جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

Ministry of Science, Research and Technology
International Institute of Earthquake Engineering and Seismology
(IIEES)

# Major Active Faults of Iran

Khaled Hessami, Farshad Jamali & Hadi Tabassi
Seismotectonic Department, Seismology Research Centre

Edition: 2003

The active faults of Iran are direct indicators of active crustal deformation due to the on-going continental collision between Arabia and Eurasia. Since Quaternary stratigraphy and geomorphic methods in the study of active faulting, except in very few cases have not been employed in Iran, the study of active faults is based on strong scrutiny of available earthquake data. However, this becomes difficult when studying structurally complex and inhomogeneous collision region such as Iran in which seismicity is not the result of the activity of a few faults but it is due to fault activity in zones hundred kilometers wide. Due to the high density of active faults in Iran and the inaccuracy of the macroseismic data of the area, the source of some of the earthquakes have been related to more than one fault. Additionally lack of accurate fault and epicentral maps result in the inability to correlate seismic data with the active faulting in the area. Obviously even the assumption of highly accurate seismic data will not solely suffice to locate all existing active faults. This is mainly due to; 1) the fact that many earthquakes are caused by blind faults such as earthquakes occurring in the Zagros region, and 2) the gradual movement along many active faults over a long period of time is the result of a creep regime which does not result in a large earthquake.

This map overviews the distribution of major active faults of Iran and demonstrates the relationship between the slip vectors and compressive axes, obtained from the solution of the focal mechanisms of the area's earthquakes, and GPS velocities in different areas of Iran.

Active faults in Zagros are blind and the focal mechanism solutions of the earthquakes of the region points to the presence of both thrust and transverse strike-slip faulting in its basement. Whereas in the rest of the country most active faults reach the surface. The earthquake mechanism solutions along active fault systems in eastern and central Iran imply dominance of strike-slip faulting in a transpression regime. Conversely, active faults of Azarbaidjan (NW Iran) are transtenssive. The Alborz and Kopeh-Dagh fault zones are relatively vast active fault zones in which location of individual active faults is difficult. Aside from raised terraces in the shores of the Oman Sea, information on active faults in the Makran region is scarce.

Although many of the active fault zones of Iran have been determined, many of the individual active faults are yet to be studied. With the current level of information on the active faults of Iran, it is not possible to establish a dominant fault regime for the entire country. However, it can be generally stated that, in most cases a transpression regime governs the active faulting in Iran.

Several items included in this map are explained in the following.

## ACTIVE FAULTS

An active fault is defined as a fault which has moved repeatedly in recent geological time and has the potential for reactivation in the future. Virtually all major faults in Iran are active and thus have great seismic potential. Since study of active faults has not been detailed enough in Iran, and since some damaging earthquakes with magnitude less than 6.5 may not leave ruptures on the ground surface we can not be certain that an area without active faults is completely free of earthquake risk. Active faults are classified into the following three types:

### *Earthquake Fault*

During the last 500 years, surface ruptures associated with large earthquakes have appeared and documented in various places in Iran. Most of these ruptures occurred along the active faults which have moved repeatedly in the Quaternary, thus constituting evidence that these active faults have the potential of reactivating in the future.

### *Seismogenic Fault*

An underground fault which generates an earthquake can be called a seismogenic fault in order to distinguish it from an earthquake fault. This type is seismically identified.

### *Documented Quaternary Fault*

This type is recognized to be active based on observation of offset Quaternary landforms, however, they are not known to be seismically active. This could be due to very long recurrence interval along these faults or resulted from creeping, which continuously move slowly without necessarily causing earthquakes.

## EARTHQUAKE DATA

The earthquake data are compiled primarily from the catalogue of centroid moment tensor solutions (CMT), which is nearly complete over the interval 1976-2002 for earthquakes greater than Mw = 5.5. All earthquakes with magnitude mb = 5.8 or greater that occurred during the period 1948 to 1976 in the area are taken from Chandra (1984). The solutions denoted by numerals are from ①, Shirokova (1962); ②, Jackson (1992); ③, Shirokova (1967) and ④, Jackson & McKenzie (1984).

### *Focal Mechanism Solutions*

Focal mechanism solutions of the area's earthquakes have been displayed to reveal mechanisms of seismically active fault zones in Iran. These solutions indicate dominance of thrust and strike-slip faults in a compressive regime for vast majority of earthquakes of Iran.

### *Assignment of Fault Planes*

Mechanism solutions for strike-slip faults indicate two steep nodal planes for all cases. The trend of the fault planes when earthquakes are associated with surface ruptures is known from the offset following recent earthquakes. However, it can be known from distribution of aftershocks. Thus there is no ambiguity between the fault plane and the auxiliary plane in these cases. There is, however, inherent ambiguity between the fault plane and the auxiliary plane when earthquakes have mechanism solutions with a predominance of thrusting and when both nodal planes have nearly the same azimuth, such as most of the mechanism solutions of the earthquakes associated with the Zagros basement faults. For these cases the fault plane is known from geological structures observed in the region. For instance, in the Zagros the nodal plane with shallower dip is assumed to be the fault plane. This is in agreement with the northeast dipping structures observed in the Zagros Mountains.

### *Slip Vectors*

The slip vector of mechanism solutions for which the fault planes are identified, generally indicate a broad convergent zone in Iran. This convergence is in many cases resulted in oblique motion of crustal material with respect to the trend of the seismogenic faults. However, slip vectors for some other recent earthquakes indicate that the convergence is partitioned into pure strike-slip motion and pure thrust faulting. Such partitioning can be seen along the Rudbar, Golbaf-Sirch and Main Kopeh-Dagh fault zones. The slip vectors for strike-slip faults in central Iran and Azarbaidjan (NW Iran) indicate lateral expulsion of crustal material due east-northeast. However, we could not assign slip vectors to the mechanism solutions of earthquakes associated with the Zagros blind thrusts, as precise location of epicentres is not known with respect to the location of the seismogenic faults.

### *Compressive Axes*

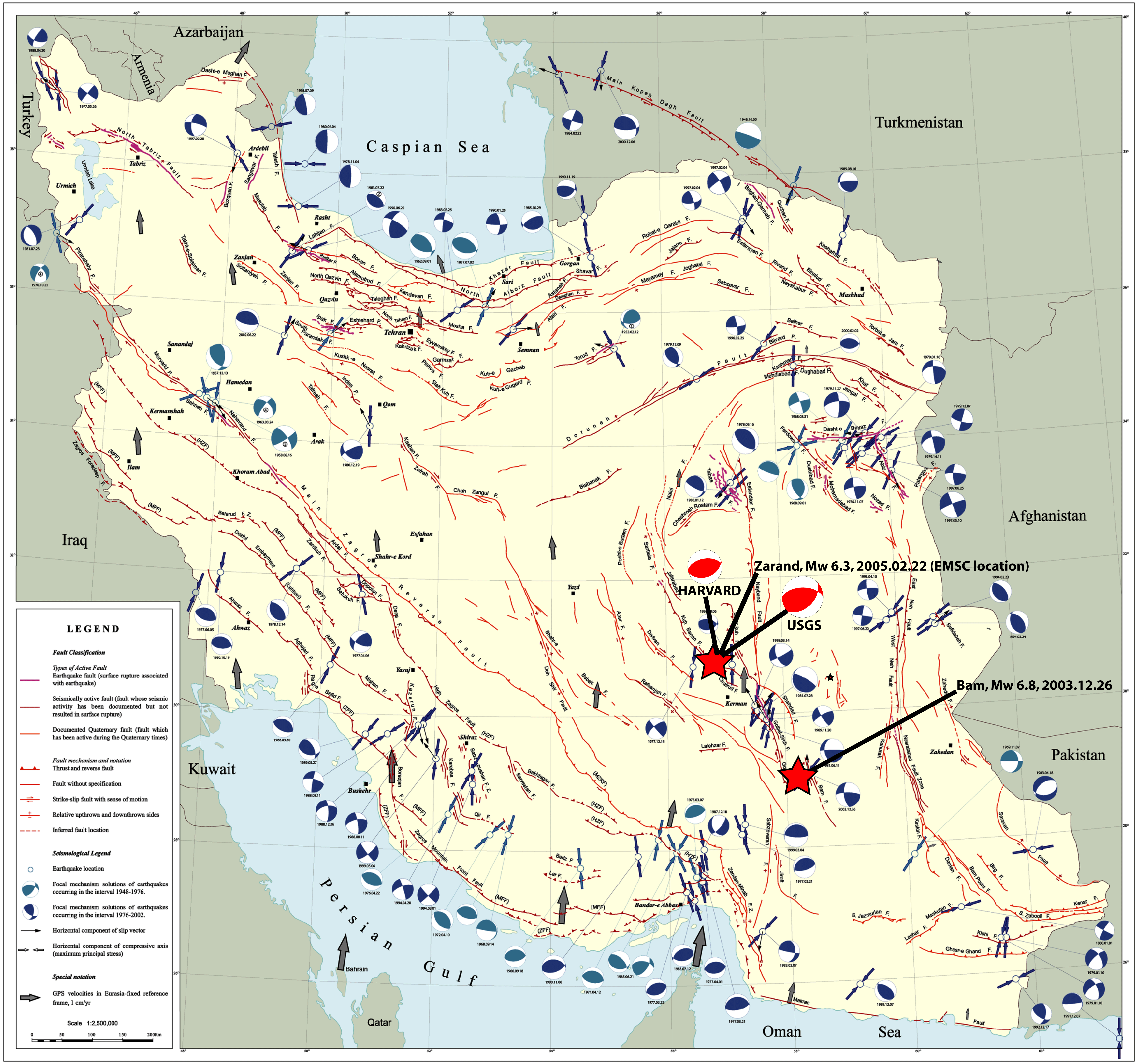
The direction of the horizontal projection of the maximum principal stress deduced from the focal mechanism solution of the area's earthquakes reveals a characteristic regional stress field along the colliding boundary. However, the distribution of horizontal compressive stress axes in different parts of Iran indicates that the local stress field is not everywhere consistent with the relative motion of the Iranian crust with respect to Eurasia. The compressive stress axes along the faults in central Iran are approximately N-S, parallel to relative motion of the two plates. However, they are NE-SW for the vast majority of earthquakes in Iran, which is not consistent with the direction of relative plate motion. For the earthquakes in the Zagros Mountains and the Kopet-Dagh region, the compressive axes have roughly a N-NE direction, and on the average, they are nearly perpendicular to the trend of the geological structures. The compressive axes for earthquakes in most southeastern part of the Zagros deviate from NE to NW but remain perpendicular to the trend of the geological structures. The compressive axes determined for the earthquakes in southwestern corner of the Caspian Sea, which all belong to the north-south trending seismic zone, have E-W trend.

## GPS VELOCITIES

GPS horizontal velocities are illustrated for the Iranian GPS stations in Eurasia-fixed reference frame for the period 1999-2001 (adopted from Nilforushan et al., 2003). Preliminary motion estimates show that Arabia moves at 2.1-2.5 cm/yr due north relative to Eurasia. However, deformation is distributed differently over several active deforming zones. In eastern Iran shortening is distributed over the Makran subduction complex (up to 1.8 cm/yr) and the Kopet-Dagh Mts. (about 0.5 cm/yr). To the west, shortening is distributed over the Zagros (about 0.8 cm/yr) and Alborz Mts. (about 0.8 cm/yr).

## REFERENCES

This map is based on Ambraseys & Melville, 1982; Berberian, 1976, 1994, 1995; Chandra, 1984; Dziewonski et al., 1981; Hessami & Jamali, 1996; Huber, 1977; Mohajer-Ashjai et al.,1982; Nilforoushan et al., 2003 and other published sources and available data up to 2003.



## LEGEND

***Fault Classification***

*Types of Active Fault*

| | |
|---|---|
| 🟪 | Earthquake fault (surface rupture associated with earthquake) |
| ▬ | Seismically active fault (fault whose seismic activity has been documented but not resulted in surface rupture) |
| ― | Documented Quaternary fault (fault which has been active during the Quaternary times) |

*Fault mechanism and notation*

| | |
|---|---|
| ▲ | Thrust and reverse fault |
| ― | Fault without specification |
| ⇌ | Strike-slip fault with sense of motion |
| ± | Relative upthrown and downthrown sides |
| - - - | Inferred fault location |

***Seismological Legend***

| | |
|---|---|
| ○ | Earthquake location |
| ◐ | Focal mechanism solutions of earthquakes occurring in the interval 1948-1976. |
| ◐ | Focal mechanism solutions of earthquakes occurring in the interval 1976-2002. |
| → | Horizontal component of slip vector |
| ⇨ ⇦ | Horizontal component of compressive axis (maximum principal stress) |

***Special notation***

| | |
|---|---|
| ➡ | GPS velocities in Eurasia-fixed reference frame, 1 cm/yr |

Scale 1:2,500,000

0 50 100 150 200Km

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

# نقشه گسلهای فعال ایران

خالد حسامی، فرشاد جمالی، هادی طبسی
گروه لرزه زمین ساخت - پژوهشکده زلزله شناسی

چاپ ۱۳۸۲

گسلهای فعال ایران را می توان به عنوان شواهد مستقیم تغییرشکل کنونی پوسته در ایران دانست که حاصل برخورد قاره ای بین صفحات عربستان و اوراسیا می باشد. از آنجا که در مطالعه گسلهای فعال ایران، بجز در معدود مواردی، از روشهای ژئومرفولوژیکی و چینه شناسی کواترنر استفاده نشده است، معرفی گسلهای فعال برپایه تحقیق ژرف در داده های زمین لرزه ای صورت پذیرفته است. با وجود این، شناسایی گسلهای فعال براساس داده های لرزه ای در مناطق برخوردی قاره ای نظیر ایران، که از نظر ساختاری پیچیده و ناهمگن می باشد، بسیار دشوار است. این موضوع از آنجا ناشی می شود که لرزه خیزی در چنین مناطقی به تعداد معدودی گسل منفرد و مجزا محدود نمی باشد؛ بلکه درنتیجه فعالیت پهنه های گسلی به پهنای چند صد کیلومتر روی می دهند. به این ترتیب، به دلیل تراکم زیاد گسلهای فعال در ایران و دقت کم داده های مهلرزه ای، گاهی سرچشمه بعضی از زمین لرزه ها به بیش از یک گسل نسبت داده شده است. علاوه برآن، فقدان نقشه های بزرگ مقیاس مربوط به گسلهای فعال و کانون سطحی با دقت بالا به ناتوانی ما در برقراری یک ارتباط یک به یک بین زمین لرزه ها و گسلهای فعال درایران انجامیده است. با این وصف، روشن است که حتی با فرض داشتن نقشه های بسیار دقیق از کانون سطحی زمین‌لرزه‌ها، شناسایی تمام گسلهای فعال امکانپذیر نمی باشد. این امر از آنجا ناشی می شود که: ۱- بسیاری از زمین لرزه ها در نتیجه فعالیت گسلهایی روی می دهند که در زیر رسوبات مدفون می باشند و مستقیماً به سطح زمین نمی رسند (مانند زمین لرزه های منطقه زاگرس). ۲- حرکات تدریجی زمین در طرفین گسلهای فعال در یک دوره زمانی طولانی (ناشی از رژیم خزش) با ایجاد زمین لرزه بزرگ همراه نمی باشد.

در نقشهٔ حاضر گسلهای فعال اصلی ایران، سرعتهای اندازه گیری شده با استفاده از GPS و رابطهٔ بین بردار لغزش و محور فشاری که از حل مکانیسم کانونی زمین لرزه های روی داده در مناطق مختلف ایران به دست آمده، نشان داده شده است.

اگرچه گسلهای فعال در زاگرس مدفون می باشند، ولی حل مکانیسم کانونی زمین لرزه ها در این منطقه دلالت بر وجود گسلهای معکوس و امتدادلغز در پی سنگ آن دارد. در سایر مناطق ایران، بیشتر گسلهای فعال به سطح زمین می رسند. حل مکانیسم کانونی زمین لرزه های روی داده در امتداد سیستم های گسلی شرق و مرکز ایران به غلبه گسلهای امتدادلغز در یک رژیم فشاری-برشی دلالت دارند. در صورتی که گسلهای فعال منطقه آذربایجان از نوع امتدادلغز بوده که در یک رژیم کششی-برشی ایجاد شده اند. در مناطق البرز و کپه داغ پهنه های گسلی نسبتاً وسیع و متراکم بوده، به طوری که شناسایی گسلهای فعال منفرد و مجزا به دشواری صورت گرفته است. درنهایت، صرف نظر از تراسهای فرایش یافته در طول سواحل دریای عمان، اطلاعات ما در مورد گسلهای فعال ناحیه مکران بسیار اندک است.

اگرچه بسیاری از گسلهای فعال ایران به خوبی شناسایی شده اند، با وجود این، هنوز امکان شناسایی و مطالعه بسیاری از گسلهای فعال وجود دارد. با سطح اطلاعات فعلی از گسلهای فعال نمی توان رژیم گسلی غالب در کل ایران را تعیین نمود؛ ولی می توان اظهار داشت که در بسیاری از موارد رژیم حاکم بر گسلهای فعال ایران از نوع فشاری-برشی می باشد.

در زیر، مواردی که این نقشه را شامل می شود توضیح داده شده است.

## گسلهای فعال

گسل فعال، گسلی است که بلوک های طرفین آن در طی زمانهای اخیر زمین شناسی (کواترنر بالایی-هولوسن) به کرات جابه جا شده، پتانسیل فعالیت مجدد در آینده را داشته باشد. تقریباً تمام گسلهای اصلی و بزرگ ایران فعال و از پتانسیل لرزه خیزی بالایی برخوردار می باشند. لازم به ذکر است از آنجا که از یک سو تمامی گسلهای فعال ایران شناسایی نشده اند و از سوی دیگر بسیاری از زمین لرزه های مخرب با بزرگی کمتر از ۶/۵ با گسیختگی همراه نبوده اند، نباید مناطقی را که بر روی این نقشه عاری از گسل فعال نشان داده شده، عاری از خطر زمین لرزه دانست. گسلهای فعال ایران به سه ردهٔ زیرتقسیم شده اند.

### *گسل زمین لرزه ای*

گسیختگی های سطح زمین که در طی زمین لرزه های بزرگ ۵۰۰ ساله اخیر در مناطق مختلف ایران ایجاد شده اند، به این گروه تعلق دارند. بیشتر گسیختگی های شناسایی شده در طول گسلهای فعالی روی داده اند که به کرات در طی زمان کواترنر جابه جا شده اند. این واقعیت گویای آن است که این گسلهای زمین لرزه ای، پتانسیل فعالیت مجدد در آینده را دارا می باشند.

### *گسل لرزه زا*

گسلهای پنهانی که باعث ایجاد زمین لرزه می شوند، ولی با گسیختگی سطحی همراه نمی باشند، گسل لرزه زا نامیده می شوند تا بدینوسیله از گسل زمین لرزه ای متمایز شوند. در شناسایی این دسته از گسلها از لرزه خیزی بهره گرفته شده است.

### *گسل کواترنر*

تشخیص فعالیت این گروه از گسلها برپایه مشاهده جابه جایی عوارض سطحی کواترنر استوار است. شاهدی مبنی بر لرزه خیزی این گسلها دردست نیست. این موضوع می تواند ناشی از دوره بازگشت بسیار طولانی زمین لرزه و یا خزش بر روی این گسلها باشد.

## داده های زمین لرزه ای

داده های زمین لرزه ای این نقشه عمدتاً از تلفیق زمین لرزه های بزرگتر از $M_w$ =۵/۵ منتخب از کاتالوگ CMT که برای دوره زمانی ۱۹۷۶-۲۰۰۲ تقریباً کامل است، به دست آمده است. تمام زمین لرزه های بزرگتر از $m_b$ =۵/۸ که بین سالهای ۱۹۴۸-۱۹۷۶ در ایران روی داده اند از چاندرا (۱۹۸۴) اقتباس گردیده است. مکانیسم هایی که با عدد مشخص شده اند از منابع زیر اقتباس گردیده اند: (۱) شیروکوا (۱۹۶۲)، (۲) جکسون (۱۹۹۲)، (۳) شیروکوا (۱۹۶۷) و (۴) جکسون و مکنزی (۱۹۸۴).

### *حل مکانیسم کانونی*

به منظور نشان دادن مکانیسم پهنه های فعال لرزه ای، حل مکانیسم کانونی زمین لرزه های روی داده در ارتباط با گسلها نشان داده شده است. مکانیسم کانونی زمین لرزه ها نشانه آن است که اکثر قریب به اتفاق گسلهای ایران از نوع تراستی و امتدادلغز می باشند که در یک رژیم فشاری- برشی فعالیت می کنند.

### *تشخیص صفحات گسلی*

حل مکانیسم کانونی زمین لرزه های مربوط به گسلهای امتدادلغز در تمام موارد دوسطح خنثای پرشیب را نمایش می دهد. در صورتی که زمین لرزه با گسیختگی و جابه جایی سطحی همراه باشد، به سادگی می توان روند صفحه گسلی را بر روی حل مکانیسم کانونی تعیین نمود. در غیراین صورت، پس لرزه ها می توانند روند صفحه گسلی را تعیین نمایند؛ بنابراین در این موارد هنگام تمیز بین صفحه گسلی و صفحه فرعی ابهامی وجود ندارد؛ ولی زمین‌لرزه هایی که مکانیسم غالب آنها از نوع تراستی می باشد و همچنین روند صفحات گسلی و فرعی تقریباً دارای یک امتداد می باشند، تشخیص بین صفحات گسلی و فرعی به خودی خود ناممکن است. نظیر این مورد را می توان در مورد زمین لرزه های زاگرس مشاهده نمود. برای این موارد، صفحه گسلی را از روی ساختارهای زمین شناسی منطقه می توان استنباط نمود. برای مثال، در زاگرس صفحه خنثای کم شیب، صفحه گسلی فرض می شود. این فرض با ساختارهای مشاهده شده در زاگرس که به سمت شمال شرق شیب دارند، مطابقت دارد.

### *بردار لغزش*

بردارهای لغزش حاصل از حل مکانیسم کانونی زمین لرزه هایی که صفحات گسلی آنها از صفحات فرعی تفکیک شده اند، نشانه یک پهنه همگرایی وسیع در ایران است. این همگرایی در بسیاری از موارد موجب گردیده مواد پوسته زمین نسبت به امتداد گسلهای مسبب زمین لرزه به طور مورب لغزش نمایند. با وجود این، بردار لغزش مربوط به تعدادی از زمین لرزه ها نشان دهنده آن است که این همگرایی به حرکات امتدادلغز محض و یا تراستی محض بر روی یک پهنه گسلی واحد منجرگردیده است. چنین پدیده ای را می توان بر روی گسلهای رودبار، گلباف-سیرچ و کپه داغ اصلی مشاهده نمود. جهت بردار لغزش مربوط به زمین لرزه های روی داده در ایران مرکزی و آذربایجان (شمال غربی ایران) نشانه حرکت جانبی پوسته به سوی شمال شرق است. ازآنجا که محل دقیق کانون سطحی زمین لرزه های زاگرس را نمی توان نسبت به محل گسلهای لرزه زا مشخص نمود، نمی توان بردار لغزش مربوط به زمین لرزه هایی که در ارتباط با گسلهای مدفون پی سنگی زاگرس اتفاق می افتند را تعیین نمود.

### *محورهای فشردگی*

جهت تصویر افقی بردار بیشینه تنش اصلی که از حل مکانیسم کانونی زمین لرزه های ایران استنباط گردیده، از یک میدان تنش منطقه ای حکایت دارد که ویژهٔ پهنه های برخوردی است. علی رغم این واقعیت، توزیع محورهای افقی تنش فشاری در مناطق مختلف ایران نشانه آن است که میدان تنش محلی در همه جا سازگار با حرکت نسبی پوسته ایران نسبت به اوراسیا نمی باشد. محورهای تنش فشاری در طول گسلهای ایران مرکزی تقریباً شمالی-جنوبی و تقریباً موازی با جهت حرکت نسبی صفحه عربستان می باشند. با وجود این، محورهای تنش فشاری برای بخش بزرگی از ایران دارای روند شمال شرق-جنوب غرب می باشند، که با جهت حرکت نسبی صفحه عربستان سازگار نیست. برای زمین لرزه های روی داده در مناطق زاگرس و کپه داغ جهت محور تنش شمال-شمال شرقی بوده و به طور متوسط عمود بر راستای ساختارهای زمین شناسی منطقه می باشند. محورهای فشاری در منتهی الیه جنوب شرقی زاگرس از جهت عمومی (شمال-شمال شرقی) انحراف حاصل کرده، به سمت شمال غرب امتداد یافته، ولی همچنان بر راستای ساختارهای منطقه عمود می باشد. جنوب غرب دریای خزر تنها بخشی از ایران است که در آن جهت محورهای تنش شرقی-غربی می باشد.

## سرعتهای اندازه گیری شده با استفاده از GPS

در این نقشه سرعت حرکت افقی ایستگاههای GPS ایران در یک سیستم مختصاتی که مرکز آن بر روی صفحه ثابت شدهٔ اوراسیا فرض گردیده، برای یک دورهٔ دوساله (۱۹۹۹-۲۰۰۱) به تصویر کشیده شده است (نیل فروشان و همکاران، ۲۰۰۳). تخمین اولیه از حرکات مشاهده شده نشان می دهد که صفحه عربستان با سرعتی بین ۲/۱-۲/۵ سانتی متر در سال نسبت به اوراسیا به طرف شمال در حرکت است. با این وصف، تغییرشکل در ایران به طور ناهمگنی بر روی پهنه های فعال تغییرشکلی توزیع یافته است. در شرق ایران، کوتاه شدگی بر روی دو بخش، منطقه فرورانش مکران (۱/۸ سانتی متر در سال) و کپه داغ (حدود ۰/۵ سانتی متر در سال) توزیع شده است. به طرف غرب، کوتاه شدگی بر روی زاگرس (۰/۸ سانتی متر در سال) و کوههای البرز (۰/۸ سانتی متر در سل) توزیع یافته است.

## منابع

برای تهیه این نقشه از تمام منابع منتشر شده تا سال ۲۰۰۳، بویژه منابع زیر بهره گرفته شده است: امبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، بربریان (۱۹۷۶، ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵)، چاندرا (۱۹۸۴)، حسامی و جمالی (۱۹۹۶)، ژیونسکی و همکاران (۱۹۸۱)، مهاجراشجعی و همکاران (۱۹۸۲)، نیل فروشان و همکاران (۲۰۰۳) و هوبر (۱۹۷۷).