran, Building and Housing Research Center of Iran (BHRC), Tehran, Iran
- [6] The Geophysical Institute of Tehran University, 29 December 2003 Public report
- [7] Unites States Geological Survey (USGS) 28 December Web site (<http://www.usgs.gov>)
- [8] Building and Housing Research Center of Iran (BHRC) 31 December 2003 Web site (<http://www.bhrc.ac.ir>)

