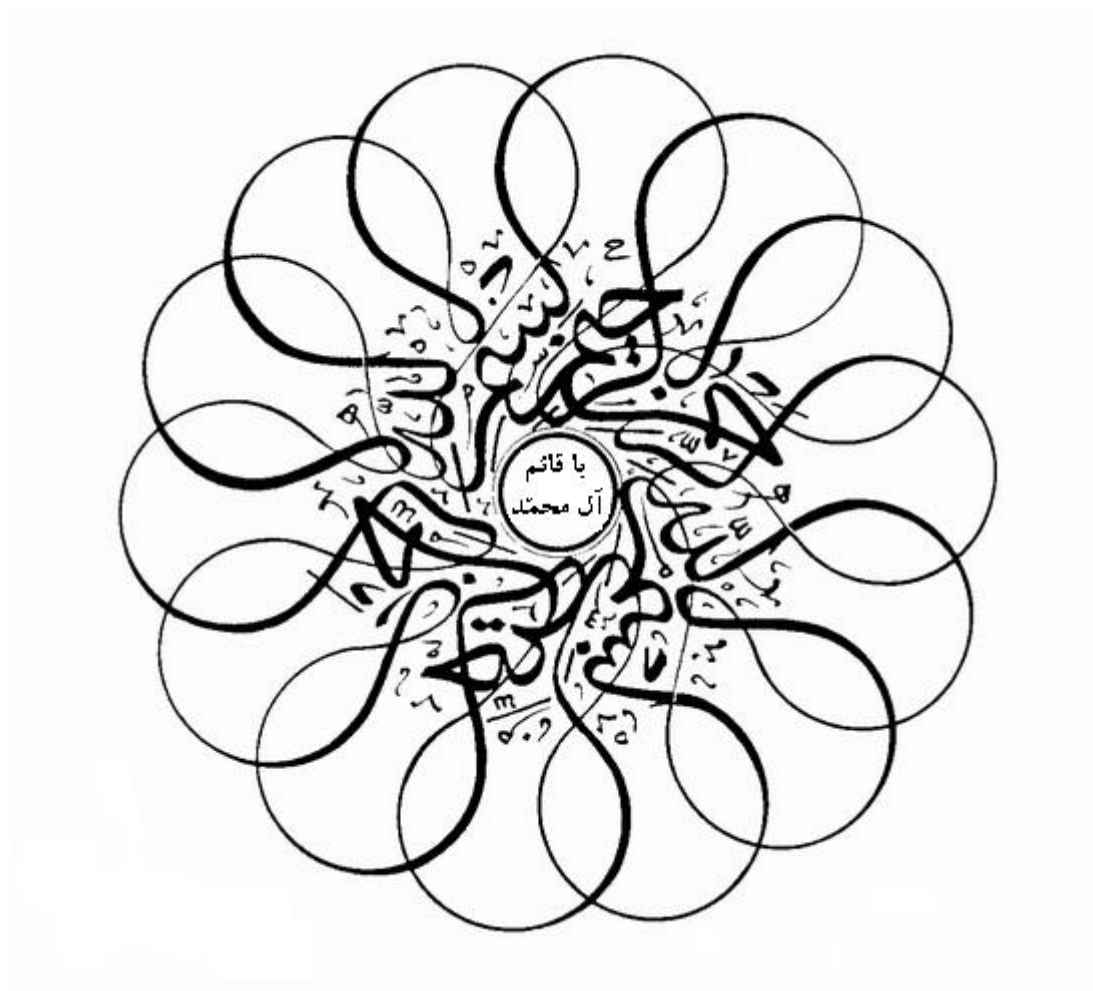




دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی

گرایش زیست محیطی

بررسی زمان وقوع زمین‌لرزه‌های ایران

نگارش

ملیحه خاکشور

استاد راهنما

دکتر ناصر حافظی مقدس

استاد مشاور

دکتر مرتضی ایزدی فرد

تیرماه ۱۳۸۷

فهرست مطالب

تقدیر و تشکر.....	۱.....
چکیده.....	ب.....
فصل اول - کلیات.....	۱.....
۱-۱- مقدمه.....	۱.....
۱-۲- هدف، ضرورت و روش انجام مطالعه.....	۴.....
۱-۳- مروری بر لرزه‌زمین‌ساخت ایران.....	۵.....
۱-۳-۱- ریخت زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت زاگرس.....	۸.....
۱-۳-۲- لرزه‌زمین‌ساخت البرز.....	۱۲.....
۱-۳-۳- لرزه‌زمین‌ساخت بلوک لوت.....	۱۳.....
۱-۳-۴- لرزه‌زمین‌ساخت حوضه فلیشی خاور ایران.....	۱۳.....
۱-۳-۵- لرزه‌زمین‌ساخت کپه‌داغ.....	۱۳.....
۱-۳-۶- لرزه‌زمین‌ساخت مکران.....	۱۴.....
۱-۴- عوامل تحریک کننده زلزله‌ها.....	۱۵.....
۱-۴-۱- زلزله‌های مصنوعی.....	۱۵.....
۱-۴-۱-۱- زمین‌لرزه‌های مرتبط با سدها.....	۱۶.....

۱۸-۴-۱-۲- انفجارات هسته‌ای	۱۸
۱۸-۴-۱-۳- انفجارات معادن و بار برداری از آن‌ها	۱۸
۱۹-۴-۱-۴- فعالیت‌های اجتماعی بشر نظیر ترافیک، صنعت و عملیات ساختمانی	۱۹
۱۹-۴-۱-۲- زلزله‌های طبیعی	۱۹
۱۹-۴-۱-۲-۱- زلزله‌های تکتونیکی	۱۹
الف- زلزله‌های بین صفحه‌ای	۱۹
ب- زلزله‌های درون صفحه‌ای	۲۰
۱۹-۴-۲-۲- زلزله‌های مرتبط با آتشفشان‌ها	۲۰
۱۹-۴-۲-۳- زلزله‌های مرتبط با آبشارها	۲۱
۱۹-۴-۲-۴- ریزش‌ها	۲۱
۱۹-۴-۲-۵- وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ	۲۱
۱۹-۴-۲-۶- پیش‌لرزه‌ها	۲۱
۱۹-۴-۲-۷- ماه، خورشید و سایر اجرام سماوی	۲۲
۱۹-۴-۲-۸- لکه‌های خورشیدی، طوفان‌های مغناطیسی، بادهای اتمسفری و سایر حوادث کیهانی	۲۴

فصل دوم- اثر جاذبه ماه و خورشید بر زمان رخداد زمین‌لرزه‌ها ۲۵

۱-۲- مقدمه	۲۵
۲-۲- مشخصات ماه و خورشید	۲۵
۱-۲-۲- مشخصات خورشید	۲۶
۱-۲-۲-۱- هسته	۲۶
۱-۲-۲-۲- منطقه تابشی	۲۷
۱-۲-۲-۳- منطقه جابه‌جایی	۲۷
۱-۲-۲-۴- سطح قابل رؤیت خورشید	۲۸
الف- شید سپهر	۲۸
ب- رنگین سپهر	۲۸
پ- تاج	۲۸
ت- شراره	۲۸
ث- لکه‌های خورشیدی	۲۹
۱-۲-۲- مشخصات ماه	۲۹

۳۱.....	۱-۲-۲-۲- اهلها (هلالها)
۳۲.....	۳-۲- اثر جاذبه ماه و خورشید در کره زمین
۳۴.....	۱-۳-۲- مکانیزم ایجاد جزر و مد
۳۹.....	۲-۳-۲- نتایج اصطکاک جزر و مدی
۴۰.....	۴-۲- اثر خورشید و ماه بر وقوع زمین‌لرزه‌ها

فصل سوم- بررسی اثر جاذبه ماه و خورشید در زمین‌لرزه‌های ایران ۴۶

۴۶.....	۱-۳- روش کار
۴۶.....	۲-۳- همگن کردن بزرگی‌ها
۴۷.....	۳-۳- حذف داده‌های نامعتبر
۴۷.....	۴-۳- تبدیل تاریخ میلادی به تقویم قمری
۴۹.....	۵-۳- بررسی آماری زمان وقوع زمین‌لرزه‌ها
۴۹.....	۱-۵-۳- فراوانی زمین‌لرزه‌ها در طول فصول
۵۱.....	۲-۵-۳- فراوانی زمین‌لرزه‌ها در طول ماه قمری
۵۳.....	۳-۵-۳- توزیع فراوانی عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها در طی فصول و ماه قمری
۵۴.....	۴-۵-۳- توزیع بزرگی زمین‌لرزه‌ها در طی فصول و ماه قمری
۵۶.....	۵-۵-۳- فراوانی نرخ وقوع زمین‌لرزه‌ها در ۲۴ ساعت شبانه روز
۵۸.....	۶-۵-۳- توزیع فراوانی زلزله‌ها در زون‌های مختلف تکتونیکی
۵۹.....	۶-۳- بررسی شتاب جاذبه ماه و خورشید در زمان زلزله‌های اصلی
۶۰.....	۱-۶-۳- برآورد مؤلفه‌های جاذبه ماه و خورشید
۶۲.....	۲-۶-۳- بررسی بردار نیروهای کششی ماه و خورشید در پهنه‌های مختلف تکتونیکی
۶۳.....	۳-۶-۳- اثر کشش ماه و خورشید در زمان زلزله‌های بزرگ زون‌های مختلف تکتونیکی
۶۷.....	۴-۶-۳- اثر ماه و خورشید در زمان زلزله‌های درود، زرنند و منجیل

فصل چهارم- توالی زمین‌لرزه‌ها ۷۰

۷۰.....	۱-۴- مقدمه
۷۱.....	۲-۴- توالی زمین‌لرزه‌ها

۷۳.....	۴-۲-۱- پیش لرزه
۷۴.....	۴-۲-۲- شوک اصلی
۷۴.....	۴-۲-۳- پس لرزه ها
۷۵.....	۴-۲-۴- فوج زمین لرزه ها
۷۶.....	۴-۳- خصوصیات پیش لرزه ها
۷۷.....	۴-۴- خصوصیات پس لرزه ها
۸۰.....	۴-۴-۱- رابطه گوتنبرگ- ریشتر
۸۱.....	۴-۴-۱-۱- ارزیابی ضریب B
۸۱.....	- روش بیشینه احتمال
۸۲.....	۴-۵-۲- ارتباط بین بزرگی زلزله اصلی و پس لرزه بزرگ تر
۸۳.....	۴-۴-۳- روند کاهشی فعالیت
۸۴.....	۴-۴-۴- توزیع زمانی پس لرزه ها
۸۵.....	۴-۴-۵- توزیع مکانی پس لرزه ها
۸۶.....	۴-۴-۵-۱- پنجره زمانی- مکانی

فصل پنجم- ارزیابی مشخصات پس لرزه ها در ایران... ۸۷.....

۸۷.....	۵-۱- مقدمه
۸۸.....	۵-۲- رابطه بزرگی- فراوانی
۸۸.....	۵-۲-۱- تعیین پارامتر A و B به روش گوتنبرگ- ریشتر
۹۱.....	۵-۳- رابطه بین بزرگی های زلزله اصلی و بزرگ ترین پس لرزه
۹۲.....	۵-۴- فراوانی پس لرزه ها نسبت به فاصله از کانون سطحی زلزله
۹۳.....	۵-۵- رابطه فراوانی پس لرزه ها نسبت به زلزله اصلی
۹۴.....	۵-۶- توزیع مکانی و زمانی پس لرزه ها

فصل ششم- جمع بندی و نتیجه گیری..... ۹۷.....

پیوست..... ۱۰۰.....

فهرست منابع..... ۱۱۷.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- نمودار رخداد زلزله در استان‌های مختلف کشور در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ ۲
- شکل ۱-۲- درصد ساکنین کشور در معرض خطر نسبی زلزله. ۳
- شکل ۱-۳- درصد ساخت و سازهای مختلف در کشور. ۳
- شکل ۱-۴- نقشه موقعیت زمین شناسی ایران در منطقه برخوردی عربی - اوراسیا ۶
- شکل ۱-۵- ساز و کار کانونی و زمین لرزه های دستگاهی ایران تا سال ۲۰۰۳ ۷
- شکل ۱-۶- ایالت‌های تکتونیکی عمده ایران ۸
- شکل ۱-۷- برش عرضی ساده شده از کمربند فعال چین خورده - رانده زاگرس ۱۱
- شکل ۱-۸- عوارض ریخت زمین ساخت اصلی و واحدهای کمربند چین خورده-رانده زاگرس ۱۱
- شکل ۱-۹- حوزه‌های لرزه‌زمین‌ساختی البرز ۱۲
- شکل ۱-۱۰- نمایش ژرفای رومرکز زمین‌لرزه‌ها و توپوگرافی مکران ۱۴
- شکل ۱-۱۱- توزیع جهانی تغییرات لرزه‌خیزی تحریک شده ناشی از مخزن سد ۱۸
- شکل ۲-۱- ساختار خورشید ۲۷
- شکل ۲-۲- مشخصات درون ماه. ۳۱

- شکل ۳-۲- اهله‌های قمری..... ۳۲
- شکل ۴-۲- اثر چرخش وضعی زمین بر ایجاد جزر و مد ۳۴
- شکل ۵-۲- نیروهای جزر و مدی وارد بر زمین با فرض کروی بودن زمین ۳۵
- شکل ۶-۲- هندسه نیروهای جزر و مدی وارده از طرف ماه بر زمین..... ۳۶
- شکل ۷-۲- تصویری شماتیک از نحوه ایجاد جزر و مدهای بزرگ و خفیف توسط ماه و خورشید ۳۸
- شکل ۸-۲- تحول جزر و مدی ۳۹
- شکل ۹-۲- تصویری شماتیک از نیروهای خارجی وارد بر زمین ۴۰
- شکل ۱۰-۲- چگونگی رها شدن زلزله در ارتباط با نیروهای کششی ماه و خورشید روی پوسته زمین ۴۳
- شکل ۱-۳- نمونه‌ای از فهرست زلزله‌های دریافت شده از سایت پژوهشگاه زلزله ۴۷
- شکل ۲-۳- فراوانی زلزله‌ها در طول سال شمسی.. ۵۰
- شکل ۳-۳- فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌ها در فصول مختلف سال ۵۰
- شکل ۴-۳- توزیع فراوانی زلزله‌ها در طول ماه قمری. ۵۲
- شکل ۵-۳- توزیع فراوانی زلزله‌ها در طول ماه قمری و فصول مختلف سال ۵۲
- شکل ۶-۳- فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌ها در طول ماه قمری ۵۳
- شکل ۷-۳- بیشترین، کمترین و میانگین عمق کانونی در مقابل روز قمری در فصول مختلف سال ۵۴
- شکل ۸-۳- عمق کانونی در برابر روز قمری برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر ۵۵
- شکل ۹-۳- تغییرات بزرگی در مقابل روز قمری در فصول مختلف سال ۵۶
- شکل ۱۰-۳- تغییرات بزرگی در مقابل روز قمری برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر ۵۶
- شکل ۱۱-۳- فراوانی زمین‌لرزه‌ها در ساعات شبانه روز ۵۷
- شکل ۱۲-۳- فراوانی ساعت وقوع زمین‌لرزه‌ها در زون زاگرس، ایران مرکزی و البرز ۵۹
- شکل ۱۳-۳- توزیع فراوانی زلزله‌ها بر اساس روزهای قمری در زون زاگرس، ایران مرکزی و البرز ۵۹
- شکل ۱۴-۳- نمایش ساده‌ای از بردارهای برآیند نیرو. ۶۲
- شکل ۱۵-۳- بردار برآیند نیروها در زون تکتونیکی زاگرس به همراه سازوکار زمین‌لرزه‌های این زون ۶۴
- شکل ۱۶-۳- بردار برآیند نیروها در زون تکتونیکی ایران مرکزی به همراه سازوکار زمین‌لرزه‌های این زون ۶۵
- شکل ۱۷-۳- بردار برآیند نیروها در زون تکتونیکی البرز به همراه سازوکار زمین‌لرزه‌های این زون ۶۵
- شکل ۱۸-۳- مقادیر بیشترین، کمترین و میانگین مؤلفه‌ها برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر سه زون زاگرس، ایران مرکزی و البرز در روزهای مختلف قمری ۶۶
- شکل ۱۹-۳- بردار برآیند نیروها در سه زلزله درود، زرنند و منجیل ۶۸
- شکل ۲۰-۳- نسبت مؤلفه‌های اعمال شده توسط ماه و خورشید برای زمین‌لرزه‌های مختلف ۶۹

- شکل ۴-۱- نمونه‌ای از توالی زمین‌لرزه مربوط به زلزله ناگانو پرفکچر ژاپن، ۱۹۹۳ ۷۲
- شکل ۴-۲- طرح رخداد پیش‌لرزه‌ها ۷۴
- شکل ۴-۳- فوج زمین لرزه پارک یلواستون آمریکا، آوریل ۲۰۰۴ ۷۶
- شکل ۵-۱- نمودار فراوانی- بزرگی جهت تعیین پارامتر A و B برای زلزله‌های مختلف ۹۰
- شکل ۵-۲- نسبت بین ضرایب a و b ۹۰
- شکل ۵-۳- نسبت بین پارامترهای A و B و بزرگی زلزله ۹۰
- شکل ۵-۴- رابطه بین بزرگی زلزله اصلی و نسبت M_1/M_0 ۹۱
- شکل ۵-۵- نسبت فراوانی پس‌لرزه‌ها به فاصله از کانون سطحی زلزله ۹۲
- شکل ۵-۶- نمایش محدوده بیشترین وقوع پس‌لرزه‌ها ۹۲
- شکل ۵-۷- رابطه بین عمق کانونی و فراوانی پس‌لرزه‌ها ۹۳
- شکل ۵-۸- نسبت بین بزرگی زلزله اصلی و فراوانی پس‌لرزه‌ها ۹۳
- شکل ۵-۹- نسبت بین بزرگی زلزله اصلی و طول محدوده/طول گسیختگی پس‌لرزه‌ها ۹۵
- شکل ۵-۱۰- نسبت بین بزرگی زلزله اصلی و فراوانی پس‌لرزه‌ها ۹۵
- شکل ۵-۱۱- نسبت بین بزرگی زلزله اصلی و مدت دوام پس‌لرزه‌های آنها ۹۶

فهرست جداول

- جدول ۱-۱- زلزله‌های مهم رخ داده در کشور، در بازه ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ م. ۳
- جدول ۱-۲- دسته بندی ۱۰۳ مورد زمین‌لرزه‌های تحریک شده بر اساس بزرگی رخدادهای لرزه‌ای ۱۷
- جدول ۱-۲- مشخصات خورشید ۲۶
- جدول ۲-۲- مشخصات ماه ۳۰
- جدول ۱-۳- ردیف روزهای اول ماه‌ها ۴۸
- جدول ۲-۳- ردیف روز در تاریخ میلادی ۴۹
- جدول ۳-۳- ریسک زلزله بر اساس روز قمری در فصول مختلف سال در ایران ۵۲
- جدول ۳-۴- ساعت وقوع زلزله‌ها در فصول مختلف سال ۵۷
- جدول ۳-۵- درصد انطباق موقعیت‌های مختلف ماه و خورشید با وقوع زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر ۵۸
- جدول ۱-۴- مقادیر حد برای D_I و T_I جهت شناسایی پس‌لرزه در روش پنجره‌ای ۸۶
- جدول ۱-۵- مشخصات زلزله‌های مورد استفاده برای بررسی توالی پس‌لرزه‌ای ۸۸
- جدول ۲-۵- بزرگی و فراوانی زمین‌لرزه‌ها ۸۹

-
- جدول ۵-۳- پارامتر A و B تعیین شده برای زلزله‌های اصلی ۸۹
- جدول ۵-۴- اختلاف و نسبت بین بزرگی‌های زلزله اصلی و بزرگ‌ترین پس‌لرزه ۹۱
- جدول ۵-۵- مشخصات محدوده توزیع پس‌لرزه‌ها در زلزله‌های اصلی ۹۴
- جدول ۵-۶- مدت دوام پس‌لرزه‌ها برای بزرگی‌های مختلف ۹۶

۱-۱- مقدمه

زمین‌لرزه به عنوان یکی از خطرات مهم طبیعی همواره در طول تاریخ، تمدن بشری را مورد تهدید قرار داده است. امروزه با گسترش شهرها و احداث مجتمع‌های مسکونی بلند و همچنین توسعه تأسیسات شهری و صنعتی ریسک وقوع زمین‌لرزه‌ها به مراتب افزایش یافته است. کشور ایران به خاطر شرایط خاص تکتونیکی و قرار گرفتن بر روی کمربند فعال و لرزه‌خیز آلپ- هیمالیا از جمله نواحی با پتانسیل بالای لرزه‌خیزی جهان می‌باشد و به طور متوسط هر پنج سال یک بار زمین‌لرزه‌ای شدید با بزرگی بیش از هفت ریشتر را تجربه می‌کند [۹].

از طرفی بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ایران مناطق با پتانسیل لرزه‌خیزی بالا دارای تراکم جمعیتی زیادی نیز می‌باشند، به طوری که ۱/۳۳ درصد از ساکنان کشور در مناطق با خطر پایین زلزله، ۱۶/۱۹ درصد در مناطق با خطر متوسط، ۵۴/۹۱ درصد در مناطق با خطر بالا و ۲۷/۵۷ درصد در مناطق با خطر خیلی بالای زلزله اقامت دارند [124].

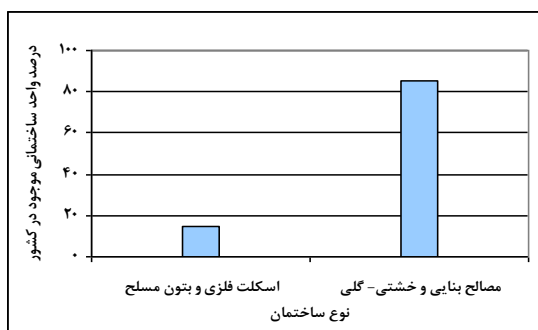
شکل ۱-۱- نمودار رخداد زلزله در استان‌های مختلف کشور در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵، (الف) تعداد رخداد در هر استان، (ب) درصد رخداد در هر استان [193]

پیش‌بینی زلزله چند روز یا حتی چند ساعت قبل از وقوع آن می‌تواند به مقدار زیادی از تلفات انسانی و حتی خسارات مالی ناشی از انفجار، آب‌گرفتگی، آتش‌سوزی، از کار افتادن واحدهای نیروگاهی، مخابراتی، آبرسانی، گاز رسانی، حمل و نقل و تأسیسات صنعتی بکاهد [۲۲].

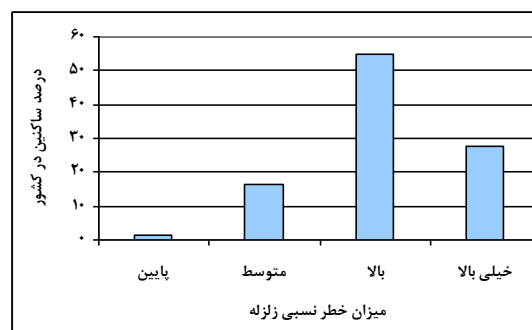
جدول ۱-۱- زلزله‌های مهم رخ داده در کشور، در بازه ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ م. [192]

ردیف	تاریخ	محل	بزرگی	تعداد تلفات	توضیحات
۱	۲۳ ژانویه ۱۹۰۹	سیلاخور (جنوب شرق بروجرد)	۷/۴	۸۰۰۰	۱۲۸ روستا آسیب دید که از میان آن‌ها ۶۴ روستا به کلی ویران شد (آمبرسز و ملوویل، ۱۹۸۲).
۲	۲۵ می ۱۹۲۳	کاج درخت (تربت حیدریه)	۵/۸	۲۲۰۰	۵ روستا به طور کلی ویران شد و ۲۰ روستا به سختی آسیب دید (آمبرسز و ملوویل، ۱۹۸۲).
۳	۱ می ۱۹۲۹	کپه داغ	۷/۳	۳۳۰۰	حدود ۳۰۰ روستا آسیب دید که ۸۸ روستا به کلی ویران شد.
۴	۶ می ۱۹۳۰	سلماس	۷/۲	۲۵۰۰	حدود ۶۰ روستا به کلی ویران شد.
۵	۲ ژوئیه ۱۹۵۷	بند پی مازندران	۶/۸	۱۵۰۰	۱۲۰ روستا به کلی ویران شد.
۶	۱۳ دسامبر ۱۹۵۷	فارسینج	۶/۷	۱۱۳۰	-----
۷	۱ سپتامبر ۱۹۶۲	بوئین زهرا	۷/۲	۱۲۲۳۰	بیش از ۳۰۰ روستا آسیب دید و یا ویران شد (۹۱ روستا به کلی ویران شد).
۸	۳۱ اوت ۱۹۶۸	دشت بیاض	۷/۴	۱۰۰۰۰	تمرکز اصلی آسیب‌ها در دره نیم بلوک بود.
۹	۱۰ آوریل ۱۹۷۲	قیر- کازرین	۶/۹	۵۰۵۴	-----
۱۰	۱۶ سپتامبر ۱۹۷۸	طبس	۷/۳	۱۸۲۲۰	۳۰ روستا به کلی ویران شد و در مجموع به ۸۵ روستا آسیب رسید.
۱۱	۱۱ ژوئن ۱۹۸۱	گلباف (کرمان)	۶/۸	۱۰۷۱	۴۰۰۰ نفر مجروح شدند. پدیده روانگرایی و فرونشست زمین مشاهده شد.

۱۲	۲۸ ژوئیه ۱۹۸۱	سیرچ (کرمان)	۷/۱	۱۳۰۰	۹۱۵ نفر مجروح و ۲۵۰۰۰ نفر بی خانمان شدند. ۸۵ درصد خانه‌ها در سیرچ به شدت آسیب دید یا تخریب شد.
۱۳	۲۰ ژوئن ۱۹۹۰	رودبار	۷/۷	۵۰۰۰۰	۱۰۰ هزار واحد ساختمانی تخریب و ۴۰۰۰۰ نفر بی خانمان شدند.
۱۴	۱۰ می ۱۹۹۷	اردکول قائن	۷/۵	۱۵۶۰	۴۴۶۰ نفر مجروح و ۶۰۰۰۰ نفر بی خانمان شدند.
۱۵	۲۶ دسامبر ۲۰۰۳	بم	۶/۶	۴۳۲۰۰	۳۰۰۰۰ نفر مجروح شدند. ۸۵ درصد ساختمان‌ها در منطقه بم و بروت تخریب و یا آسیب دیدند.
۱۶	۲۲ فوریه ۲۰۰۵	زرند	۶/۴	بیش از ۶۰۰ کشته	۱۴۰۰ تن مجروح و تخریب ۳۰ درصدی شهرستان زرند و ۹۰ درصدی چندین روستا
۱۷	۳۱ مارس ۲۰۰۶	درود	۶/۱	بیش از ۷۰ کشته	۳۰۰ نفر زخمی شدند. حدود چهارصد روستا دچار تخریب ۱۰ تا ۱۰۰ درصدی گردیدند.



شکل ۱-۳- درصد ساخت و سازهای مختلف در کشور [۲۲].



شکل ۱-۲- درصد ساکنین کشور در معرض خطر نسبی زلزله [۲۲].

۱-۲- هدف، ضرورت و روش انجام مطالعه

پایان نامه حاضر تحت عنوان «بررسی زمان وقوع زلزله‌های ایران» به بررسی آماری و تحلیلی زلزله‌های دستگاهی کشور می‌پردازد. برآورد زمان وقوع زمین‌لرزه‌ها در بحث مدیریت بحران زلزله اهمیت بسیار زیادی دارد. هدف از مدیریت بحران زلزله بهینه‌سازی فعالیت‌های مقابله با بحران و به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن است. بنابراین در مدیریت بحران زلزله، زمان شروع واکنش و امدادرسانی، هزینه عملیات آمادگی، امدادرسانی و بازسازی و مدت زمان عملیات امدادرسانی و بازسازی بایستی به حداقل برسد [۲]. مهم‌ترین بخش مدیریت بحران اقدامات امدادی- درمانی در ۲۴-۴۸ ساعت اولیه بعد از حادثه می‌باشد که به آن، زمان

طلایی^۱ اطلاق می‌گردد [۲۱]. اگر زلزله در اواخر روز، شب یا نیمه شب رخ دهد، معمولاً زمان طلایی از دست می‌رود و امداد رسانی به حادثه‌دیدگان از روند کندی برخوردار خواهد بود؛ در صورت وقوع زلزله در طول روز کنترل شرایط ناپایدار به طور مؤثر در دست نیروهای کمکی بوده و با داشتن امکانات مناسب می‌توان از زمان نهایت استفاده را برد. از این نقطه نظر بحث برآورد زمان رخداد زلزله و تعیین یک بازه خطرناک در طول سال، ماه و یا حتی روز می‌تواند کمک مؤثری به نیروهای امدادی، مردم و ارگان‌های دولتی و غیر دولتی جهت آمادگی بیشتر آن‌ها در مدیریت بحران نماید. در این راستا بررسی آماری بر روی ساعات وقوع زمین‌لرزه‌ها در بخش‌های مختلف کشور انجام شده و پارامترهای مؤثر در زمان وقوع زلزله نظیر جاذبه ماه و خورشید، پیش-لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. روش کار در مطالعه حاضر به صورت خلاصه عبارت است از:

۱- دریافت داده‌های دستگاهی ثبت شده از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی از وبگاه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله

شناسی و مهندسی زلزله^۲

۲- همگن کردن بزرگی‌ها و تبدیل آن‌ها به M_w

۳- حذف داده‌های نامعتبر

۴- تبدیل تاریخ میلادی به تقویم قمری

۵- بررسی آماری فراوانی زلزله‌ها در طی روز، ماه و سال

۶- برآورد نیروی جاذبه ماه و خورشید در زمان وقوع زمین‌لرزه‌های اصلی

۷- بررسی آماری پس‌لرزه‌های زلزله‌های اصلی

۳-۱- مروری بر لرزه‌زمین‌ساخت ایران

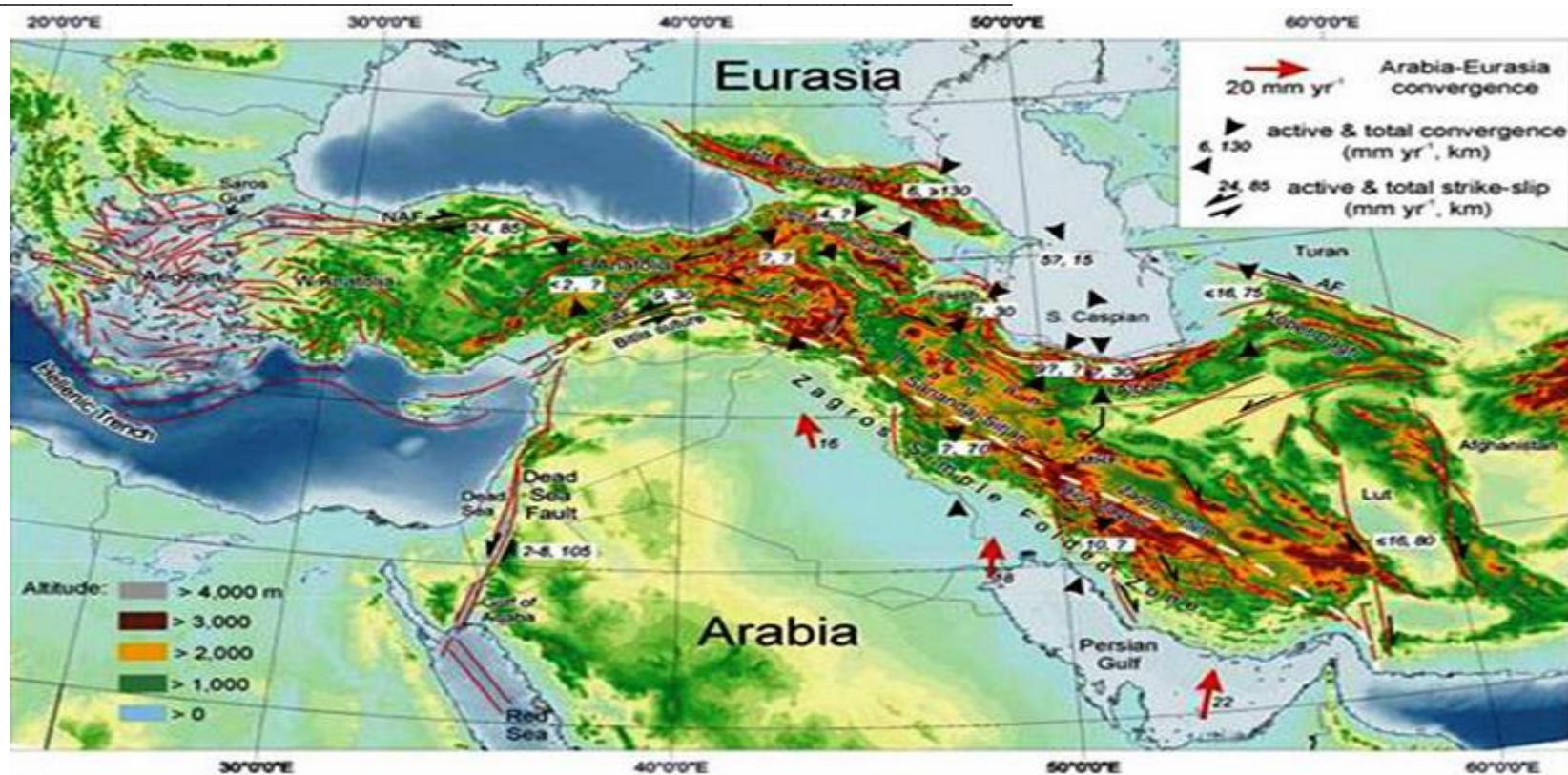
ایران زمین بخشی از کمربند عظیم کوه‌زایی آلپ-همالیا به شمار می‌آید و از نظر موقعیت تکتونیکی بین دو صفحه همگرای عربستان در جنوب غرب و اوراسیا در شمال قرار گرفته است (شکل ۱-۴، [۱، ۱۴، ۷]). میزان

^۱- Golden time

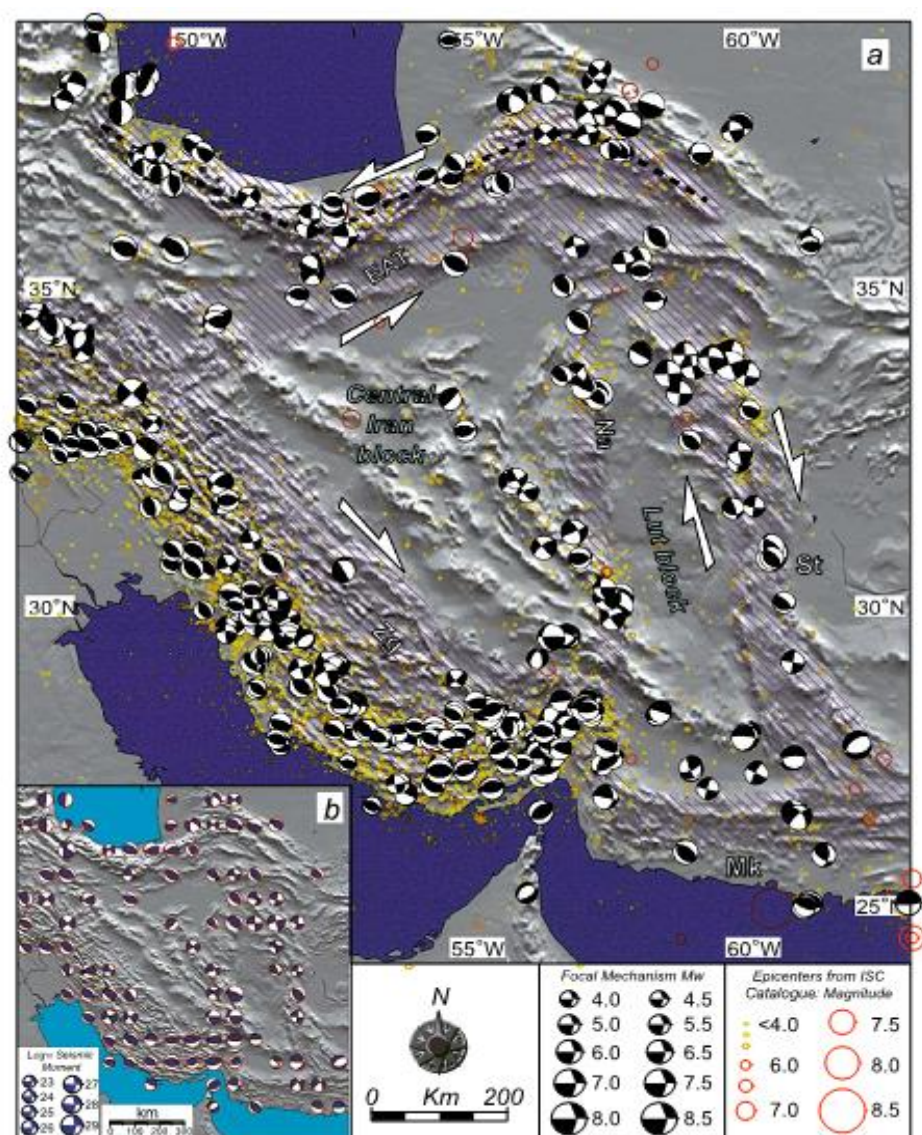
^۲- www.iiees.ac.ir

همگرایی صفحات اوراسیا و عربستان بر اساس کارهای انجام شده به طور متوسط حدود ۲۰ تا ۳۵ میلی متر در سال برآورد شده است [30, 36, 37, 164].

به علت شرایط خاص زمین ساختی، غالب گسل‌های موجود در ایران دارای سازوکار فشاری همراه با مؤلفه راستالغز می‌باشند. سازوکار کانونی زمین لرزه‌های دستگاهی این الگو را به خوبی نشان می‌دهد (شکل ۱-۵، [39]).



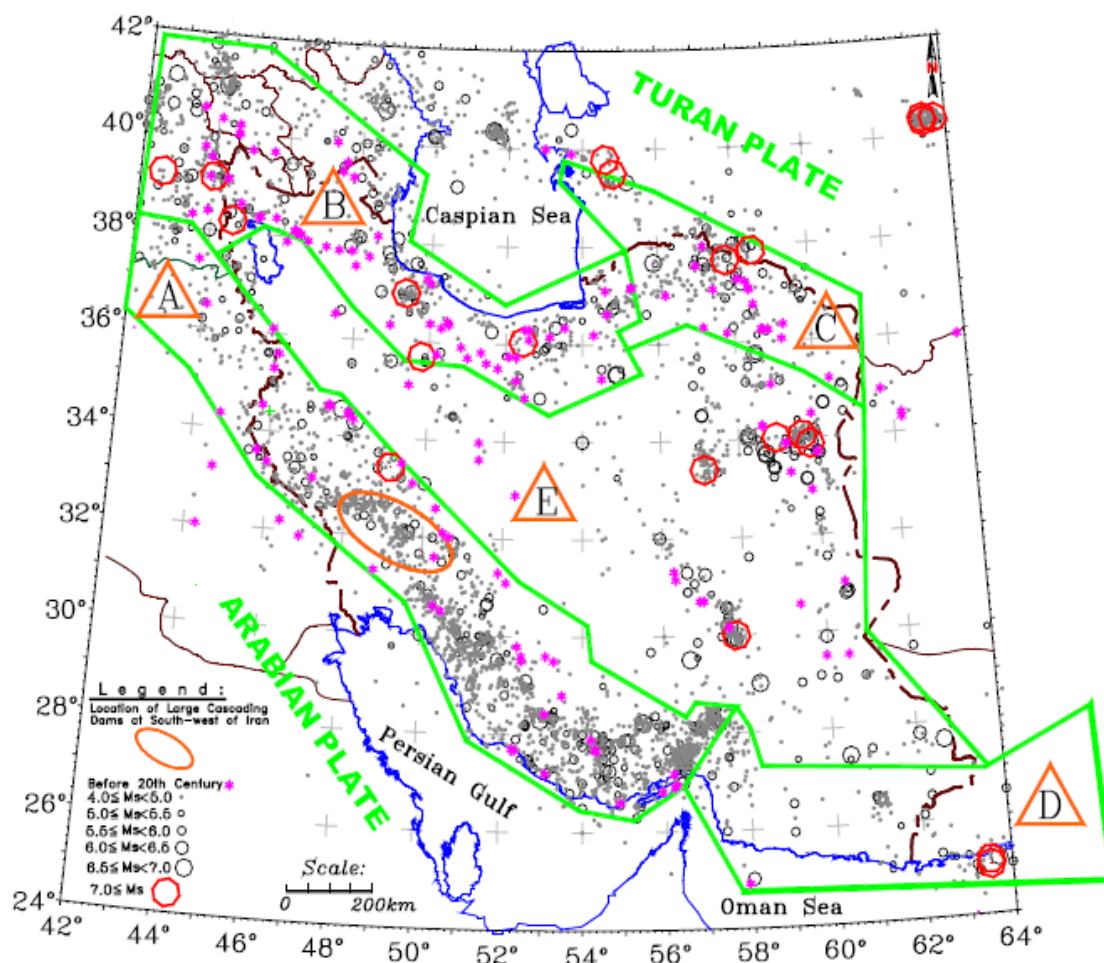
شکل ۱-۴- نقشه موقعیت زمین شناسی ایران در منطقه برخوردی عربی - اوراسیا (بخشی از کوه‌زایی آلپ- هیمالیا). توپوگرافی، ساختار، سرعت دگربرختی کنونی و کرنش نهایی در این نقشه نشان داده شده است. اعداد ایتالیک سرعت کوتاه شدگی یا لغزش را بر حسب میلی‌متر در سال را بیان نموده و در کنار آن کوتاه شدگی نهایی یا امتداد لغز به کیلومتر آمده است. حروف اختصاری استفاده شده عبارتند از: AF گسل عشق آباد، E گسل اسمیش، EAF گسل شرق آناتولی، M-O گسل مالاتیا- اواسیک، MRF گسل جوان اصلی، NAF گسل شمال آناتولی. خطوط قرمز رنگ نشان گسل های فعال اصلی را می‌دهند، که راندگی آن‌ها با پیکان مشخص شده است. سرعت کنونی همگرایی عربستان - اوراسیا از Segall و همکاران ۲۰۰۲ اقتباس شده است [30].



شکل ۱-۵- ساز و کار کانونی و زمین لرزه های دستگاهی ایران تا سال ۲۰۰۳ [۳۹].

تقسیم‌بندی‌های مختلفی به لحاظ زمین ساختی بر اساس داده‌های لرزه‌ای و زمین ساختی در ایران صورت گرفته است که مهم‌ترین آن‌ها ایالت‌های لرزه‌زمین ساختی زاگرس، البرز، ایران مرکزی، کپه‌داغ و مکران می‌باشد (شکل ۱-۶، [۲۶]).

ایالت‌های زمین ساختی فوق هر یک لرزه‌خیزی متفاوتی را از خود نشان داده‌اند، به طوری که ایران مرکزی پایین‌ترین سطح لرزه‌خیزی و منطقه زاگرس بالاترین سطح لرزه‌خیزی را دارا می‌باشد.



شکل ۱-۶- ایالت‌های تکتونیکی عمده ایران. A ایالت تکتونیکی زاگرس، B البرز، C کپه داغ، E ایران مرکزی و D زون فروانشی مکران را نشان می‌دهند [۲۶].

۱-۳-۱- ریخت زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت زاگرس

بربریان (۱۹۹۵) بر اساس توپوگرافی و عوارض ریخت‌زمین‌ساخت سطحی، نوع تغییر شکل، داده‌های زمین‌شناختی- زمین‌ساختی زیر سطحی و لرزه‌خیزی ناحیه‌ای، نوار چین‌خورده-رانده شده زاگرس^۱ را

^۱ - Zagros Fold – Thrust Belt

۱- نوار راندگی زاگرس مرتفع^۱

٥- منطقه پست خليج فارس- بين النهرين^٥

۱- گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF^۶) و گسل اصلی جوان زاگرس (MRF^۷) که مجموعاً زمین‌درز زاگرس^۸ را می‌سازند و مرز بین زاگرس و ایران مرکزی می‌باشند.

۳- گسل پیشانی کوهستان (MFF^{۱۰}).

۵- گسل پیش ژرفای زاگرس (^{12}ZFF).

¹- *The High Zagros Thrust Belt*

12- Zagros Foredeep Fault

پنج واحد ریخت زمین ساختی زاگرس و گسل‌های جدا کننده آن‌ها در برش شکل (۷-۱) و نقشه شکل (۸-۱) قابل مشاهده است.

نوار چین خورده رانده زاگرس در حاشیه شمال خاوری پوسته قاره‌ای عربی واقع شده و دارای پی سنگ متامورفیک پرکامبرین می‌باشد. نوار زاگرس را می‌توان بر اساس رویداد چین خوردگی، حداقل به دو بخش رانده چین خورده و ساده چین خورده تقسیم کرد. زون چین خورده ساده دارای ساختاری شبیه به زون تراستی زاگرس است با این تفاوت که شدت چین خوردگی در آن کمتر است. صفحات محوری چین‌ها عموماً به سمت شمال خاوری شیب دارند و همچنین گه‌گاه گسلش رانده با شیب به سمت شمال خاوری دیده می‌شود. به نظر می‌رسد که این چین خوردگی در رابطه با کوتاه شدگی پوسته در پی سنگ دگرگونی باشد، جایی که حرکت‌ها در طول گسل‌های تراستی مدفون که معمولاً در سطح زمین رخنمون ندارند ایجاد می‌شود.

رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی در گستره رسوبی - ساختاری زاگرس و قرارگیری روندهای ساختاری جنوب در این گستره نمایانگر لرزه‌خیزی بالای این بخش از کشور است. بربریان (۱۹۹۵) لرزه‌خیزی زاگرس را نتیجه فعالیت در طول دو دسته گسل اصلی زیر می‌داند:

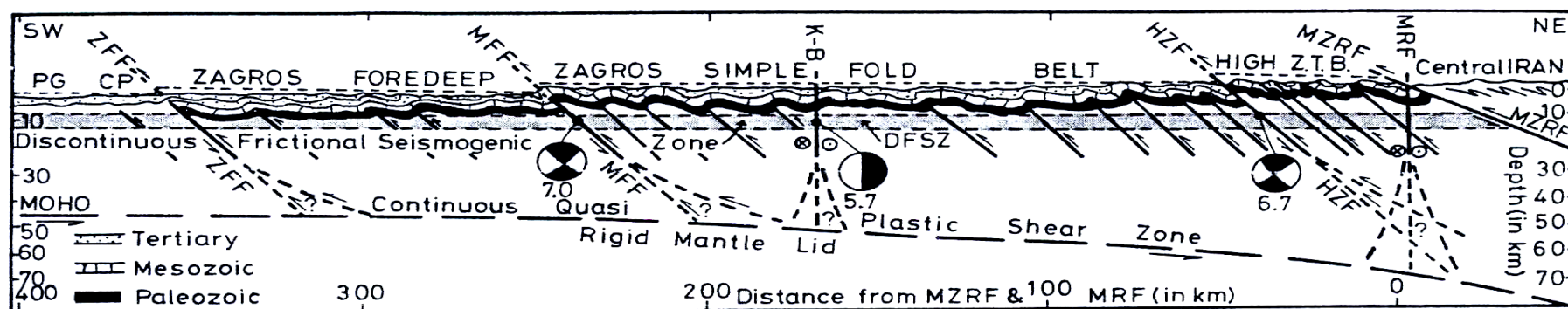
۱- راندگی‌های اصلی طولی که به موازات روند کلی زاگرس، دارای امتداد شمال باختری-جنوب خاوری می‌باشند: مانند گسل‌های اردل، زاگرس مرتفع، پیشانی کوهستان زاگرس، پیش‌ژرفای زاگرس.

۲- گسل‌های راست‌الغز عرضی که نوار چین خورده - رانده شده زاگرس را قطع می‌کنند: مانند گسل‌های کازرون و سبزپوشان.

لرزه‌خیزی در زاگرس در ۲۰۰ کیلومتری جلویی (شمال خاوری) این نوار رورانده گسترش دارد [36]. ساز و کار کانونی برای این زمین‌لرزه‌ها به طور مشخص گسلش معکوس با شیب زیاد (۴۰ تا ۵۰ درجه) را نشان می‌دهد، که در عمق ۸ تا 4 ± 13 کیلومتری بالاترین بخش پی سنگ دگرگونی و زیر نمک‌های هرمز پوشش رسوبی فوقانی واقع شده‌اند و بزرگی آن‌ها ۴ تا ۶ ریشتر است. محققین این طور پیشنهاد

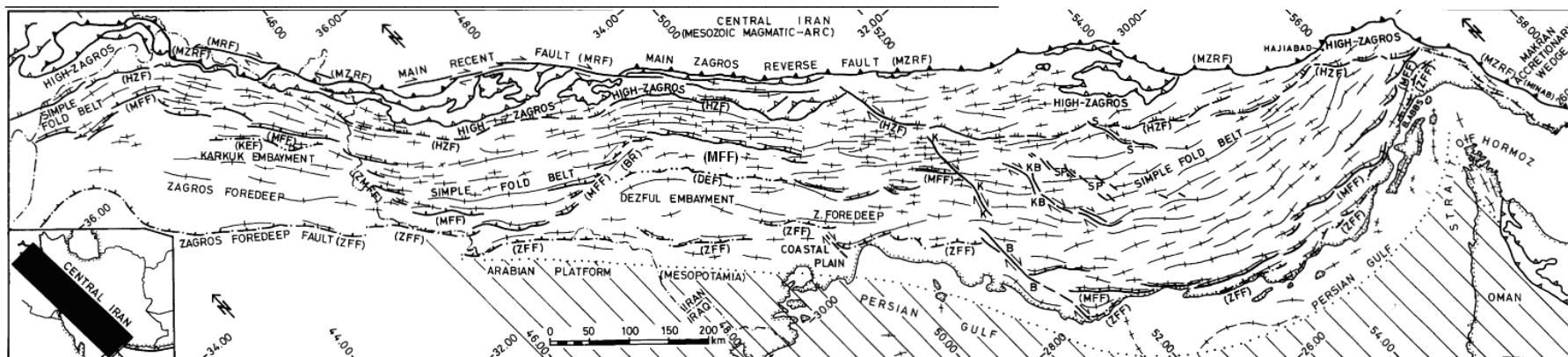
می‌کنند که زمین‌لرزه‌ها در بالاترین بخش پی سنگ متمرکز شده‌اند [۱۹، ۲۰، ۳۷، ۱۶۴، ۸۲، ۸۷ و ۱۱۶].

ساز و کار چیره گسل‌ها در نوار چین‌خورده-رانده شده زاگرس نشان دهنده حرکت معکوس بزرگ زاویه است و امتداد آن‌ها به موازات روند عمومی محور چین‌ها است.



شکل ۱-۷- برش عرضی ساده شده از کمربند فعال چین خورده - رانده زاگرس به همراه واحد های ریخت زمین ساختی و راندگی های عمیق جدا کننده این واحدها [37].

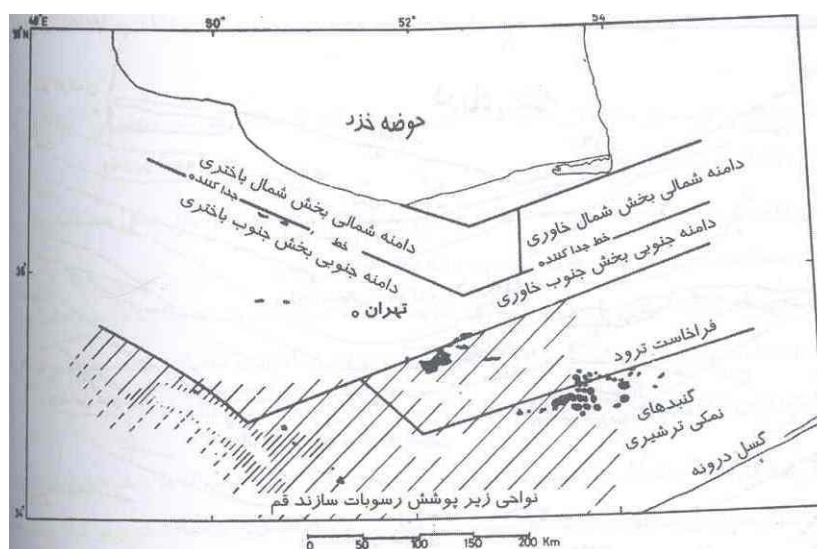
فصل اول: کلیات



شکل ۸-۱- عوارض ریخت زمین ساخت اصلی و واحدهای کمر بند چین خورده-رانده زاگرس. گسل های معکوس طولی اصلی عبارتند از: DEF گسل فروافتادگی دزفول، HZF گسل زاگرس مرتفع، KEF گسل فروافتادگی کرکوک، MFF گسل پیشانی کوهستان، MZRF گسل معکوس اصلی زاگرس، ZFF گسل پیش ژرفای زاگرس. گسل راستگرد طولی اصلی: MRF گسل اصلی جوان زاگرس. گسل های عرضی اصلی در این گستره عبارتند از: B گسل برازان، K گسل کازرون، KB گسل کره بس، S گسل سروستان، SP گسل سبزپوشان، BR پهنه برشی چپگرد بالارود در شمال باختری فروافتادگی دزفول [37].

۱-۳-۲- لرزه‌زمین‌ساخت البرز

تاریخچه لرزه‌خیزی البرز نشان می‌دهد که شهرهایی مانند رشت، لاهیجان، فشم، جیرود، دماوند، آمل، بابل، بابلسر، ساری، بهشهر، گرگان و بعضی نواحی دیگر، بارها و بارها ویران شده‌اند که از آن جمله، به زمین‌لرزه ۱۳۶۹ رودبار می‌توان اشاره کرد. زمین‌لرزه‌های پی‌درپی و فراوان نشانه لرزه‌خیزی البرز است. بررسی داده‌های لرزه‌ای البرز نشان دهنده کم‌ترفا بودن زمین‌لرزه‌ها در این پهنه می‌باشد. چالنگو در سال ۱۹۷۴، با مطالعه زمین‌لرزه‌های سده بیستم، البرز را به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم نموده است (شکل ۱-۹) [171].



شکل ۱-۹- حوزه‌های لرزه‌زمین‌ساختی البرز [171].

دامنه شمالی شامل دو بخش شمال خاوری و شمال باختری و دامنه جنوبی که خود شامل بخش جنوب باختری و بخش جنوب خاوری است.

به نظر چالنگو، لرزه‌خیزی البرز با دوره‌های کوتاه مدت فعالیت مشخص است. ظهور زمین‌لرزه در یک حوزه با آرامش حوزه دیگر همراه است. دوره تمرکز فعالیت هر حوزه از چهار سال برای بخش شمال باختری تا ۱۲ سال برای بخش شمال خاوری متفاوت است. دوره‌های بازگشت زمین‌لرزه‌های بزرگ می‌تواند بیشتر از ۵۰ سال باشد [۷].

۱-۳-۳- لرزه‌زمین‌ساخت بلوک لوت

در کناره باختری بلوک لوت، ضخامت پوسته حدود ۴۰ کیلومتر است و از آنجا به سوی جنوب باختری از ضخامت آن کاسته می‌شود و ممکن است به حدود ۲۰ تا ۲۵ کیلومتر برسد.

مطالعه لرزه‌خیزی بلوک لوت گواه آن است که پاره‌ای از نواحی این زون، مانند قائن، در اثر زمین‌لرزه ویران شده‌اند. از زمین‌لرزه‌های ویرانگر سده بیستم این بلوک، می‌توان به زمین‌لرزه‌های طبس (۱۹۷۸) و قائن (۱۹۹۷) اشاره کرد.

با مطالعه نقشه لرزه‌زمین‌ساخت ایران دیده می‌شود که همانند دیگر نواحی ایران مرکزی، در بلوک لوت نیز کانون زمین‌لرزه‌ها روندی خاص ندارند و در سطح بلوک پراکنده‌اند. زون‌های لرزه‌خیز این بلوک، بیشتر در شمال و در امتداد گسل‌های مرز خاوری، مانند گسل نهبندان و نیز باختری، مانند گسل نایبند، جای دارند. بیشتر زمین‌لرزه‌ها از نوع کم عمق با بزرگی متوسط هستند [۱].

۱-۳-۴- لرزه‌زمین‌ساخت حوضه فلیشی خاور ایران

از نگاه لرزه‌خیزی، بخش میانی حوضه فلیشی خاور ایران، اطراف زاهدان، در سده گذشته به طور کامل آرام بوده، اما بخش‌های شمالی و جنوبی آن لرزه‌زا است. در ناحیه نهبندان زمین‌لرزه‌ها از نوع کم ژرفا (۳۵-۰ کیلومتر) و بزرگی متوسط ۳/۵-۶ هستند. زمین‌لرزه‌های بخش جنوبی، به ویژه اطراف تفتان، از نوع نیمه عمیق تا نزدیک به عمیق و بزرگی ۳/۵-۷ هستند. پاره‌ای از کانون‌های زمین‌لرزه منطبق بر زون‌های تلاقی بلوک لوت در باختر است [۱].

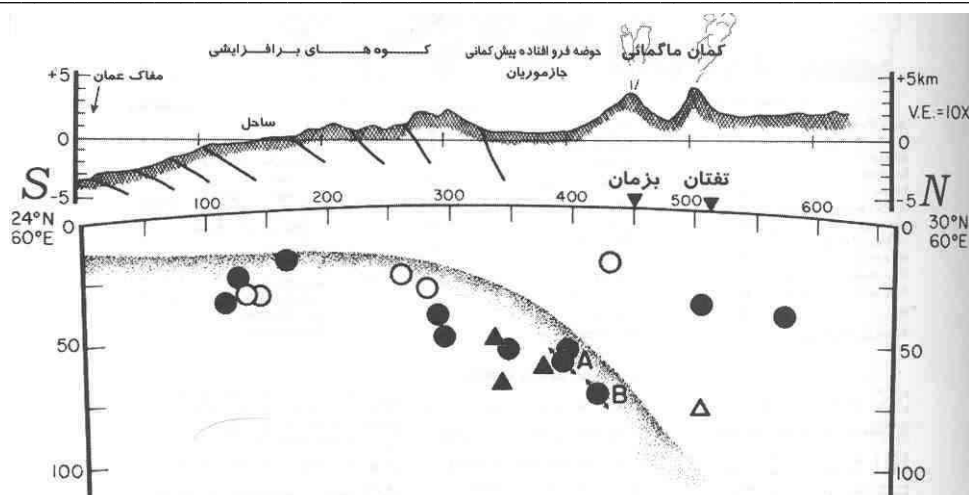
۱-۳-۵- لرزه‌زمین‌ساخت کپه‌داغ

منطقه کپه‌داغ تحت تأثیر استرس ناشی از حرکت همگرایی صفحات ایران و توران واقع است. مقایسه فعالیت لرزه‌ای گسل‌ها در راستای البرز شرقی و کپه‌داغ با استفاده از روش نشانگرهای وزن‌دار^{۱۶} نشان می‌دهد که فعالیت لرزه‌ای گسل‌های با امتداد NE (هم‌روند با البرز شرقی) در بازه زمانی ۱۹۴۵ تا ۱۹۷۵ غالب بوده است و در بازه زمانی ۱۹۷۵ تاکنون، فعالیت لرزه‌ای گسل‌های با امتداد NW غلبه دارد [۱۶]. زمین‌لرزه‌های شناخته شده و گسلش‌های کواترنر و همچنین آبرفت‌های پلکانی موجود در امتداد رودخانه‌ها، به ویژه رودخانه کشف-رود، معرف فعالیت‌های جوان پهنه کپه‌داغ هستند [۱].

۱-۳-۶- لرزه‌زمین‌ساخت مکران

معمولاً توان لرزه‌زایی پهنه‌های فرورانشی بالاست، در حالی که، به عنوان یک زون فرورانش فعال، در مکران توان لرزه‌خیزی بسیار ضعیف است. این امر به دو دلیل است: الف) فرورانش کم شیب، ب) این که در مکران مجموعه برافزایشی در آب است و به دلیل وجود آب در منافذ سنگ‌ها، رفتار آن‌ها پلاستیک بوده و شکننده نیست. به گفته دیگر، وجود آب، اندازه نیروهای مؤثر را کاهش می‌دهد. با این حال، وجود پادگانه‌های دریایی و وجود ۹ گل‌فشان، نشانه پویایی این پهنه است. تا فاصله ۷۰ کیلومتری ساحل، رومرکز زمین‌لرزه‌های مکران کم‌ژرفا هستند ولی پس از فاصله ۷۰ کیلومتری، زمین‌لرزه‌ها کانون ژرف‌تری دارند به گونه‌ای که در جنوب کمان ماگمایی، به ژرفای حدود ۸۰ کیلومتر می‌رسند (شکل ۱-۱۰) [۱].

¹⁶- Weight of Evidence



شکل ۱۰-۱- نمایش ژرفای رومکز زمین‌لرزه‌ها و توپوگرافی مکران [۱].

۴-۱- عوامل تحریک کننده زلزله‌ها

زمین لرزه‌ها نمایشی توانمند از رها شدن ناگهانی انرژی کرنشی^{۱۷}، که طی مدت مدیدی در سنگ کره زمین ذخیره شده‌اند، می‌باشند. زمین لرزه‌ها بسته به عامل ایجاد کننده آن‌ها، انواع مختلفی را شامل می‌شوند که زمین لرزه‌های زمین ساختی، آتشفشانی و فروریختی از آن جمله می‌باشند. همچنین زمین لرزه‌ها را بسته به منشأ تولید آن نیز می‌توان تقسیم‌بندی کرد. انواع زمین لرزه‌های ذکر شده در بالا همراه با خرد لرزه‌های آن‌ها در گروه چشمه‌های لرزه‌ای طبیعی طبقه‌بندی می‌شوند. علاوه بر این، چشمه‌های مختلف لرزه‌ای مصنوعی (انسان‌زاد) هم وجود دارند که این نوع از زمین لرزه‌ها قابل کنترل هستند، که محل و زمان وقوع و شدت لرزش حاصل از این چشمه‌ها از پیش تعیین شده، یا حداقل بسیار قابل پیش‌بینی می‌باشند. زمین‌لرزه‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی به عنوان رویدادهای لرزه‌ای القائی یا تحریک شده (چکانیده یا کنشی) تلقی می‌گردند [۲۳].

¹⁷ - Strain Energy

۱-۴-۱- زلزله‌های مصنوعی (انسانزاد)

به طور کلی رویدادهای لرزه‌ای القائی، زمین لرزه‌هایی را توصیف می‌کند که به طریقی در ارتباط با فعالیت‌های انسانی بر روی پوسته زمین می‌باشند، که در دهه‌های اخیر به علت فعالیت زیاد انسانی در زمین با چنین پدیده‌هایی مواجه هستیم. این رویدادهای لرزه‌ای یا به طور کامل انسانزاد می‌باشند (زمین لرزه‌های القا شده^{۱۸}) و یا اینکه در مناطق زمین ساختی فعال در اثر تغییر وضعیت کلی تنش روی می‌دهند (زمین لرزه‌های تحریک شده^{۱۹}). این حرکات معمولاً با آشفتگی و برهم زدن موازنه طبیعت همراه بوده و نسبت مستقیمی بین این زمین لرزه‌ها و فعالیت‌های انسانی وجود دارد [۴]. بنابراین باید انتظار داشت که مراکز این نوع زمین لرزه‌ها در نواحی فعالیت بشر و حوالی آن قرار گیرد.

برخی از فعالیت‌های انسانی، از جمله انفجارهای صنعتی و نظامی، احداث سد و بهره‌برداری از آن‌ها، بهره‌برداری حجیم از معادن و میدان‌های نفتی و گازی، تزریق مواد زائد مایع به لایه‌های زیرین زمین، آزمایشات هسته‌ای و انواع مختلف نوفه‌های اجتماعی (آمد و شد، صنعت، فعالیت‌های ساختمانی) سبب تغییر در میدان تنش طبیعی زمین شده و می‌تواند موجب بروز زمین لرزه‌های القائی گردد [72, 75, 156, 139, 160]. چنین تغییرات تنشی به دو صورت بارگذاری^{۲۰} و باربرداری^{۲۱} مصنوعی صورت می‌گیرد. معمولاً زمین لرزه‌های القائی در مناطق با لرزه‌خیزی آرام و متوسط بیشتر مورد توجه واقع شده‌اند. نکته قابل تأمل در این میان این است که این گونه زمین لرزه‌ها حتی در مناطقی که به لحاظ فعالیت لرزه‌خیزی غیر فعال می‌باشند نیز مشاهده شده است [۱۲].

۱-۴-۱-۱- زمین‌لرزه‌های مرتبط با سدها

زمین لرزه‌های مرتبط با مخازن سد اولین بار توسط کارد^{۲۲} (۱۹۴۵) [42] در رابطه با دریاچه سد لیک‌مید^{۲۳} در ایالات متحده آمریکا عنوان شد. بعد از آن زمین لرزه‌های خسارت باری در ارتباط با بهره‌برداری از سدها

18- Induced Earthquakes

19- Trigged Earthquakes

20- Loading

21- Unloading

22- Carder

23- Lake Mead

در نقاط مختلف دنیا به وقوع پیوست که بزرگی ۳ مورد از آن‌ها بیشتر از ۶ ریشتر گزارش شده است. زمین‌لرزه سدهای هسین فنگ کیانگ^{۲۴} در سال ۱۹۶۲ در چین، کاریبا^{۲۵} (با ارتفاعی در حدود ۱۲۸ متر و حجم مخزن ۱۷۵ میلیارد متر مکعب) در مرز زامبیا-زیمبابوه در سال ۱۹۶۳ و کوینا^{۲۶} (با ارتفاعی در حدود ۱۰۳ متر و حجم مخزن ۲/۷ میلیارد متر مکعب) در هند در سال ۱۹۶۷ از جمله زمین‌لرزه‌های القائی بسیار خسارت بار محسوب می‌شوند. به عنوان مثال زمین‌لرزه کوینا منجر به کشته شدن ۲۰۰ نفر و زخمی شدن ۱۵۰۰ نفر و بی‌خانمان شدن هزاران نفر گشت. از میان زمین‌لرزه‌های یاد شده زلزله‌های کوینا و هسین فنگ کیانگ باعث وارد آمدن خسارت به بدنه سد شد. سایر زمین‌لرزه‌های القا شده از جمله کاریبا، کرمستا^{۲۷}، اروویل^{۲۸}، آسوان^{۲۹}، سریناگاریند^{۳۰} در تایلند باعث خساراتی در شهرها و روستاهای اطراف شدند [72, 75]. بررسی‌های بیچر^{۳۱} در سال ۱۹۸۲ (۳۵) نشان داد که در ۲۳۴ سد بزرگ (با بلندی بیش از ۹۲ متر و حجم ذخیره بیش از یک میلیارد متر مکعب)، در حدود ۱۲/۴ درصد (۲۹ مخزن از ۲۳۴ مخزن)، زمین‌لرزه‌های القائی اتفاق افتاده است [33]. گوها^{۳۲} و پاتیل^{۳۳} (۱۹۹۲) زمین‌لرزه‌های تحریک شده (RTS^{۳۴}) را بر اساس حداکثر بزرگی در ۴ گروه ا، II، III و IV طبق جدول (۱-۱) تقسیم نمودند [75, 105].

جدول ۱-۲- دسته بندی ۱۰۳ مورد زمین‌لرزه‌های تحریک شده بر اساس بزرگی رخدادهای لرزه‌ای [74, 104].

ردیف	ماهیت/شدت لرزه‌خیزی	دامنه بزرگی	تعداد سدها	سطح زمین لرزه القائی
۱	خرد لرزه	$\leq 3/0$	۳۵	IV
۲	متوسط	۳/۱-۳/۹	۳۰	III
۳	آرام	۴/۰-۵/۹	۳۴	II
۴	شدید	$\geq 6/0$	۴	I

²⁴ - Hsinfengkiang

²⁵ - Kariba

²⁶ - Koyna

²⁷ - Keramast

²⁸ - Oroville

²⁹ - Aswan

³⁰ - Srinagarind

³¹ - Beacher

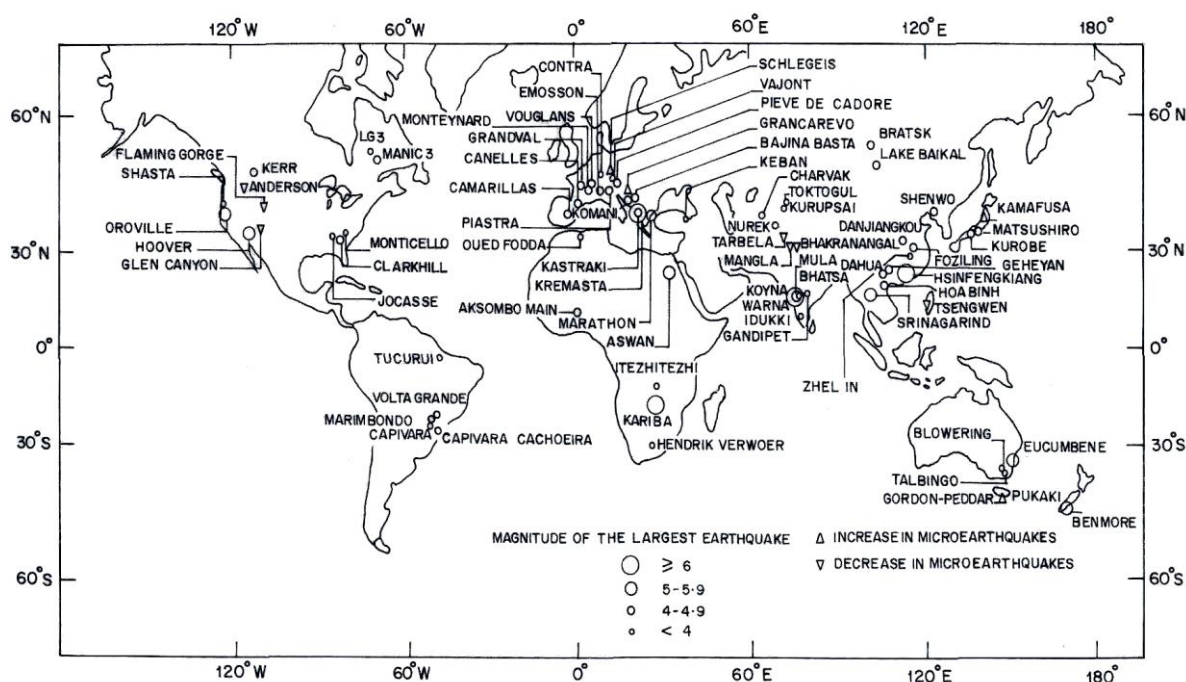
³² - Guha

³³ - Patil

³⁴ - Reservoir Trigged Seismicity

در ابتدا مخالفت‌های زیادی در بین جامعه مهندسی در قبول اهمیت و یا حتی وجود پدیده لرزه‌خیزی القایی ناشی از مخازن وجود داشت [72]. با گذشت زمان بر اساس موارد مشاهده شده و نتایج به دست آمده تغییراتی در این نگرش به وجود آمد، به طوری که در گزارش سال ۱۹۹۷ کمیته سدهای بزرگ ایالات متحده آمریکا^{۳۵} آمده است [176] که، طی دوره تغییرات تراز آب در سد، افزایشی در زمین لرزه‌های القا شده بوجود می‌آید و امکان چنین لرزش‌هایی برای هر سدی که عمق مخزن آن ۸۰ تا ۱۰۰ متر است را باید در نظر گرفت [۱۲].

چنانچه فاکتورهای زمین شناختی و تکتونیکی در کاهش پتانسیل یک ساختگاه برای چنین لرزش‌هایی اهمیت داشته باشند، ویژگی‌های مخزن سد نیز در این میان به طور مساوی اثر بخش خواهد بود. ارتفاع ستون آب در پشت سد و حجم مخزن سد دو عامل عمده هستند که زمین لرزه‌های تحریک شده را کنترل می‌نمایند [۱۲]. شکل (۱-۱۱) توزیع جهانی تغییرات لرزه‌خیزی تحریک شده ناشی از مخزن سد را نشان می‌دهد [71, 72, 73].



شکل ۱-۱۱- توزیع جهانی تغییرات لرزه‌خیزی تحریک شده ناشی از مخزن سد. این شکل تمام زمین لرزه‌های تحریک شده بزرگ‌تر از ۴ را شامل می‌گردد [71, 72, 73].

۱-۴-۲- انفجارات هسته‌ای

به عنوان مثال، خرابی‌های جزیی در لاس‌وگاس را به زلزله‌های ناشی از آزمایش‌های انفجاری کمیسیون انرژی اتمی در اعماق زمین در نوادا، نسبت می‌دهند. عده‌ای نیز زلزله چهارم فوریه ۱۹۷۶ با بزرگی ۷/۵ ریشتر در کشور گواتمالا را که حدود ۵۰ هزار کشته بر جای گذاشت، به آزمایش‌های اتمی آمریکا در روزهای سوم و چهارم فوریه نسبت می‌دهند. اولین بمب به قدرت تقریبی ۲۰۰ هزار تن T.N.T (ده برابر قویتر از بمب اتمی هیروشیما) در روز سوم فوریه منفجر گردید که ظاهراً همین انفجار عامل بر هم زدن تعادل زمین‌شناسی منطقه بوده است [۶، ۵۹].

۱-۴-۳- انفجارات معادن و بار برداری^{۳۶} از آن‌ها

انفجارات معادن و بار برداری از آن‌ها به صورت برداشتن حجم زیادی از سنگ‌ها نظیر آن‌چه که در معادن روباز سنگ‌های ساختمانی انجام می‌شود نیز قابلیت لرزه‌خیزی منطقه را افزایش می‌دهد [۶].

۱-۴-۴- فعالیت‌های اجتماعی بشر نظیر ترافیک، صنعت و عملیات ساختمانی

این فعالیت‌ها نیز می‌تواند به عنوان سر و صدا یا نوفه محیطی^{۳۷} که بخشی از لرزه‌نگاشت‌های مناطق شهری به آن اختصاص دارد، در نظر گرفته شود [۶].

۱-۴-۲- زلزله‌های طبیعی

در مورد علت بروز این نوع زلزله‌ها که تاکنون تحت کنترل بشر قرار نگرفته، دلایل متنوعی پیشنهاد شده است. در این دسته از زلزله‌ها عامل محرک می‌تواند از درون زمین یا خارج زمین اعمال شود [۶].

³⁶ - Unloading

³⁷ - Ambient noise

۱-۴-۲-۱- زلزله‌های تکتونیکی^{۳۸}

به طور کلی این گونه زلزله‌ها در اثر حرکات قطعات لیتوسفری به وقوع می‌پیوندند، بنابراین یا بین صفحه‌ای یا درون صفحه‌ای هستند.

الف- زلزله‌های بین صفحه‌ای^{۳۹}: رایج‌ترین نوع زلزله‌های طبیعی هستند که بسته به نوع مرز صفحات، ویژگی‌های آن‌ها تغییر می‌کند.

- **زلزله‌های مرتبط با مرزهای دورشونده:** این زلزله‌ها معمولاً در عمق ۱۰ کیلومتری و یا کمتر با بزرگی ضعیف تا متوسط رخ می‌دهند، علت کم عمق بودن کانون این گونه زلزله‌ها این است که در این نواحی جریان‌های حرارتی بالایی وجود دارد، لذا زلزله‌ها منحصر به اعماق بسیار کم می‌باشند.

- **زلزله‌های مرتبط با مرزهای انتقالی:** این زلزله‌ها که معمولاً بزرگ‌تر از زلزله‌های مرتبط با مرزهای دور شونده هستند، غالباً تا عمق ۲۰ کیلومتری رخ می‌دهند. با افزایش عمق، درجه حرارت زمین بالا می‌رود، حال اگر شیب گرمایی^{۴۰} متوسط زمین حدود ۳۰ درجه سانتیگراد در هر کیلومتر در نظر گرفته شود، ملاحظه می‌گردد که در عمق ۲۰ و ۳۰ کیلومتری به ترتیب با دمایی در حدود ۶۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد مواجه خواهیم شد. از آن جا که وضعیت لیتوسفر در این محدوده دمایی نسبت به بخش‌های بالاتر خود خمیری می‌باشد، دگر شکلی آن بر خلاف بخش‌های بالاتر که شکننده است، شکل پذیر^{۴۱} می‌گردد. بنابراین زلزله‌های حاصل از آزاد شدن انرژی ذخیره شده در اثر اصطکاک دو صفحه لیتوسفری، تنها در بخش‌های شکننده بالایی (اعماق کمتر از ۲۰ کیلومتر) به وقوع می‌پیوندند.

- **زلزله‌های مرتبط با مرزهای نزدیک شونده:** این زلزله‌ها حتی تا عمق ۷۵۰ کیلومتری نیز به وقوع پیوسته‌اند، زیرا که فرورانش سریع، باعث پایین کشیدن خطوط هم‌دما^{۴۲} شده و زلزله‌ها در اعماق زیاد نیز رخ می‌دهند. اما در مناطقی که فرورانش با سرعت کمتر از ۳۰ میلیمتر در سال صورت می‌پذیرد، حرارت لیتوسفر فرورونده به تدریج در اعماق کم افزایش یافته و زلزله‌ای صورت نمی‌گیرد [۶].

³⁸ - Tectonic earthquakes

³⁹ - Interplate earthquakes

⁴⁰ - Temperature gradient

⁴¹ - Ductile

⁴² - Isotherm

همان طور که ملاحظه گردید، نواحی و مرزهای انتقالی و نزدیک شونده دارای خطرناک‌ترین نوع زلزله‌ها هستند. محاسبات نشان داده‌اند که مجموع طول مرزهای فرورانش و گسل‌های تبدیلی بالغ بر ۵۰ هزار کیلومتر است، حال چنانچه به طور متوسط پهنای مورد تهدید را ۳۰۰ کیلومتر در نظر بگیریم، مساحتی معادل ۱۵ میلیون کیلومتر مربع واجد پتانسیل خطر می‌باشند. به عبارت دیگر در حدود ۱۰ درصد از کل مناطق خارج از آب در معرض خطر وقوع زلزله قرار می‌گیرند [۶].

ب- زلزله‌های درون صفحه‌ای^{۴۳}: این زلزله‌ها به صورت متفرق و پراکنده در مناطقی که فاصله زیادی از مرزهای صفحات دارند، رخ می‌دهند و از آنجا که غالباً به صورت غیر منتظره و به ندرت به وقوع می‌پیوندند، می‌توانند خسارات زیادی را به بار آورند [۶].

۱-۴-۲- زلزله‌های مرتبط با آتشفشان‌ها

اگرچه زلزله‌های آتشفشانی رویدادهای مجزا و منفرد در طول زمان هستند، لیکن دارای رفتاری تشنجی^{۴۴} و هماهنگ^{۴۵} با جریان ماگمایی زیرزمینی، نوسان در مخازن ماگمایی، انفجار گازها و نظایر آن می‌باشند. بر اساس عقیده میناکامی^{۴۶} (۱۹۵۹)، زلزله‌های آتشفشانی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

نوع A: کانون در عمق ۱ تا ۱۰ کیلومتری قرار دارد.

نوع B: کانون در عمق کمتر از ۱ کیلومتری قرار دارد.

نوع انفجاری C: زلزله‌هایی که در سطح زمین رخ می‌دهد.

همچنین از عوامل مؤثر در بروز این گونه زلزله‌ها می‌توان به انفجار ناشی از افزایش فشار گاز درونی، تبلور، ایجاد درزه‌های کششی، نفوذ ماگما، جدا شدن قطعات سنگ‌های در بر گیرنده ماگما، توقف ماگما، ایجاد کالدرا و نظایر آن اشاره کرد [۶].

⁴³ - Intraplate earthquake

⁴⁴ - Spasmodic

⁴⁵ - Harmonic

⁴⁶ - Minakami

۱-۴-۲-۳- زلزله‌های مرتبط با آبشارها

آبشارهای بزرگ نظیر نیاگارا که به علت شکسته شدن و لرزش دائمی نواحی نزدیک به آن، تاکنون در حدود ۱۰ کیلومتر عقب نشینی کرده است می‌توانند موجب بروز لرزش‌های محلی شوند [۶].

۱-۴-۲-۴- ریزش‌ها

انواع متعددی نظیر زمین لغزش‌ها، سنگ لغزش‌ها، ریزش سقف غارها و بهمن و غیره نیز می‌توانند لرزش‌های خفیف را ایجاد کنند [۶].

۱-۴-۲-۵- وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ

با توجه به این که کره زمین یک سیستم بسته می‌باشد، لذا آزاد شدن انرژی زیاد در یک نقطه سبب تغییر شکل و احتمالاً بروز زمین‌لرزه در مناطق دیگری خواهد شد. به عنوان مثال تصور بر این است که زلزله قوی ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ ترکیه نوعی اثر بی‌ثبات‌کنندگی روی زون‌های گسلی منطقه تایوان داشته و به وقوع زلزله مخرب ۲۰ سپتامبر ۱۹۹۹ تایوان در یک ماه بعد کمک کرده است [59].

۱-۴-۲-۶- پیش‌لرزه‌ها

وقوع زلزله‌های کوچک قبل از زلزله‌های بزرگ در موارد بسیاری گزارش شده است. پیش‌لرزه‌ها^{۴۷} بزرگی کم داشته، قبل از بزرگ‌ترین زلزله اتفاق افتاده و به صورت سری زلزله‌هایی در یک حجم محدود پوسته‌ای متمرکز می‌گردند، به طوری که ۳۰-۱۰ درصد زلزله‌های بزرگ بعد از پیش‌لرزه‌هایی در طول یک هفته قبل از وقوع اتفاق می‌افتند. برخی نیز پس از یک فعالیت لرزه‌ای یک ساله رخ می‌دهند [186]. وجود پیش‌لرزه‌ها در یک منطقه را می‌توان نشانه‌ای از فعال شدن لرزه‌ای منطقه دانست که احتمال وقوع زلزله‌های دیگر را افزایش می‌دهند.

نمونه‌های بسیاری از پیش‌لرزه‌ها در ایران گزارش شده‌اند که به چند مورد آن‌ها در اینجا اشاره می‌شود:

- روز سه‌شنبه ۱۶ اردیبهشت ۱۳۰۹ ه.ش. زلزله‌ای به بزرگی ۵/۵ ریشتر شهر سلماس را تکان داد که باعث خرابی تنها چند ساختمان گردید. پانزده ساعت بعد در نیمه شب همان روز زلزله‌ای با بزرگی ۷/۴ ریشتر سلماس را به کلی تخریب کرد.

- شب قبل از زلزله بم در دی ماه ۱۳۸۲ این شهر دو بار زلزله‌های کوچکی را تجربه کرد و در پی آن‌ها زلزله اصلی به وقوع پیوست.

- شب قبل از زلزله فروردین ۱۳۸۵ سیلاخور (استان لرستان) به بزرگی $M_L = 6/1$ ریشتر، پیش‌لرزه‌هایی رخ داد که با اطلاع رسانی به موقع سازمان حوادث غیر مترقبه و آمادگی ارگان‌های مدیریت بحران، جان هزاران نفر نجات یافت.

مشکل عمده کاربرد این پیش‌نشانگر در پیش‌بینی زلزله، در این است که نمی‌توان به راحتی پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها را از هم تفکیک نمود [۲۲].

۱-۴-۲-۷- ماه، خورشید و سایر اجرام سماوی

حرکت و تغییرپذیری زمین به طور نزدیکی با اجرام سماوی واقع در منظومه شمسی و حوادث ناشی از آن‌ها مرتبط است [188]. از وضعیت نجومی به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی زلزله استفاده می‌شود. وقتی دو یا تعداد بیشتری سیاره، ماه و خورشید با زمین در یک ردیف قرار گیرند (0° یا 180°)، زمین توسط جاذبه عظیمی از خورشید، ماه و سیاره‌ها احاطه می‌شود. نیروهای جاذبه منجر به تغییر سرعت زمین در مدار خود شده و بر حرکت صفحات تکتونیکی اثر می‌گذارند. تغییر اندازه حرکت زاویه‌ای کلی زمین ناشی از سایر سیارات در مکانیزم رهاسازی زلزله‌ها قابل محاسبه است. اثر عمل نیروهای سماوی در جهت مخالف چرخش زمین با تجمع نیرو در گسل‌ها و مرز صفحات، به عنوان یک مکانیزم رهاسازی ناگهانی زلزله محسوب می‌شود [95].

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که زلزله‌های بزرگ، به خصوص آن‌هایی که بزرگی بیش از ۷ دارند، تحت تأثیر فاکتورهای نجومی از قبیل چرخش زمین، فعالیت‌های خورشیدی و موقعیت اجرام سماوی واقع می‌شوند. کمربندها و نواحی سایزمو تکتونیک گوناگون، عکس‌العمل‌های مختلفی نسبت به فاکتورهای نجومی دارند [79].

دانشمندان زیادی ارتباط بین موقعیت (یا چرخش) اجرام سماوی و فعالیت‌های لرزه‌ای را بررسی کرده‌اند [144, 191]. عده‌ای از آن‌ها نشان داده‌اند که امکان پیش‌بینی دراز مدت زلزله وجود دارد [111] و می‌توان زمان وقوع دقیق یک زلزله را از روی موقعیت یک جرم سماوی محاسبه کرد [126]، اما هیچ یک نتوانسته‌اند به طور تجربی زمان وقوع یک زلزله را پیش‌بینی کنند.

در زمین‌لرزه ۱۹۷۸ طبس، ۲ ساعت بعد از زلزله اصلی ماه گرفتگی رخ داده است [۳] که نشان دهنده وضعیت ۱۸۰ درجه‌ای بین راستای ماه، زمین و خورشید بوده و افزایش نیروی جاذبه ماه و خورشید در زمان این زلزله را نشان می‌دهد.

در زلزله ۱۹۷۵ هایچنگ^{۴۸} چین (بزرگی: ۷/۳) مریخ و زحل در یک خط مستقیم قرار داشتند (سیارات خارجی^{۴۹}). این زلزله دارای پیش‌نشانگر و علائم هشداردهنده بود. در حالی که برای زمین‌لرزه ۱۹۷۶ تانگ-شان^{۵۰} چین، ماه، عطارد و زهره کمابیش در یک خط راست بودند (سیارات داخلی^{۵۱}) و این زلزله بدون علائم هشدار رخ داد [178] (بر اساس اصل بقاء اندازه حرکت زاویه‌ای، هرچه سیاره در فاصله دورتری از خورشید قرار داشته باشد، آهسته‌تر به دور خورشید حرکت می‌کند [۱۸]).

در مورد دو زمین‌لرزه بوج^{۵۲} با بزرگی ۷/۷ و جامنگار^{۵۳} هند با بزرگی ۳، وضعیت نجومی در هر دو مورد برای ایجاد زلزله مساعد بود و فواصل از موقعیت نجومی محل مشابه بودند، با این حال بزرگی زلزله بوج خیلی بیشتر بود. این موضوع به فعالیت نیروهای نجومی نسبت به موقعیت گسل بستگی دارد، یعنی در مورد این زلزله نیروهای نجومی عمود بر خط گسلی بودند در صورتی که برای زلزله جامنگار جهت نیروهای نجومی و موقعیت خط گسل تقریباً با هم در یک راستا بودند [180].

در مطالعه‌ای دیگر به منظور بررسی اثر جاذبه اجرام سماوی بر روی وقوع زلزله، در تاریخ‌های ۲۰ و ۲۲ ژوئن ۲۰۰۴، سیاراتی که در یک خط مستقیم بودند مشخص شد که برای ۲۰ ژوئن شامل ماه، مریخ و زحل می‌شد. سپس با توجه به جهت نیروها و فواصل از موقعیت سیاره‌ای، مکان‌های احتمالی وقوع زلزله تعیین گردید که

⁴⁸ - Haicheng

^۲ - Superior Planets: سیاراتی که از زمین به خورشید دورترند.

⁵⁰ - Tang shan

^۴ - Interior Planets: سیاراتی که از زمین به خورشید نزدیک‌تر هستند.

⁵² Bhuj

⁵³ - Jamnagar

عبارت بودند از: اندونزی، جزایر سلیمان^{۵۴}، جزایر لُیالت^{۵۵}، ایتالیا، جزایر کُداک^{۵۶} و جزایر آلُوتین^{۵۷} آلاسکا، کالیفرنیا، کاستاریکا و کلمبیا. مشاهده شد که به استثنای اندونزی و جزایر سلیمان، زلزله در همه مناطق پیش بینی شده در بیستم ژوئن رخ داد، که کالیفرنیا ۹ زلزله را تجربه کرد که بیشترین بزرگی آن ۳/۲ بود و آلاسکا با تجربه ۲ تکان، بیشترین بزرگی ۵ را داشت.

در تاریخ ۲۲ ژوئن، خورشید و ماه و سیارات مشتری، زحل، عطارد و زهره واقع در یک راستا بودند که نواحی احتمالی رخداد زلزله به صورت زیر مشخص گردید:

سولوسی^{۵۸}، فلورس^{۵۹} اندونزی، میندانائو^{۶۰}، فیلیپین، ترکیه، قبرس، جزایر لُیالت، منطقه فیجی، مرز شیلی- پرو. در ۲۲ ژوئن زلزله در همه نواحی مشخص شده رخ داد که اندونزی ۳ تکان با ماکزیمم بزرگی ۵/۱ را تجربه کرد [180].

۱-۴-۲-۸- لکه‌های خورشیدی، طوفان‌های مغناطیسی، بادهای اتمسفری و سایر حوادث کیهانی

نیروهایی مثل نیروی ناشی از طوفان‌های اتمسفری وابسته به اصطکاک باد روی قاره‌ها و گرمایش لایه‌های سنگی زون گسلی همراه با طوفان‌های خورشیدی و مغناطیسی می‌توانند به طور موقت یا دائم مقادیر کافی از انرژی تنشی را به زون گسلی افزوده یا کاهش دهند و زمان وقوع زلزله را برای ساعت‌ها، روزها یا هفته‌ها به جلو یا به تأخیر بیاورند [60, 150].

⁵⁴- Solomon

⁵⁵- Loyalt

⁵⁶- Kodak

⁵⁷- Aleutian

⁵⁸- Sulwesi

⁵⁹- Flores

⁶⁰- Mindanao

۲-۱- مقدمه

وقوع زلزله تابعی از نسبت انرژی ذخیره شده در سطح گسل به مقاومت آن می باشد و تغییر در زمان زلزله مستلزم تغییر در میدان تنش یا مقاومت سطح گسل است. پدیده‌های مختلفی ممکن است در تغییرات میدان تنش مؤثر باشد که از جمله آن‌ها وقوع زلزله‌های دیگر، تغییرات سطح آب زیر زمینی، حرکت توده ماگمایی در عمق زمین، نیروی گرانش ماه، خورشید و سایر سیارات، طوفان‌های مغناطیسی، لکه‌های خورشیدی، تغییرات دمایی و انفجارات هسته ای را می توان نام برد. از بین موارد فوق زلزله‌های اطراف یک منطقه اثر بزرگ‌تر و مشهودتری دارند. وقوع زمین‌لرزه در روی یک گسل خاص از یک سو سبب تخلیه تنش و از سوی دیگر منجر به کاهش زبری و مقاومت سطح گسل شده و در نتیجه نقش اساسی در تأخیر یا جلو انداختن زمان وقوع زلزله‌های بعدی خواهد داشت. تغییرات در میزان تنش ناشی از سایر پدیده‌ها معمولاً در مقایسه با تنش‌های ناشی از زلزله‌های دیگر ناچیز بوده و بیشتر نقش تحریک کننده دارند. یکی از پدیده‌هایی که نقش تحریک کننده در وقوع زلزله‌ها را دارد اثر جاذبه ماه و خورشید می‌باشد. نقش جاذبه ماه و خورشید در وقوع زلزله از دیر باز مورد علاقه محققین لرزه‌شناسی بوده و تحقیقات متعددی در این خصوص انجام شده است [58, 55, 132].

۲-۲- مشخصات ماه و خورشید

خورشید نزدیک‌ترین ستاره به زمین و ماه تنها قمر کره زمین است. نزدیکی این دو جرم سماوی به کره خاکی ما شرایط ویژه‌ای را بر روی زمین ایجاد کرده است. این اثرات تأثیر به سزایی بر حیات موجودات زنده و فرایندهای رخ داده بر روی زمین دارد.

۲-۲-۱- مشخصات خورشید

در جدول (۲-۱) برخی از مشخصات خورشید آورده شده است. خورشید را بر حسب فرایندهای مختلفی که در آن رخ می‌دهد به چهار قسمت هسته، منطقه تابشی، منطقه جابه‌جایی و سطح قابل رؤیت تقسیم می‌کنند

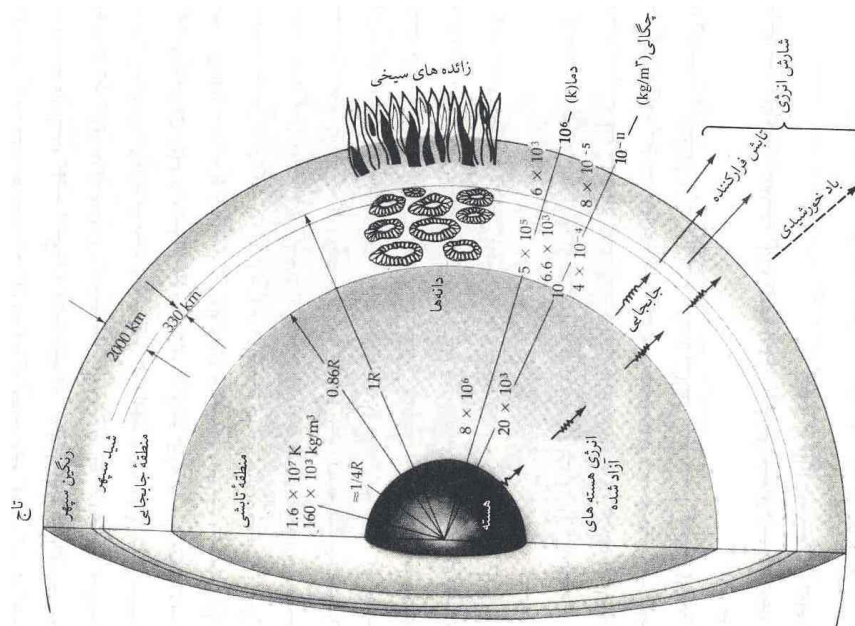
(شکل ۱-۲) [۱۸].

جدول ۱-۲- مشخصات خورشید [۱۵، ۱۸]

۶۹۵۹۹۰ Km	شعاع خورشید
$۱/۹۸۹ \times ۱۰^{۳۰}$ Kg	جرم خورشید
$۳/۸۴۶ \times ۱۰^{۳۳}$ erg/s	درخشندگی خورشید (انرژی خروجی از خورشید)
۵۷۷۰ K	دمای سطح
$۲/۰۷ \times ۱۰^{-۷}$ g/cm ³	چگالی سطح
(C, N, O, ...) %۲، He %۲۸، H %۷۰	ترکیب سطح
۱۵۶۰۰۰۰۰ K	دمای مرکز
۲۷۴ m/s ²	شتاب گرانی سطحی
$۳/۹۲ \times ۱۰^{۲۶}$ W	آهنگ کلی تابش
۱۵۰ g/cm ³	چگالی مرکز
(C, N, O, ...) %۲، He %۶۳، H %۳۵	ترکیب مرکز
$۴/۵۷ \times ۱۰^{-۹}$ سال	سن خورشید
$۱۴۹/۶ \times ۱۰^۶$ Km	فاصله متوسط زمین از خورشید

۲-۲-۱-۱- هسته

هسته در منطقه مرکزی خورشید واقع است که در آن منطقه بر اثر برهم کنش‌های هسته‌ای، هیدروژن برای تشکیل هلیوم سوزانده و این انرژی به صورت اشعه‌های گاما و ایکس تابش می‌شود. دما و چگالی به سمت بیرون از هسته خورشید کاهش می‌یابد [۱۸].



شکل ۲-۱- ساختار خورشید. این نمونه، نواحی اصلی خورشید و مقادیر پارامترهای فیزیکی مهم را نشان می‌دهد. دانه‌ها و زبان‌ها بدون رعایت مقیاس رسم شده‌اند [۱۸].

۲-۱-۲-۲- منطقه تابشی

این منطقه به سمت بیرون تا پایه منطقه همرفتی گسترش می‌یابد. در این منطقه روش انتقال انرژی، تابشی است. لایه میان سطحی بین منطقه تابشی و منطقه همرفتی واقع است. میدان مغناطیسی در این لایه تولید می‌شود و تغییرات سرعت شارش سیال در این لایه می‌تواند خطوط میدان مغناطیسی نیرو را امتداد داده و آن‌ها را قوی‌تر سازد. در این لایه همچنین تغییرات ناگهانی در ترکیب شیمیایی ظاهر می‌شود [۱۸].

۲-۱-۲-۳- منطقه جابه‌جایی

منطقه جابه‌جایی خارجی‌ترین لایه درونی خورشید است و به اندازه‌ای سرد است که یون‌های سنگینی از قبیل کربن، نیتروژن، اکسیژن، کلسیم و آهن را در درون خود نگه دارد و در نتیجه کدرتر بوده و برای عبور انرژی به شکل تابش سخت‌تر است. این مسئله باعث حبس گرما شده و ناپایداری سیال را به همراه داشته و موجب جوشیدن سیال یا همرفت می‌شود. همرفت زمانی رخ می‌دهد که شیب دما (آهنگ کاهش دما با شعاع) بزرگ‌تر از شیب آدیاباتیک (آهنگ کاهش دما بدون افزودن گرما هنگامی که یک حجم ماده به سمت بیرون صعود کند) باشد. این حرکات همرفتی در سطح به صورت دانه‌های ریز یا خیلی ریز مرئی می‌شوند [۱۸].

۲-۱-۲-۴- سطح قابل رؤیت خورشید

این منطقه در بالای لایه جابه‌جایی و محلی که جو پیچیده و وسیع خورشیدی آغاز می‌شود، قرار دارد. این سطح شامل قسمت‌های زیر است:

الف- شید سپهر

پایه جو خورشیدی شید سپهر است (شکل ۱-۲) و شامل یک لایه نازک گاز است که بیشترین عمق قابل مشاهده و تابش قابل رؤیت از آن منتشر می‌شود. لکه‌های خورشیدی بر روی شید سپهر ظاهر می‌شود.

ب- رنگین سپهر

لایه خارجی بعدی رنگین سپهر است؛ رنگین سپهر خورشید تا ۱۰۰۰۰ کیلومتری بالای شید سپهر ادامه داشته و چگالی گاز در آن بسیار کمتر از شید سپهر می‌باشد. از بالای رنگین سپهر زبانه‌های بسیار زیبا و زائده‌های کشیده تیز پدیدار می‌شوند.

پ- تاج

در آن سوی رنگین سپهر، تاج رقیق وسیعی قرار گرفته است که با بادهای خورشیدی جاری به سمت خارج و در محیط بین سیاره‌ای آمیخته می‌شود. در گرفتگی‌های خورشیدی، تاج در اطراف خورشید تا فاصله دوری از لبه خورشید به صورت هاله سفید صدفی امتداد دارد. دماهای بالای تاجی منجر به وزیدن و دور نمودن تاج از خورشید می‌شود. جاذبه گرانشی خورشید روی این گاز برای نگهداری آن کفایت نمی‌کند و بنابراین یک جریان پیوسته‌ای از باد خورشیدی سطح خورشید را ترک می‌کند. این جریان گاز به طور تقریبی از تعداد مساوی الکترون و پروتون تشکیل یافته که پلاسما نامیده می‌شود. هدایت گرمایی پلاسما بسیار بالا بوده لذا چنین دماهای بالایی تا فواصل زیادی از خورشید ادامه می‌یابد.

ت- شراره

فعالیت خورشیدی به‌ویژه شراره‌ها، ساختار میدان مغناطیسی زمین را گاهی اوقات به طور برجسته‌ای تغییر می‌دهد. شراره‌ها گستره‌ای از امواج الکترومغناطیسی شامل پرتوهای X و گاما تا امواج رادیویی با طول موج‌های

بلند را تابش می‌کنند. به علاوه، آن‌ها ذرات با انرژی بالا را که پرتوهای کیهانی خورشیدی نامیده می‌شوند، گسیل می‌دارند. پرتوهای X و ماوراء بنفش تابش شراره، ارتباطات رادیویی کره زمین را به وسیله ایجاد اغتشاش در یون سپهر زمین مختل می‌کنند. همچنین این شراره‌ها ابرهایی با پروتون‌های پر انرژی را پرتاب می‌کنند که در مدت زمانی بین ۶ تا ۲۴ ساعت از خورشید به زمین رسیده و باعث اغتشاشاتی در مغناطیس کره زمین می‌شوند [۱۸].

ث- لکه‌های خورشیدی

لکه‌های خورشیدی پدیده‌های شید سپهری می‌باشند که تاریک‌تر از اطراف شید سپهر به نظر می‌رسند، زیرا این لکه‌ها سردترند. مهم‌ترین مشخصه یک لکه خورشیدی میدان مغناطیسی آن می‌باشد. این میدان‌ها ممکن است از انتقال انرژی به شید سپهر از طریق جابجایی جلوگیری کند، از این رو لکه خورشیدی سردتر از محیط اطرافش می‌باشد. تعداد لکه‌های خورشیدی با زمان تغییر می‌کند. یک پدیده چرخه‌ای به طور متوسط هر ۱۱ سال یک بار برای بیشینه‌ها یا کمینه‌های متوالی رخ می‌دهد. یک چرخه جدید وقتی که تعداد به کمینه می‌رسد، آغاز می‌گردد. با افزایش تعداد لکه‌های خورشیدی، فعالیت‌های خورشیدی نیز افزایش می‌یابد. هر دسته لکه خورشیدی به ناحیه بزرگ فعالی به طول چندین هزار کیلومتر وابسته است. فعالیت مغناطیسی خورشید در این نواحی متمرکز می‌گردد.

از تمام خورشید فقط جو آن مستقیماً قابل مشاهده است، ناحیه‌ای که از نظر فعالیت بسیار غنی است [۱۸].

۲-۲-۲- مشخصات ماه

ماه تنها قمر سیاره زمین است و در حقیقت نزدیک‌ترین جرم آسمانی به زمین محسوب می‌شود که پوشیده از سنگ بوده و قطر آن یک چهارم قطر زمین می‌باشد. نیم‌کره‌ای از ماه به طور دائمی رو به زمین قرار دارد که سمت نزدیک ماه نامیده می‌شود. نیمه پنهان ماه را سمت دور ماه می‌نامند [۱۹۷]. جدول (۲-۲) مشخصات ماه را نشان می‌دهد.

حرکات ماه خیلی پیچیده است. ماه نسبت به ستارگان، مرکز جرم را در یک ماه نجومی^{۶۱} (۲۷/۳۲۲ روز) دور می‌زند و نسبت به خورشید این مسیر یک ماه هلالی^{۶۲} می‌شود (اهله‌های ماه ۲۹/۵۳۱ روز). نسبت به خط گره‌ای^{۶۳} ماه، دوره تناوب مداری، یک ماه گره‌ای (۲۷/۲۱۲ روز) می‌باشد [۱۸].

جدول ۲-۲- مشخصات ماه [۱۸، ۲۰۱]

جرم	$7/36 \times 10^{22} \text{ Kg}$
شعاع	۱۷۳۸ Km
چگالی متوسط	3340 Kg/m^3
شتاب گرانی سطحی	$1/67 \text{ m/s}^2$
دمای سطحی	۱۰۵ تا ۱۵۵- درجه سانتیگراد
مدت حرکت وضعی	۲۷/۳۲ روز زمینی
مدت حرکت انتقالی	۲۷/۳۲ روز زمینی
سرعت مداری	$1/02 \text{ Km/s}$
فاصله متوسط زمین- ماه	$3/80 \times 10^5 \text{ Km}$

نیروی گرانشی جزئی خورشید روی سیستم زمین- ماه سه اثر مهم ایجاد می‌کند: ۱- مدار ماه را در تربیع^{۶۴} کشیده می‌سازد، ۲- باعث می‌شود که حضیض^{۶۵} مدار ماه به سمت شرق (مستقیم) با دوره تناوب ۸/۸۵ سال حرکت تقدیمی انجام دهد و ۳- گشتاوری را روی مدار متمایل شده تولید می‌کند که باعث می‌شود خط گره‌ها (تقاطع صفحه مدار ماه و صفحه دایره‌البروج) دائماً به طرف غرب دایره‌البروج با دوره تناوبی برابر ۱۸/۶ سال

۱- Sidereal month: بازه زمانی است که ماه در آن از دید زمین دور کاملی را نسبت به ستاره‌ها می‌پیماید.

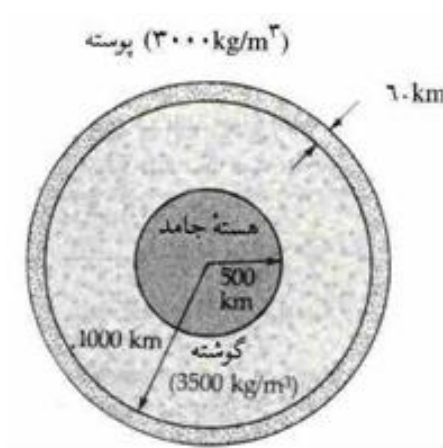
۲- Synodic month: بازه زمانی بین دو ماه نو پی در پی.

3- Line of nodes

۶۴- Quadrature

۶۵- Perigee

برگردد. به دلیل خروج از مرکز آن ($e = 0.055$) فاصله مداری ماه از 363263 Km در حضیض به 405547 Km در اوج تغییر می‌یابد. قطر زاویه‌ای ماه از $32/9$ تا $29/5$ متغیر است [۱۸].

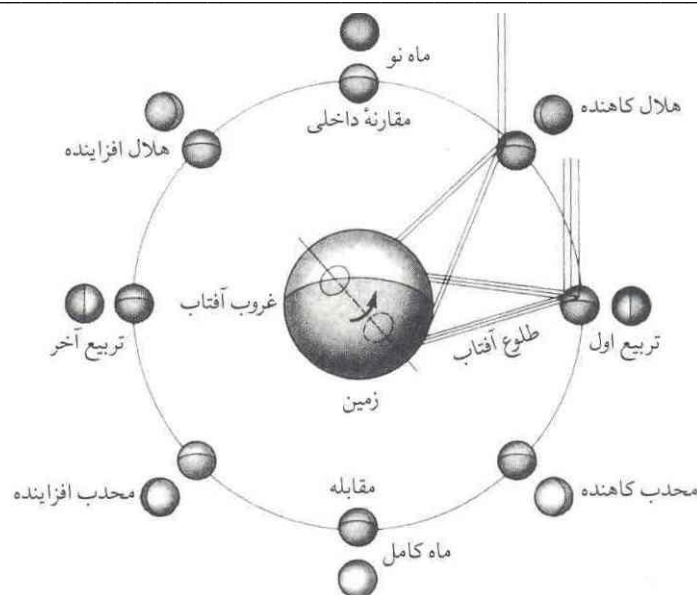


شکل ۲-۲- مشخصات درون ماه. این الگو بر مبنای یافته‌های آپولو به دست آمده است و مقادیر نمونه‌ای را برای اندازه‌ها و چگالی‌ها نشان می‌دهد [۱۸].

۲-۲-۱- اهل‌ه‌ها (هلال‌ها)

خورشید همیشه یک نیم‌کره ماه را روشن می‌کند، اما از زمین کسره‌های مختلفی از نیم‌کره روشن قابل مشاهده است که به زاویه کشیدگی^{۶۶} ماه بستگی دارد. چرخه اهل‌ه‌های زمین مرکزی ماه، یک ماه هلالی طول می‌کشد (شکل ۲-۳). این اهل‌ه‌ها به ترتیب زیر اتفاق می‌افتند:

ماه نو (مقارنه داخلی)، هلال افزاینده، ربع اول (تربیع)، محدب افزاینده، ماه کامل (مقابله)، محدب کاهنده، ربع سوم (تربیع)، هلال کاهنده و برگشت به ماه نو. موقعیت ماه در آسمان با اهل‌ه‌اش مشخص می‌گردد. تربیع اول ماه در شرق و در ظهر نمودار می‌شود، در غروب آفتاب از مدار نصف‌النهار محل عبور کرده و در نیمه شب در غرب غروب می‌کند [۱۸].



شکل ۲-۳- اهله‌های قمری. ماه در این جا در هشت موضع برای چرخه اهله هلالی همان طور که زمین را دور می‌زند، نشان داده شده است. قسمت سایه دار، نیمه تاریک غیر تابان ماه است [۱۸].

۲-۳- اثر جاذبه ماه و خورشید روی کره زمین

مهم‌ترین اثر مشهود جاذبه ماه و خورشید روی سطح زمین، پدیده جزر و مد است. ابتدا جزر و مدها را به چرخه تنفسی یک نهنگ بسیار بزرگ نسبت می‌دادند. ۱۰ قرن بعد، عرب‌ها به برقرار کردن ارتباط بین زمان جزر و مدها با چرخه‌های ماه پرداختند.

اسحاق نیوتن در سال ۱۶۸۷ تئوری جهانی جاذبه را منتشر کرد. وی در کتاب خود به نام «Principia

mathematica» چگونگی ایجاد جزر و مد ناشی از جاذبه ماه و خورشید را روی زمین توضیح داد. او همچنین نشان داد که چرا دو جزر و مد برای هر عبور ماه وجود دارد، چرا جزر و مدهای روزانه وقتی ماه دورترین فاصله از استوا را دارد، بزرگ‌ترین هستند و چرا جزر و مدهای اعتدالین نسبت به جزر و مدهای انقلابین بزرگ‌ترند [173].

بر روی زمین همواره دو منطقه وجود دارد که در این مناطق آب اقیانوس‌ها به طور چشم‌گیری بالا می‌آید که به آن‌ها «کوه‌های دوگانه مد» می‌گویند. یکی از آن‌ها در امتداد خط واصل مرکز ماه و مرکز گرانش در قسمت رو به ماه و دیگری در همان امتداد و در قسمت پشت به ماه زمین قرار دارد. نیروی گرانشی با افزایش فاصله

کاهش می‌یابد. در هر نقطه‌ای که ماه در سمت‌الرأس باشد یک واحد آب به اندازه $(\frac{2KM_r}{D^3})$ بار قوی‌تر از یک واحد آب در مرکز زمین جذب می‌گردد. که در این رابطه r شعاع زمین، M جرم ماه، D فاصله مرکز ماه از مرکز زمین و $K=1/15000000$ می‌باشد. حال آن که هر واحد آب در نقطه متناظر آن (یعنی جایی که ماه در سمت‌النظیر آن باشد) به همین نسبت کم‌تر جذب می‌شود. همین تفاوت سبب می‌شود که آب در هر دو مورد از سطح زمین بالاتر رود. در مورد اول علت این است که آب بیش‌تر از قسمت جامد زمین به طرف ماه حرکت می‌کند. در مورد دوم قسمت جامد زمین بیش از آب، به طرف ماه حرکت می‌نماید. زمین به دور محور خود در حال دوران است و به خاطر این دوران نیروی گریز از مرکزی بر اجسام روی زمین وارد می‌شود. از تلفیق برداری نیروی گریز از مرکز و نیروی گرانش ماه بر روی زمین، شکل کنونی جزر و مد به وجود می‌آید (شکل ۲-۴).

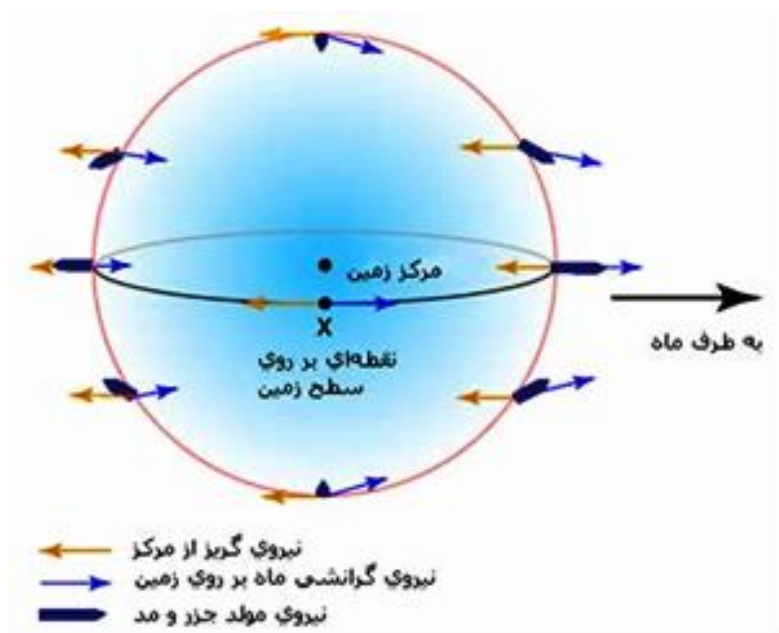
جاذبه خورشید نیز بر روی آب اقیانوس اثر مشابهی دارد، اگر جاذبه مستقیم ماه و خورشید با هم مقایسه شود، ملاحظه می‌گردد که جاذبه خورشید نیرومندتر است. جرم خورشید 330000 برابر جرم زمین است، در حالی که جرم ماه 81 بار کم‌تر از جرم زمین می‌باشد و یا به عبارتی جرم ماه 81×330000 بار کم‌تر از جرم خورشید است. فاصله بین خورشید و زمین 23400 برابر شعاع زمین است، در حالی که فاصله بین ماه و زمین فقط 60 برابر شعاع زمین است. در نتیجه با محاسبه معلوم می‌شود که خورشید هر شیء زمینی را با نیرویی حدود 170 بار بیش‌تر از ماه به سوی خود می‌کشد. از این رو ممکن است تصور شود که مدهای خورشیدی بلندتر از مدهای قمری هستند. اما در عمل عکس آن مشاهده می‌گردد. مدهای ماه بلندترند، و این موضوع به فاصله کمتر ماه و زمین برمی‌گردد. اگر جرم خورشید، M_s ، جرم ماه M_m ، فاصله خورشید و ماه از زمین به ترتیب D_s و D_m در نظر گرفته شود، نسبت بین نیروهای برانگیزنده مد خورشید و ماه عبارت خواهد بود از:

$$(1-2) \quad \frac{2KM_s r}{D_s^3} \bigg/ \frac{2KM_m r}{D_m^3} = M_s \times D_m^3 / M_m \times D_s^3$$

با توجه به این که جرم ماه 81 بار کمتر از جرم زمین است و خورشید 400 بار دورتر از ماه به زمین می‌باشد، در نتیجه:

$$\frac{M_s \times D_m^3}{M_m \times D_s^3} = 330000 \times 81 \times \frac{1}{400^3} = 0.42 \quad (2-2)$$

یعنی بلندی مدهای خورشیدی باید حدود ۲/۵ بار کمتر از مدهای ماه باشد [201].



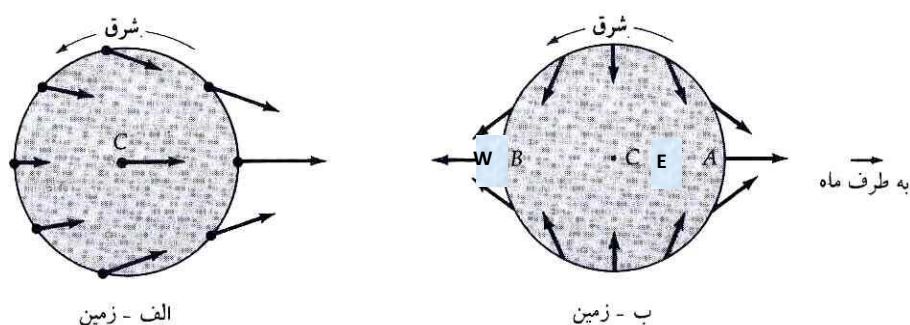
شکل ۲-۴- اثر چرخش وضعی زمین بر ایجاد جزر و مد [199]

۲-۳-۱- مکانیزم ایجاد جزر و مد

سطح آب روزانه دوبار در جزر و مد پایین و بالا می‌رود و نیز یک جزر یا یک مد مشخص، هر روز یک ساعت دیرتر اتفاق می‌افتد. دلیل اصلی آن این است که ماه هر روز به اندازه ۵۳ دقیقه دیرتر از روز پیش به نقطه عبور بالایی باز می‌گردد. تقریباً همزمان با مد قسمت جامد زمین که چسبندگی آن خیلی بیشتر از آب است نیز سریعاً به نیروهای جزر و مدی ماه پاسخ می‌دهد.

با استفاده از قوانین نیوتون پدیده جزر و مد چنین توضیح داده می‌شود. چنانچه زمین شکل حالت تعادل چرخشی خود (یک شبه کره پخ) را که اساساً کروی است دارا بوده و با عمق یکنواختی از آب پوشیده شده باشد، نیروی گرانش ماه بر آب روی کره زمین به صورت شکل (۲-۵ الف) اعمال می‌شود. با تفريق شتاب

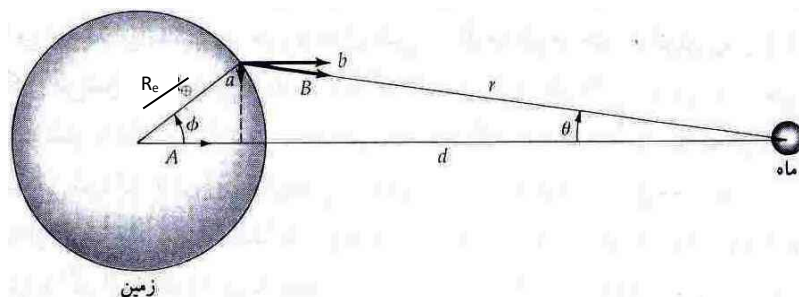
برداری در مرکز زمین (C) از هر کدام از شتاب‌های برداری سطحی، شتاب‌های جزر و مدی جزئی (شکل ۲-۵ ب) به دست می‌آید. این نیروهای جزر و مدی، برای آب مدهایی حدود یک متر ارتفاع در نقاط E و W و در امتداد خط‌المركزین ایجاد می‌کنند، در حالی که زمین با همین شکل هر روز یک دور به دور خود می‌چرخد.



شکل ۲-۵. نیروهای جزر و مدی وارد بر زمین با فرض کروی بودن زمین (الف) جاذبه گرانشی ماه بر روی زمین توسط چند بردار نیرو نشان داده شده است. (ب) شتاب برداری مرکز زمین (C) از شتاب‌های سطحی کسر می‌گردد. بردارهای باقیمانده نیروهای جزر و مدی را نشان می‌دهند [۱۸].

جزر و مدهای واقعی از نوسانات واداشته در اقیانوس‌های زمین ناشی می‌شوند، به طوری که ارتفاع جزر و مد، ممکن است به مقدار قابل توجهی با آنچه که به صورت تئوری برآورد می‌شود، متفاوت باشند. در بعضی از خلیج‌ها و دهانه رودخانه‌ها، آب‌های جزر و مدی ممکن است تا ارتفاع بیش از ۱۰ متر جمع شوند.

برای به دست آوردن شتاب‌های جزر و مدی و بررسی جنبه‌های کمی مسأله به عنوان اولین تقریب، بایستی از شتاب جانب مرکز کوچکی که در اثر حرکت مداری زمین و ماه به دور مرکز جرم آن‌ها در هر ماه نجومی (۲۷/۳۲ روز) ایجاد می‌شود، صرف نظر شود. مراکز زمین و ماه طبق شکل (۲-۶) به اندازه d از هم فاصله دارند و یک ذره کوچک در سطح زمین، تحت زاویه ϕ نسبت به خط‌المركزین قرار دارد. بزرگی شتاب گرانشی مرکز زمین $A = \frac{GM_m}{d^2}$ و شتاب یک ذره $B = \frac{GM_m}{r^2}$ هر دو در اثر گرانش ماه است. اگر $\vec{A}$ از $\vec{B}$ کسر شود این تفریق بر مؤلفه‌ای از $\vec{B}$ که بر خط‌المركزین عمود است تأثیری نمی‌گذارد و بزرگی آن عبارت است از:



شکل ۲-۶- هندسه نیروهای جزر و مدی وارده از طرف ماه بر زمین [۱۸].

$$(۳-۲) a = B \sin \theta = GM_m R_e \sin \phi / r^3$$

مؤلفه $\vec{B}$ موازی با خط المکزین به این صورت است:

$$(۴-۲) b = B \cos \theta = GM_m (d - R_e \cos \phi) / r^3$$

پس از تفریق A از معادله (۴-۲) نتیجه عبارت است از شتاب جزئی b'

$$(۵-۲) b' = \left(\frac{GM_m}{r^3} \right) \left[d - R_e \cos \phi - \left(\frac{r^3}{d^2} \right) \right]$$

بنابراین، معادله (۳-۲) نهایتاً (تا پایین‌ترین رتبه) به صورت زیر در می‌آید:

$$a \approx GM_m R_e \sin \phi / d^3 \quad (۶-۲)$$

معادله (۵-۲) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$(۷-۲) \quad b' \approx (GM_m / d^2) \left[1 - (R_e / d) \cos \phi - \left(\frac{r}{d} \right)^3 \right]$$

و با بسط دادن نتیجه نسبت به r^3 به کمک قضیه دو جمله‌ای، می‌توان به رابطه زیر رسید

$$(۸-۲) \quad b' \approx 2GM_m R_e \cos \phi / d^3$$

دو معادله (۶-۲) و (۸-۲) تصویر کیفی ما را از مسئله تأیید می‌کنند. شکل (۶-۲) نشان می‌دهد که نیروهای گرانشی جزر و مدی به صورت MR/d^3 تغییر می‌کنند که در آن M جرم منبع نیروی جزر و مدی، R بعد جسمی که تحت تأثیر نیروهای جزر و مدی قرار می‌گیرد و d فاصله بین دو جسم است.

خورشید نیز بر روی زمین اثرات جزر و مدی ایجاد می‌کند. از آنجا که شتاب‌های جزئی به صورت MR/d^3 تغییر می‌کند و نیز برای هر دو مورد $R = R_e$ ، نیروی بالا برنده جزر و مدی خورشید، نسبت

به ماه عبارت است از:

$$(M_s / M_m)(r_m / r_s)^3 = (1.99 \times 10^{30} \text{ kg}) / (7.36 \times 10^{22} \text{ kg}) \times (3.84 \times 10^5 \text{ km})^3 / (1.50 \times 10^8 \text{ km})^3 \approx 5.11$$

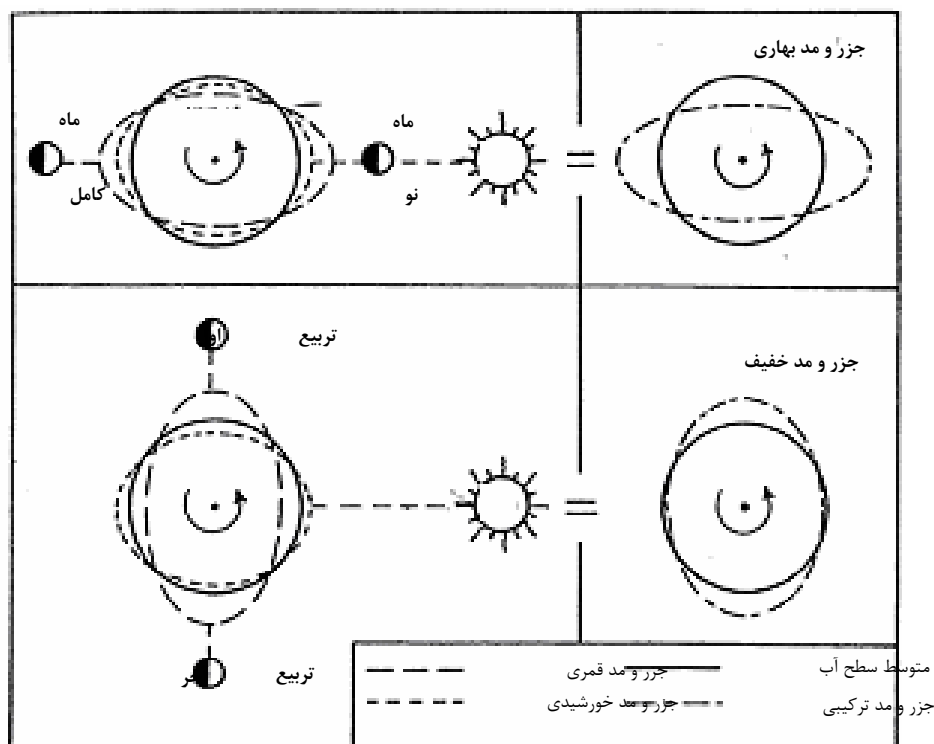
اثرات جزر و مدی خورشید و ماه به صورت برداری با هم جمع می‌شوند، به طوری که جزر و مد حاصل شده به کشیدگی ماه بستگی دارد [۱۸]. زمانی که ماه در حالت مقارنه^{۶۷} یا مقابله^{۶۸} قرار می‌گیرد، این دو نیرو با هم جمع می‌شوند تا جزر و مدهای بهاری^{۶۹} خیلی بلند را ایجاد کنند؛ وقتی ماه در حالت تربیع‌ها قرار می‌گیرد، دو نیروی جزر و مدی قسمتی از یکدیگر را حذف می‌کنند و نتیجه، جزر و مد خفیف^{۷۰} و کم است (شکل ۲-۷) [171, 115].

⁶⁷- Conjunction

⁶⁸- Opposition

⁶⁹- Spring tides

⁷⁰- Neap tides



شکل ۲-۷- تصویری شماتیک از نحوه ایجاد جزر و مدهای بزرگ و خفیف توسط ماه و خورشید [171].

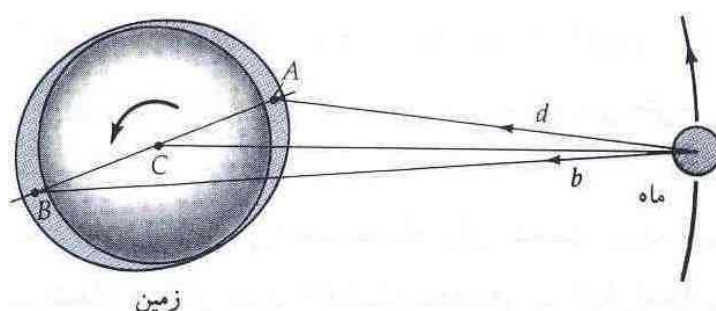
۲-۳-۲- نتایج اصطکاک جزر و مدی

وقتی که زمین و اقیانوس‌ها تحت تأثیر نیروهای بالا برنده جزر و مد قرار می‌گیرند، در اثر اصطکاک، انرژی (به صورت گرما) تلف می‌شود. قسمت اعظم این انرژی در دریا‌های کم عمق و خطوط ساحلی که در آنجا در اثر جزر و مد اقیانوس‌ها آب با قاره‌ها تماس می‌گیرد، از دست می‌رود. این اصطکاک جزر و مدی از انرژی چرخشی زمین می‌کاهد به طوری که طول روز با آهنگ قابل اندازه‌گیری $0.002s$ در هر قرن افزایش می‌یابد. اصطکاک جزر و مدی دو پدیده جالب چرخش همزمان ماه و تحول جزر و مدی در سیستم زمین- ماه را سبب می‌شود.

زمین نیز بر ماه نیروهای جزر و مدی که حدود $20 \approx \frac{M_e R_m}{M_m R_e}$ برابر بیش از نیروهای جزر و مدی ماه بر زمین

است، وارد می‌کند. اتلاف انرژی زیادی که به این ترتیب حاصل می‌شود، باعث کاهش چرخش ماه می‌گردد تا زمانی که ماه مجبور شود چرخش همزمان انجام دهد، به طوری که دوره تناوب چرخش نجومی آن با دوره تناوب نجومی گردش آن حول زمین دقیقاً برابر گردد.

متوسط گشتاورهای خارجی وارد بر سیستم زمین- ماه قابل نظر کردن است، به طوری که اندازه حرکت زاویه‌ای کل سیستم باید ثابت بماند. اندازه حرکت زاویه‌ای زمین رو به کاهش است، زیرا اصطکاک جزر و مدی چرخش آن را کند می‌کند، از این رو، ماه می‌بایست با دور شدن خود از زمین، اندازه حرکت زاویه‌ای خود را افزایش دهد. در این صورت قانون سوم کپلر ایجاد می‌کند که طول هر ماه بیشتر گردد. در آینده دور «روز» و «ماه» یکی خواهند شد و هر دو تقریباً ۵۰ برابر روز فعلی می‌شوند. نیروهای جزر و مدی به آب‌ها شتاب می‌دهند، اما اقیانوس به طور آنی به نیروهای جزر و مدی پاسخ نمی‌دهند (شکل ۲-۸). هم‌چنان که ماه به دور زمین می‌چرخد برآمدگی‌های جزر و مدی کمی در طرف شرق خط المکزین زمین و ماه تشکیل می‌شوند. برآمدگی A به ماه نزدیک‌تر است تا برآمدگی B و بنابراین، برآمدگی A کمی بیشتر به ماه نیرو وارد می‌سازد. نیروی غیر مرکزی حاصل، ماه را شتاب می‌دهد و باعث می‌شود که به صورت مارپیچی از زمین دور شود. هم‌زمان با این عمل نیروی وارد شده از طرف ماه بر برآمدگی‌ها، به چرخش زمین شتاب منفی می‌دهد (قانون سوم نیوتن). در گذشته زمین می‌بایستی سریع‌تر از امروز می‌چرخید و طول ماه می‌بایست کوتاه‌تر می‌بود. در واقع، مطالعات دیرین شناسی بر روی مرجان‌های فسیل شده‌ای که حدود 10^8 سال پیش از این زندگی می‌کرده‌اند، نشان می‌دهد که در آن زمان هر سال شامل ۴۰۰ «روز» بوده است و جزر و مدهای اقیانوسی قوی‌تر از امروز بوده‌اند. بنابراین زمین در گذشته سریع می‌چرخیده و ماه نزدیک‌تر بوده است [۱۸].

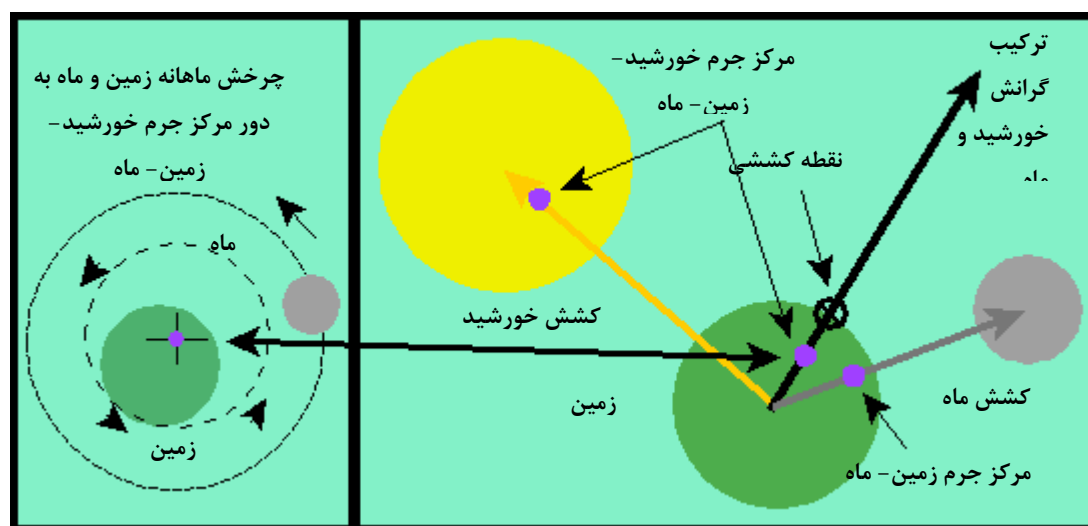


شکل ۲-۸- تحول جزر و مدی. برآمدگی‌های جزر و مدی زمین (A, B) توسط اصطکاک به سمتی رانده می‌شوند که جلوتر از موقعیت مداری ماه باشند. اصطکاک از چرخش زمین می‌کاهد و برآمدگی‌ها، ماه را در مدار خود شتاب می‌دهند [۱۸].

۲-۴- اثر خورشید و ماه بر وقوع زمین‌لرزه‌ها

حرکت و تغییرپذیری زمین به طور نزدیکی با اجرام سماوی واقع در منظومه شمسی مرتبط است [188]. جزر و مد، حرکت آب‌های ساحلی، پوسته جامد زمین و اتمسفر توسط نیروی جاذبه خورشید و ماه است که باعث بالا و پایین رفتن متناوب در نواحی مختلف زمین شده و به این طریق سبب توزیع مجدد ماده و تغییر در میدان اصلی جاذبه زمین می‌شود [117, 64].

در حالی که زمین هر روز حول محور قطبی شمال و جنوبی خود می‌چرخد، پوسته آن به سمتی که در جهت نقطه گرانشی در چرخش است، توسط گرانش ماه و خورشید شتاب گرفته، در صورتی که قسمتی که در حال دور شدن از نقطه گرانشی است از سرعتش کاسته یا کند می‌شود. این عمل باعث ایجاد استرس در پوسته شده و زلزله‌ها را در موقعیت‌هایی که تنش موجب خمیدگی، کشش یا فشردگی پوسته شده، ایجاد می‌کند. همان گونه که شکل (۲-۹) نشان می‌دهد، نقطه گرانشی واقع بر روی سطح زمین جایی که جاذبه گرانش ماه و خورشید در ترکیب با هم قوی‌تر می‌شوند، است. کشش ماه منجر به بالا آمدگی حداکثر چند متری آب در اقیانوس‌ها و ۱۰-۱۵ سانتیمتری در خشکی‌ها می‌گردد [59].



شکل ۲-۹- تصویری شماتیک از نیروهای خارجی وارد بر زمین [59]

افراد و گروه‌های متعددی اثر استرس ناشی از جزر و مد بر وقوع زلزله را بررسی کردند [182, 67, 129, 175, 185, 169, 118, 40, 89, 105].

مایرون ال فولر^{۷۱} (۱۹۱۲) متوجه یک طرح تکراری لرزه‌ای ماهانه برای زلزله‌های ۱۸۱۱-۱۸۱۲ نیومادرید شد که در کتابش با عنوان The New Madrid earthquake به آن پرداخته است. او دریافت که یک گروه مشخص از وقایع لرزه‌ای نیومادرید تقریباً در زمان ماه نو یا کامل رخ داده است [140].

مطالعات مختلف نشان داده است که در زمان جزر و مد و نیز در غروب و طلوع خورشید فراوانی وقوع زمین‌لرزه‌ها بیشتر می‌باشد [144, 45]. همچنین زلزله‌های شدید عمدتاً در اوایل و اواخر ماه قمری (بدر و محاق)، بهار و پاییز (اعتدالین) رخ داده است. پیشینیان به تأثیرات حالات بدر و محاق بر روی زمین پی برده بودند و اعتقاداتی در این زمینه داشتند تا جایی که بعضی از اقوام باستانی پانزدهم هر ماه را تعطیل می‌کردند [۶].

تامرازیان^{۷۲} نشان داد که زلزله‌ها در زمان حسیض یعنی ماه کامل و ماه نو رخ می‌دهند. به عبارت دیگر احتمال وقوع زلزله‌ها در هنگامی که نیروهای جزر و مدی در حالت ماکزیمم هستند، بیشتر است [165-169].

در ماه نو، هنگامی که خورشید و ماه در یک راستا با زمین قرار دارند، به دلیل ترکیب شدن میدان گرانشی آن‌ها بیشترین ممان نیرو روی صفحات تکتونیکی وارد می‌شود. در ماه کامل، خورشید و ماه در طرفین زمین قرار داشته و مجدداً بیشترین ممان نیرو را بر صفحات تکتونیکی وارد می‌کنند. دینگ^{۷۳} و همکاران (۱۹۸۳) بیان داشتند که جذر و مد در حالتی که سیستم لرزه‌ای به حالت ناپایدار رسیده و یا در آستانه وقوع زلزله باشد می‌تواند به عنوان محرک زمین‌لرزه عمل نماید [55]. وو^{۷۴} و همکاران (۱۹۹۹) خاطر نشان کردند که اثر جاذبه ماه و خورشید در وقوع زلزله وابسته به امتداد گسل می‌باشد [185]. یک زون گسلی با جهت شرقی-غربی، هنگامی که جاذبه ماه و خورشید آن را به سمت شمال و جنوب می‌کشد، می‌شکند در حالی که در زون گسلی شمالی-جنوبی، نیروی جاذبه شرقی-غربی ماه و خورشید مؤثر است (شکل ۲-۱۰). به عنوان مثال در زمین‌لرزه ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ کوبه^{۷۵} ژاپن، ماه و خورشید در طرفین زون گسلی مسبب زمین‌لرزه قرار داشته‌اند (ماه در زاویه حدود ۹۰ درجه‌ای از غرب زون گسلی و خورشید در زاویه ۹۰ درجه از شرق زون گسلی واقع بوده است) [59].

⁷¹- Myron L. Fuller

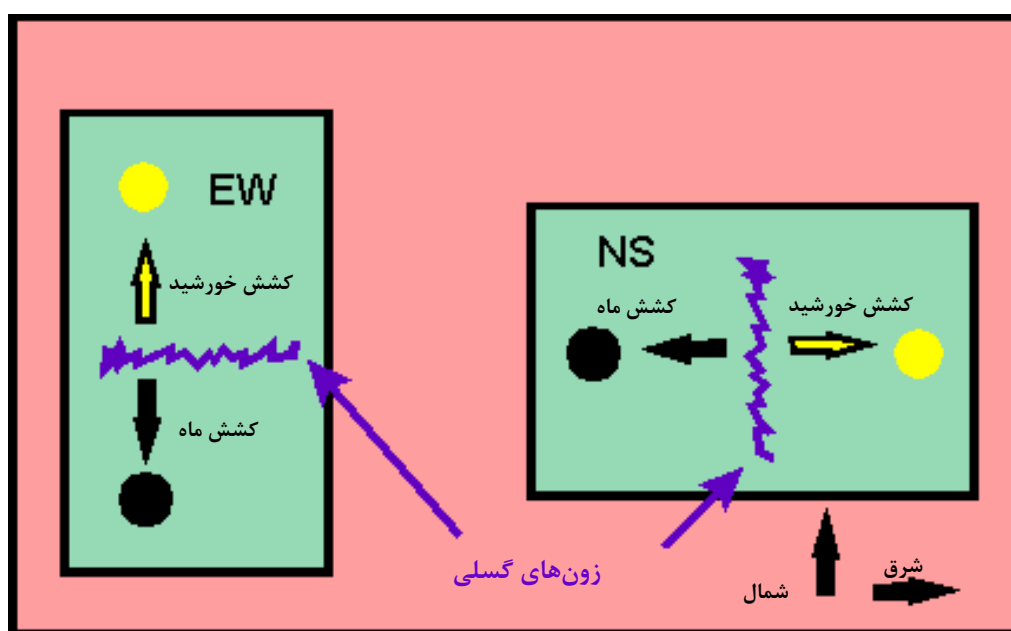
⁷²- Tamrazyan

⁷³- Ding

⁷⁴- Wu

⁷⁵- Kobe

به حالاتی که زمین، خورشید و ماه یا هر تعداد جرم سماوی با هم در یک راستا قرار می‌گیرند، اصطلاحاً syzygy^{۷۶} گفته می‌شود [182]. نظریه syzygy برای اولین بار توسط جیمز برکلند^{۷۷} ارائه شد [201]. Syzygy به ماه نو و کامل بر می‌گردد که در درجه اول به زاویه خورشید- زمین- ماه بستگی دارد. فرضیه syzygy با بررسی بیش از ۲۰۰۰ زلزله در خلیج سانفرانسیسکو امتحان شد و مشخص گردید که پیشگویی بر اساس زاویه خورشید- زمین- ماه برای پیش‌بینی ریسک زمین‌لرزه برای ناحیه خلیج به اندازه کافی قوی نیست [114].



شکل ۲-۱۰- چگونگی رها شدن زلزله در ارتباط با نیروهای جاذبه‌ای ماه و خورشید روی پوسته زمین [59].

به عقیده برخی از نویسندگان پیدا کردن هر گونه ارتباط مشخص بین نیروهای جزر و مدی و زلزله‌های بزرگ در مقیاس جهانی [82, 159, 132] یا بین زلزله‌های کوچک‌تر در بیشتر از یک منطقه دشوار است [103, 182]. این بی‌ثباتی و تناقض ممکن است مربوط به محاسبات نادرست و یا محدود بودن کاتالوگ‌های زمین‌لرزه در چند دهه گذشته باشد [109]. برای مثال برخی مطالعات قبلاً نشان داده‌اند که ممکن است ارتباط بین نیروهای جزر و مدی و مجموعه زلزله‌ها به دلیل طبیعت پیچیده محاسبه نیروی جزر و مدی و فقدان شیوه‌های

۴- Syzygy از کلمه لاتین syzygia به معنی مقارنه مشتق شده است.

77- James Berkland

صحیح، نادرست باشد [55, 54, 163]. به عبارت دیگر، محاسبه فازهای جزر و مدی ممکن است به طور معنا داری با واقعیت اختلاف داشته باشد [163].

برخی کاتالوگ‌های محلی و منطقه‌ای در نقاط مختلف نشان می‌دهد که نیروهای جزر و مدی می‌توانند محرکی برای رها سازی میکرو زلزله‌ها در زون‌های ولکانیکی [149]، گروه‌های لرزه‌ای [102, 151] و توالی‌های پس‌لرزه‌ای [163] باشند.

باجبی^{۷۸} (۱۹۷۳) نیز ارتباط فازهای قمری با وقوع زلزله‌ها و جزر و مد را مورد بحث قرار داد. همچنین وی ارتباط بین فوران‌های آتشفشانی و فازهای جزر و مدی را پیشنهاد کرد. نامبرده بیان داشت که نرخ رها شدن انرژی زلزله ارتباط قابل توجهی با نرخ حرکت و موقعیت حوض ماه دارد. نزدیک به زمانی که حوض ماه به موازات خط کانونی زمین- خورشید قرار دارد، انرژی زلزله رها شده بیشترین است [31].

از بررسی فعالیت‌های لرزه‌ای که در چین رخ دادند، دانشمندان متوجه شدند که زلزله‌ها از حرکت ماه با دوره ۱۸/۶ ساله متأثر می‌شوند [87].

کیلستون^{۷۹} و همکاران نشان دادند که زلزله‌های بزرگ در جنوب کالیفرنیا آمریکا ارتباط مهمی با زمان و جهت فشار جزر و مدی روزانه/ نیم روزی دارد، در صورتی که در دوره‌های دو هفتگی با جزر و مد اقیانوسی در طول ساحل جنوبی کالیفرنیا همراه است [101].

مطالعه ارتباط بین جزر و مدهای زمینی دراز مدت و وقوع زمین‌لرزه‌ها در منطقه ورنسیای^{۸۰} یونان نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌ها به طور مشخص بین قسمت صعودی هر نوسان سینوسی رخ می‌دهد. این خصوصیت به طور برجسته‌ای برای جزر و مدهای دو هفتگی و ۱۸/۶ ساله دیده می‌شود [162]. نتایج آماری متقاعد کننده‌ای از ارتباط جزر و مدهای دوره‌ای و زلزله‌های بزرگ در چین به دست آمده است [58]. مطالعات و آنالیزهای انجام شده در جزیره تایوان نشان داد که نیروی جزر و مدی وابسته به ماه- خورشید می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر وقوع زلزله باشد [188].

⁷⁸- Bagby

⁷⁹- Kilston

⁸⁰- Vrancea

در تایوان زلزله‌های رخ داده در خلال سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۷۳ به صورت زلزله‌های کوچک ($M_l < 5$)، زلزله‌های بزرگ، ($M_l > 5$) و میکروزلزله‌ها ($M_l < 2/5$) دسته بندی شد و مشخص گردید زلزله‌های کوچک ارتباط آشکاری بین موقعیت و وضعیت قمری و نیروهای جزر و مدی ناشی از فازهای قمری دارد. از طرف دیگر ارتباط واضحی بین زلزله‌های بزرگ و فازهای قمری دیده نشد که نشان دهنده غلبه نیروهای تکتونیکی بر نیروهای جزر و مدی بود. میکرو لرزه‌ها نشان دادند که علاوه بر نیروهای تکتونیکی و فازهای جزر و مدی، فاکتورهای دیگری از قبیل فشار اتمسفری، بارش و جریان سیال منفذی در زون گسلی نیز بر وقوع آن‌ها مؤثر است [109].

با فرستادن ماهواره آپولو به کره ماه یک شبکه لرزه‌نگاری متشکل از چهار لرزه‌نگار در سطح ماه مستقر شدند. داده‌های ثبت شده از ۱۹۷۷-۱۹۶۹ به طور پیوسته به زمین مخابره شد. اولین نتیجه مهمی که به دست آمد مشاهده ماه لرزه‌های عمیق بود که به طور دوره‌ای تقریباً هر ۲۷ روز رخ دادند که با دوره جزر و مدی شناخته شده بر روی زمین مطابقت دارد [145].

اثر خورشید بر وقوع زمین‌لرزه‌ها را می‌توان به دو بخش جاذبه خورشید و تغییرات خورشیدی تقسیم نمود [169]. رابطه بین طول چرخه خورشیدی، یک شاخص مناسب از تغییر طولانی دوره در فعالیت خورشیدی و حوادث طبیعی از قبیل خشکسالی، سیل و زمین لرزه‌های قوی در چین می‌باشد. هنگامی که فعالیت خورشیدی قوی می‌شود طول چرخه خورشیدی کوتاه شده و زمین لرزه‌های قوی در فلات تبت رخ می‌دهد و زمانی که فعالیت خورشیدی ضعیف می‌شود زمین لرزه‌های قوی در تایوان به وقوع می‌پیوندد [188].

فعالیت خورشیدی نقش مهمی در حوادث فوق‌العاده اقلیمی و سخت کره زمین بازی می‌کند. مهم‌ترین شاخص فعالیت خورشیدی تعداد لکه‌های خورشیدی می‌باشد. مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که رابطه‌ای بین فعالیت خورشیدی و سرعت گردش زمین وجود دارد و چون چرخش زمین اتصال سببی با زمین‌لرزه‌های منطقه‌ای و جهانی دارد، می‌توان وقوع زمین‌لرزه‌ها را ورای هر شکی به فعالیت خورشید نسبت داد. بنابراین فعالیت خورشیدی در ابتدا بر روی چرخش زمین اثر می‌گذارد سپس زمین لرزه‌های بزرگ را راه اندازی می‌کند. وود^{۸۱} (۱۹۷۲) ارتباطی بین وضعیت نجومی و چرخه لکه خورشیدی^{۸۲} پیشنهاد نمود. وی دریافت که یک تابع تجربی از ارتفاع جزر و مدهای ایجاد شده روی خورشید توسط زهره، زمین و مریخ وجود دارد که

81- Wood

82- Sun spot

دوره آن‌ها تقریباً معادل چرخه یازده ساله لکه خورشیدی است [184]. این دوره با تغییرات آب و هوایی دراز مدت جهانی [69] و زلزله‌های بزرگ [70] مطابقت می‌کند. در چین، هشت واقعه لرزه‌ای بزرگتر از ۸ از سال ۱۸۲۰ در طی سرعت‌گیری چرخش زمین رخ داده است. حدود ۱۰۶ رخداد بزرگتر از ۷ از آغاز قرن ۲۰ رخ داده که ۷۲٪ آن‌ها در طی سرعت گرفتن چرخش زمین بوده و به نظر می‌رسد که بیشتر وقایع در فازهای کند شدن فعالیت‌های خورشیدی بوده است [86].

به طور معمول هنگامی که تغییرات آنومالی در شتاب گراویته $100-30 \mu\text{gal}$ باشد، ممکن است یک زلزله نسبتاً قوی رخ دهد [108].

۳-۱- روش کار

در این فصل اثر جاذبه ماه و خورشید در فراوانی وقوع زمین‌لرزه‌های ایران در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا بررسی آماری بر روی ۷۷۸۹ زمین‌لرزه در محدوده جغرافیایی ۲۴ تا ۴۲ درجه عرض شمالی و ۴۲ تا ۶۴ درجه طول شرقی انجام شده و فراوانی وقوع زمین‌لرزه‌ها در بخش‌های مختلف کشور به دست آمده است. داده‌های دستگاهی مورد استفاده از وبگاه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله دریافت گردید. این داده‌ها شامل تاریخ میلادی وقوع زمین‌لرزه، ساعت وقوع، مختصات محل وقوع زلزله، عمق و بزرگی رخداد زلزله می‌شدند. نمونه‌ای از کاتالوگ زلزله‌ها در شکل (۳-۱) دیده می‌شود.

۳-۲- همگن کردن بزرگی‌ها

از آنجایی که بزرگی‌های موجود در لیست زلزله‌های پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله مختلف و شامل M_L ، M_S و m_b بود، به منظور همگن کردن داده‌ها، تمامی بزرگی‌ها به M_w تبدیل شدند. به این صورت که برای بزرگای کمتر از ۶، M_L و m_b و برای بزرگی بیشتر از ۶، M_S را معادل با M_w قرار داده و به این منظور ابتدا طبق رابطه سدهای بزرگ ایران (رابطه ۳-۱) M_S را بر اساس m_b به دست آورده و سپس برابر با M_w در نظر گرفته می‌شود.

$$m_b = 1.205M_S - 1.23 \quad (3-1)$$

Date(yyyy/mm/dd)	Time(UTC)	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude	Refrence
1902/07/09	03:38:00.0	27	56			BS
1903/01/14	02:46:00.0	24	64		$M_b:5.5$	BS
1903/03/22	14:35:00.0	35	60		$M_b:5.5$	BS
1903/04/28	23:40:00.0	39	43			BS
1903/06/24	16:56:00.0	39	49		$M_b:5.5$	BS
1903/09/25	01:20:00.0	34	58		$M_b:5.5$	BS
1905/01/09	06:17:00.0	38	46		$M_b:5.5$	BS
1907/03/31	14:12:00.0	30	50		$M_b:5.5$	BS
1907/07/04	09:21:00.0	27	55		$M_b:5.5$	BS
1908/09/28	06:28:00.0	38	44		$M_b:6$	KV
1909/01/23	02:48:00.0	33.41	49.13		$M_b:7.4$	AMB
1909/01/26	22:56:00.0	39.10	45.50		$M_b:4.9$	KV
1909/04/11	04:02:00.0	36	45		$M_b:5.5$	BS
1909/11/01	09:16:00.0	36	47		$M_b:5.5$	BS
1910/12/04	14:02:00.0	38.80	48.80		$M_b:5.1$	KV
1911/04/18	18:14:36.0	32	56	50	$M_b:6.7$	GR
1912/02/24	14:36:00.0	37	59.50		$M_b:5$	SSK
1913/01/27	19:38:32.0	39.30	43		$M_b:5$	SSK
1913/03/24	10:34:11.0	27.50	53.80		$M_b:6$	BS
1913/04/16	06:00:00.0	38.75	48.50		$M_b:5.2$	KV

شکل ۳-۱- نمونه‌ای از فهرست زلزله‌های دریافت شده از سایت پژوهشگاه زلزله [191]

۳-۳- حذف داده‌های نامعتبر

به علت عدم دقت کافی دستگاه‌های لرزه‌نگار تا سال ۱۹۸۰ میلادی، آن دسته از داده‌هایی که تا این تاریخ بزرگای کمتر از ۳ داشتند، حذف گردید.

۳-۴- تبدیل تاریخ میلادی به تقویم قمری

با توجه به این که تاریخ قمری اطلاعات موثق و دقیق‌تری از اثر ماه و خورشید و نیروهای جزر و مدی بر وقوع زلزله می‌دهد، تمامی داده‌ها که به صورت تاریخ میلادی بودند، به تقویم قمری تبدیل شدند. برای تبدیل تاریخ میلادی به قمری با فرض تبدیل روز a از ماه b سال A از تقویم میلادی به روز a' از ماه b' از سال A' از تقویم قمری، بدین نحو عمل می‌شود:

- ۱- کاستن یک واحد از A ، زیرا که سال مورد بحث به پایان نرسیده است؛
- ۲- ردیف روز a از ماه b را با استفاده از جدول (۳-۱) به دست آورده، r نامیده می‌شود؛
- ۳- اعداد مربوط به هزارگان، صدگان، دهگان و یکان A را از تقویم جدول (۳-۲) به دست آورده، با هم جمع کرده و r به آن افزوده شده و حاصل s نامیده می‌شود. s ردیف روز مورد نظر در تاریخ مربوط است؛
- ۴- عدد ثابت زیر جدول با s جمع جبری شده و حاصل s' نامیده شود. s' ردیف روز مورد نظر در تاریخ جدید است؛

۵- از s' عدد هزاره تاریخ جدید را کاسته و تفاضل d نامیده شده و بدین ترتیب عدد هزارگان تاریخ

جدید مشخص می‌شود؛

۶- از d نزدیک‌ترین عدد ستون «صد» را که از d کوچک‌تر است کم کرده و تفاضل d_1 گفته می‌شود. عدد اول سطر عددی که کم شده رقم صدگان تاریخ جدید است؛

۷- از d_1 نزدیک‌ترین ستون «ده» را که از آن کوچک‌تر است کم کرده و تفاضل d_2 نامیده شود. عدد اول سطر عددی که کاسته شد رقم دهگان تاریخ جدید است؛

۸- از d_2 نزدیک‌ترین عدد ستون «یک» را که از آن کوچک‌تر است کاسته و تفاضل d_3 نامیده می‌شود. عدد اول سطر عددی که کم شده است رقم یکان تاریخ جدید است، که بعداً باید به آن ۱ اضافه شود؛

۹- d_3 ردیف روز تاریخ جدید است؛ آن تاریخ از جدول (۳-۱) به دست می‌آید [۵].

برای تسهیل در تبدیل کردن تاریخ میلادی به هجری قمری از نرم افزارهای تبدیل تاریخ استفاده گردید [197, 198, 200, 205].

جدول ۳-۱- ردیف روزهای اول ماه‌ها [۵].

ایرانی	میلادی		قمری
	ساده	کبیسه	
فروردین	۱ ژانویه	۱	محرم ۱
اردیبهشت	۳۲ فوریه	۳۲	صفر ۳۱
خرداد	۶۳ مارس	۶۰	ربیع ۱ ۶۰
تیر	۹۴ آوریل	۹۱	ربیع ۲ ۹۰
مرداد	۱۲۵ مه	۱۲۱	جمادی ۱ ۱۱۹
شهریور	۱۵۶ ژوئن	۱۵۲	جمادی ۲ ۱۴۹
مهر	۱۸۷ ژوئیه	۱۸۲	رجب ۱۷۸
آبان	۲۱۷ اوت	۲۱۳	شعبان ۲۰۸
آذر	۲۴۷ سپتامبر	۲۴۴	رمضان ۲۳۷
دی	۲۷۷ اکتبر	۲۷۴	شوال ۲۶۷
بهمن	۳۰۷ نوامبر	۳۰۵	ذیقعه ۲۹۶
اسفند	۳۳۷ دسامبر	۳۳۵	ذیحجه ۳۲۶

جدول ۳-۲- ردیف روز در تاریخ میلادی [۵].

برای ۱۵ اکتبر ۱۵۸۲				برای ۴ اکتبر ۱۵۸۲			
یک	ده	صد	هزار	یک	ده	صد	هزار
۳۶۵	۳۶۵۲	۳۶۵۲۴			۳۶۵۳	۳۶۵۲۵	۱
۷۳۰	۷۳۰۵	۷۳۰۴۸			۷۳۰۵	۷۳۰۵۰	۲
۱۰۹۶	۱۰۹۵۷	۱۰۹۵۷۳	۳۶۵۲۴۲	۳۶۵	۱۰۹۵۸	۱۰۹۵۷۵	۳
۱۴۶۱	۱۴۶۱۰	۱۴۶۰۹۷	۷۳۰۴۸۴		۱۴۶۱۰	۱۴۶۱۰۰	۴
۱۸۲۶	۱۸۲۶۲	۱۸۲۶۲۱			۱۸۲۶۳	۱۸۲۶۲۵	۵

۶		۲۱۹۱۵۰	۲۱۹۱۵			۲۱۹۱۴۵	۲۱۹۱۵	۲۱۹۲
۷		۲۵۵۶۷۵	۲۵۵۶۸			۲۵۵۶۶۹	۲۵۵۶۷	۲۵۵۷
۸		۲۹۲۲۰۰	۲۹۲۲۰			۲۹۲۱۹۴	۲۹۲۱۹	۲۹۲۲
۹		۳۲۸۷۲۵	۳۲۸۷۳			۳۲۸۷۱۸	۳۲۸۷۲	۳۲۸۷

- عدد ثابت برای سال قمری ۲۲۷۰۱۲

- عدد ثابت برای سال شمسی ۲۲۶۸۹۳

۳-۵- بررسی آماری زمان وقوع زمین‌لرزه‌ها

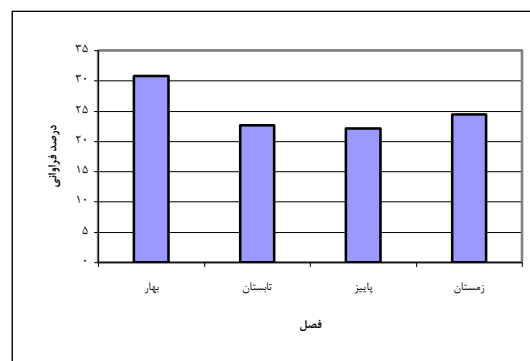
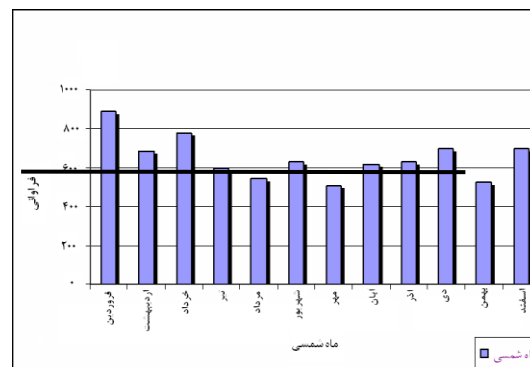
در این بخش فراوانی نرخ وقوع زمین‌لرزه‌ها در طول فصل‌های مختلف، ماه قمری و روز بررسی می‌شود. همچنین توزیع عمق کانونی و بزرگی زمین‌لرزه‌ها نیز ارائه شده است.

۳-۵-۱- فراوانی زمین‌لرزه‌ها در طول فصول

بزرگ‌ترین جزر و مدها در اعتدالین (بهار و پاییز) اتفاق می‌افتند. جزر و مدهای بهاری^{۸۳} به مراتب بزرگ‌تر از سایر جزر و مدها می‌باشند. دلیل بزرگ بودن جزر و مدهای بهاری، نزدیک‌تر بودن خورشید به زمین در این فصل است که اگر ماه نیز در این زمان با خورشید در یک راستا قرار گیرد، منجر به حداکثر نیرو می‌شود [203].

شکل (۳-۲ الف) نشان‌دهنده ماه‌های سال شمسی در مقابل فراوانی زلزله‌های ایران در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی می‌باشد. ملاحظه می‌شود که بیشترین زلزله‌ها همراه با اعتدال بهاری هستند. شکل (۳-۲ ب) نیز درصد فراوانی زلزله‌ها در چهار فصل سال شمسی را نشان می‌دهد. در فصل بهار فراوانی زمین‌لرزه‌ها بیش از میانگین سالیانه می‌باشد. بنابراین فصل پر خطر محسوب می‌شود در حالی که در تابستان و پاییز فراوانی زمین‌لرزه‌ها کمتر از میانگین است. فصل زمستان نیز فراوانی نزدیک به میانگین دارد که می‌تواند به دلیل نزدیک شدن به اعتدال بهاری و موقعیت خاص خورشید در بهار، بارندگی و کم شدن اصطکاک سطوح گسلی و همچنین تغییرات دمایی در طول شبانه روز باشد.

⁸³- Spring Tides

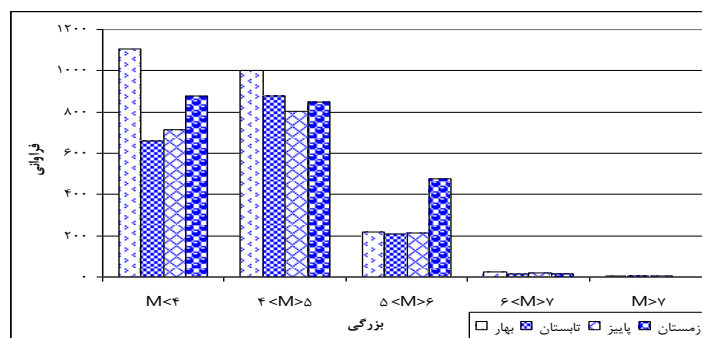


(ب)

(الف)

شکل ۳-۲- فراوانی زلزله‌ها در طول سال شمسی. (الف) در ماه‌های مختلف سال، (ب) درصد فراوانی در فصول مختلف (خط تیره افقی مقدار میانگین را نشان می‌دهد).

در شکل (۳-۳) فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌ها در فصول مختلف سال نشان داده شده است. مطابق شکل، فراوانی بزرگی زلزله‌ها به استثنای زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۵-۶ ریشتر، در فصل بهار بیش از سایر فصول است. بیشترین فراوانی بزرگی، در مورد زلزله‌های کمتر از ۴ ریشتر در فصل بهار مشاهده می‌شود که می‌توان دلیل آن را افزایش نیروی جاذبه ماه و خورشید در اعتدالین و تأثیر این نیرو بر وقوع زلزله‌های کوچک‌تر دانست. زلزله‌های بزرگ بیشتر تکتونیکی بوده و دلیل بالا بودن فراوانی زمین‌لرزه‌های ۵-۶ ریشتر در فصل زمستان می‌تواند علاوه بر تکتونیکی بودن، به نفوذ سیالات به خصوص آب باران به درون زون گسلی و تغییرات دمایی در این فصل مرتبط باشد.



شکل ۳-۳- فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌ها در فصول مختلف سال.

۳-۵-۲- فراوانی زمین‌لرزه‌ها در طول ماه قمری

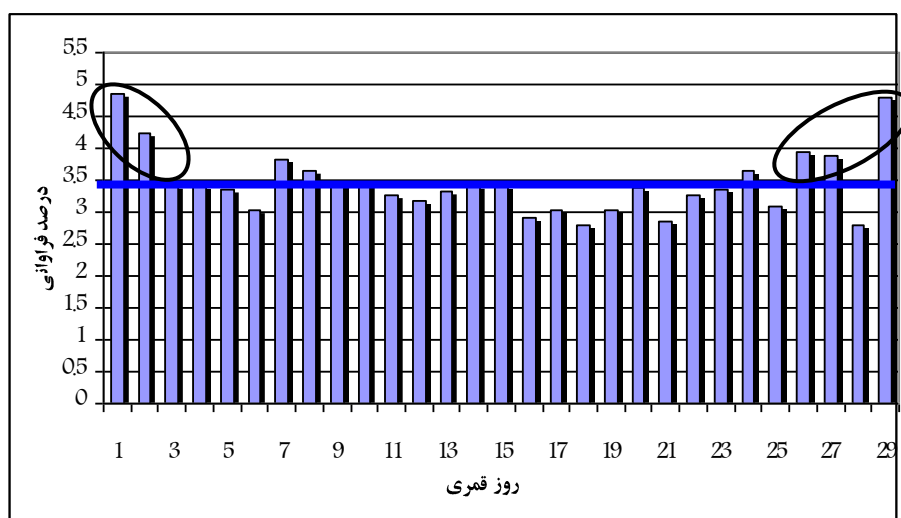
در شکل (۳-۴) فراوانی وقوع زمین‌لرزه‌ها در طی ماه قمری نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که بیشترین زمین‌لرزه‌ها در روز اول و دوم ماه قمری و روزهای پایانی ماه (۲۹-۲۷) رخ داده است. همچنین شکل (۳-۵) فراوانی زلزله‌ها در فصل‌های مختلف بر اساس روزهای قمری را نشان می‌دهد. در این شکل نیز بالا بودن نرخ وقوع زلزله‌ها در اوایل و اواخر ماه قمری به خوبی مشهود است.

لازم به ذکر است که به دلیل کم بودن و نامناسب بودن اطلاعات روز سی‌ام ماه قمری که روند درستی را نشان نمی‌داد، داده‌های این روز بین روز بیست و نهم و اول ماه قمری تقسیم گردید، بنابراین ماه قمری ۲۹ روزه در نظر گرفته شد. سپس درصد فراوانی زلزله‌ها و میانگین آن‌ها در طول ۲۹ روز تعیین گردید.

بالا بودن نرخ وقوع زلزله در روزهای ابتدایی و پایانی ماه قمری همزمان با ماه نو و آخر ماه است که ماه و خورشید و زمین در یک راستا قرار داشته و ماه و خورشید در یک سمت زمین هستند. در این حالت زمین توسط جاذبه عظیم ماه و خورشید کشیده شده و بیشترین زلزله‌ها رخ می‌دهد.

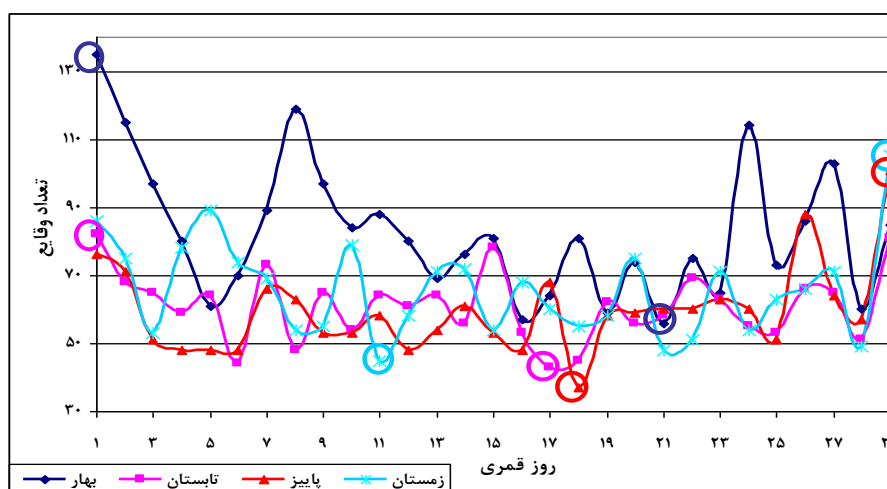
از طرف دیگر، در روزهای میانی ماه (ماه کامل) نیز با توجه به شکل (۳-۴) میزان زلزله‌ها زیاد بوده که به علت قرارگیری زمین بین خورشید و ماه و کشیده شدن آن‌ها است، لیکن به دلیل این که خورشید و ماه در طرفین زمین قرار دارند، مقداری از نیروی گرانش وارده از همدیگر را خنثی کرده و در نتیجه نیروی اعمال شده کمتر از نیروی وارد شده در ماه نو است. دلیل بالا بودن درصد وقوع زلزله‌ها در روزهای ۷-۸ و ۲۰ ماه، کم شدن نیروی وارده از طرف خورشید و ماه که هم‌زمان با جزر و مدهای خفیف نیز می‌باشد، است. به عبارت دیگر در این موقع فشار از زون‌های تحت تنش برداشته شده و منجر به وقوع زمین‌لرزه می‌شود. یعنی تغییرات

جاذبه ماه و خورشید بر رخداد زلزله مؤثر است و نه فقط افزایش جاذبه. در جدول (۳-۳) روزهایی که فراوانی وقوع زلزله‌ها بیش از ۷۰ درصد می باشد، به عنوان روزهای پر خطر معرفی شده است.



روز قمری

شکل ۳-۴- توزیع فراوانی زلزله‌ها در طول ماه قمری (خط افقی تیره مقدار میانگین را نشان می‌دهد).

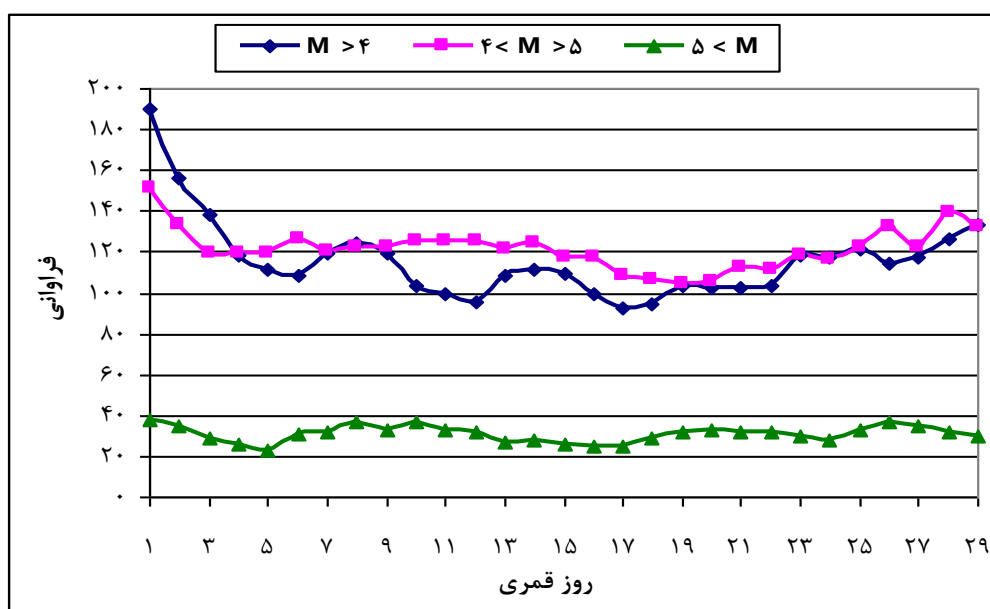


شکل ۳-۵- توزیع فراوانی زلزله‌ها در طول ماه قمری و فصول مختلف سال (مقادیر حداکثر و حداقل با دایره مشخص شده است).

جدول ۳-۳- روز های پر خطر زلزله بر اساس روز قمری در فصول مختلف سال در ایران.

فصل	روزهای پر خطر	روزهای کم خطر
بهار	۲۴، ۸، ۲، ۱	۲۸، ۲۱، ۱۹، ۱۶، ۵
تابستان	۲۹، ۱۵، ۷، ۲، ۱	۲۸، ۱۷، ۸، ۶
پاییز	۲۹، ۲۶، ۱	۱۸، ۱۶، ۱۲، ۴-۶
زمستان	۲۹، ۵، ۱	۲۸، ۲۲، ۲۱، ۱۱

توزیع بزرگی زلزله‌ها در طول ماه قمری نیز روندی مشابه فراوانی زلزله‌ها را نشان می‌دهد. طبق شکل (۳-۶)، بیشترین فراوانی زلزله‌های کم‌تر از ۵ ریشتر در اوایل و اواخر ماه قمری است. در نیمه ماه و اوایل هفته دوم ماه قمری نیز فراوانی بزرگی‌ها نسبتاً بالاست که حاکی از تأثیر تغییرات کشش ماه و خورشید بر وقوع زلزله‌ها به خصوص زلزله‌های کوچک می‌باشد. زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ۵ ریشتر بیشتر تکتونیکی بوده و ارتباط مشخصی با فازهای قمری نشان نمی‌دهند.



شکل ۳-۶- فراوانی نرم شده بزرگی زمین‌لرزه‌ها در طول ماه قمری.

۳-۵-۳- توزیع فراوانی عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها در طی فصول و ماه قمری

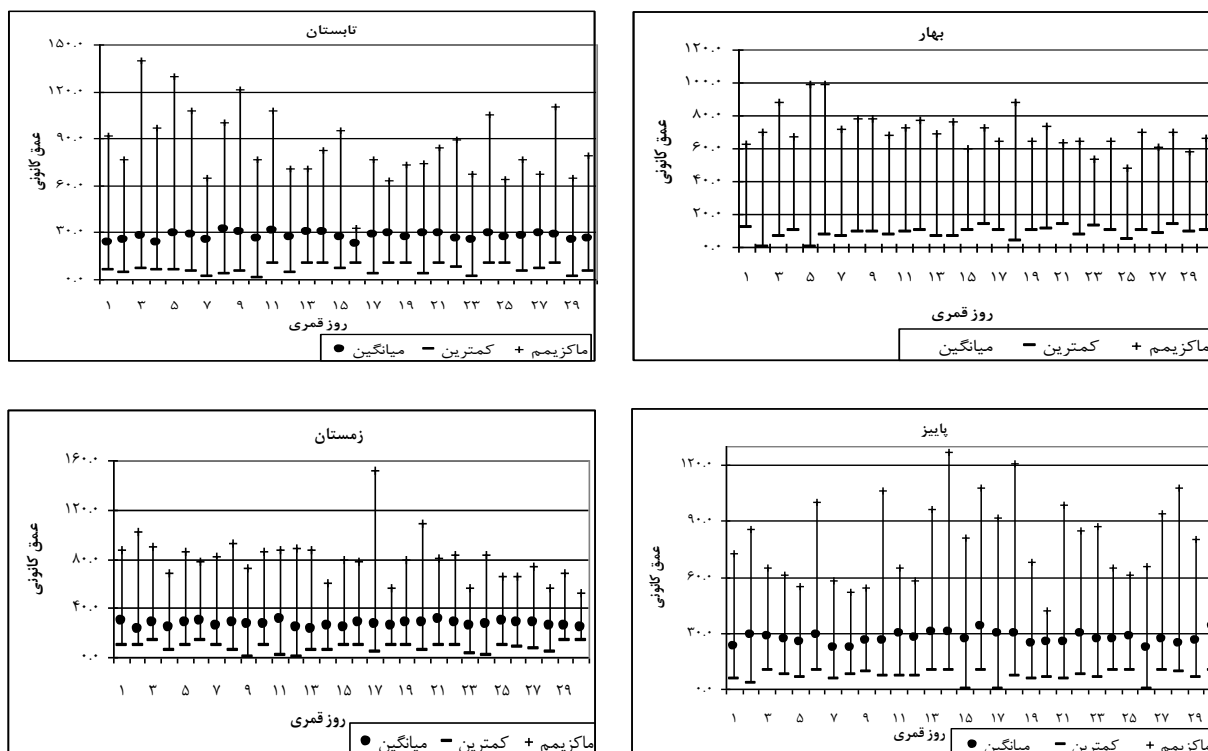
در شکل (۷-۳) توزیع عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها (بیشترین، کمترین و میانگین عمق کانونی) نسبت به روزهای قمری در طی فصول مختلف سال ارائه شده است. لازم به توضیح است که به دلیل کم بودن داده‌های عمق کانونی و همچنین پیش فرض بودن اعماق ۱۵ و ۳۳ کیلومتر برای زمین‌لرزه‌ها، ممکن است دقت کافی وجود نداشته باشد.

همان طور که ملاحظه می‌شود عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها در روزهای آغازین، میانی و پایانی ماه قمری و همچنین در اواخر هفته اول و اوایل هفته چهارم کمتر از سایر روزها است که این امر با اثر ماه و خورشید به خوبی مطابقت دارد. به عبارت دیگر در روزهایی که ماه و خورشید بیشترین و کمترین کشش را بر روی زمین اعمال می‌کنند، عمق وقوع زلزله‌ها کمتر است، که نشان دهنده تأثیر تغییرات جاذبه ماه و خورشید بر عمق کانونی می‌باشد.

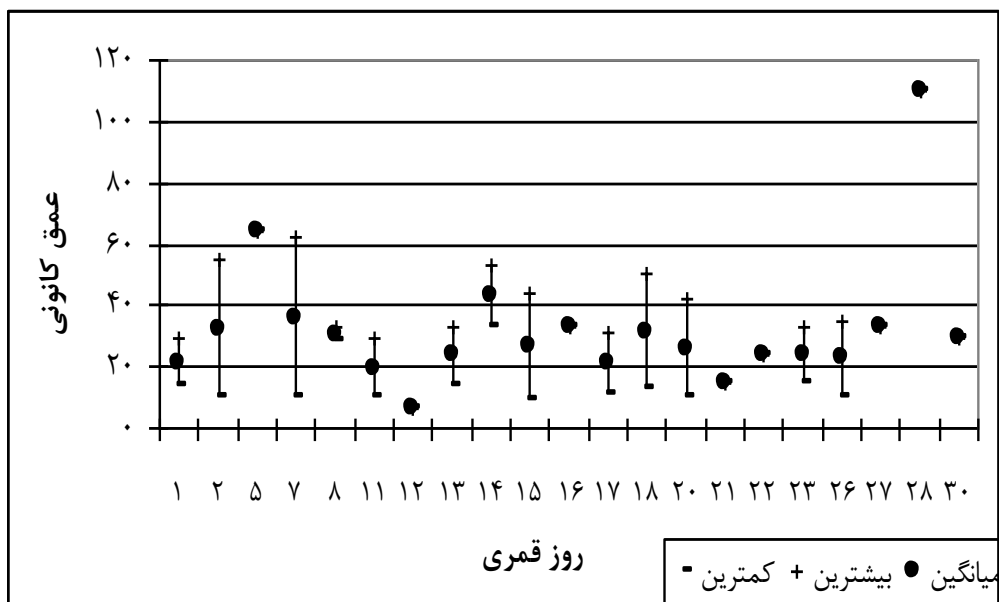
در شکل (۸-۳) عمق کانونی زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر در مقابل روزهای قمری نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در زلزله‌های بزرگ نیز در اوایل و اواخر ماه قمری نسبت به سایر روزها عمق کانونی کمتر است که گویای تأثیر ماه و خورشید بر وقوع این زمین‌لرزه‌ها می‌باشد.

۳-۵-۴- توزیع بزرگی زمین‌لرزه‌ها در طی فصول و ماه قمری

در شکل (۹-۳) توزیع بزرگی زلزله‌ها بر اساس بیشترین، کمترین و میانگین بزرگی در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی در مقابل روز قمری و در طول فصل‌های مختلف سال نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که بزرگ‌ترین زلزله‌ها در زمان تغییرات نیروی جاذبه ماه و خورشید در چهار فصل سال رخ داده‌اند، یعنی در زمان ماه نو و کامل و تربیع اول و آخر ماه.

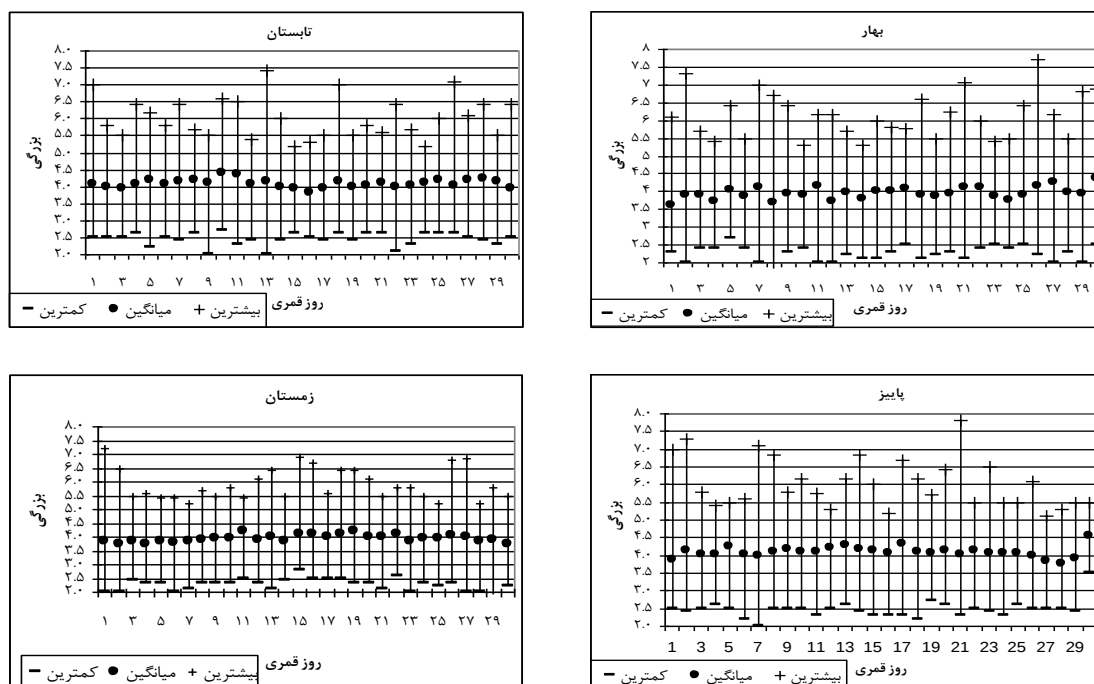


شکل ۳-۷- بیشترین، کمترین و میانگین عمق کانونی در مقابل روز قمری در فصول مختلف سال.

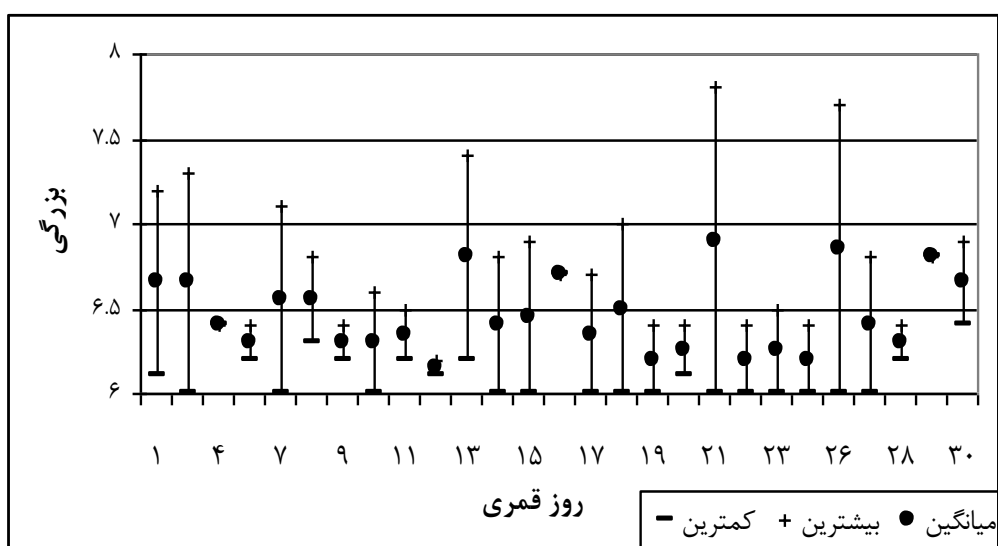


شکل ۳-۸- عمق کانونی در برابر روز قمری برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر.

در شکل (۳-۱۰) تغییرات بزرگی زلزله‌های با بزرگای بیشتر از ۶ ریشتر در مقابل روزهای قمری آمده است. مشاهده می‌شود که زلزله‌های بزرگ‌تر، بیشتر در زمان اعمال و برداشته شدن نیروهای کششی ماه و خورشید روی داده‌اند یعنی در اول، وسط و آخر ماه قمری (اعمال نیرو) و در روزهای هفتم و بیست و یکم ماه (زمان کمترین نیروی جاذبه ماه و خورشید). تغییرات بزرگی زمین‌لرزه‌ها در بهار و زمستان عکس یکدیگر است به طوری که در بهار بزرگی زلزله در اواسط ماه کم بوده ولی در زمستان زیاد می‌باشد. مقایسه شکل‌های (۳-۷) و (۳-۹) نشان می‌دهد که در روزهایی که عمق کانونی زلزله کمتر بوده، بزرگی آن بیشتر است و برعکس. یعنی در طول ماه قمری، به وضوح تأثیر تغییرات کشش ماه و خورشید بر خصوصیات زمین‌لرزه‌های رخ داده به چشم می‌خورد. قابل ذکر است که شکل‌های (۳-۸) و (۳-۱۰) برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر که با وضعیت قرار گیری ماه و خورشید در سه حالت طلوع، گذر و غروب، اختلاف زمانی حداکثر ۳ ساعته داشته‌اند رسم شده است.



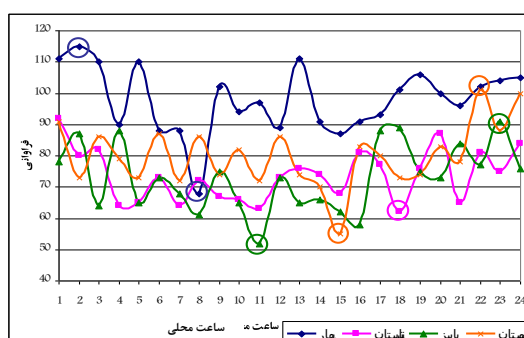
شکل ۳-۹- تغییرات بزرگی در مقابل روز قمری در فصول مختلف سال.



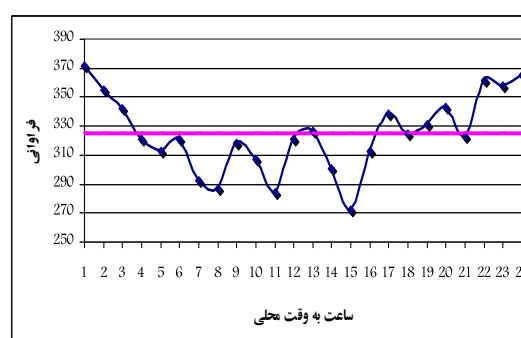
شکل ۳-۱۰- تغییرات بزرگی در مقابل روز قمری برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر.

۳-۵-۵- فراوانی نرخ وقوع زمین‌لرزه‌ها در ۲۴ ساعت شبانه روز

در شکل (۳-۱۱ الف) فراوانی ساعت وقوع زمین‌لرزه‌ها نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که در ۲۴ ساعت شبانه روز بیشترین رخداد زلزله‌ها در ساعات پایانی شب و اوایل بامداد است. زمین‌لرزه‌های رخ داده در چهار فصل سال نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهند. البته پیک وقوع زلزله‌ها کمی با هم تفاوت دارد. در فصل بهار فراوانی زلزله‌ها خیلی بیشتر از سایر فصول می‌باشد (شکل ۳-۱۱ ب). ساعات پر خطر و کم خطر وقوع زلزله‌ها در جدول (۳-۴) آمده است. ساعت‌هایی که فراوانی وقوع زلزله‌ها بیش از ۷۰ درصد می‌باشد، به عنوان پر خطر معرفی شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۱- (الف) فراوانی زمین‌لرزه‌ها در ساعات شبانه روز. (ب) فراوانی ساعات وقوع زمین‌لرزه‌ها در طی فصول سال (مقادیر حداکثر و حداقل با دایره مشخص شده است).

جدول ۳-۴- ساعات وقوع زلزله‌ها در فصول مختلف سال.

فصل	ساعات پر خطر	ساعات کم خطر
بهار	۱، ۳، ۵، ۱۳، ۱۹، ۲۴-۲۲	۸-۶، ۱۲، ۱۴، ۱۵
تابستان	۱-۳، ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۴	۷-۴، ۱۱، ۱۸
پاییز	۱، ۲، ۴، ۱۷، ۱۸، ۲۴-۲۱	۸، ۱۱، ۱۶
زمستان	۱، ۱۲، ۱۶، ۲۴-۲۲	۷، ۱۵، ۱۸

به منظور تعیین ارتباط بین زمان رخداد زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر با وضعیت ماه و خورشید، درصد انطباق زمان وقوع زلزله با ساعت طلوع، گذر و غروب ماه و خورشید در بازه‌های ۷ روزه قمری با اختلاف زمانی ۱ تا ۳ ساعته محاسبه گردید (جدول ۳-۵، پیوست ۲-۱). نتایج حاصل نشان می‌دهد که بیشترین وقوع زلزله‌ها در ارتباط با طلوع ماه و غروب خورشید بوده است.

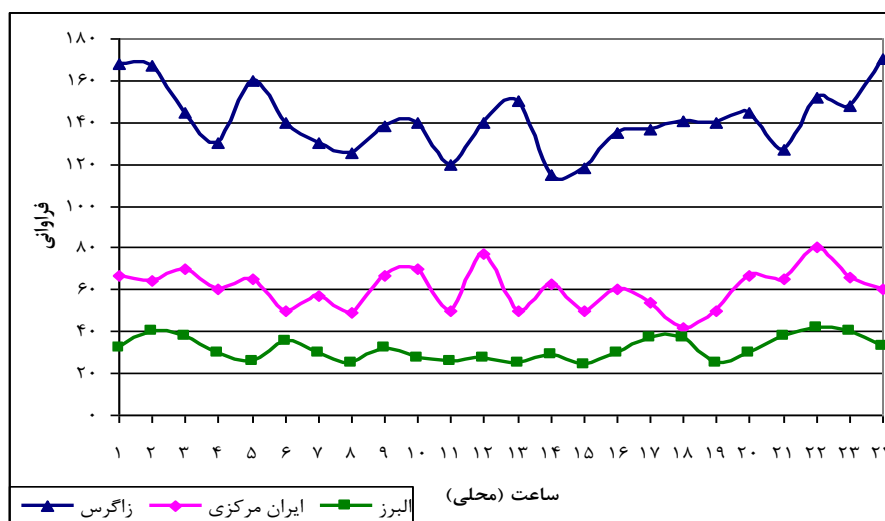
جدول ۳-۵- درصد انطباق موقعیت‌های مختلف ماه و خورشید با وقوع زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر.

درصد انطباق با غروب خورشید	درصد انطباق با گذر خورشید	درصد انطباق با طلوع خورشید	درصد انطباق با غروب ماه	درصد انطباق با گذر ماه	درصد انطباق با طلوع ماه	اختلاف ساعت	بازه زمانی (روز قمری)
۱۵/۳۸	۱۱/۵۴	۷/۶۹	۷/۶۹	۷/۶۹	۳/۸۵	۱	۳-۲۶
۱۹/۲۳	۱۵/۳۸	۱۱/۵۴	۱۵/۳۸	۱۵/۳۸	۷/۶۹	۲	
۳۰/۷۷	۲۶/۹۲	۱۹/۲۳	۳۰/۷۷	۲۶/۹۲	۱۹/۲۳	۳	
۵/۵۶	۱۶/۶۷	-----	۵/۵۶	۱۱/۱۱	۱۱/۱۱	۱	۱۰-۳
۱۱/۱۱	۲۷/۷۸	۵/۵۶	۵/۵۶	۱۶/۶۷	۲۲/۲۲	۲	
۲۲/۲۲	۲۷/۷۸	۱۶/۶۷	۵/۵۶	۲۷/۷۸	۲۷/۷۸	۳	

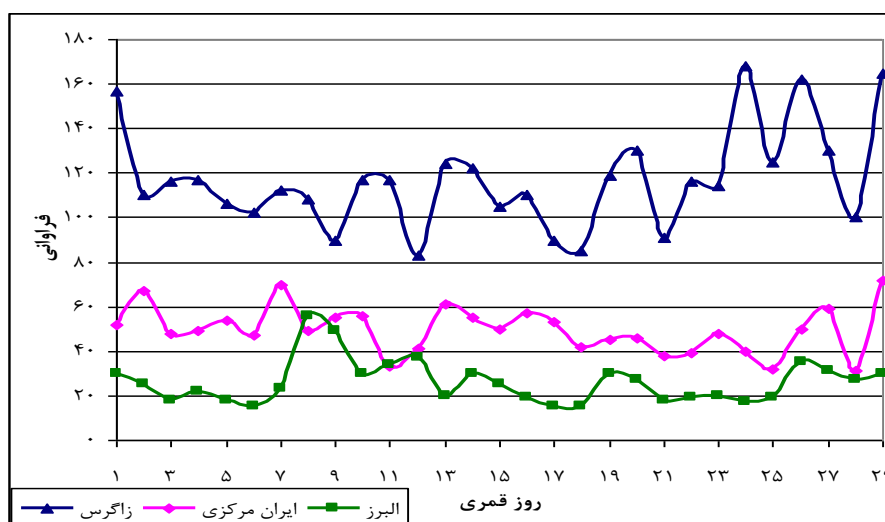
۱۱-۱۸	۱	۱۵/۳۸	۱۵/۳۸	۷/۶۹	۱۱/۵۴	۳/۸۵	۱۱/۵۴
	۲	۲۳/۰۸	۱۹/۲۳	۱۹/۲۳	۲۳/۰۸	۲۳/۰۸	۱۹/۲۳
	۳	۲۳/۰۸	۲۳/۰۸	۳۰/۷۷	۳۰/۷۷	۳۰/۷۷	۲۶/۹۲
۱۸-۲۵	۱	۳۰/۴۳	-----	۸/۷۰	۸/۷۰	۸/۷۰	۱۳/۰۴
	۲	۳۹/۱۳	۴/۳۵	۱۳/۰۴	۱۷/۳۹	۱۷/۳۹	۲۱/۷۴
	۳	۳۹/۱۳	۸/۷۰	۲۱/۷۴	۲۱/۷۴	۲۱/۷۴	۳۰/۴۳

۳-۵-۶- توزیع فراوانی زلزله‌ها در زون‌های مختلف تکتونیکی

نیروی اعمال شده توسط ماه و خورشید بر زون‌های مختلف تأثیر متفاوتی دارد که وابسته به طول و عرض جغرافیایی زون گسلی است. در شکل (۳-۱۲) فراوانی ساعت وقوع زمین‌لرزه‌ها در سه زون لرزه‌خیز البرز، زاگرس و ایران مرکزی نشان داده شده است. ساعات پرخطر به تفکیک پهنه‌های تکتونیکی نیز روندی مشابه نشان می‌دهد، یعنی در هر سه زون، ساعات پایانی شب و اوایل بامداد، نرخ لرزه‌خیزی بالایی دارد. در زاگرس و ایران مرکزی در ظهر محلی نیز فراوانی زلزله‌ها نسبتاً بالاست. شکل (۳-۱۳) توزیع فراوانی زلزله‌ها در این سه زون را در طی روزهای قمری نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در زاگرس فراوانی زمین‌لرزه‌ها بیشتر بوده و اوج فراوانی در روزهای ابتدایی و انتهایی ماه قمری و همچنین هفته چهارم می‌باشد؛ در حالی که در ایران مرکزی که از نظر فراوانی در رده بعدی قرار دارد در هفته اول و دوم ماه قمری فراوانی زلزله‌ها زیاد است. در پهنه البرز اوایل هفته دوم بیشترین فراوانی زلزله‌ها دیده می‌شود. از جمله دلایل این اختلاف، روند گسل‌ها و مکانیزم گسلش در پهنه‌های فوق می‌باشد.



شکل ۳-۱۲- فراوانی ساعت وقوع زمین‌لرزه‌ها در زون زاگرس، ایران مرکزی و البرز.



شکل ۳-۱۳- توزیع فراوانی زلزله‌ها بر اساس روزهای قمری در زون زاگرس، ایران مرکزی و البرز.

۳-۶- بررسی شتاب جاذبه ماه و خورشید در زمان زلزله‌های اصلی

جهت ارزیابی شتاب حاصل از جاذبه ماه و خورشید در تحریک زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر ایران، سه مؤلفه شرقی- غربی، شمالی- جنوبی و مؤلفه قائم شتاب در مورد هر یک از زمین‌لرزه‌ها تعیین شده است. در ادامه این بخش نحوه تعیین شتاب و نتیجه حاصله در مورد زلزله‌های مورد بررسی ارائه می‌گردد.

۳-۶-۱- برآورد مؤلفه‌های جاذبه ماه و خورشید

پتانسیل جزر و مدی یک جرم سماوی در یک نقطه مشخص از زمین به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\Psi = \frac{Gm}{r_0} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r_0} \right)^n P_n(\cos Z) \quad (2-3)$$

که در اینجا G ثابت جهانی گرانش، m جرم جسم سماوی، r_0 فاصله از مرکز جسم سماوی تا مرکز زمین، a اندازه بردار شعاعی از نقطه مشاهده تا مرکز زمین، $P_n(\cos Z)$ هارمونی‌های کروی از درجه n ، Z بالاترین فاصله سمت‌الرأس زمینی از جرم سماوی نسبت به نقطه مشاهده است. با توجه به رابطه (۲-۳) پتانسیل جزر و مدی درجه دوم خورشید و درجه سوم ماه به صورت زیر خواهد بود:

$$\Psi_2 = \frac{3}{4} \frac{Gma^2}{r_0^3} \left(\cos 2Z + \frac{1}{3} \right) \quad (3-3)$$

$$\Psi_3 = \frac{5}{8} \frac{Gma^3}{r_0^4} \left(\cos 3Z + \frac{3}{5} \cos Z \right) \quad (4-3)$$

بنابراین پتانسیل کل ماه و خورشید برابر است با:

$$\Psi_{ms}(i) = \Psi_{m2}(i) + \Psi_{s2}(i) + \Psi_{m3}(i) \quad (5-3)$$

در اینجا m برای ماه، و s نشانه خورشید است.

بر این اساس، سه مؤلفه نیروی جزر و مدی خورشید-ماه، یعنی مؤلفه قائم (F_z)، مؤلفه شمالی-جنوبی (F_{SN})، و مؤلفه شرقی-غربی (F_{EW})، به ترتیب به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F_z = \frac{\partial \Psi}{\partial a} \quad \text{مؤلفه قائم} \quad (۶-۳)$$

$$F_{SN} = -\frac{\partial \Psi}{a \partial \phi} \quad \text{مؤلفه شمالی-جنوبی} \quad (۷-۳)$$

$$F_{EW} = -\frac{\partial \Psi}{a \cos \phi \partial \lambda} \quad \text{مؤلفه شرقی-غربی} \quad (۸-۳)$$

F_z در جهت عمودی، F_{SN} موازی با تانژانت دایره طولی (جنوب، جهت مثبت است) و F_{EW} موازی با تانژانت دایره عرضی (شرق، جهت مثبت) است [64].

مقدار و جهت این سه مؤلفه بسته به موقعیت جغرافیایی یک نقطه در طول روز و در ساعت‌های مختلف تغییر می‌کند. لذا انتظار می‌رود که رابطه مستقیمی بین امتداد گسل لرزه‌زا و حداکثر و حداقل نیروی کشش وجود داشته باشد. به عبارت دیگر خطوط گسلی باید در زاویه خاصی باشند تا نیروهای گرانشی ماه و خورشید بتوانند روی وقوع زمین‌لرزه بیشترین تأثیر را داشته باشند، یعنی برای صفحات همگرا، نیروها باید به گونه‌ای عمل کنند که بیشترین همگرایی برای یک صفحه را بدهند تا استرس کافی برای رها سازی زلزله ایجاد شود. برای صفحات واگرا نیروها باید چنان عمل کنند که دور شدن صفحه‌ها از همدیگر به طور ناگهانی منجر به رها شدن و متلاشی شدن شود. در مورد گسل‌های عادی و معکوس جهت نیروها باید عمود بر خط گسلی باشد. برای گسل‌های امتدادلغز راستای نیروها بایستی موازی با خط گسلی باشد [180].

اندازه هر یک از سه مؤلفه در زمان وقوع زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر، بیشترین و کمترین مقدار مؤلفه‌ها در روز وقوع زلزله [194]، همچنین ساعت طلوع، گذر و غروب ماه و خورشید در روز حادثه با استفاده از نرم افزارهای مربوطه [195, 196, 205] محاسبه شده است. در پیوست (۱) نمونه‌ای از مؤلفه‌های جاذبه ماه و

خورشید برای تعدادی از زمین‌لرزه‌های اصلی در طول دو هفته قبل و بعد از وقوع زلزله ارائه گردیده است. پیوست (۲-۲ و ۱-۲) مشخصات زلزله، ساز و کار گسل مسبب زلزله، نسبت بین نیروهای اعمال شده در زمان زلزله به حداکثر و حداقل مقدار مؤلفه در روز وقوع زلزله و موقعیت خورشید و ماه در زمان رخداد زلزله را نمایش می‌دهد.

۳-۶-۲- بررسی بردار نیروهای کششی ماه و خورشید در پهنه‌های مختلف تکتونیکی

به منظور بررسی اثر نیروهای کششی ماه و خورشید در زون‌های مختلف تکتونیکی برای زلزله‌های بزرگ‌تر یا مساوی ۶ ریشتر، بردار برآیند نیروها تعیین گردید. در شکل (۳-۱۴) نمایش ساده‌ای از بردارهای نیرو نشان داده شده است. روابط مورد استفاده جهت محاسبه بردار نیروها به صورت زیر می‌باشد:

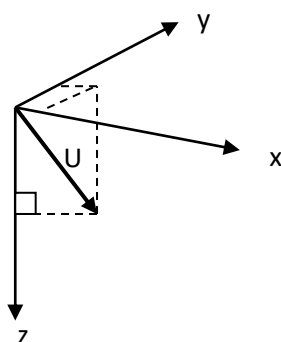
$$|U| = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)} \quad (۳-۹)$$

که در این رابطه $\vec{U}$ بردار برآیند نیروها، x مؤلفه شرقی-غربی، y مؤلفه شمالی-جنوبی و z مؤلفه قائم است.

$$\alpha = \arctan(x/y) + q \quad (۳-۱۰)$$

$$\beta = \arctan[z / \sqrt{(x^2 + y^2)}] \quad (۳-۱۱)$$

α جهت بردار برآیند (U) ، β زاویه میل این بردار بوده و q زاویه‌ای است که اگر $x \geq 0$ و $y \geq 0$ آن‌گاه $q = 0$ ، در صورتی که $x < 0$ و $y \geq 0$ ، $q = 360$ و در حالاتی به جز موارد گفته شده، $q = 180$ [141].



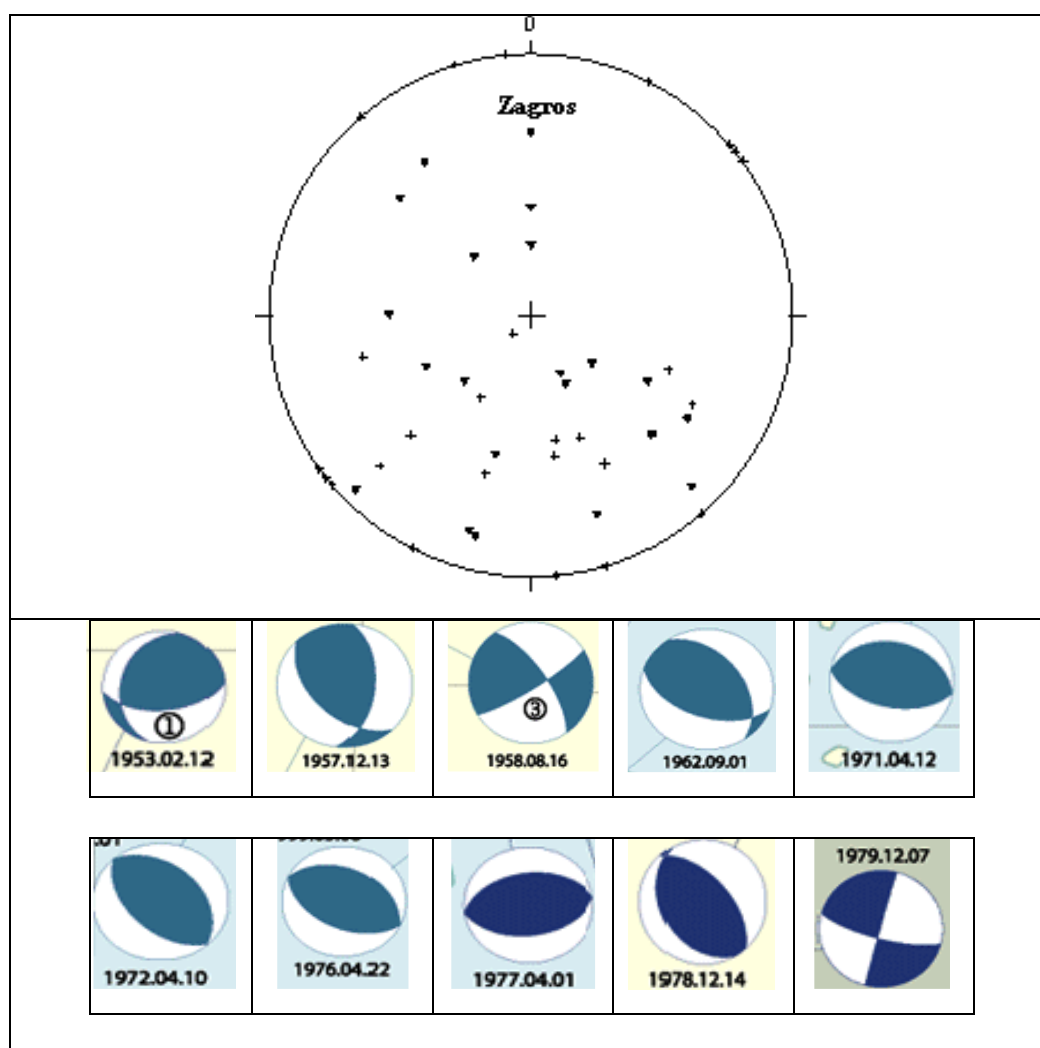
شکل ۳-۱۴- نمایش ساده‌ای از بردارهای برآیند نیرو [141].

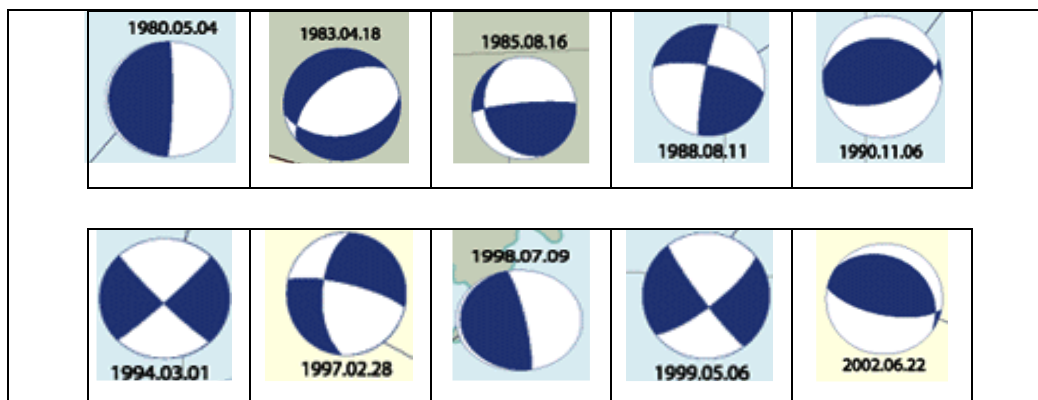
موارد اشاره شده برای داده‌های موجود محاسبه گردید و توسط نرم افزار استریونت^{۸۴} پلات شد تا نسبت و موقعیت بردارهای نیرو با ناحیه تکتونیکی مشخص شود. در شکل‌های (۳-۱۵)، (۳-۱۶) و (۳-۱۷) نتایج به دست آمده توسط نرم افزار قابل مشاهده است. همچنین برای هر منطقه تکتونیکی سازوکار تعدادی از زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر آن نشان داده شده است. در پهنه زاگرس روند گسل‌ها عموماً شمال غرب- جنوب شرقی بوده و برآیند نیروها به خصوص مؤلفه مثبت کشش، عمود بر این گسل‌ها می‌باشد.

در پهنه ایران مرکزی، مؤلفه‌های کششی با گسل‌های با امتداد شمالی- جنوبی و شرقی- غربی مطابقت دارد. در زون البرز بخشی از مؤلفه‌ها بر گسل‌های با روند شمال غرب- جنوب شرق (البرز غربی) و بخشی نیز با روند گسلی شمال شرق- جنوب غرب (البرز شرقی) عمود بوده و منطبق است.

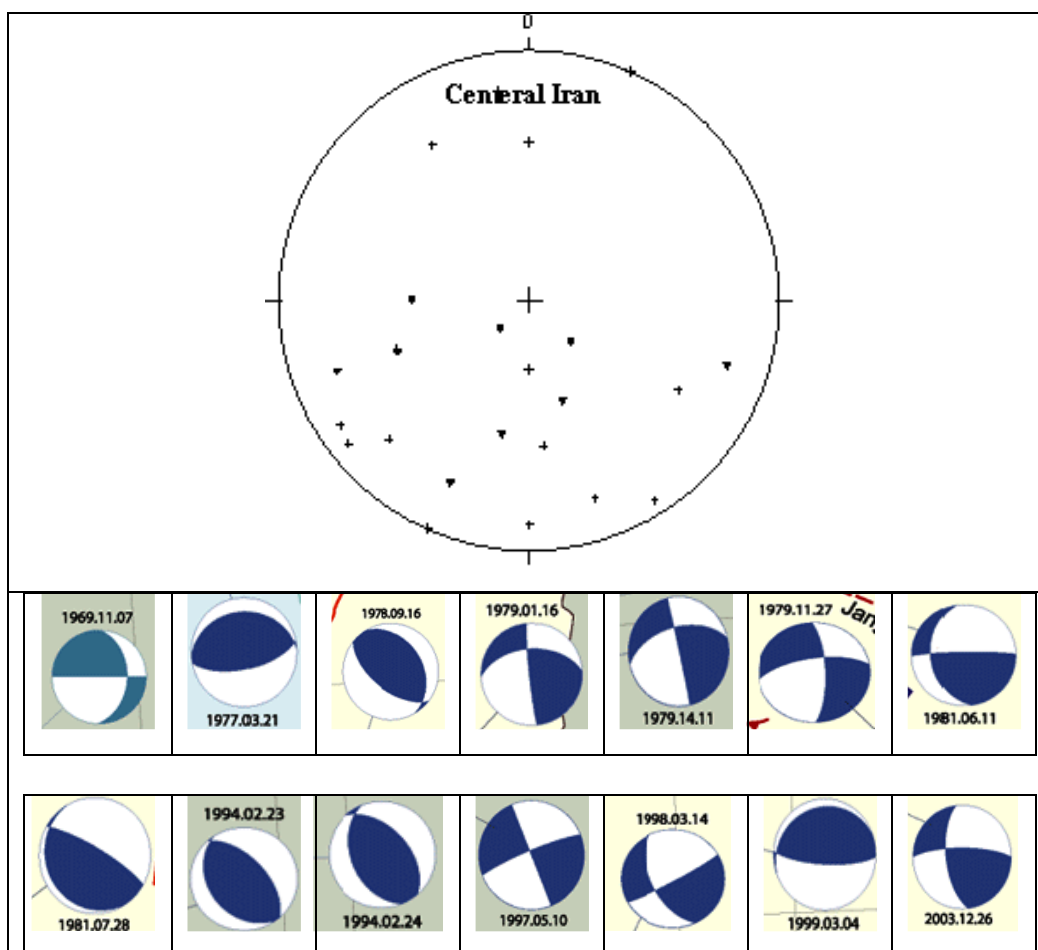
۳-۶-۳- اثر کشش ماه و خورشید در زمان زلزله‌های بزرگ زون‌های مختلف تکتونیکی

در شکل (۳-۱۸) اثر مؤلفه‌های کششی ماه و خورشید در سه زون زاگرس، ایران مرکزی و البرز برای زمین- لرزه‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر قابل مشاهده است. تشابهات و اختلافات بارزی بین مقادیر مؤلفه‌های کششی در این سه زون دیده می‌شود. همان طور که ملاحظه می‌شود مقادیر مؤلفه‌های EW و Z در روزهای میانی ماه در زمین‌لرزه‌های زاگرس نسبت به دو زون دیگر بیشتر (مقدار مثبت) می‌باشد.

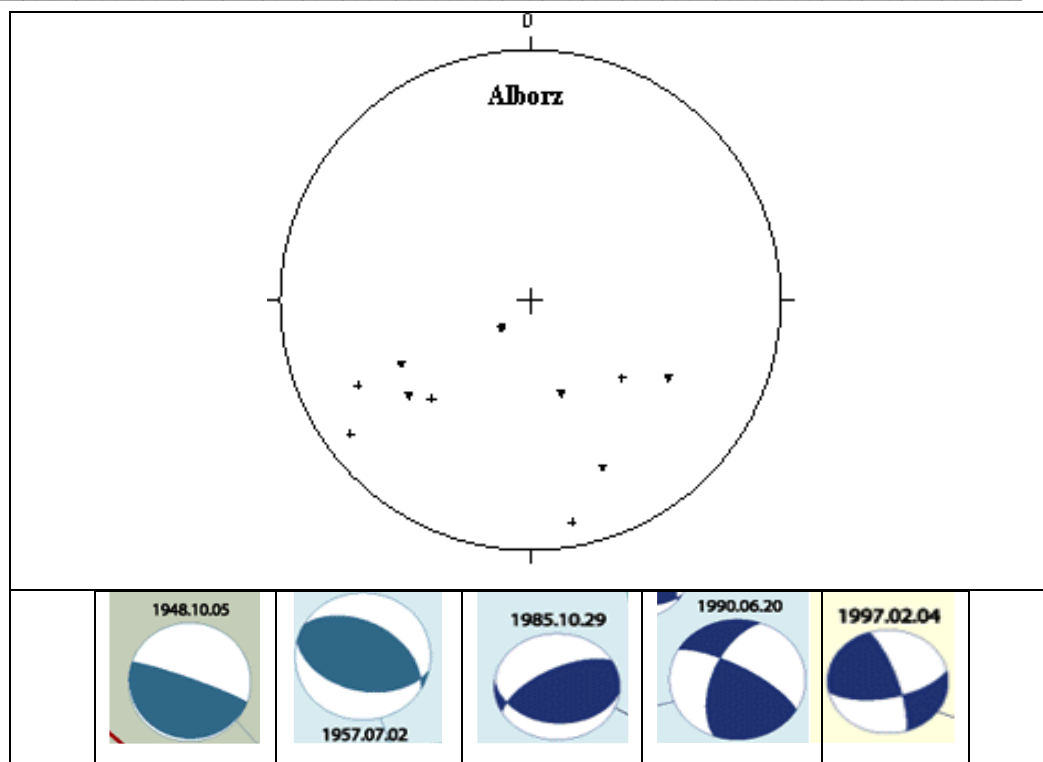




شکل ۳-۱۵- بردار برآیند نیروها در زون تکتونیکی زاگرس به همراه سازوکار تعدادی از زمین‌لرزه‌های این زون.

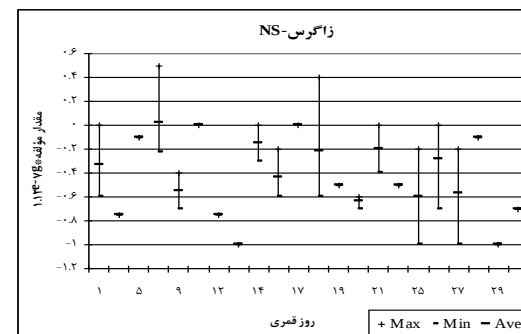
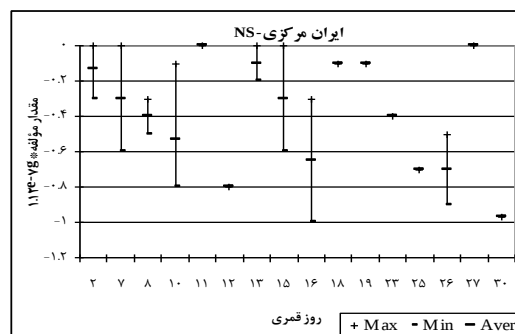
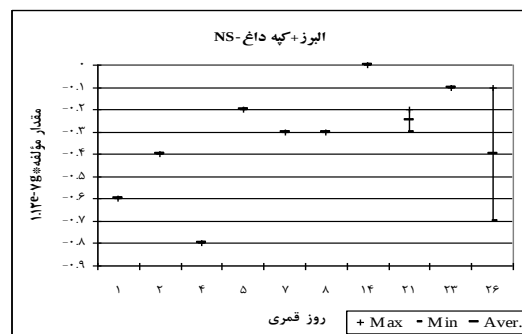
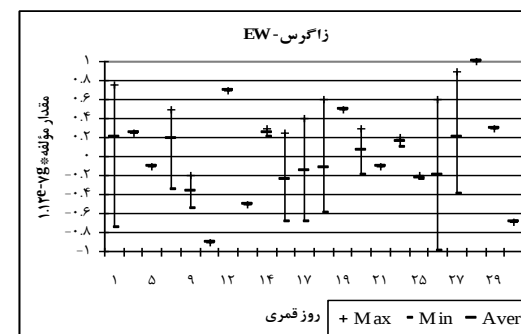
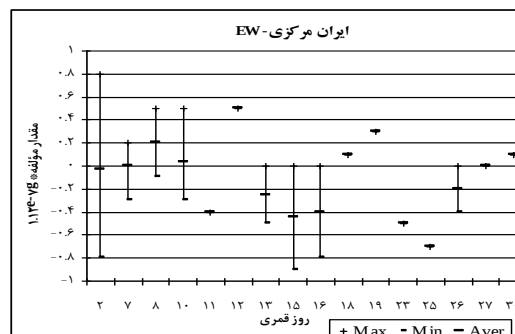
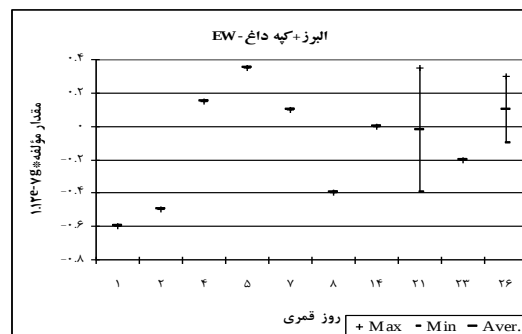


شکل ۳-۱۶- بردار برآیند نیروها در زون تکتونیکی ایران مرکزی به همراه سازوکار تعدادی از زمین‌لرزه‌های این زون.

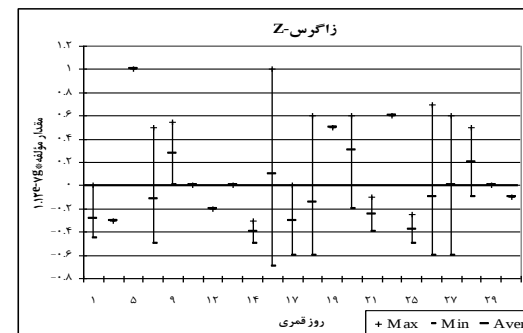
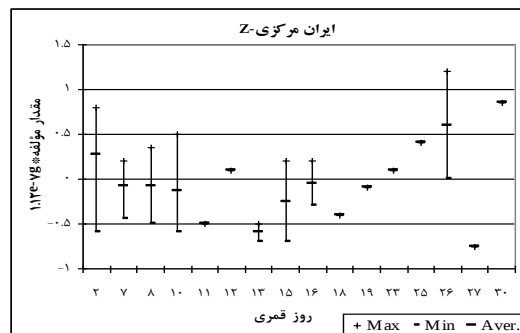
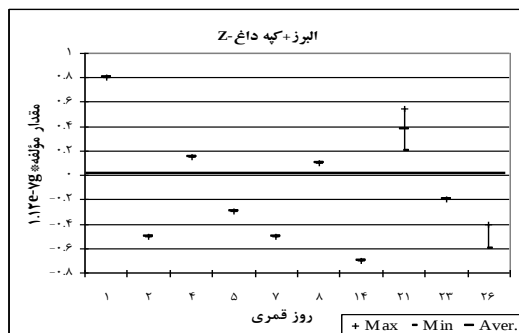


شکل ۳-۱۷- بردار برابند نیروها در زون تکتونیکی البرز به همراه سازوکار تعدادی از زمین‌لرزه‌های این زون.

مقادیر منفی مؤلفه + مقادیر مثبت مؤلفه

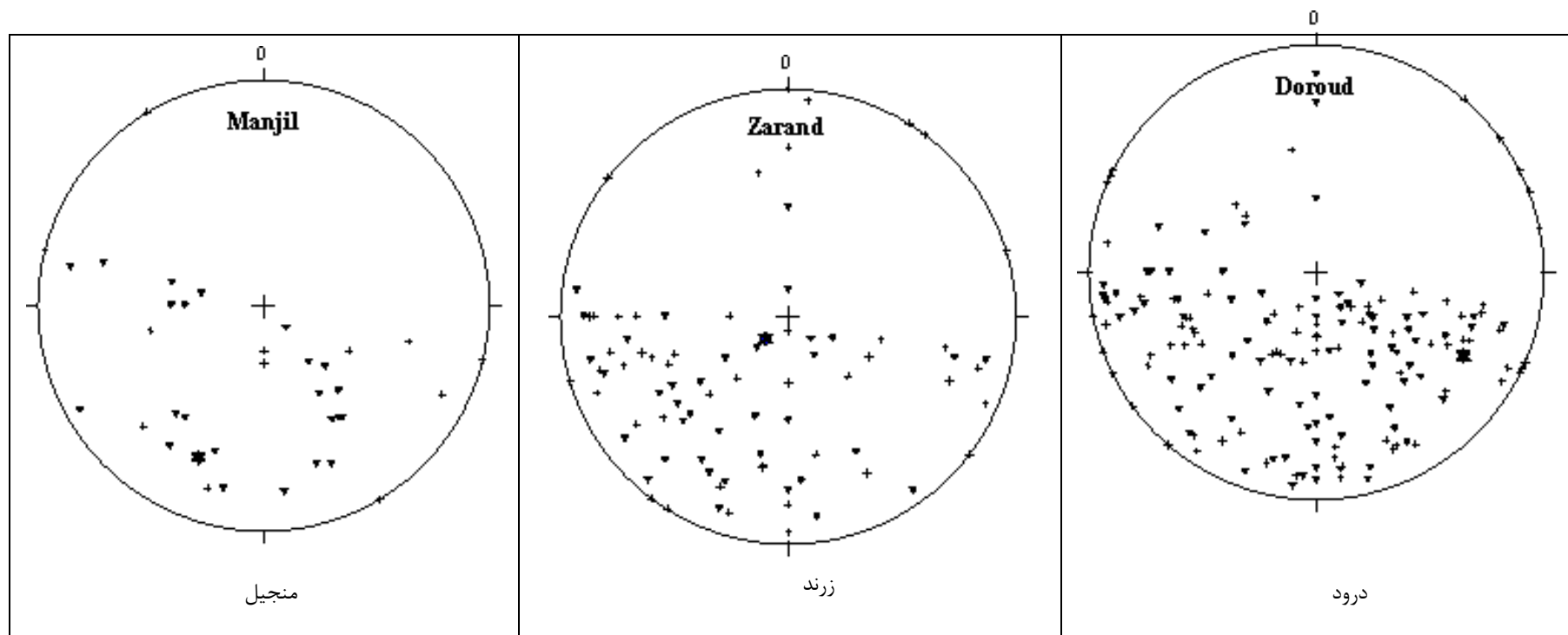


شکل ۳-۱۸- مقادیر بیشترین، کمترین و میانگین مؤلفه‌ها برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر سه زون زاگرس، ایران مرکزی و البرز (البرز+کپه داغ) در روزهای مختلف قمری.



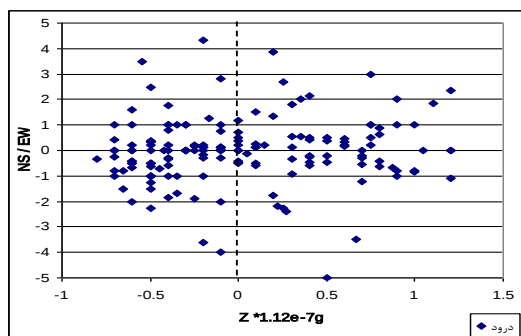
۳-۶-۴- اثر ماه و خورشید در زمان زلزله‌های درود، زرنند و منجیل

در مورد سه زلزله درود (۲۰۰۷)، زرنند (۲۰۰۵) و منجیل (۱۹۹۰) نیز مشابه عملیات انجام شده برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر، صورت گرفت (پیوست ۲-۳، ۲-۴ و ۲-۵). یعنی مقدار بردار برآیند نیروها و مقدار سه مؤلفه شمالی-جنوبی، شرقی-غربی و قائم برای این سه زمین‌لرزه اصلی، پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌های آن‌ها تعیین شد. همچنین موقعیت ماه و خورشید در زمان وقوع هر کدام از لرزه‌ها مشخص گردید. در شکل (۳-۱۹) بردار برآیند نیروها در زمان هر زلزله نشان داده شده است. شکل (۳-۲۰) نسبت مؤلفه‌های شمالی-جنوبی به شرقی-غربی ماه و خورشید در مقابل مؤلفه قائم (Z) برای زمین-لرزه‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر (۳-۲۰ الف)، درود (۳-۲۰ ب)، زرنند (۳-۲۰ ج) و منجیل (۳-۲۰ د) نشان می‌دهد. در این شکل بیشترین نسبت بین مؤلفه شمالی-جنوبی به شرقی-غربی در حداصل ۱ و ۱- به چشم می‌خورد و بیشترین همبستگی را با مقادیر منفی مؤلفه قائم از خود نشان می‌دهد. به عبارتی در هنگام وقوع زلزله‌های فوق مقادیر مؤلفه‌های EW و NS تقریباً مشابه بوده و مؤلفه Z کمترین نیرو را اعمال می‌کرده است.

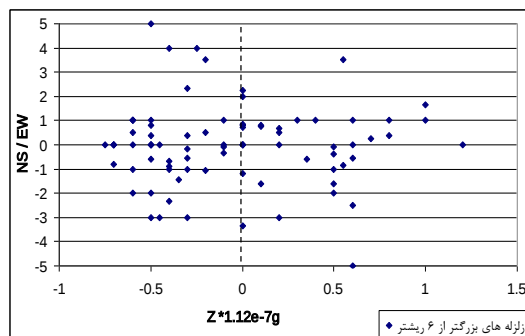


شکل ۳-۱۹- بردار برآیند نیروها در سه زلزله درود، زرند و منجیل.

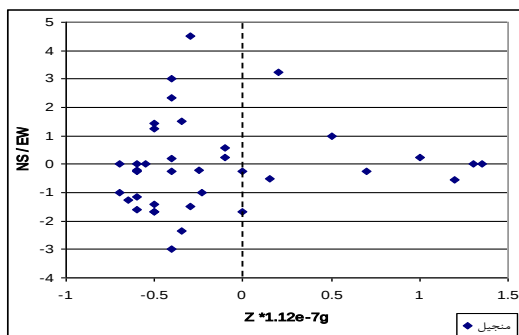
▲ زلزله اصلی + مقادیر مثبت مؤلفه ▼ مقادیر منفی مؤلفه



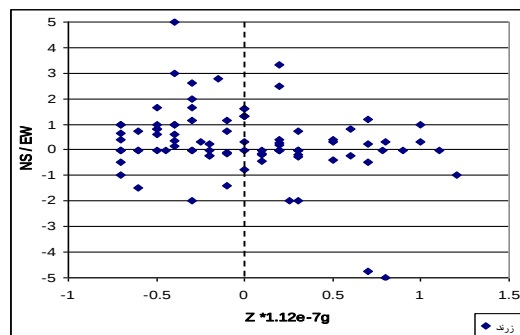
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۳-۲۰- نسبت مؤلفه‌های اعمال شده توسط ماه و خورشید برای زمین‌لرزه‌های: (الف) بزرگتر از ۶ ریشتر، (ب) درود، (ج) زرنه، (د) منجیل.

۴-۱- مقدمه

یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در زمان وقوع زلزله‌ها، زمین‌لرزه‌های قبلی می‌باشد. یک توالی کامل لرزه‌ای شامل پس‌لرزه‌ها، لرزه اصلی و پیش‌لرزه‌ها می‌باشد. پس‌لرزه‌ها، پیش‌لرزه‌ها و زلزله اصلی همه نتیجه یک فرایند

فیزیکی می‌باشند، لذا با هم ارتباط نزدیک دارند. تشخیص لرزه اصلی از پس‌لرزه‌ها یا پیش‌لرزه‌ها در بحث پیش‌بینی و مدیریت بحران زلزله از اهمیت بسیار برخوردار است.

در مناطقی که از نظر لرزه‌ای فعال شده‌اند و در بازه زمانی کوتاه تعدادی زلزله اتفاق می‌افتد سؤال اصلی مردم و مسئولین این است که آیا شوک اصلی اتفاق افتاده یا زلزله بزرگ‌تری در راه است و یا اینکه زلزله‌های بعدی چه بزرگی می‌توانند داشته باشند. پاسخ به این سؤال مهم نیازمند بررسی طبیعت پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها و رابطه آن‌ها با زلزله اصلی می‌باشد [110]. همچنین دانستن بزرگی و زمان بزرگ‌ترین پس‌لرزه از نظر مدیریت بحران حائز اهمیت است. به این دلیل که ساختمان‌ها بعد از زلزله اصلی ضعیف شده و ممکن است بر اثر بزرگ‌ترین پس‌لرزه به کلی ویران شوند. لذا تلاش‌های زیادی جهت برآورد رابطه بین بزرگ‌ترین پس‌لرزه و زلزله اصلی انجام شده است [120, 177, 146].

تلسکا⁸⁵ و همکاران (۲۰۰۱) توزیع زمانی پس‌لرزه‌ها با استفاده از پارامتر p در قانون اُمری⁸⁶ را بررسی کردند [172]. اکتار⁸⁷ و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات مکانی و زمانی پس‌لرزه‌های زلزله ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ ترکیه را بررسی نمودند و عنوان کردند که توزیع مکانی و زمانی پس‌لرزه‌ها تقریباً یکنواخت است [28]. کاگان⁸⁸ و همکاران (۱۹۹۸) الگوی مکانی قانون پس‌لرزه‌های کم عمق را با توجه به حل مکانیسم کانونی شوک اصلی بررسی نمودند [92]. مارسلینی⁸⁹ (۱۹۹۸) توزیع زمانی پس‌لرزه‌ها را با استفاده از قانون اُمری و رابطه اُتسو⁹⁰ بررسی نمود و انطباق مدل را برای ۵ توالی پس‌لرزه به وسیله آنالیز رگرسیون خطی به دست آورد [113]. دراکاتوس⁹¹ و لاتوساکیس⁹² (۲۰۰۱) خصوصیات مکانی و زمانی توالی پس‌لرزه‌ها را بررسی نمودند و تأکید کردند که توالی پس‌لرزه‌ها برای زمین‌لرزه‌هایی که در مناطق مشابه رخ داده‌اند، رفتار مشابهی را نشان می‌دهند [56]. تیوپکین⁹³ و دیجیووامباتیستا⁹⁴ توزیع مکانی و زمانی لرزه‌خیزی قبل از زمین‌لرزه اومبریا-مار⁹⁵

⁸⁵- Telesca

⁸⁶- Omori

⁸⁷- Aktar

⁸⁸- Kagan

⁸⁹- Marcellini

⁹⁰- Utsu

⁹¹- Dracatos

⁹²- Latussakis

⁹³- Tyupkin

⁹⁴- Digiovambattista

⁹⁵- Umbria- Mar

در ۲۶ سپتامبر ۱۹۹۷ را مطالعه نمودند [52]. گاردنر⁹⁶ و کنوپف⁹⁷ (۱۹۷۴) با استفاده از روش‌های آماری زلزله‌های جنوب کالیفرنیا را از نظر زمانی بررسی کردند [68]. اوچی⁹⁸ و یکوتا⁹⁹ (۱۹۷۶) توزیع مکانی زمین-لرزه‌ها را به صورت توابع دو بعدی و سه بعدی نشان دادند [131]. بنیتو¹⁰⁰ و همکاران (۲۰۰۴) توزیع زمانی و مکانی زمین‌لرزه ۲۰۰۱ سالوادور را مطالعه نمودند [34].

۴-۲- توالی زمین‌لرزه‌ها¹⁰¹

در سال‌های اخیر توجه زیادی به توالی زمین‌لرزه‌ها به عمل آمده است چون می‌توانند درکی از مکانیزم زمین‌لرزه‌ها، اطلاعات زیادی راجع به پوسته زمین، خصوصیات منبع زمین‌لرزه‌های بزرگ و خصوصیات فیزیکی مواد در زون‌های گسلی فراهم کنند [61, 113]. به مجموعه‌ای از زلزله‌های یک منطقه که در مدت زمان خاصی به وقوع می‌پیوندند توالی لرزه‌ای اطلاق می‌گردد (شکل ۴-۱). چندین الگوی لرزه‌خیزی شامل پیش‌لرزه، دسته‌ها و توالی‌های لرزه‌ای وجود دارد. شناسایی این الگوها معمولاً حوادث مهم و تکامل زمانی پدیده‌ها را دنبال می‌کند [56]. پارامترهای مهم توالی لرزه‌ای توزیع مکانی، تعداد کل پس‌لرزه‌ها و کاهش فعالیت با زمان می‌باشند [41]. بزرگ‌ترین زلزله در یک دسته زلزله را زلزله اصلی می‌گویند. زلزله‌های رخ داده قبل از زلزله اصلی پیش‌لرزه و زمین‌لرزه‌هایی که به دنبال زلزله اصلی می‌آید، پس‌لرزه گفته می‌شود. زلزله‌های کوچک با بزرگی مشابه به دسته لرزه‌ها برمی‌گردند [63] و زلزله‌های با بزرگی مشابه زلزله اصلی (± 0.5)، چندتایی¹⁰² گفته می‌شوند [65]. به دلیل این که هیچ اختلاف فیزیکی بین این زلزله‌ها شناخته نشده است، برخی از این طبقه‌بندی‌ها اختیاری هستند. در یک روش دیگر طبقه‌بندی زلزله، فهرست‌های کامل زمین‌لرزه به صورت خانواده لرزه‌ای توصیف می‌شوند، که در یک مدل جهانی اثر متقابل نسبت به هم دارند [49, 189]. در ادامه به توصیف مفصل هر یک از اجزای توالی لرزه‌ای پرداخته می‌شود.

⁹⁶- Gardner

⁹⁷- Knopoff

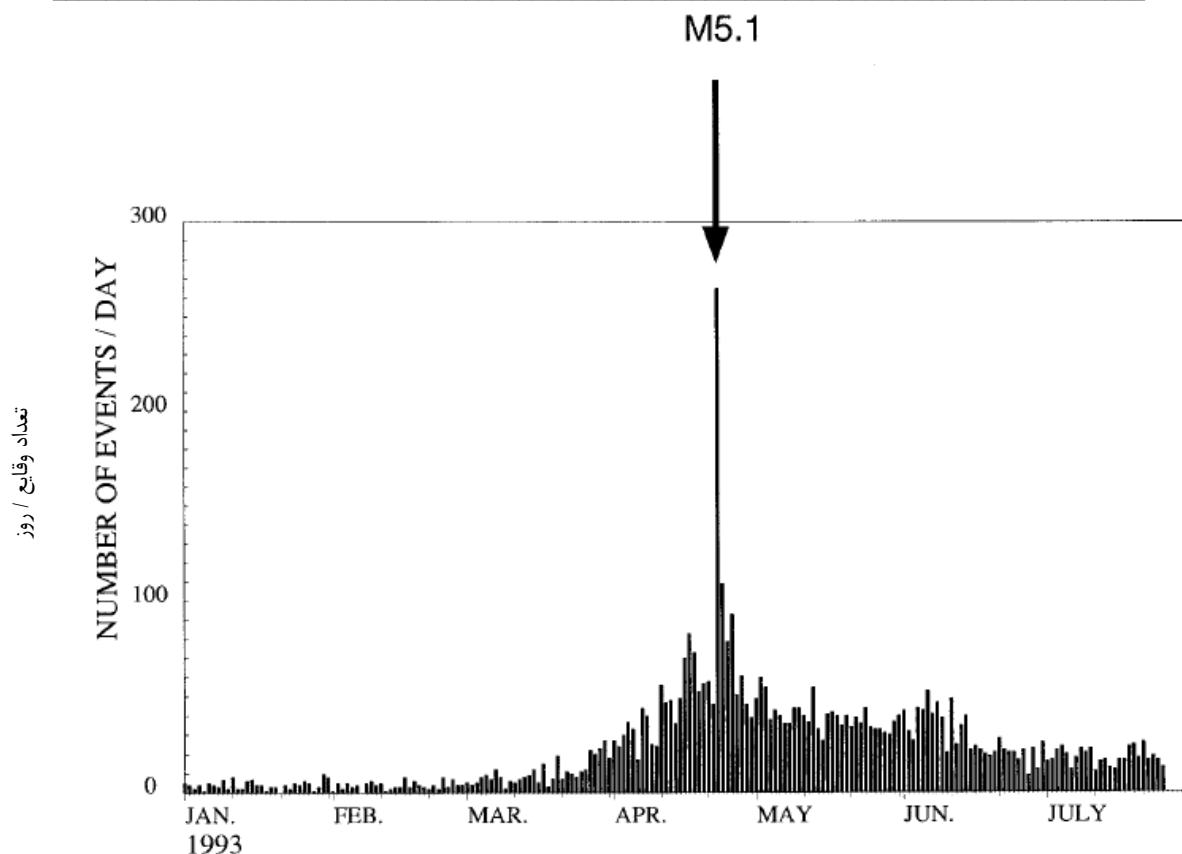
⁹⁸- Ouchi

⁹⁹- Yokota

¹⁰⁰- Benito

¹⁰¹-Earthquake Sequences

¹⁰²- Multiplets



شکل ۴-۱- نمونه‌ای از توالی زمین‌لرزه مربوط به زلزله ناگانو پرفکچر¹⁰³ ژاپن، ۱۹۹۳ [187].

۴-۲-۱- پیش‌لرزه

دسته‌ای از زمین‌لرزه‌هاست که قبل از شوک اصلی رخ داده و انرژی و شدت آن‌ها کمتر از شوک اصلی است و معمولاً فراوانی آن‌ها با نزدیک شدن به زمان وقوع شوک اصلی افزایش می‌یابد [۶]. پیش‌لرزه‌ها نسبت به پس‌لرزه‌ها کم‌ترند و فعالیت‌های متغیری از آن‌ها سر می‌زند. اکثر زمین‌لرزه‌ها با بزرگی مساوی یا بزرگ‌تر از ۷ ریشتر با پیش‌لرزه همراه نمی‌باشند [۱۳]. موجی¹⁰⁴ (۱۹۸۵) الگوی پیش‌لرزه‌ها را به دو نوع ناپیوسته¹⁰⁵ (غیر ممتد) و نوع ممتد¹⁰⁶ (پیوسته) تقسیم بندی نمود. در نوع ناپیوسته فعالیت پیش‌لرزه‌ای در زمان مجزا از توالی زلزله اصلی- پس‌لرزه است. در نوع پیوسته (ممتد) فعالیت تا وقوع زمین‌لرزه اصلی افزایش می‌یابد [121]. فعالیت پیش‌لرزه‌ها عموماً از نوع غیر ممتد است و گزارشات محدودی از نوع ممتد فعالیت پیش‌لرزه‌ای

¹⁰³ - Nagano Prefecture

¹⁰⁴ - Mogi

¹⁰⁵ - Discontinuous

¹⁰⁶ - Continuous

وجود دارد. توالی‌های لرزه‌ای قبل از فوران‌های آتشفشانی [174] و زلزله‌های القایی -سدی موارد استثنا می‌باشند [136].

جونز¹⁰⁷ و مولنار¹⁰⁸ (۱۹۷۹) با بررسی کاتالوگ جهانی فعالیت لرزه‌ای بیان داشتند که احتمال وقوع پیش‌لرزه با زمان به طور تجربی طبق قانون نمایی¹⁰⁹ افزایش می‌یابد [91]:

$$(1-f)n = a(T-t)^{-k}$$

در این معادله، n تعداد زمین‌لرزه‌ها در واحد زمان، t زمان و T زمان زلزله اصلی است. این رابطه مشابه معادله بدست آمده توسط پاپازاچس¹¹⁰ (۱۹۷۳) و توکارو¹¹¹ (۱۹۷۳) است. میزان متغیر k از حدود ۱ [91] تا ۲ [136, 174] گزارش شده است. به اعتقاد بسیاری از دانشمندان فقط تعداد محدودی از توالی‌های پیش‌لرزه‌ای افزایش منظمی از فعالیت به سمت شوک اصلی نشان می‌دهند. فعالیت اکثر پیش‌لرزه‌ها با توزیع نمایی تطابق ندارد. اصطلاح توزیع نمایی اولین بار توسط اُتسو (۱۹۹۹) برای انرژی زمین‌لرزه‌ها بیان گردید [107]. شکل (۲-۴) دو حالت ایده‌آل و واقعی رخداد زلزله اصلی همراه با پیش‌لرزه‌ها را نشان می‌دهد.

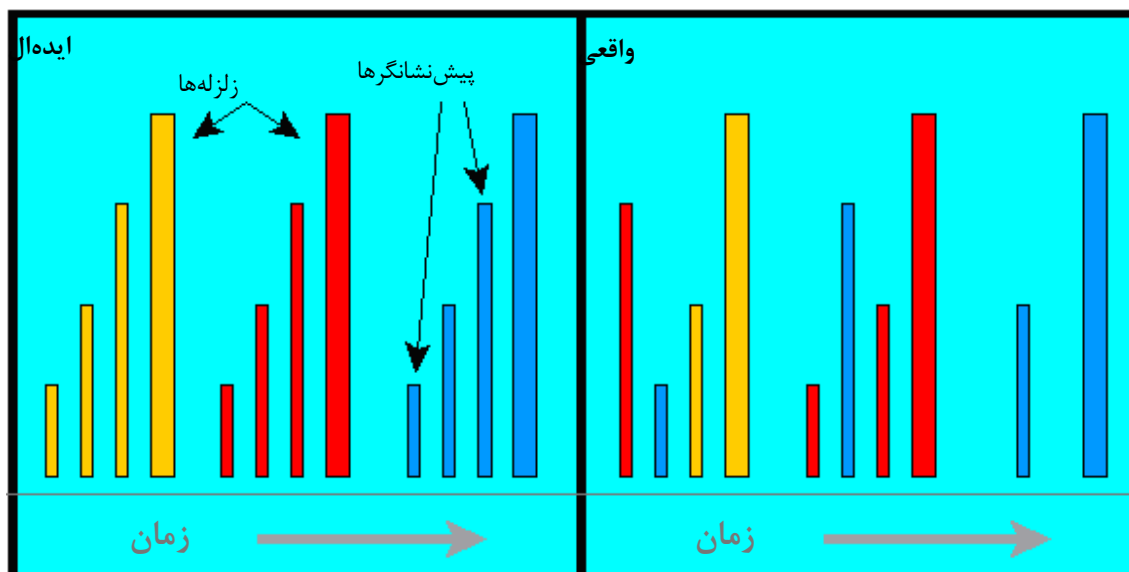
¹⁰⁷- Jones

¹⁰⁸- Molnar

¹⁰⁹- Power law

¹¹⁰- Papazachos

¹¹¹- Tokarev



شکل ۴-۲- طرح رخداد پیش‌لرزه‌ها [60].

۴-۲-۲- شوک اصلی

بزرگ‌ترین حادثه‌ای که در یک دسته زمین‌لرزه به وقوع می‌پیوندد و در طی آن بیشترین انرژی ذخیره شده در سنگ‌ها یکباره آزاد می‌گردد شوک اصلی نامیده می‌شود [۶].

۴-۲-۳- پس‌لرزه‌ها

زمین‌لرزه‌های بزرگ اغلب با پس‌لرزه همراه می‌باشند [125]. پس‌لرزه دسته‌ای از زمین‌لرزه‌هاست که بعد از شوک اصلی رخ داده و انرژی و شدت آن‌ها کمتر از شوک اصلی است و فراوانی آن‌ها با گذشت زمان کاهش می‌یابد [۶].

به اعتقاد موجی (۱۹۸۵) وقتی یک زمین‌لرزه قوی رخ می‌دهد، بخش عمده‌ای از انرژی کرنشی تجمع یافته در ناحیه آزاد می‌شود، اما بخشی از این انرژی نیز باقی مانده و به مرور زمان به صورت پس‌لرزه آزاد می‌شود [121]. چگونگی آزاد شدن این انرژی به صورت پس‌لرزه توسط مدل‌های آماری تعریف شده است [۱۷]. پس‌لرزه‌ها حوادثی می‌باشند که به وضوح از حوادث زمینه بایستی متمایز شوند. در این راه مشکلاتی از جمله عدم توافق بر سر تعریف پس‌لرزه وجود دارد [۱۳]. اُتسو (۱۹۹۱) حوادث پس‌لرزه را به عنوان زمین‌لرزه‌هایی

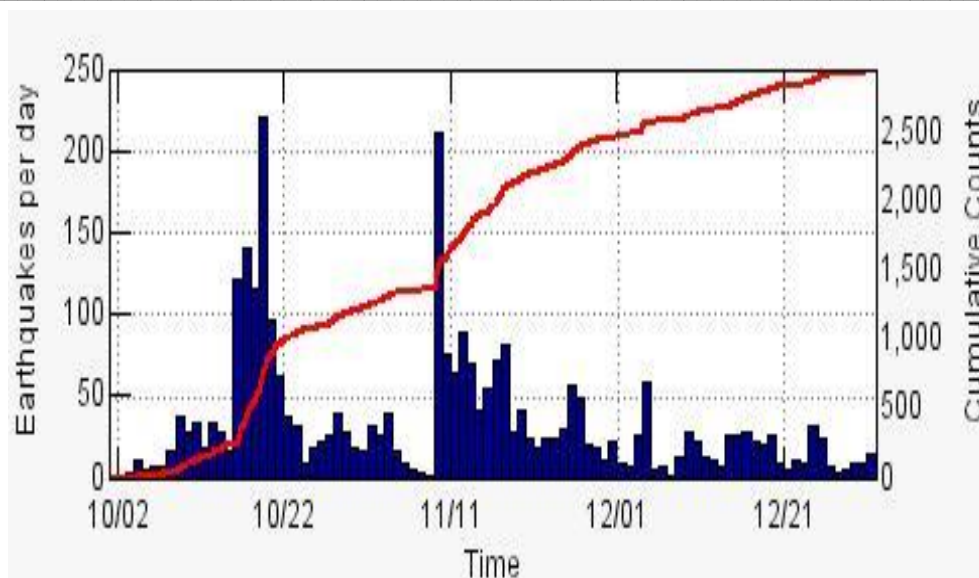
در دسته‌هایی اطراف شوک اصلی تعریف کرد [125]. بیشتر پس‌لرزه‌ها بر روی و یا نزدیک شوک اصلی صفحه گسل و اغلب در ساعات و روزهای بعد از شوک اصلی رخ می‌دهند. بزرگ‌ترین پس‌لرزه‌ها معمولاً بیش از یک واحد بزرگی کوچک‌تر از شوک اصلی می‌باشند و توزیع بزرگی پس‌لرزه‌ها، b نزدیک به ۱ دارند، به طوری که انرژی آزاد شده کل پس‌لرزه‌ها کمتر از ۱۰٪ انرژی شوک اصلی است (پارامتر b در قسمت‌های بعد توضیح داده خواهد شد). فراوانی پس‌لرزه‌هایی که اغلب پس از وقوع شوک اصلی رخ داده‌اند، از توزیع نمایی تبعیت می‌کنند [84].

با استفاده از دو رابطه گوتنبرگ-ریشتر (که توزیع اندازه زمین‌لرزه‌ها را به صورت یک توزیع نمایی بیان می‌کند) و قانون اصلاح شده اُمّری (که شدت کاهش فعالیت پس‌لرزه‌ها را بیان می‌دارد) فعالیت پس‌لرزه‌ها توصیف می‌گردند [61]. ممکن است پس‌لرزه‌ها خودشان باعث ایجاد پس‌لرزه‌های خود شوند که به عنوان پس‌لرزه‌های ثانویه شناخته می‌شوند [146].

۴-۲-۴- فوج زمین‌لرزه‌ها¹¹²

مجموعه‌ای از زلزله‌ها که در یک منطقه محدود در مقطع زمانی در حد یک هفته تا چند ماه به وقوع می‌پیوندد، دسته زمین‌لرزه نامیده می‌شوند (شکل ۳-۴). این لرزش‌ها شوک اصلی واضحی ندارند و معمولاً پس از رسیدن به یک حد بیشینه، به تدریج کاهش می‌یابند [۶]. تعریف دیگری برای دسته‌های لرزه‌ای توسط محققان ارائه شده است. در یک تعریف وقوع متوالی شوک اصلی-پس‌لرزه یک دسته زمین‌لرزه نامیده می‌شود و در تعریف دیگر دسته زمین‌لرزه، مجموعه‌ای از زمین‌لرزه‌هاست که در آن زمین‌لرزه منفرد غالبی وجود ندارد [107].

¹¹² - Earthquake Swarms



شکل ۴-۳- فوج زمین لرزه پارک یلواستون¹¹³ آمریکا، آوریل ۲۰۰۴ [204].

۴-۳- خصوصیات پیش‌لرزه‌ها

توالی‌های پیش‌لرزه‌ای با برخی خصوصیات ویژه مشخص می‌شوند:

روش‌های عددی در بررسی گسیختگی مواد [77, 119, 154]، قبل از گسیختگی اصلی افزایش شتاب خاصی را نشان می‌دهند. مطالعات لرزه‌ای در ژاپن، غرب ایالات متحده، یونان، ایتالیا و سایر نقاط نشان می‌دهد که فعالیت پیش‌لرزه‌ای به طور تقریبی به صورت عکس زمان قبل از زلزله اصلی افزایش می‌یابد [137, 93, 91]. در رابطه بزرگی- فراوانی یا گوتنبرگ- ریشتر (رابطه ۴-۴) پارامتر b کاهش یافته و به طور واضحی در مورد پیش‌لرزه‌ها کمتر از پس‌لرزه‌ها می‌باشد [119, 154, 137, 91, 77, 123]؛ پیش‌لرزه‌ها از ساعت‌ها تا چند ماه و حدود ۱/۵ سال قبل از زلزله اصلی رخ می‌دهند [90, 91, 123, 133, 161]. ممکن است تمامی زلزله‌های اصلی با پیش‌لرزه همراه نباشند. به دلیل کم بودن بزرگی پیش‌لرزه‌ها، معمولاً در لیست‌های استاندارد لرزه‌ای ثبت نمی‌شوند [134].

خصوصیات آماری توالی لرزه‌ای اکتبر- نوامبر ۲۰۰۵ در منطقه ساموس¹¹⁴، شرق دریای اژه، به منظور نشان دادن چگونگی انتخاب معیارهایی برای (۱) برای تشخیص سریع فعالیت پیش‌لرزه‌ای و پس‌لرزه‌ای در

¹¹³- Yellowstone Park

¹¹⁴- Samos

حال پیشرفت و (۲) تشخیص سریع بین فازهای فعالیت پیش‌لرزه‌ای و پس‌لرزه‌ای بررسی شد. وضعیت لرزه‌ای در این منطقه در دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ فقط ۰/۰۷ واقعه/روز بود در حالی که متوسط نرخ لرزه‌خیزی در ابتدای فاز پیش‌لرزه‌ای از ۱۲ اکتبر ۲۰۰۵ تا ۱۷ اکتبر ۲۰۰۵ تا ۶ واقعه/روز افزایش داشت. یعنی این توالی یک افزایش نمایی تعداد وقایع با زمان را دارا بود ولی دو روز قبل از زلزله اصلی این فعالیت کاهش یافت.

در توالی لرزه‌ای اکتبر- نوامبر ۲۰۰۵، مقدار b به دست آمده برای پس‌لرزه‌هایی که به دنبال زلزله اصلی ۲۰ اکتبر آمدند به طور مشخصی بیشتر از پیش‌لرزه‌ها بود. در صورتی که تمام توالی پس‌لرزه‌ای در نظر گرفته شود، اختلاف مهم پس‌لرزه- پیش‌لرزه در مقدار b معتبر نیست، اما اگر تنها قسمتی از توالی پس‌لرزه‌ای مد نظر باشد که در ۲۴ ساعت یا ۴۸ ساعت اولیه بعد از زلزله اصلی ۲۰ اکتبر ۲۰۰۵ رخ داده‌اند، مناسب‌تر می‌باشد. این اختلاف در مقدار b در مورد سایر توالی‌های پیش‌لرزه- پس‌لرزه‌ای باید بیشتر مورد بررسی قرار گیرد زیرا این امر می‌تواند برای تشخیص وقوع زلزله اصلی فقط چند ساعت بعد از وقوع آن به کار رود [134].

۴-۵- خصوصیات پس‌لرزه‌ها

پس‌لرزه‌ها آزاد شدن لرزه‌ای تنش باقی مانده از لرزه اصلی هستند. این لرزه‌ها نشانگر دگر شکلی‌های پی‌آمد لرزه اصلی اند و می‌توانند روشنگر طرح هندسی گسل‌ها و سازوکار آن‌ها در ژرفا باشند. بررسی کهلرزه‌ای¹¹⁵ نواحی با لرزه‌خیزی کم یا متوسط، اطلاعات جالبی در مورد شناسایی گسل‌های جنب و زمین‌ساخت ناحیه نشان می‌دهد.

فوج زیادی از پس‌لرزه‌ها که در پی لرزه اصلی و بزرگ روی می‌دهند، ممکن است قابل مقایسه با لرزه اصلی بوده و حتی مجموعاً بزرگ‌تر از آن باشند. پس‌لرزه‌ها معمولاً نشانگر آزاد شدن انرژی از قسمت‌هایی هستند که به هنگام لرزه اصلی در فشار بوده‌اند. باید یاد آور شد که پس‌لرزه‌ها همیشه در طول گسل زمین‌لرزه اصلی روی نمی‌دهند و ممکن است در راستای گسل‌های مجاور نیز اتفاق بیفتند. علت وجود پس‌لرزه‌ها را به این صورت می‌توان بیان داشت که زلزله اصلی تنش بزرگی را به سیستم پیچیده موجود وارد می‌کند، لذا مناطق داخل منطقه بریدگی و یا مجاور آن ممکن است نیازمند تعادل مجدد با وضعیت استرس جدید در حجم منبع باشد و بنابراین تولید پس‌لرزه‌ها را می‌نماید. پس‌لرزه‌ها به طور معمول درست بعد از لرزش اصلی شروع شده

¹¹⁵ - Micro earthquake

و در میان حجم منبع پراکنده می‌شوند. برای یک زلزله با بزرگی ۷ ریشتر ممکن است هزاران پس‌لرزه کوچک اتفاق بیافتد. به طور کلی بزرگ‌ترین پس‌لرزه معمولاً یک واحد بزرگی کوچک‌تر از لرزه اصلی است (لذا پس‌لرزه‌ها هنوز هم می‌توانند به خاطر خسارت وارده به ساختمان‌ها بر اثر لرزش اصلی کاملاً خطرناک باشند). کل ممان لرزه‌ای رها شده بر اثر یک سری پس‌لرزه به ندرت متجاوز از ۱۰٪ ممان لرزش اصلی است [۲۴].

به طور معمول بسامد وقوع پس‌لرزه‌ها به سرعت کاهش می‌یابد. اُمری¹¹⁶ پس‌لرزه‌ها را در سال‌های ۱۹۳۰ در ژاپن مطالعه کرده و فرمول تجربی را برای فعالیت پس‌لرزه ارائه نمود (رابطه ۴-۲).

$$n = \frac{c}{(k+t)^p} \quad (۴-۲)$$

که n بسامد پس‌لرزه‌ها در زمان t بعد از لرزش اصلی است. c ، k و p ثابت‌هایی هستند که به اندازه زلزله بستگی دارد و مقدار p معمولاً بین ۱/۰ تا ۱/۴ است [۲۴].

توزیع پس‌لرزه‌ها اغلب برای معرفی منطقه گسل مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی سطح گسل از وسعت منطقه پس‌لرزه بعد از ۱ تا ۲ روز تخمین زده می‌شود. این به این دلیل است که گاهی اوقات مناطق پس‌لرزه به طور مداوم برای یک ماه یا بیشتر رشد نموده و احتمالاً شامل گسترش به طرف خارج منطقه بریدگی لرزش است [۲۴]. به‌طور کلی، کانون‌یابی زمین‌لرزه‌ها به روش‌های معمولی دارای خطایی در حدود ۲۰ km است که برای بررسی دگرشکلی قاره‌ها، خطای زیادی می‌باشد. برای کاهش این خطا، استفاده از گسلش سطحی و بررسی پس‌لرزه‌ها بسیار مفید است. پهنه‌ای که در آن پس‌لرزه‌ها روی می‌دهند، نشانگر منطقه دگرشکلی است و از این طریق می‌توان طول بخش جنباشده گسل را به هنگام زمین‌لرزه اصلی بهتر تخمین زد و میزان جنبش به وقوع پیوسته را محاسبه نمود. به اعتقاد بیشتر محققین، توالی زمین‌لرزه‌های مربوط به گسل‌های راستالغز خیلی ساده‌تر از زمین‌لرزه‌های مرتبط با گسل‌های عادی یا راندگی است. در حالی که

¹¹⁶-Omori

زمین‌لرزه‌های مرتبط با گسل‌های رانده و معکوس معمولاً تجمع پیچیده‌ای از کانون سطحی و ژرفی زمین‌لرزه‌ها را در ناحیه وسیعی نشان می‌دهند [۷].

بربریان (۱۹۸۱)، در بررسی پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۱۹۷۸ طبس نشان داد که تقریباً تمامی پس‌لرزه‌های کم خطا زمین‌لرزه ۱۹۷۸ طبس، طرح هندسی گسل زمین‌لرزه‌ای طبس را در سطح زمین پیگیری نموده و در فرادیواره گسل انباشته شده‌اند. این مسأله نشانگر دگرشکلی شدید فرادیواره در گسل‌های رانده است. کانون ژرفی پس‌لرزه‌های کم خطا در ژرفای ۳ تا ۲۳ کیلومتر پخش شده و انباشتگی شدید آن‌ها در ژرفای ۸ تا ۱۴ کیلومتری صورت گرفته است [35].

در زلزله عمیق گودال ماریانا در سال ۱۹۹۵، بیشتر پس‌لرزه‌ها در امتداد و یا خیلی نزدیک به صفحه گسلی زلزله اصلی رخ دادند. این مشاهده مشخص می‌کند که در زلزله‌های عمیق نیز مانند زمین‌لرزه‌های کم عمق، اکثر پس‌لرزه‌ها در امتداد یا خیلی نزدیک به صفحه گسلی زلزله اصلی رخ می‌دهند [147].

برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد که طبیعت پیش‌لرزه‌ها و چندتایی‌ها نسبت به پس‌لرزه‌ها متفاوت است. تحقیقات دیگر مؤید این هستند که بزرگی زلزله ایجاد شده به بزرگی زمین‌لرزه‌ای که آن را تحریک کرده بستگی دارد و بنابراین پس‌لرزه‌ها، چندتایی‌ها و پیش‌لرزه‌ها به طور واقعی یک فرایند رها شدن واحد را نشان می‌دهند. در این مدل وقتی یک زلزله رخ می‌دهد ممکن است لغزشی را روی بخش کوچکی از گسل اطراف کانون عمقی زلزله‌های بعدی ایجاد کند. فراوانی زمین‌لرزه‌های تحریک شده از رابطه زیر به دست می‌آید [106]:

$$(3-4)N = C10^{\alpha M}$$

که M بزرگی زلزله تحریک شده، α و C ضرایب ثابت هستند. در این روش هر زلزله ایجاد شده آن قدر رشد می‌کند تا یک بزرگی تصادفی از رابطه گوتنبرگ-ریشتر (رابطه ۴-۴) انتخاب شود. این مدل رها سازی تک فرایندی برای ساختن مدل‌های آماری لرزه‌ای [84, 127, 94, 181]، برای تجزیه و تحلیل مجموعه لرزه‌ها [48]، به منظور برآورد توزیع پس‌لرزه‌های ثانویه [66] و برای مطالعه پیش‌لرزه‌ها [158, 142] استفاده می‌شود.

۴-۵-۱- رابطه گوتنبرگ-ریشتر

یکی از قدیمی‌ترین و مشهورترین روش برآورد احتمال وقوع زلزله تابع توزیع احتمال گوتنبرگ-ریشتر است. به کمک این رابطه می‌توان دوره بازگشت زلزله‌ها را نیز تعیین کرد. ریشتر و گوتنبرگ در سال ۱۹۴۹ ساده‌ترین رابطه را برای وقوع پس‌لرزه‌ها ارائه کردند. طبق این رابطه آن‌ها بین بزرگی و فراوانی زلزله‌ها یک رابطه منفی در نظر گرفتند، بدین معنا که هر چه بزرگی بیشتر شود، فراوانی آن کمتر می‌گردد [۶]. این چنین رابطه‌ای بین انرژی زلزله و فراوانی آن‌ها نیز وجود دارد، یعنی زلزله‌های بزرگ که انرژی بیشتری را آزاد می‌کنند، تعداد و فراوانی کمتری دارند. این رابطه که به نام فراوانی-بزرگی گوتنبرگ-ریشتر معروف است به صورت کلی زیر نوشته می‌شود:

$$\text{Log } N_{(m)} = a - bM \quad (4-4)$$

رابطه گوتنبرگ-ریشتر چگونگی وقوع لرزه‌خیزی را توصیف می‌کند. شیب نمودار $\text{Log } N_{(m)}$ به M ، مقدار پارامتر b را به دست می‌دهد [۲۷]. در این رابطه M بزرگی، $N_{(m)}$ تعداد حوادث در یک بازه زمانی معین با بزرگی بزرگ‌تر و یا مساوی M ، و a و b ثابت هستند. a و b پارامترهای لرزه‌خیزی نامیده می‌شوند که فعالیت لرزه‌ای و سابقه تکتونیکی منطقه را منعکس می‌کنند و برای هر ناحیه متفاوت می‌باشند. پارامتر a قدرت لرزه‌خیزی را توصیف می‌کند و وابسته به تعداد زمین‌لرزه‌ها در زمان است [76].

با توجه به کارهای انجام شده [142, 48, 66] اگر در رابطه $(4-4)$ ، $a = b$ قرار گیرد، قانون بٲ¹¹⁷ به دست می‌آید، رابطه‌ای تجربی که بیان می‌کند اختلاف بزرگی میانگین بین زلزله اصلی و بزرگ‌ترین پس‌لرزه‌اش به بزرگی شوک اصلی بستگی دارد [32, 66, 177]. به علاوه، مجموعه $a = b$ یا با دقت بیشتر مجموعه $a = b = 1/0$ با مقادیر b مشاهده شده در پس‌لرزه‌های کالیفرنیا و همچنین با مشاهدات تجربی [81] مطابقت دارد، به این معنا که ایجاد پس‌لرزه‌ها به طور مستقیم با منطقه گسلی زلزله اصلی تغییر می‌کند. مقادیر دیگر برای a شامل $0/5$ [49] و $0/8$ [78] است.

¹¹⁷ - Bath

۴-۵-۱-۱- ارزیابی ضریب b

ضریب b یکی از پارامترهای لرزه‌خیزی است که معرف نحوه توزیع زمین‌لرزه‌ها با بزرگی‌های مختلف در منطقه می‌باشد. b عامل اصلی در برآورد توان لرزه‌خیزی است به این ترتیب که هر چه b بزرگ‌تر شود توان لرزه‌خیزی برای زلزله‌های بزرگ کمتر می‌شود [۸]. b رابطه فراوانی زلزله‌های کوچک به بزرگ را نشان می‌دهد [88]. b بزرگ یعنی بخش کوچکی از زمین‌لرزه‌ها با بزرگی‌های بالاتر (زمین‌لرزه‌های بزرگ نادر) رخ می‌دهند، در حالی که b کوچک نشان می‌دهد که بخش بیشتری از زمین‌لرزه‌ها با بزرگی‌های بالا رخ می‌دهند. عوامل زیادی بر روی مقدار b تأثیر می‌گذارند، که از جمله می‌توان به اختلاف فواصل بین بزرگی‌ها [46] و عمق که با افزایش آن پارامتر b افزایش می‌یابد، اشاره کرد [148]. مقدار b برای رژیم‌های تکتونیکی مختلف متفاوت بوده و وابسته به رژیم استرس و ناهمگنی ساختاری است [46, 120]. مقدار آن معمولاً بین ۰/۵ تا ۱/۵ است ولی برای نواحی فعال تکتونیکی ۱ می‌باشد و تغییر در مقدار این پارامتر با توزیع استرس بعد از شوک اصلی مرتبط می‌باشد [53]. پارامتر b تغییرات منظم و قاعده‌داری در دوره قبل از زمین‌لرزه اصلی دارد [۱۳].

پارامتر b به کمک روش کمترین مربعات گوتنبرگ- ریشتر و بیشینه احتمال قابل محاسبه است. روش دوم مقدار b را بهتر از روش اول توصیف می‌کند [112, 53, 44].

- روش بیشینه احتمال

علاوه بر رابطه گوتنبرگ- ریشتر، رابطه دیگری نیز در تعیین پارامتر b وجود دارد که روش بیشینه احتمال می‌باشد، که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$(5-4)b = \text{Log } e/M - M_c$$

در این رابطه، e عدد نپر، M متوسط بزرگی و M_c کوچک‌ترین بزرگی در توالی زمین‌لرزه است [53, 97, 100, 112].

به طور کلی از زمان کاربرد روش ارزیابی احتمال در برآورد پارامترهای وقوع خطر زمین‌لرزه زمان زیادی نمی‌گذرد. این روش توسط کیجکو¹¹⁸ و سلوول¹¹⁹ (۱۹۸۷ و ۱۹۹۰) پایه‌گذاری شد. آن‌ها از این روش برای تخمین پارامترهای لرزه‌خیزی با استفاده از داده‌های دستگاهی و تاریخی در نروژ استفاده کردند [98, 99]. در ایران این روش به طور معمول برای ارزیابی خطر لرزه‌ای در پروژه‌های مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳].

۴-۵-۲- ارتباط بین بزرگی زلزله اصلی و پس‌لرزه بزرگ‌تر

اختلاف بین بزرگی زلزله اصلی و پس‌لرزه بزرگ‌تر به شرایط استرس و ناهمگنی توده سنگی بستگی دارد [157]. طبق قانون بث (۱۹۶۵) برای زلزله‌های کم عمق بزرگ، اختلاف بین بزرگی زلزله اصلی (M_0) و بزرگ‌ترین پس‌لرزه (M_1) برابر با ۱/۲ است یعنی [32]

$$(6-4)M_0 - M_1 = 1.2$$

نتیجه مشابهی توسط پایازاچس (۱۹۷۱) برای ۲۱۶ پس‌لرزه با $M_0 \geq 5$ در یونان به دست آمد [135]. در زلزله ۲۶ ژانویه ۲۰۰۱ بوج که زلزله اصلی بزرگی ۶/۹ و بزرگ‌ترین پس‌لرزه ۵/۷ بود، این قانون به خوبی صدق می‌کند. نسبت این بزرگی‌ها (M_1/M_0) برابر با ۰/۸۹ می‌باشد که واقعاً بالاست [32]. مشاهدات مشابهی برای توالی زلزله‌های کالیفرنیا دیده شده است [75]. در مطالعه‌ای که در هند و کشورهای اطراف آن در خلال سال‌های ۱۹۶۳-۱۹۷۱ انجام شد، مشخص گردید که در ۵۰ درصد موارد بزرگ‌ترین پس‌لرزه تا ۲ ساعت بعد از زلزله اصلی رخ داده و فرکانس وقوع $n(t)$ بزرگ‌ترین پس‌لرزه‌ها به طور قابل توجهی با فواصل t بعد از زلزله اصلی کاهش یافته و از رابطه $n(t) = ct^{-h}$ تبعیت می‌کند که c و t ثابتند. در ۳۰ درصد موارد بزرگ‌ترین پس‌لرزه تا ۱ ساعت بعد از زلزله اصلی رخ داده است. وقوع بزرگ‌ترین پس‌لرزه تا ۲ ساعت بعد از زلزله اصلی در بیشتر جزایر قوسی جهان دیده شده است [43].

¹¹⁸-Kijko

¹¹⁹- Sellevoll

فعالیت پس‌لرزه‌ای یک زلزله به طور کلی به انرژی کل پس‌لرزه‌ها (E_a) نسبت به انرژی لرزه اصلی (E_0) مشخص می‌شود. از آن جایی که M_1 تقریباً با لگاریتم انرژی کل پس‌لرزه متناسب است، اختلاف $M_0 - M_1$ می‌تواند به جای لگاریتم نسبت E_0 به E_a به کار رود [177, 119].

آتسو (۱۹۶۱) نشان داد که اختلاف $M_0 - M_1$ و M_0 برای زلزله‌های کم عمق ژاپن به صورت زیر است:

$$(Y-4) M_0 - M_1 = 4.9 - 0.47M_1$$

در رابطه فوق M_0 زلزله اصلی و M_1 بزرگی بزرگ‌ترین پس‌لرزه می‌باشد [177].

در یونان دارکیپولس¹²⁰ رابطه زیر را به دست آورد [57]:

$$(8-4) M_1 = (1.28 \pm 0.42) + (0.65 \pm 0.06) M_0 \quad \text{برای} \quad M > 5.3$$

$$(9-4) M_1 = (0.05 \pm 0.63) + (0.89 \pm 0.13) M_0 \quad \text{برای} \quad M > 5.2$$

زمان وقوع بزرگ‌ترین پس‌لرزه به بزرگی زلزله اصلی بستگی ندارد. مقدار بالای M_0/M_1 و b که برای زلزله‌های القایی گزارش شده است، در خیلی از زلزله‌های تکتونیکی نیز به خوبی مشاهده شده است [32]. آگاتا¹²¹ (۱۹۸۸ و ۱۹۸۹) بر اساس آنالیز توالی‌های لرزه‌ای پیشنهادات زیر را مطرح نمود:

- وضعیت یک توالی پس‌لرزه‌ای همیشه ثابت است؛

- همه وقایع (شامل پس‌لرزه‌ها) از قانون اُمری تبعیت می‌کنند و می‌توانند پس‌لرزه‌های خود را ایجاد کنند؛

- تعداد پس‌لرزه‌ها فقط تابع شرایط منشأ است [127, 128].

¹²⁰ - Drakopoulos

¹²¹ - Ogata

۴-۵-۳- روند کاهشی فعالیت

توزیع زمانی پس‌لرزه‌های آتسو (۱۹۶۹) با عکس رابطه نمایی

$$(10-4)N(t)=ct^{-h}$$

برای محاسبه ضریب کاهشی h و واحد زمانی t برای یک روز به کار می‌رود. در زمین لرزه ۲۰۰۱ بوج مقدار ثابت کاهشی h برابر با ۰/۹۱ بوده که نشان دهنده کاهش سریع فعالیت لرزه‌ای تکتونیک منطقه می‌باشد [32].

۴-۵-۴- توزیع زمانی¹²² پس‌لرزه‌ها

بیشتر بررسی‌ها بر روی توزیع زمانی پس‌لرزه‌ها از دیدگاه آماری بوده است. اولین بررسی‌ها توسط امری (۱۸۹۴) صورت گرفت. او پس‌لرزه‌هایی که هر روز در ژاپن احساس می‌شدند را مطالعه نمود و عنوان کرد که با گذشت زمان تعداد پس‌لرزه‌ها طبق رابطه زیر کاهش می‌یابد:

$$(11-4)N(t)=k(t+c)^{-1}$$

K و c ضرایب ثابت و t زمان وقوع شوک اصلی است [107, 125]. این رابطه که به قانون امری معروف است، یکی از قوانین تجربی است که به طور گسترده‌ای در مطالعات لرزه‌شناسی استفاده می‌شود. این قانون و فرم اصلاح شده آن به طور وسیعی در مطالعه پس‌لرزه‌ها [190] و در توصیف کاهش توالی پس‌لرزه‌ها [113] استفاده شده‌اند.

آتسو (۲۰۰۲) با بررسی‌های بیشتر بر روی پس‌لرزه‌ها فرمول اصلاح شده امری را ارائه کرد [179].

¹²²-Temporal distribution

$$N(t) = k(t+c)^{-p} \quad (12-4)$$

$N(t)$ تعداد پس‌لرزه‌ها، t زمان وقوع شوک اصلی، k و c ثابت می‌باشند. ضریب ثابت p برای نواحی مختلف فرق دارد و افت فعالیت پس‌لرزه‌ها با گذشت زمان را نشان می‌دهد [88, 38, 53]. با افزایش p ، پس‌لرزه‌ها به سرعت کاهش می‌یابند. نرخ کاهش P معمولاً بین 0.5 تا 2.5 است، اما $p = 1$ برای نواحی فعال تکتونیکی گزارش شده است [38, 53]. ضریب p همچنین به هتروژنی ساختاری، استرس و فشار در پوسته مربوط می‌شود [61, 62]. K به تعداد کل حوادث در توالی بستگی دارد و توزیع مقدار شوک اصلی را منعکس می‌کند [38] و همچنین وابسته به آستانه بزرگی پس‌لرزه‌ها است [88, 38]. c به نرخ فعالیت در توالی بستگی دارد. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که مقدار c در بعضی توالی‌های پس‌لرزه‌ای حتی در کمترین حالت هم صفر نیست [107].

سرعت کاهش پس‌لرزه‌ها در زمان و توزیع فراوانی- بزرگی که به وسیله قوانین تجربی ثابت شده توسط قانون اُمّری و رابطه گوتنبرگ- ریشتر دنبال می‌شود [46]، از یک رابطه نمایی تبعیت می‌کند [138].

۴-۵-۵- توزیع مکانی¹²³ پس‌لرزه‌ها

توزیع مکانی پس‌لرزه‌ها بیانگر بررسی نحوه پراکندگی رومرکز زلزله‌ها می‌باشد. از دیدگاه آماری هر پس‌لرزه به صورت یک نقطه نمایش می‌یابد که همان رومرکز زلزله است. اولین بررسی‌ها توسط اُتسو و سکی¹²⁴ (۱۹۵۵) صورت گرفت که رابطه بین بزرگی زمین‌لرزه M و مساحت ناحیه پس‌لرزه S ، را به دست آوردند [107].

$$\text{Log } S = 1.02 M_m - 4.01 \quad 6 \leq M_m \leq 8.5 \quad (13-4)$$

اُتسو ناحیه مستطیل شکلی را به طول L و عرض W در نظر گرفت و رابطه بین طول ناحیه لرزه‌خیز و بزرگی شوک اصلی را تعیین کرد.

¹²³-Spatial distribution

¹²⁴- Seki

$$\log L = 0.5 M_m - 1.8 \quad (4-14)$$

M_m بزرگی گشتاوری می‌باشد [107].

توزیع مکانی پس‌لرزه‌ها شامل فرضیه‌ایست مبنی بر این که تغییرات استرس در شوک اصلی باعث ایجاد پس‌لرزه می‌شود و با کاهش بزرگی شوک اصلی تعداد پیش‌لرزه‌ها به تعداد پس‌لرزه‌ها نزدیک می‌گردد [158]. با توزیع نمایی می‌توان توزیع مکانی زلزله‌های قبل و بعد از زلزله اصلی را پیدا کرد. توزیع مکانی زمین‌لرزه‌ها به وسیله خوشه‌بندی¹²⁵ توصیف گردیده است. توزیع رومرکز دسته‌های پس‌لرزه، رفتار فرکتال را نشان می‌دهد [125].

۴-۵-۶-۱- پنجره زمانی - مکانی

پنجره زمانی - مکانی گاردنر و کنوپف (۱۹۷۴) یکی از قدیمی‌ترین و آسان‌ترین روش‌ها برای استفاده در فهرست‌های لرزه‌ای ناهمگن می‌باشد [29]. نتایج حاصل از کاربرد این روش خیلی نزدیک به روش ارزیابی جدید ریزنبرگ¹²⁶ است [152]. روش گاردنر - کنوپف یا روش پنجره‌ای که برای شناسایی پس‌لرزه‌ها از زلزله اصلی در پنجره‌های زمانی - مکانی (t_m, g_m, M_m) به کار می‌رود به صورت زیر است:

$$|g_m - g_a| < D_i, M_a < M_m \leq T_i, |g_a - t_m| < t_a < t_m \quad (4-15)$$

که در اینجا t, g و M به ترتیب زمان، مختصات کانون سطحی و بزرگی بوده و a و m نشانه پس‌لرزه و زلزله اصلی می‌باشند. D_i فاصله بین کانون سطحی زلزله اصلی و پس‌لرزه‌های آن می‌باشد. مقادیر حد آستانه برای

¹²⁵ - Clustering

¹²⁶ - Reasenber

T_i و D_i از روش پنجره‌ای برای منطقه گسلی شمال آناتولی ترکیه از طریق روابط تجربی و بصری به دست آمد که در جدول (۱-۴) آمده است. مقادیر حد با افزایش بزرگی زلزله اصلی بیشتر می‌شوند [68].

جدول ۱-۴- مقادیر حد برای T_i و D_i جهت شناسایی پس‌لرزه در روش پنجره‌ای (Gardner and Knopoff, 1974).

M	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
D_i , Km	19.5	22.5	26.0	30.0	35.0	40.0	47.0	54.0	61.0	70.0	81.0	94
T_i , days	6.0	11.5	22.0	42.0	83.0	155.0	290.0	510.0	790.0	915.0	960.0	985.0

۱-۵- مقدمه

مطالعه لرزه‌خیزی ایران و بررسی توزیع زمانی و مکانی پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌های زلزله‌های بزرگ کشور موضوع بسیاری از پژوهش‌های به عمل آمده طی سالیان اخیر بوده است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات زمانی و هاشمی (۱۳۷۹)، حسن‌پور (۱۳۸۰)، محمدیان (۱۳۸۳)، و خانی (۱۳۸۶) اشاره نمود [۱۱، ۱۳، ۱۷، ۲۵]. از طرف دیگر محققان بسیاری به بررسی الگوی رخداد پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌های زلزله‌های بزرگ در بخش‌های مختلف کره زمین پرداخته‌اند که در فصل گذشته اشاره‌ای به آن‌ها شد.

به منظور بررسی بیشتر توالی زمین‌لرزه‌ها در ایران، زلزله‌های اصلی بزرگ‌تر یا مساوی با ۶ ریشتر مربوط به سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی مورد استفاده قرار گرفتند. از میان این زمین‌لرزه‌ها، آن تعداد که داده‌های بیشتر و کامل‌تری داشتند بررسی شد. مشخصات این زلزله‌ها در جدول (۱-۵) نشان داده شده است. با توجه به کم و ناقص بودن اطلاعات پیش‌لرزه‌ها و این که اکثر پیش‌لرزه‌ها از بزرگی کمی برخوردارند و در فهرست‌های استاندارد زمین‌لرزه‌ها ثبت نمی‌شوند، از بررسی آن‌ها چشم‌پوشی گردیده و بنابراین تنها خصوصیات پس‌لرزه‌ها

به عنوان یکی از اجزاء توالی لرزه‌ای مورد بحث قرار می‌گیرد. قابل ذکر است که زلزله‌های قدیمی اطلاعات پس‌لرزه‌ای کاملی نداشتند و در مورد زلزله‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۷ میلادی نیز ممکن است پس‌لرزه‌های آن‌ها تاکنون ادامه داشته باشد. بنابراین پس‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ۴ ریشتر که امکان ثبت آن‌ها در زلزله‌های قدیمی هم بیشتر بوده است، بررسی شده‌اند.

جدول ۵-۱- مشخصات زلزله‌های مورد استفاده برای بررسی توالی پس‌لرزه‌ای.

بزرگ‌ترین پس لرزه	تعداد پس لرزه ها	بزرگی زلزله اصلی	نام	تاریخ
۵/۳	۱۱	۶/۱	درود	۲۰۰۶/۰۳/۳۱
۵/۸	۱۱	۶	قشم	۲۰۰۵/۱۱/۲۷
۵/۲	۱۶	۶/۴	زرنده	۲۰۰۵/۰۲/۲۲
۵/۶	۷	۶	مینودشت	۲۰۰۴/۱۰/۷
۴/۸	۱۰	۶/۳	مازندران	۲۰۰۴/۰۵/۲۸
۵/۲	۱۳	۶/۵	بیم	۲۰۰۳/۱۲/۲۶
۵/۱	۱۰	۶/۵	آوج	۲۰۰۲/۰۶/۲۲
۵/۳	۶۵	۶/۲	فارس	۱۹۹۹/۰۵/۰۶
۵/۶	۳۶	۶/۷	جیرفت	۱۹۹۹/۰۳/۰۴
۶/۷	۳۳	۷/۳	قائن	۱۹۹۷/۰۵/۱۰
۵/۶	۶	۶/۱	اردبیل	۱۹۹۷/۰۲/۲۸
۵/۲	۱۲	۶/۸	بجنورد	۱۹۹۷/۰۲/۰۴
۶	۷	۶/۱	زابل	۱۹۹۴/۰۲/۲۳
۵/۶	۱۵	۶/۷	هرمزگان	۱۹۹۰/۱۱/۰۶
۵/۸	۳۷	۷/۷	منجیل	۱۹۹۰/۰۶/۲۰
۵/۱	۲۶	۷/۱	بافت	۱۹۸۱/۰۷/۲۸
۵/۵	۵۹	۷/۴	طیس	۱۹۷۸/۰۹/۱۶
۵/۸	۳۳	۶/۹	بندر عباس	۱۹۷۷/۰۳/۲۱
۵/۱	۲۹	۶/۱	قیر و کارزین	۱۹۷۲/۰۴/۱۰

۱۹۶۲/۰۹/۱	بوین زهرا	۷	۹	۵/۵
-----------	-----------	---	---	-----

۵-۲- رابطه بزرگی - فراوانی

توزیع بزرگی - فراوانی زلزله‌ها توسط رابطه گوتنبرگ - ریشتر (رابطه ۴-۴) به خوبی بیان شده است. در جدول (۵-۲) بزرگی و فراوانی پس‌لرزه‌های هر کدام از زلزله‌های مورد مطالعه به همراه لگاریتم فراوانی آن‌ها نشان داده شده است.

۵-۲-۱- تعیین پارامتر a و b به روش گوتنبرگ - ریشتر

جهت محاسبه پارامتر a و b پس‌لرزه‌ها دسته‌بندی شده و فراوانی تجمعی آن‌ها محاسبه گردید (جدول ۵-۲) و سپس ضرایب لرزه خیزی a و b به دست آمد (شکل ۵-۱ و جدول ۵-۳). زمین‌لرزه‌های ایران مرکزی از بزرگی و پارامتر a و b بیشتری نسبت به سایر زون‌های تکتونیکی برخوردارند.

جدول ۵-۲- بزرگی و فراوانی زمین‌لرزه‌ها.

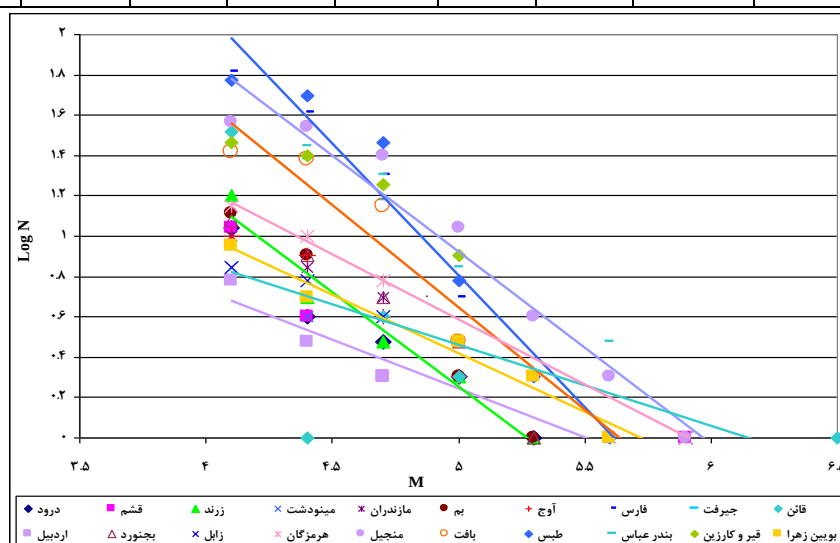
M	N	Log N	4.4	8	0.903	M	N	Log N	M	N	Log N
درود			4.7	2	0.301	4.4	3	0.477	5.6	2	0.301
4.1	11	1.041	5	2	0.301	4.7	2	0.301	5.9	1	0
4.4	4	0.602	5.3	1	0	5	1	0	باغت		
4.7	3	0.477	آوج			5.3	1	0	4.1	26	1.415
5	2	0.301	4.1	10	1	5.6	1	0	4.4	24	1.38
5.3	1	0	4.4	8	0.903	بجنورد			4.7	14	1.146
قشم			4.7	4	0.602	4.1	12	1.079	5	3	0.477
4.1	11	1.041	5	2	0.301	4.4	8	0.903	طیس		
4.4	4	0.602	فارس			4.7	5	0.699	4.1	59	1.771
4.7	2	0.301	4.1	65	1.813	5	3	0.477	4.4	50	1.699
5	1	0	4.4	41	1.613	5.3	1	0	4.7	29	1.462

5.3	1	0	4.7	20	1.301	زابل			5	6	0.778
5.6	1	0	5	5	0.699	4.1	7	0.845	5.3	2	0.301
5.9	1	0	5.3	2	0.301	4.4	6	0.778	5.6	1	0
زرنند			جیرفت			4.7	4	0.602	بندر عباس		
4.1	16	1.204	4.1	36	1.556	5	1	0	4.4	33	1.519
4.4	5	0.699	4.4	24	1.38	5.3	1	0	4.7	28	1.447
4.7	3	0.477	4.7	15	1.176	5.6	1	0	5	20	1.301
5	2	0.301	5	11	1.041	5.9	1	0	5.3	7	0.845
5.3	1	0	5.3	4	0.602	هرمزگان			5.6	3	0.477
مینودشت			5.6	1	0	4.1	14	1.146	5.9	3	0.477
4.1	7	0.845	قائن			4.4	10	1	قیر و کارزین		
4.4	4	0.602	4.1	33	1.519	4.7	6	0.778	4.1	29	1.462
4.7	3	0.477	4.4	1	0	5	1	0	4.4	25	1.398
5	3	0.477	4.7	4	0.602	5.3	1	0	4.7	18	1.255
5.3	1	0	5	2	0.301	5.6	1	0	5	8	0.903
5.6	1	0	5.3	1	0	5.9	1	0	بویین زهرا		
مازندران			5.6	1	0	منجیل			4.1	9	0.954
4.1	10	1	5.9	1	0	4.1	37	1.568	4.4	5	0.699
4.4	7	0.845	6.2	1	0	4.4	35	1.544	4.7	3	0.477
4.7	5	0.699	6.5	1	0	4.7	25	1.398	5	3	0.477
بم			اردبیل			5	11	1.041	5.3	2	0.301
4.1	13	1.114	4.1	6	0.778	5.3	4	0.602	5.6	1	0

جدول ۵-۳- پارامتر a و b تعیین شده برای زلزله‌های اصلی.

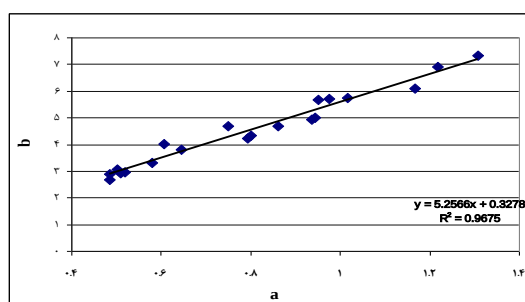
نام	درود	قشم	زرنند	مینودشت	مازندران	بم	آوج	فارس	جیرفت	قائن
M	۶/۱	۶	۶/۴	۶	۶/۳	۶/۵	۶/۵	۶/۲	۶/۷	۷/۳
a	۴/۲۱۹	۲/۹۱۸۵	۴/۹۳۲۶	۲/۹۵۹	۳/۰۵۵۶	۵/۰۱۳۱	۴/۳۲۸۴	۶/۸۹۸	۵/۶۹۴۲	۲/۴۶۷۷
b	۰/۷۹۴	۰/۵۰۹۴	۰/۹۳۵۴	۰/۵۱۹	۰/۵۰۱۷	۰/۹۴۳۳	۰/۷۹۹۳	۱/۲۱۸	۰/۹۷۶۳	۰/۴۰۱۵
نام	اردبیل	بجنورد	زابل	هرمزگان	منجیل	بافت	طبرس	بندر عباس	قیر و کارزین	بویین زهرا
M	۶/۱	۶/۸	۶/۱	۶/۷	۷/۷	۷/۱	۷/۴	۶/۹	۶/۱	۷
a	۲/۶۶۴۶	۴/۶۸۰۵	۲/۸۷۶۵	۳/۸۱۷	۵/۶۷۶	۵/۷۲۶۹	۷/۳۴۴۹	۴/۶۸۳	۴/۰۱۵۹	۳/۳۱۱۳

b	۰/۴۸۴۱	۰/۸۶۱۴	۰/۴۸۵۹	۰/۶۴۶	۰/۹۵۰۸	۱/۰۱۵۹	۱/۳۰۷۸	۰/۷۴۹	۰/۶۰۶۹	۰/۵۷۸۹
----------	--------	--------	--------	-------	--------	--------	--------	-------	--------	--------

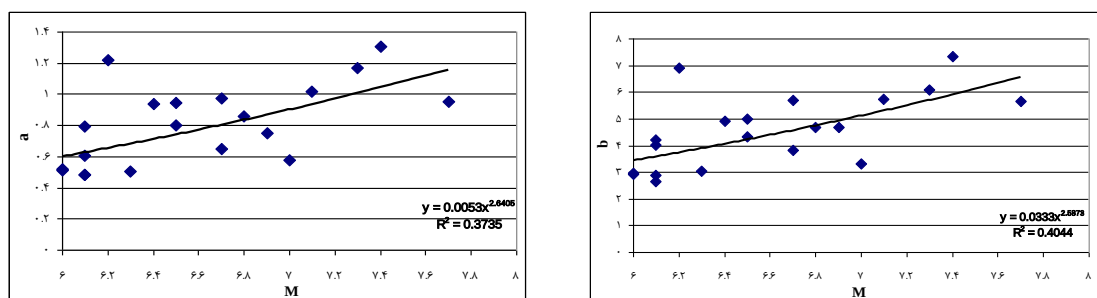


شکل ۵-۱- نمودار فراوانی- بزرگی جهت تعیین پارامتر a و b برای زلزله‌های مختلف.

طبق رابطه گوتنبرگ- ریشتر با افزایش بزرگی پارامتر a و b افزایش می‌یابد. b بالا نشان‌دهنده افزایش تعداد زلزله‌های با بزرگی کوچک می‌باشد (زاگرس) و b پایین نمایانگر تعداد زلزله‌های کم با بزرگی زیاد هستند (ایران مرکزی) (شکل ۵-۲، ۵-۳ و ۵-۴).



شکل ۵-۲- نسبت بین ضرایب a و b.



شکل ۵-۳- نسبت بین پارامترهای a و b و بزرگی زلزله.

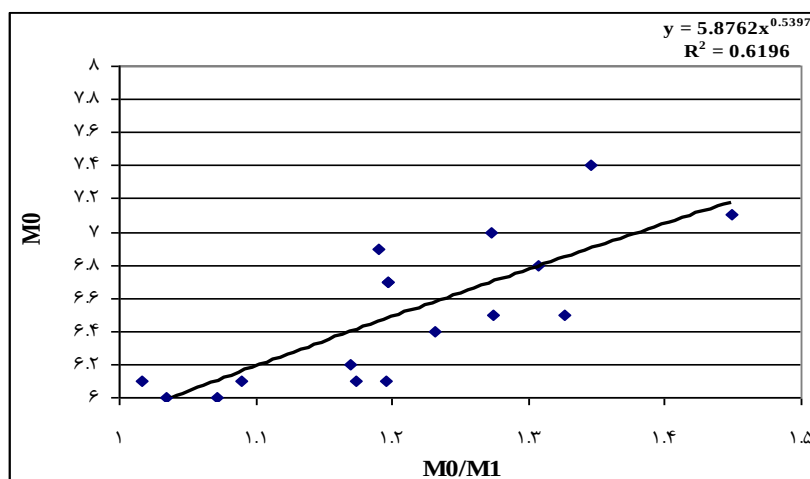
۵-۳- رابطه بین بزرگی‌های زلزله اصلی و بزرگ‌ترین پس‌لرزه

در جدول (۵-۴) اختلاف و نسبت بین بزرگی‌های زلزله اصلی (M_0) و بزرگ‌ترین پس‌لرزه (M_1) برای زمین‌لرزه‌های مورد بررسی محاسبه شده است. مشاهده می‌شود که اختلاف بزرگی‌ها در بیشتر موارد بزرگ‌تر از ۱ است که حاکی از تکتونیکی بودن زمین‌لرزه‌هاست. همچنین مقدار این اختلاف در زلزله‌های پهنه زاگرس حدود ۱ و در البرز و ایران مرکزی بیش از ۱ می‌باشد. در زاگرس تعداد زلزله‌ها بیشتر و بزرگی آن‌ها نسبت به زلزله‌های ایران مرکزی کمتر است. به عبارت دیگر در پهنه زاگرس انرژی به صورت تدریجی تخلیه شده و وجود لایه‌های نمکی از شدت زمین‌لرزه‌ها می‌کاهد در صورتی که در زون ایران مرکزی تعداد زلزله‌ها کم و بزرگی آن‌ها زیاد می‌باشد. بر اساس رابطه فوق برای یک زلزله ۷ ریشتری انتظار می‌رود بزرگ‌ترین پس‌لرزه آن بزرگی حداقل ۵ داشته باشد.

شکل (۵-۴) رابطه بین بزرگی زلزله اصلی و نسبت M_0/M_1 را نشان می‌دهد. ارتباط نمایی آن‌ها با یکدیگر در شکل مشخص است.

جدول ۵-۴- اختلاف و نسبت بین بزرگی‌های زلزله اصلی و بزرگ‌ترین پس‌لرزه.

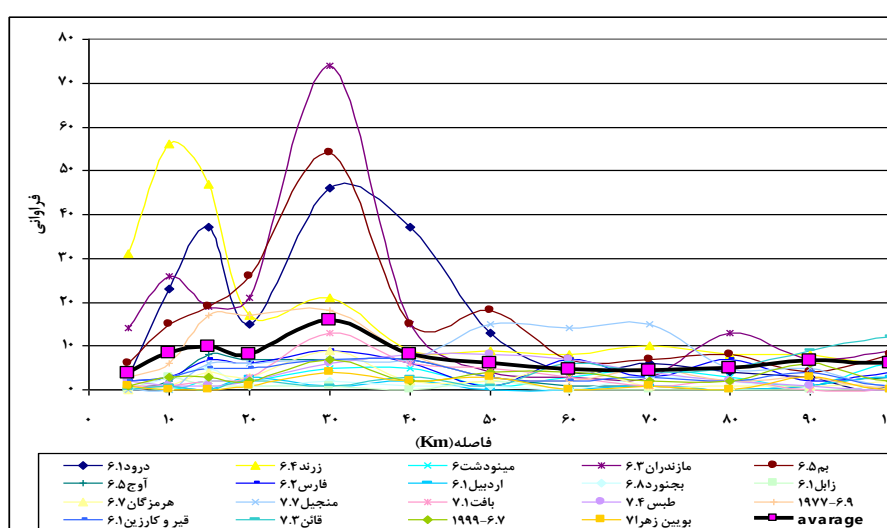
نام	درو	قشم	زرن	مینودشت	مازندران	بم	آوج	فارس	جیرفت	قائن	میانگین
M_0-M_1	۰/۹	۰/۲	۱/۲	۰/۴	۱/۵	۱/۳	۱/۴	۰/۹	۱/۱	۰/۶	
M_0/M_1	۱/۱۷	۱/۰۳	۱/۲۳	۱/۰۷	۱/۳۱	۱/۲	۱/۲۷	۱/۱۷	۱/۲۰	۱/۰۹	M_0-M_1
نام	اردبیل	بجنورد	زابل	هرمزگان	منجیل	بافت	طبرس	بندر عباس	قیر و کارزین	بویین زهرا	۱/۱۱
M_0-M_1	۰/۵	۱/۶	۰/۱	۱/۱	۱/۹	۲	۱/۹	۱/۱	۱	۱/۵	M_0/M_1
M_0/M_1	۱/۰۹	۱/۳۱	۱/۰۲	۱/۲۰	۱/۳۳	۱/۲	۱/۳۵	۱/۱۹	۱/۲۰	۱/۲۷	۱/۲۶



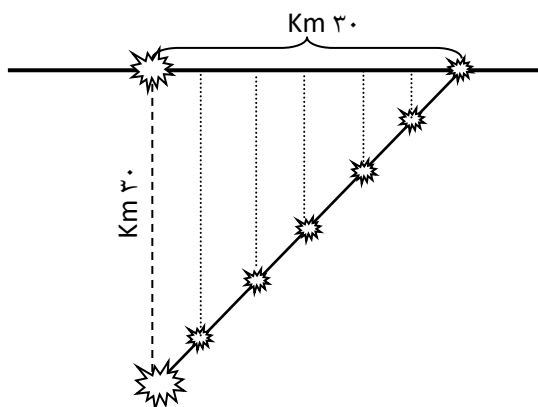
شکل ۵-۴- رابطه بین بزرگی زلزله اصلی و نسبت M_1/M_0 .

۵-۴- فراوانی پس‌لرزه‌ها نسبت به فاصله از کانون سطحی زلزله

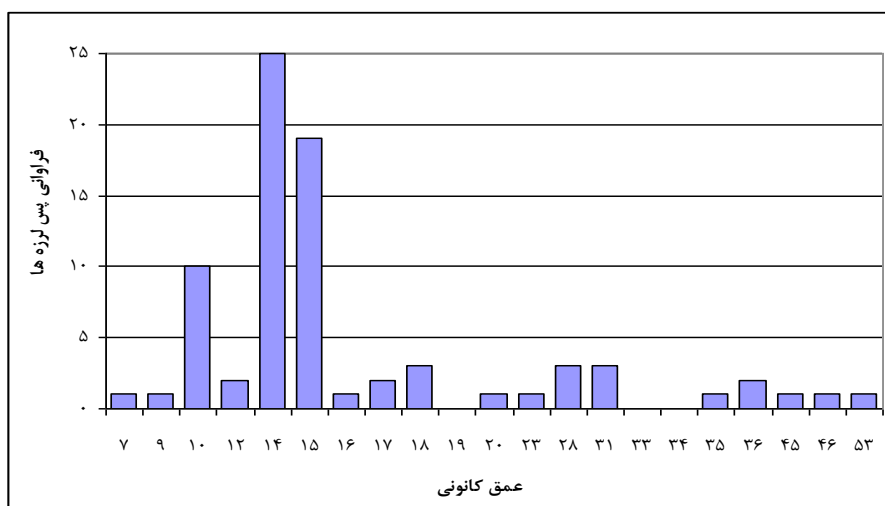
در شکل (۵-۵) ملاحظه می‌شود که بیشترین تعداد پس‌لرزه‌ها در حدود ۳۰ کیلومتری از مرکز سطحی زلزله رخ داده‌اند. با فرض این که پس‌لرزه‌ها از روند سطح گسل تبعیت نمایند، انتظار می‌رود بیشتر پس‌لرزه‌ها در محدوده عمق کانونی زلزله و تصویر گسل قرار داشته باشند (شکل ۵-۶). رابطه بین عمق کانونی با تعداد پس‌لرزه‌ها در شکل (۵-۷) نشان داده شده است. با توجه به این نکته که عمق کانونی ۳۳ کیلومتر به عنوان پیش فرض به کار می‌رود، داده‌های مربوط به این عمق حذف گردید.



شکل ۵-۵- نسبت فراوانی پس‌لرزه‌ها به فاصله از کانون سطحی زلزله.



شکل ۵-۶- نمایش محدوده بیشترین وقوع پس‌لرزه‌ها.

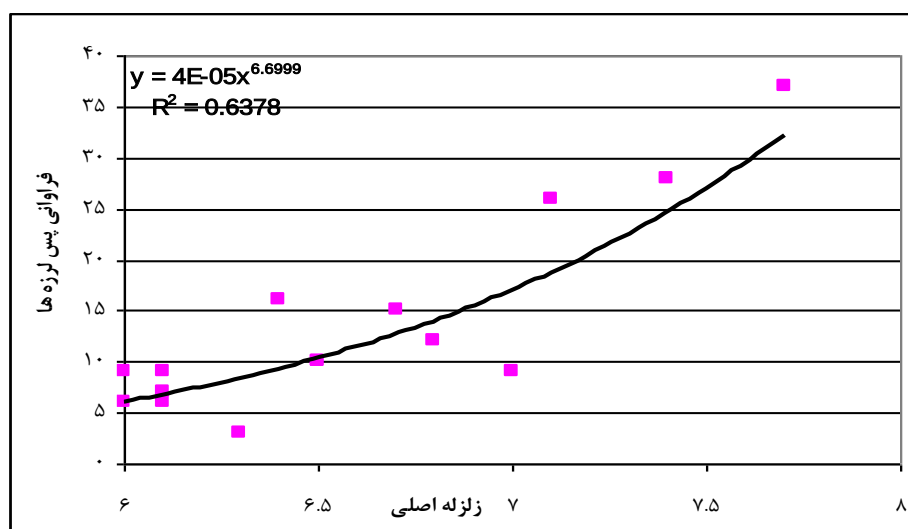


شکل ۵-۷- رابطه بین عمق کانونی و فراوانی پس‌لرزه‌ها.

۵-۵- رابطه فراوانی پس‌لرزه‌ها نسبت به زلزله اصلی

بین فراوانی پس‌لرزه‌ها نسبت به زلزله اصلی رابطه‌ی نمایی وجود دارد (شکل ۵-۸) که گویای این امر است که با افزایش بزرگی زلزله اصلی، فراوانی پس‌لرزه‌ها بیشتر می‌شود. برای یک زلزله ۶ ریشتری تا ۱۰ پس‌لرزه بزرگ‌تر یا مساوی با ۴ و برای زلزله ۷ تا ۷/۵ ریشتری وقوع ۲۳ تا ۳۷ پس‌لرزه بیشتر از ۴ ریشتر انتظار می‌رود.

در شکل (۵-۸) تعداد معدودی از زمین‌لرزه‌هایی که انحراف بیشتری نسبت به سایر زلزله‌ها داشتند، حذف گردیده است.



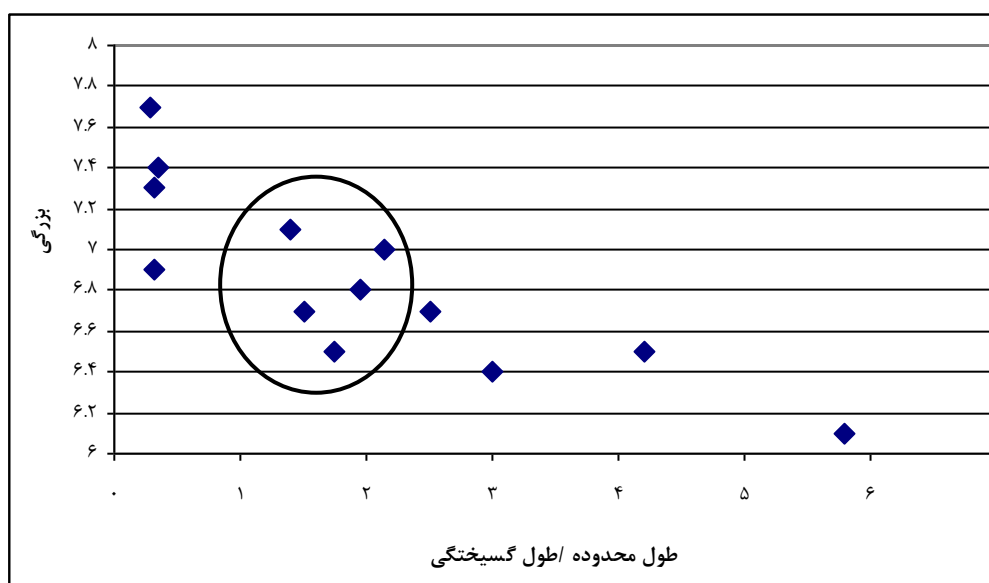
شکل ۵-۸- نسبت بین بزرگی زلزله اصلی و فراوانی پس‌لرزه‌ها.

۵-۶- توزیع مکانی و زمانی پس‌لرزه‌ها

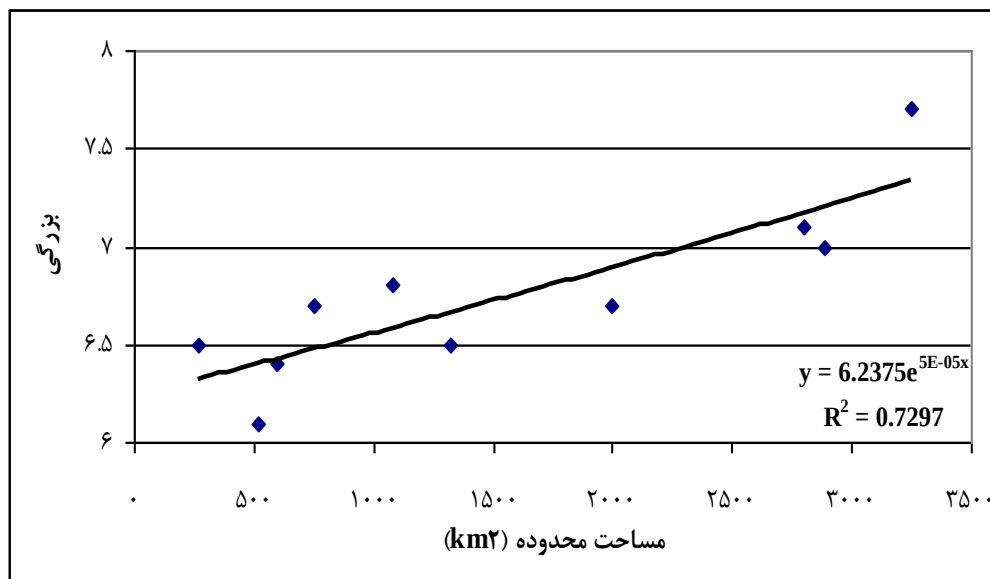
در جدول (۵-۵) مشخصات محدوده توزیع پس‌لرزه‌ها ارائه شده است. میانگین طول محدوده توزیع پس‌لرزه‌ها به طول گسیختگی، $1/96$ و میانگین نسبت طول به عرض محدوده، $1/67$ می‌باشد (شکل ۵-۹). مقادیر بیشتر از میانگین طول محدوده به طول گسیختگی پس‌لرزه‌ها، در زلزله‌های با بزرگی کمتر دیده می‌شود که دلیل آن گسیختگی کم در یک قسمت مشخص از گسل و پراکنده بودن پس‌لرزه‌ها در بخش‌های مختلف می‌باشد. مقادیر کمتر از مقدار میانگین که در بزرگی‌های بالا دیده می‌شود را می‌توان به کم بودن این گونه زلزله‌ها و اطلاعات آن‌ها نسبت داد. در شکل (۵-۱۰) نسبت بزرگی زلزله اصلی به محدوده توزیع پس‌لرزه‌ها نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش بزرگی زلزله اصلی، مساحت محدوده توزیع پس‌لرزه‌ها افزایش می‌یابد. طول گسیختگی بر اساس رابطه تجربی بین بزرگی و طول گسلش تعیین شده است.

جدول ۵-۵- مشخصات محدوده توزیع پس‌لرزه‌ها در زلزله‌های اصلی.

طول محدوده/طول گسیختگی	طول گسیختگی	مساحت Km^2	طول / عرض	عرض محدوده Km	طول محدوده Km	بزرگی زلزله اصلی	
۲/۱۴	۳۹/۸۱	۲۸۹۰	۲/۵۰	۳۴	۸۵	۷	بومین زهرا
۰/۳۲	۳۱/۶۲	۱۰۰	۱/۰۰	۱۰	۱۰	۶/۹	بندر عباس
۰/۳۵	۱۰۰/۰۰	۵۲۵	۲/۳۳	۱۵	۳۵	۷/۴	طبس
۱/۴۰	۵۰/۱۲	۲۸۰۰	۱/۷۵	۴۰	۷۰	۷/۱	گلباف- سیرچ
۰/۲۸	۱۹۹/۵۳	۳۲۴۸	۰/۹۷	۵۸	۵۶	۷/۷	منجیل
۲/۵۱	۱۹/۹۵	۲۰۰۰	۱/۲۵	۴۰	۵۰	۶/۷	هرمزگان
۵/۷۹	۵/۰۱	۵۲۲	۱/۶۲	۱۸	۲۹	۶/۱	زابل
۱/۹۵	۲۵/۱۲	۱۰۷۸	۲/۲۳	۲۲	۴۹	۶/۸	بجنورد
۰/۳۱	۷۹/۴۳	۴۵۰	۱/۳۹	۱۸	۲۵	۷/۳	قائن
۱/۵۰	۱۹/۹۵	۷۵۰	۱/۲۰	۲۵	۳۰	۶/۷	جیرفت
۱/۷۵	۱۲/۵۹	۲۶۴	۱/۸۳	۱۲	۲۲	۶/۵	آوج
۴/۲۱	۱۲/۵۹	۱۳۳۵	۲/۱۲	۲۵	۵۳	۶/۵	بم
۳	۱۰/۰۰	۶۰۰	۱/۵۰	۲۰	۳۰	۶/۴	زرنند
۱/۹۶	۴۶/۵۹	۱۲۷۳/۲۳	۱/۶۷	۲۵/۹۲	میانگین		

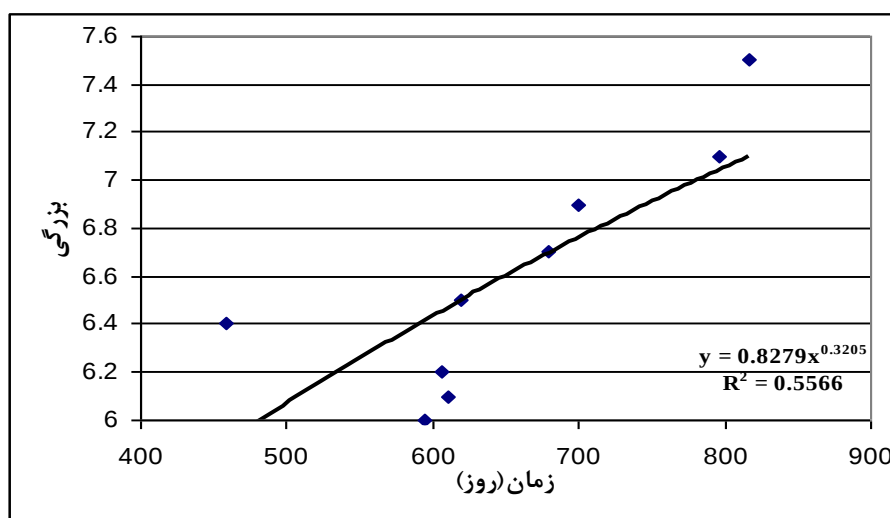


شکل ۵-۹- نسبت بین بزرگی زلزله اصلی و طول محدوده/طول گسیختگی پس‌لرزه‌ها.



شکل ۵-۱۰- نسبت بین بزرگی زلزله اصلی و فراوانی پس‌لرزه‌ها.

در شکل (۵-۱۱) رابطه بین بزرگی زلزله اصلی نسبت به مدت زمان وقوع پس‌لرزه‌های آن‌ها نشان داده شده است. رابطه‌نمایی بین بزرگی زلزله اصلی و کاهش پس‌لرزه‌ها در زمان به چشم می‌خورد. با افزایش بزرگی زلزله، مدت دوام پس‌لرزه‌ها افزایش می‌یابد. برای زلزله‌های ۶ تا ۷ ریشتری از حدود یک سال و نیم تا دو سال بعد از وقوع زلزله، پس‌لرزه‌ها ادامه دارند و در زلزله‌های بزرگ‌تر از ۷ ریشتر این زمان تا بیش از دو سال امتداد پیدا می‌کند (جدول ۵-۶).



شکل ۵-۱۱- نسبت بین بزرگی زلزله اصلی و مدت دوام پس‌لرزه‌های آن‌ها.

جدول ۵-۶- مدت دوام پس‌لرزه‌ها برای بزرگی‌های مختلف.

بزرگی	۶	۶/۱	۶/۲	۶/۴	۶/۵	۶/۷	۶/۹	۷/۱	$\leq 7/5$
زمان (روز)	۵۹۵	۶۱۱	۶۰۶	۴۵۹	۶۲۰	۶۷۹	۷۰۰	۷۹۶	۸۱۶

در مطالعه حاضر دو موضوع مهم اثر کشش ماه و خورشید در زمان وقوع زمین‌لرزه‌های ایران و نیز خصوصیات پس‌لرزه‌های برخی از زلزله‌های بزرگ کشور در محدوده زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا داده‌های لرزه‌ای از وبگاه پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله استخراج گردید و با بررسی آماری بر روی داده‌ها، توزیع فراوانی زلزله‌ها، بزرگی و عمق کانونی آن‌ها در طول سال، فصول و ساعات مختلف شبانه روز ارزیابی شد. همچنین توالی پس‌لرزه‌ای تعدادی از زمین‌لرزه‌های بزرگ نیز مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بررسی حاضر را می‌توان در چند سطر زیر خلاصه کرد:

- ۱- در زمین‌لرزه‌های رخ داده در ایران و پیرامون آن اثر جاذبه ماه و خورشید به خوبی مشهود است.
- ۲- بیشترین وقوع زلزله‌ها در فصل بهار (اعتدال بهاری) می‌باشد. علت این امر نزدیک‌تر بودن زمین به خورشید در این فصل بوده که چنانچه ماه نیز با زمین و خورشید در یک راستا قرار بگیرد، منجر به ایجاد جزر و مدهای بهاری و زلزله‌های بزرگ می‌شود.
- ۳- اوایل و اواخر ماه قمری جزء روزهای پر خطر از نظر وقوع زلزله در ایران است که دلیل آن قرار گیری ماه و خورشید هر دو در یک سمت زمین بوده و در نتیجه زمین تحت جاذبه این دو واقع می‌شود، همچنین در وسط ماه قمری و تربیع اول و آخر نیز نرخ وقوع زمین‌لرزه‌ها بالاست.
- ۴- ساعات پایانی شب، اوایل بامداد و غروب خورشید جزء ساعات بحرانی در کشور محسوب شده که بایستی در بحث مدیریت بحران در نظر داشت.
- ۵- در طی فصول، ماه، روزهای قمری و ساعاتی که به عنوان پر خطر معرفی شدند، بزرگی زمین‌لرزه‌ها بیشتر بوده و عمق کانونی آن‌ها کمتر می‌باشد.
- ۶- بیشترین زمان رخداد زمین‌لرزه‌های ایران با زمان بیشترین و کمترین کشش اعمال شده توسط ماه و خورشید منطبق است.
- ۷- در زون‌های تکتونیکی زاگرس، البرز و ایران مرکزی نیز بیشترین وقوع زلزله‌ها در اوایل و اواخر ماه است، که بسته به مختصات جغرافیایی، روند و سازوکار گسل‌ها، اختلافاتی در هر کدام دیده می‌شود.

۸- ساعت بیشترین وقوع زمین‌لرزه در سه پهنه فوق، اواخر شب و اوایل بامداد بوده که در مورد ایران مرکزی و زاگرس در حوالی ظهر نیز یک بیشینه به چشم می‌خورد.

۹- در پهنه‌های مختلف تکتونیکی، بردار برآیند نیروها عموماً عمود بر راستای گسل می‌باشد.

۱۰- تغییرات دو مؤلفه EW و Z در هر سه زون بیشتر بوده ولی در طول روزهای مختلف ماه قمری اختلافاتی دارند به نوعی که مقدار مؤلفه EW در زاگرس در اوایل، اواسط و اواخر ماه، مثبت بوده در حالی که در ایران مرکزی در اواسط ماه دارای مقادیر منفی، و در البرز، اواخر هفته اول و اوایل هفته دوم کمترین مقدار را دارا می‌باشد.

بررسی فراوانی پس‌لرزه‌ها در ایران نشان می‌دهد که:

۱- اختلاف بین بزرگی زلزله اصلی و بزرگ‌ترین پس‌لرزه در اکثر موارد بیشتر از ۱ است که طبق قانون $M_0-M_1=1.2$ تکتونیکی بودن زمین‌لرزه‌ها را نشان می‌دهد.

۲- مقدار این اختلاف در زلزله‌های پهنه زاگرس حدود ۱ و در البرز و ایران مرکزی بیش از ۱ می‌باشد. یعنی انتظار می‌رود بزرگ‌ترین پس‌لرزه زلزله‌های زاگرس حداقل یک واحد بزرگی کوچک‌تر از زلزله اصلی، و در البرز و ایران مرکزی تا دو واحد کمتر باشند.

۳- زمین‌لرزه‌های ایران مرکزی از بزرگی و پارامتر a و b بیشتری نسبت به سایر زون‌های تکتونیکی برخوردارند.

۴- بیشترین تعداد پس‌لرزه‌ها در حدود ۳۰ کیلومتری از مرکز سطحی زلزله یعنی در محدوده عمق کانونی زلزله و تصویر گسل رخ داده‌اند.

۵- با افزایش بزرگی زلزله اصلی، تعداد پس‌لرزه‌های آن افزایش یافته، مساحت محدوده توزیع پس‌لرزه‌ها زیاد شده و مدت زمان دوام پس‌لرزه‌ها بیشتر می‌شود.

۶- با افزایش بزرگی زلزله، مدت دوام پس‌لرزه‌ها افزایش می‌یابد. برای زلزله‌های ۶ تا ۷ ریشتری از حدود یک سال و نیم تا دو سال بعد از وقوع زلزله، پس‌لرزه‌ها ادامه دارند و در زلزله‌های بزرگ‌تر از ۷ ریشتر این زمان تا بیش از دو سال امتداد پیدا می‌کند.

با توجه به نتایج ارائه شده پیشنهادات زیر عنوان می‌شود:

- ۱- نصب دستگاه‌های لرزه‌نگار در شهرهای مختلف به منظور ثبت اطلاعات لرزه‌ای خفیف جهت تشخیص پیش‌لرزه و پس‌لرزه‌ها و پیگیری زمان وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر بعدی.
- ۲- هشدار به مسئولین در مورد بازه‌های زمانی خطرناک وقوع زلزله و آمادگی ارگان‌های مسئول در طول بازه‌های پر خطر زمانی.

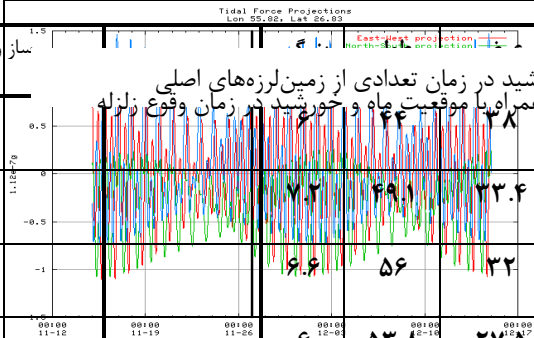
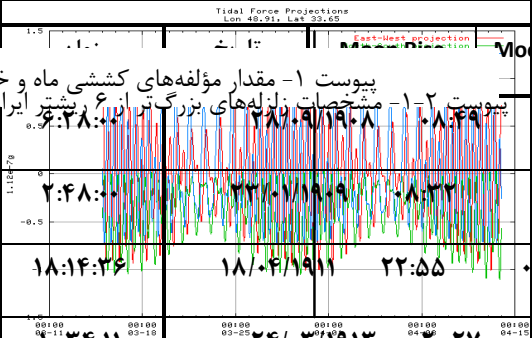
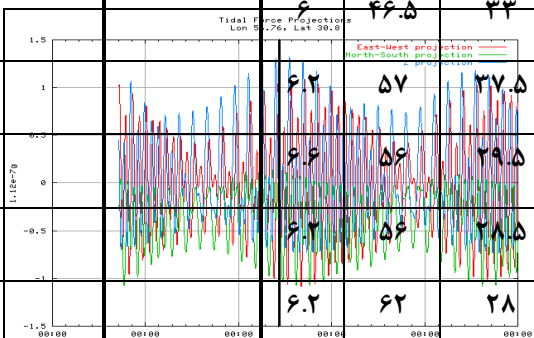
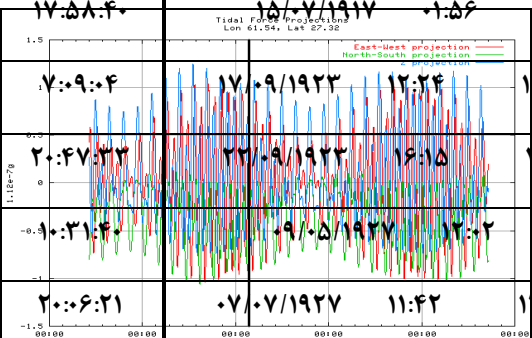
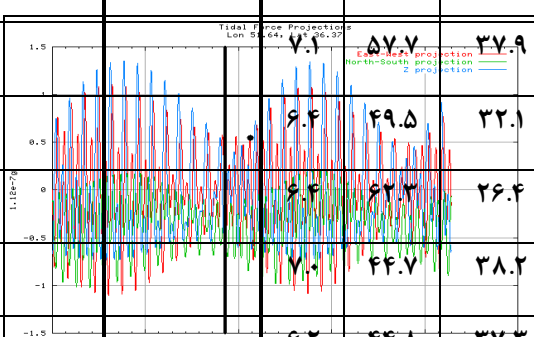
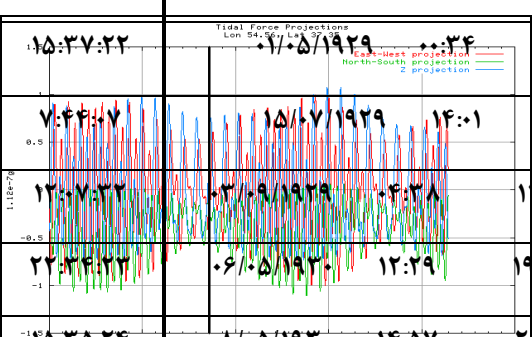
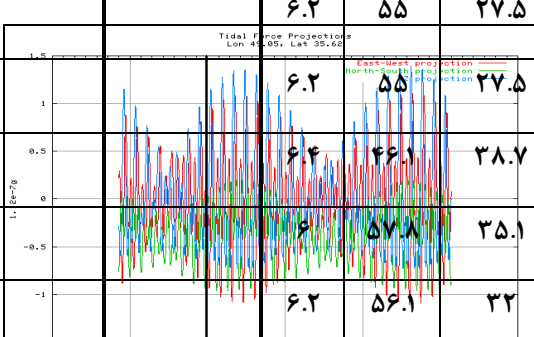
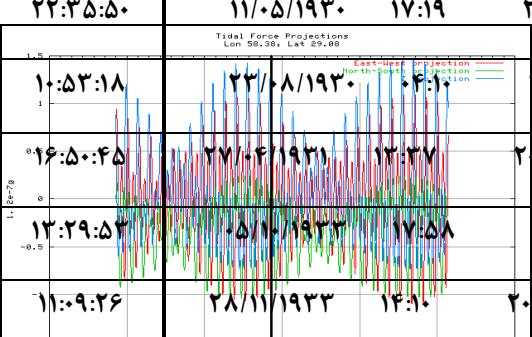
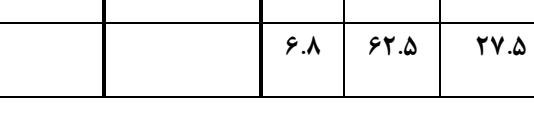
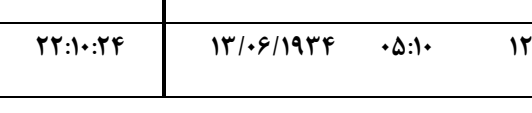
مؤلفه شرقی - غربی

مؤلفه شمالی - جنوبی

مؤلفه قائم

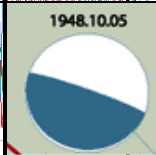
روز وقوع زلزله

پوست (۱-۲)

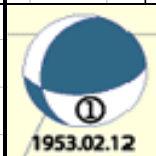
ساز و کار* [۱۰]	Tidal Force Projections Lon 55.82, Lat 36.83		Tidal Force Projections Lon 48.91, Lat 35.65		Moon Transit	Moon Set	Sun
	پیوست ۱- مقدار مؤلفه‌های کششی ماه و خورشید در زمان تعدادی از زمین‌لرزه‌های اصلی پیوست ۲- مشخصات زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ ریشتر ایران همراه با موقعیت ماه و خورشید در زمان وقوع زلزله						
	 ۷.۲ ۴۹.۱ ۳۳.۴ ۶.۶ ۵۶ ۳۲ ۲۰۰۵/۱۱/۲۷ ۴۵۳.۸ ۲۷.۵		 ۲:۴۸:۰۰ ۳۳:۰۱/۱۹۰۹ ۰۸:۳۲ ۱۸:۱۴:۳۶ ۱۸:۰۴/۱۹۱۱ ۲۲:۵۵ ۱:۳۴:۱۱ ۲۴/۲/۱۹۱۳ ۴:۳۷ ۲۰۰۶/۳/۳۱		۱۴:۳۱	۲۰:۰۵	۶
	 ۶.۲ ۵۷ ۳۷.۵ ۶.۶ ۵۶ ۲۹.۵ ۶.۲ ۵۶ ۲۸.۵ ۶.۲ ۶۲ ۲۸ ۲۰۰۵/۲/۲۴ ۴۶۵ ۳۳		 ۷:۰۹:۰۴ ۱۷:۰۹/۱۹۲۳ ۱۲:۲۴ ۲:۰۴:۳۳ ۲۳:۰۹/۱۹۲۳ ۱۶:۱۵ ۰۹:۳۱:۴۰ ۰۹:۰۵/۱۹۲۷ ۱۲:۰۲ ۲:۰۶:۲۱ ۰۷:۰۷/۱۹۲۷ ۱۱:۴۲ ۳:۵۴:۵۴ ۲۴/۵/۱۹۴۷		۰۹:۱۹	۱۶:۴۴	۵
	 ۷.۱ ۵۷.۷ ۳۷.۹ ۶.۶ ۴۹.۵ ۳۲.۱ ۶.۶ ۶۲.۳ ۲۶.۴ ۷.۰ ۴۴.۷ ۳۸.۲ ۶.۲ ۴۴.۸ ۳۷.۳ ۲۰۰۴/۵/۲۸		 ۷:۴۴:۰۷ ۱۵:۰۷/۱۹۲۹ ۱۴:۰۱ ۱۲:۰۷:۳۲ ۰۳:۰۹/۱۹۲۹ ۰۴:۳۸ ۲۲:۳۴:۳۳ ۰۶:۰۵/۱۹۳۰ ۱۲:۲۹ ۱۵:۳۵:۲۴ ۰۸:۰۵/۱۹۳۰ ۱۴:۵۷ ۲۰۰۴/۱۰/۷		۰۵:۱۴	۰۹:۵۷	۴
	 ۶.۲ ۵۵ ۲۷.۵ ۶.۴ ۴۶.۱ ۳۸.۷ ۶ ۵۷.۸ ۳۵.۱ ۶.۲ ۵۶.۱ ۳۲ ۲۰۰۲/۶/۴۲ ۵۱.۷ ۳۰.۵		 ۱۰:۵۳:۱۸ ۲۳:۰۸/۱۹۳۰ ۰۴:۱۰ ۰۱۶:۵۰:۴۵ ۲۷:۰۴/۱۹۳۱ ۱۳:۳۷ ۱۲:۲۹:۵۳ ۰۵:۱۰/۱۹۳۳ ۱۷:۵۸ ۱۱:۰۹:۲۶ ۲۸/۱۱/۱۹۳۳ ۱۴:۱۰ ۱۴:۲۷:۲۰ ۲۴/۴/۱۹۴۴ ۲۲:۱۲		۲۳:۰۱	۰۴:۰۲	۵
	 ۶.۸ ۶۲.۵ ۲۷.۵ ۲۲:۱۰:۲۴ ۱۳/۰۶/۱۹۳۴ ۰۵:۱۰ ۱۲:۲۴ ۱۹:۳۵		 ۲۲:۱۰:۲۴ ۱۳/۰۶/۱۹۳۴ ۰۵:۱۰ ۱۲:۲۴ ۱۹:۳۵		۰۹:۱۳	۰۲:۵۳	۶

			۵۳.۵	۳۶.۳	۲۳:۱۴:۴۹		۱۱:۳۶	۱۸:۵۴	۰۱:۲۹	۵	
			۶.۲	۴۳.۱	۳۹.۶	۱۰:۲۴:۴۴	۰۵/۰۱/۱۹۳۵	۰۸:۰۹	۱۲:۵۴	۱۷:۴۴	۷
			۶	۶۰.۵	۳۳.۵	۱۹:۲۶:۰۷	۳۰/۰۶/۱۹۳۶	۱۴:۵۶	۲۰:۰۷	۰۰:۳۷	۴
			۶	۴۸.۵	۳۳.۵	۱۰:۱۵:۰۰	۰۴/۱۱/۱۹۳۹		۰۵:۵۲	۱۲:۴۰	۶
			۶.۴	۵۸.۱	۳۵.۸	۲۱:۰۱:۵۵	۰۴/۰۵/۱۹۴۰	۰۲:۵۶	۹:۱۵	۱۵:۴۰	۴
		۱۹۹۹/۳/۴				۱۹۹۹/۵/۶					
			۶.۴	۵۸.۷	۳۳.۳	۱۶:۳۸:۵۹	۱۶/۰۲/۱۹۴۱	۲۲:۲۰	۰۳:۱۳	۰۹:۰۵	۶
			۶	۴۳.۵	۳۹.۵		۱۰/۱۹/۱۹۴۱	۲۱:۳۳	۰۳:۴۰	۱۰:۲۸	۶
			۷.۸	۶۳.۵	۲۴.۹	۲۱:۵۶:۴۹	۳۷/۱۱/۱۹۴۵		۰۵:۵۱	۱۲:۲۲	۵
			۷.۰	۶۳.۵	۲۴.۹	۰۰:۱۴:۲۴-۷	۰۵/۰۸/۱۹۴۷	۲۰:۱۹	۰۱:۳۳	۰۷:۲۵	۴
			۶.۸	۵۸.۷	۳۳.۳	۱۲:۲۸:۱۰	۲۳/۰۹/۱۹۴۷	۱۳:۴۴	۱۸:۳۸	۲۳:۳۲	۵
			۶.۲	۵۷.۲	۳۶	۰۶:۱۳:۴۶	۰۱/۰۹/۱۹۴۷	۱۹:۲۶	۰۱:۳۵	۰۸:۱۸	۵
			۶.۴	۶۳.۵	۲۴.۹	۰۵:۴۳:۴۸	۲۰/۰۱/۱۹۴۸	۲۱:۳۳	۰۲:۵۳	۰۹:۰۸	۶
			۶	۵۷.۵	۲۹.۵	۱۴:۵۳:۱۴	۰۵/۰۷/۱۹۴۸	۰۲:۵۱	۱۰:۱۰	۱۷:۳۳	۴
	مولفه امتداد لغز		۷	۵۸.۶	۳۷/۹	۲۰:۱۲:۰۴	۰۵/۱۰/۱۹۴۸	۰۸:۲۳	۱۲:۴۰	۱۸:۴۹	۵
			۶.۴	۵۶/۲	۲۷/۲	۰۲:۲۲:۰۸	۲۴/۰۴/۱۹۴۸	۰۳:۳۴	۰۸:۵۴	۱۴:۴۵	۵
		۱۹۹۹/۲/۲۸				۱۹۹۹/۵/۱۰					
			۶.۲	۵۸.۴	۳۸.۴	۱۱:۱۶:۵۶	۰۹/۰۵/۱۹۵۰	۰۰:۴۷	۰۶:۱۵	۱۱:۴۹	۴
			۶.۸	۵۵	۳۵/۸	۰۸:۱۵:۳۱	۱۲/۰۲/۱۹۵۲	۰۵:۱۰	۱۰:۲۱	۱۵:۳۹	۶
	معکوس با مولفه راستگرد		۶	۵۴/۴	۲۷/۲	۱۴:۰۳:۴۳	۳۱/۱۰/۱۹۵۶	۰۳:۳۴	۰۹:۳۵	۱۵:۳۰	۶
			۴۴/۴/۴	۵۲/۷۲	۳۶/۲۱	۰۰:۴۲:۲۲	۰۲/۳۷/۱۹۵۷	۰۹:۴۸	۱۶:۱۰	۲۲:۲۵	۴
	فشاری راستالغز				۱.۰						

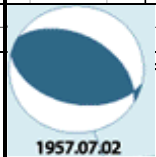
معکوبی با مولفه امتداد لغز



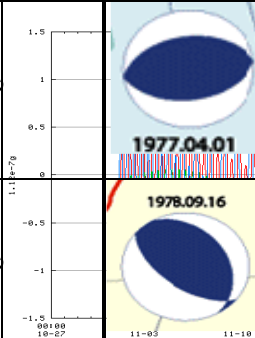
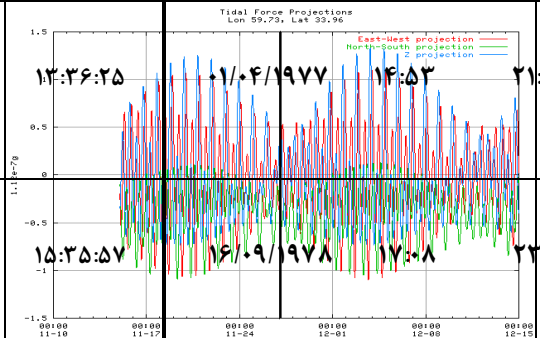
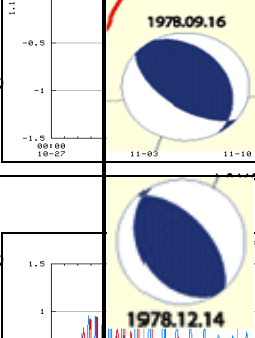
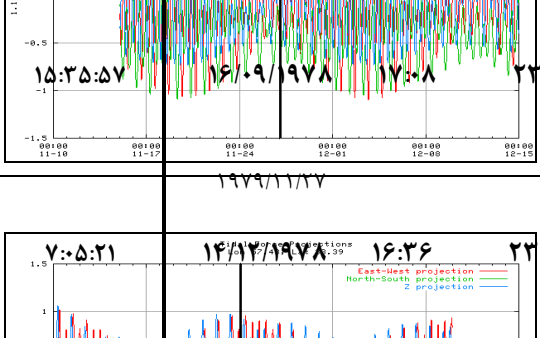
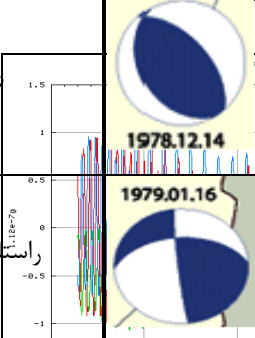
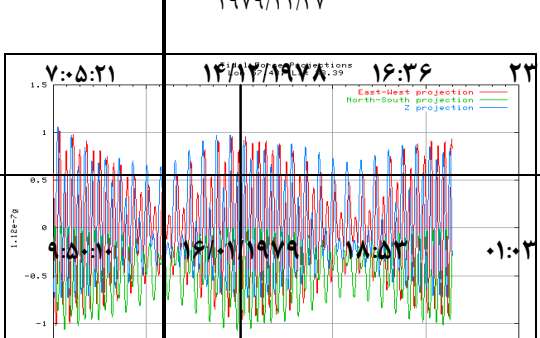
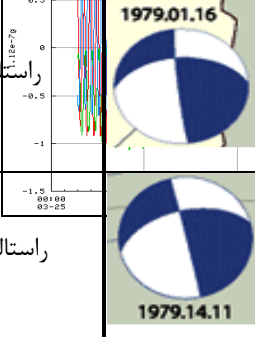
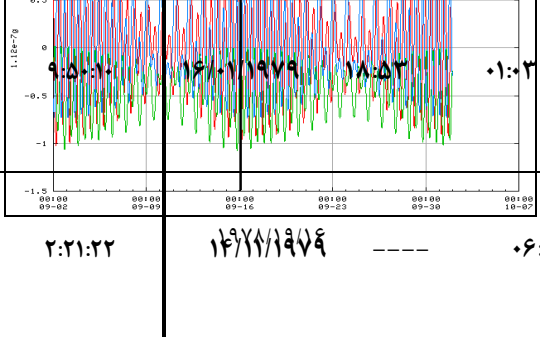
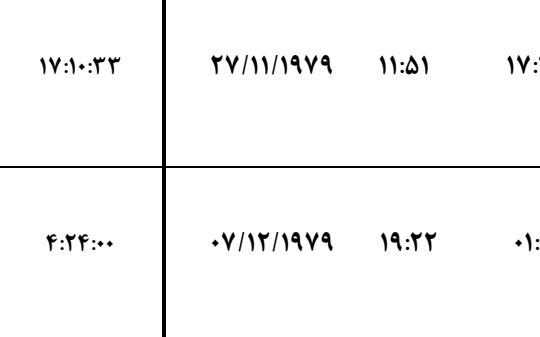
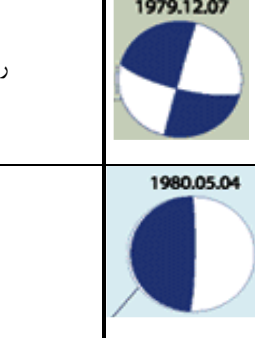
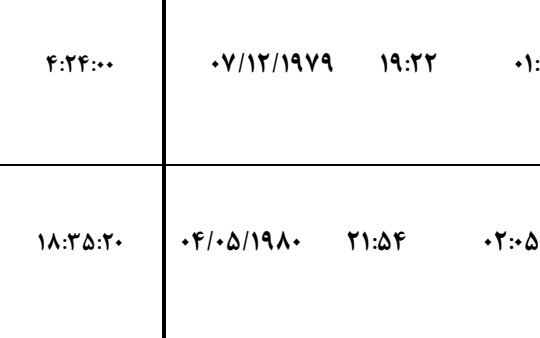
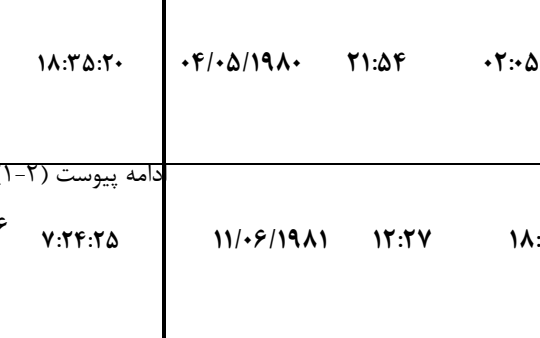
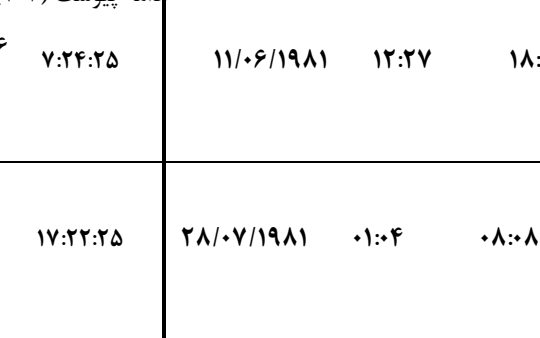
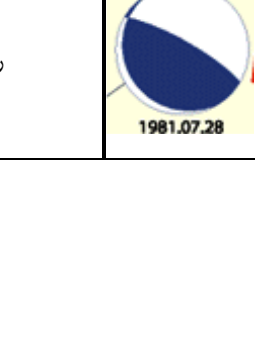
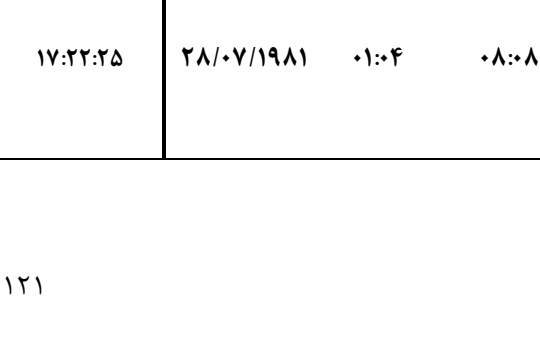
معکوبی با مولفه راستگرد

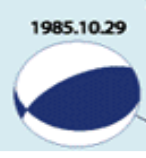


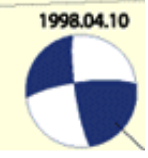
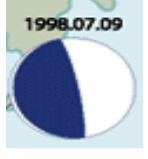
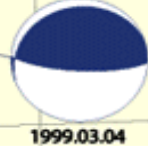
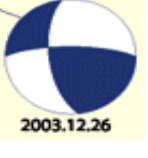
فشاری راستالغز



فشاری راستالغز		Force Projections Lon 66.55, Lat 30.9	East-West projection North-South projection 2 projection	۶:۴۰	۴۷/۶۷	۳۴/۴۱	۱:۴۵:۰۵	۱۳/۲/۱۹۵۷	۲۳:۴۹	۰۵:۱۴	۱۱:۳۷	۷
راستالغز راستگرد		Force Projections Lon 66.55, Lat 30.9	East-West projection North-South projection 2 projection	۶:۴	۴۷/۸۳	۳۴/۳۸	۱۹:۲۰:۴۴	۱۶/۸/۱۹۵۸	۰۶:۵۲	۱۲:۲۱	۱۹:۴۳	۵
		۱۹۹۰/۱۱/۲۳		۶:۸	۵۰	۲۶/۵	۱۲:۳۶:۰۰	۲۸/۰۹/۱۹۵۸	۱۸:۱۷	----	۰۶:۱۴	۶
		Force Projections Lon 66.55, Lat 30.9	East-West projection North-South projection 2 projection	۶	۵۴/۲۸	۲۸/۱۲	۲:۲۰:۵۰	۰۱/۰۸/۱۹۶۱	۱۷:۵۸	۱۸:۴۰	----	۵
		۱۹۹۰/۰۶/۲۰		۶	۵۶/۵۱	۲۷/۹۳	۵:۱۰:۲۳	۱۱/۰۶/۱۹۶۱	۰۳:۳۵	۱۰:۳۸	۱۷:۰۶	۴
راندگی		Force Projections Lon 66.55, Lat 30.9	East-West projection North-South projection 2 projection	۷	۴۹/۸۸	۲۵/۵۸	۱۹:۲۰:۴۰	۰۱/۰۹/۱۹۶۲	۰۷:۳۷	۱۳:۴۸	۲۰:۰۲	۵
فشاری راستالغز		Force Projections Lon 66.55, Lat 30.9	East-West projection North-South projection 2 projection	۶:۱	۶۰/۱	۳۷/۹	۱۸:۳۴:۰۰	۰۷/۱۱/۱۹۶۹	۱۳:۴۵	۱۹:۳۷	۰۰:۲۹	۵
راندگی		Force Projections Lon 66.55, Lat 30.9	East-West projection North-South projection 2 projection	۶	۵۵/۶	۲۸/۳	۱۹:۳۰:۲۶	۱۳/۰۴/۱۹۷۱	۱۹:۴۹	۰۰:۲۷	۰۵:۵۷	۵
راندگی		Force Projections Lon 66.55, Lat 30.9	East-West projection North-South projection 2 projection	۲۱:۰۶:۸	۵۲/۸	۲۸/۴	۲:۰۶:۵۳	۱۰/۰۸/۱۹۷۲	۰۳:۰۵	۰۸:۵۳	۱۴:۴۸	۵
		Force Projections Lon 66.55, Lat 30.9	East-West projection North-South projection 2 projection	۶	۵۲/۳	۲۸/۷۱	۰:۱۷:۰۳:۰۸	۲۲/۰۴/۱۹۷۶	۰۱:۱۱	۰۶:۵۱	۱۲:۳۶	۵
امتداد لغز راستگرد		۱۷/۵:۹		۵۶/۳۹	۲۷/۶۱	۲۱:۱۸:۴۵	۲۱/۰۳/۱۹۷۷	۰۶:۰۱	۱۲:۳۴	۱۹:۱۲	۵	
راندگی												

راندگی		۶.۲	۵۶/۳۳	۲۷/۵۵		۱۳:۴۶:۲۵	۰۱/۰۴/۱۹۷۷	۱۴:۵۳	۲۱:۲۳	۰۳:۰۸	۵
راندگی		۷.۴	۵۷/۴۳	۳۳/۳۹		۱۵:۳۵:۵۷	۱۶/۰۹/۱۹۷۸	۱۷:۰۸	۲۳:۰۹	۰۴:۰۸	۴
راندگی		۶.۴	۴۹/۶۵	۳۲/۱۴		۷:۰۵:۲۱	۱۴/۱۴/۱۹۷۸	۱۶:۳۶	۲۲:۴۲	۰۵:۵۷	۶
راستالغز چپگرد		۶.۷	۵۹/۴۷	۳۳/۹		۹:۵۰:۱۰	۱۶/۰۱/۱۹۷۹	۱۸:۵۳	۰۱:۰۳	۰۸:۰۴	۶
راستالغز راستگرد		۷/۴۵	۵۹/۷۹	۳۳/۹۲		۲:۲۱:۲۲	۱۴/۱۱/۱۹۷۹	-----	۰۶:۲۶	۱۲:۵۹	۵
راستالغز راستگرد		۷.۱	۵۹/۷۳	۳۳/۹۶		۱۷:۱۰:۳۳	۲۷/۱۱/۱۹۷۹	۱۱:۵۱	۱۷:۲۴	۲۳:۰۷	۶
راستالغز		۶	۵۴/۸۲	۳۴/۰۳		۴:۲۴:۰۰	۰۷/۱۲/۱۹۷۹	۱۹:۲۲	۰۱:۳۵	۰۸:۴۰	۵
		۶.۲	۴۸/۹۹	۳۸/۰۵		۱۸:۳۵:۲۰	۰۴/۰۵/۱۹۸۰	۲۱:۵۴	۰۲:۰۵	۰۷:۱۰	۴
فشاری راستالغز		۶.۷	۵۷/۷۲	۲۹/۹۱	دامه پیوست (۱-۴) 	۷:۲۴:۲۵	۱۱/۰۶/۱۹۸۱	۱۲:۲۷	۱۸:۳۷	۰۰:۱۳	۳
راندگی		۷.۱	۵۷/۷۹	۳۰/۰۱		۱۷:۲۲:۲۵	۲۸/۰۷/۱۹۸۱	۰۱:۰۴	۰۸:۰۸	۱۵:۱۵	۴

			۶.۴	۶۲/۰۵	۲۷/۷۹	۱۰:۵۸:۵۱	۱۸/۰۴/۱۹۸۳	۰۸:۰۵	۱۵:۵۰	۲۳:۳۷	۴۰
	راندگی		۶	۵۴/۷۵	۳۶/۶۸	۱۳:۱۳:۴۵	۲۹/۱۰/۱۹۸۵	۱۶:۵۱	-----	۰۶:۵۷	۶۰
	فشاری راستالغز		۶.۱	۵۱/۶۸	۲۹/۹۷	۱۶:۰۴:۴۶	۱۱/۰۸/۱۹۸۸	۰۲:۳۷	۱۰:۳۵	۱۸:۱۹	۴۰
	معکوس چپگرد		۷.۷	۴۹/۴۱	۳۶/۹۶	۲۱:۰۰:۱۰	۲۰/۰۶/۱۹۹۰	۰۰:۴۷	۰۹:۱۰	۱۷:۵۲	۳۰
	راندگی		۶.۷	۵۵/۴۶	۲۸/۲۵	۱۸:۴۵:۵۲	۰۶/۱۱/۱۹۹۰	۱۹:۳۸	۰۲:۰۲	۰۹:۳۲	۵۰
	راندگی		۶.۱	۶۰/۶	۳۰/۸۵	۸:۰۲:۰۵	۲۳/۰۲/۱۹۹۴	۱۳:۳۸	۲۰:۵۷	۰۳:۲۹	۵۰
	راندگی		۶	۶۰/۵۵	۳۰/۹	۲:۳۱:۱۱	۲۴/۰۲/۱۹۹۴	۱۷:۲۱	۲۳:۳۹	۰۵:۱۶	۵۰
	فشاری راستگرد		۶	۵۲/۶۲	۲۹/۱	۳:۴۹:۰۱	۰۱/۰۳/۱۹۹۴	۲۱:۱۴	۰۱:۵۶	۰۷:۴۰	۵۰
	فشاری راستگرد		۶.۸	۵۷/۲۹	۳۷/۶۶	۱۰:۳۷:۴۷ ۱۰.۷	۰۴/۰۲/۱۹۹۷	۰۴:۰۱	۰۹:۱۲	۱۴:۲۴	۶۰
	راستالغز		۶.۱	۴۸/۰۵	۳۸/۰۸	۱۲:۵۷:۱۹	۲۸/۰۲/۱۹۹۷	۲۳:۵۰	۰۴:۲۶	۰۹:۵۶	۶۰

راستالغز	 1997.05.10	۷.۳	۵۹/۸۱	۳۳/۸۳	۷:۵۷:۳۰	۱۰/۰۵/۱۹۹۷	۰۷:۲۹	۱۴:۳۵	۲۱:۴۱	۴
راستالغز	 1998.04.10	۶.۹	۵۷/۶	۳۰/۱۵	۱۹:۴۰:۲۷	۱۴/۰۳/۱۹۹۸	۱۸:۵۶	۰۰:۲۱	۰۶:۳۲	۵
راندگی	 1998.07.09	۶	۴۸/۴۱	۳۸/۵۵	۱۴:۱۹:۲۰	۰۹/۰۷/۱۹۹۸	۱۹:۲۲	----	۰۴:۴۱	۴
فشاری چپگرد	 1999.03.04	۶.۷	۵۷/۱۹	۲۸/۳۴	۵:۳۸:۲۷	۰۴/۰۳/۱۹۹۹	۱۹:۴۳	۰۱:۰۷	۰۷:۲۲	۶
فشاری راستالغز	 1999.05.06	۶.۲	۵۱/۸۸	۲۹/۵	۲۳:۰۰:۵۳	۰۶/۰۵/۱۹۹۹	۲۳:۳۱	۰۴:۰۷	۰۹:۳۱	۵
راندگی	 2002.06.22	۶.۵	۴۹/۰۵	۳۵/۶۲	۲:۵۸:۲۱	۲۲/۰۶/۲۰۰۲	۱۷:۰۷	۲۲:۲۰	۰۲:۴۸	۴
فشاری راستالغز	 2003.12.26	۶.۵	۵۸/۳۸	۲۹/۰۸	۱:۵۶:۵۶	۲۶/۱۲/۲۰۰۳	۰۹:۱۸	۱۴:۳۸	۲۰:۰۳	۶
فشاری چپگرد		۶.۳	۵۱/۶۴	۳۶/۳۷	۱۲:۳۸:۴۶	۲۸/۰۵/۲۰۰۴	۱۱:۵۸	۱۸:۳۸	۰۰:۴۴	۳
فشاری راستالغز		۶	۵۴/۵۶	۳۷/۳۵	۲۱:۴۶:۱۶	۰۷/۱۰/۲۰۰۴	۲۳:۳۴	۰۶:۲۴	۱۴:۰۸	۵
فشاری راستالغز		۶.۴	۵۶/۷۶	۳۰/۸	۲:۲۵:۲۲	۲۲/۰۲/۲۰۰۵	۱۵:۵۷	۲۳:۰۱	۰۵:۲۳	۶
راندگی		۶.۲	۶۱/۵۴	۲۷/۳۲	۳:۳۱:۲۷	۱۳/۰۳/۲۰۰۵	۰۷:۲۱	۱۳:۵۸	۲۰:۴۱	۵
راندگی		۶	۵۵/۸۲	۲۶/۸۳	۱۰:۲۲:۱۹	۲۷/۱۱/۲۰۰۵	۰۱:۵۷	۰۸:۰۰	۱۳:۵۸	۶
راستالغز راستگرد		۶.۱	۴۸/۹۱	۳۳/۶۵	۱:۱۷:۰۲	۳۱/۰۳/۲۰۰۶	۰۷:۰۰	۱۳:۵۶	۲۱:۰۴	۶

*: داده‌های قبل از ۱۹۴۸ موجود نبود.

مقدار مؤلفه‌ها در زمان زلزله			MAX			MIN			پیوست ۲-۲- مقدار مؤلفه‌های کششی خورشید و ماه در زمان وقوع زلزله‌های بزرگتر از ۶ ریشتر				
E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z	EWmax/EW	NSmax/NS	Zmax/Z	EWmin/EW	NSmin/NS
-0.5	-0.4	-0.5	0.9	0	0.8	-0.8	-1	-0.7	-1.80	0.00	-1.60	1.60	2.00
0.75	0	-0.5	1	0.2	1.2	-1	-1	-0.7	1.33	X	-2.67	-1.33	1.00
0.1	-0.1	-0.4	0.7	0.1	1	-0.8	-0.8	-0.6	7.00	-1.00	-2.50	-8.00	8.00
-0.3	-0.5	1	1	0	1.2	-1	-1	-0.7	-3.33	0.00	1.20	3.33	2.00
-0.25	-1	-0.3	0.8	0	1.3	-1	-1	-0.5	-3.20	0.00	-5.00	4.00	1.00
0.35	-0.2	-0.3	0.45	-0.2	0.6	-0.5	-0.7	-0.4	1.29	1.00	-2.00	-1.43	3.00
0.5	-0.8	0.5	1	0	1	-0.8	-1	-0.6	2.00	0.00	2.00	-1.60	1.00
-0.3	0	0	0.6	0	0.7	-0.5	-0.7	-0.5	-2.00	X	X	1.67	1.00
0.1	-0.3	-0.5	0.45	-0.1	0.5	-0.6	-0.7	-0.5	4.50	0.33	-1.11	-6.00	2.00
0.1	-0.5	0.6	0.4	-0.2	0.6	-0.6	-0.8	-0.5	4.00	0.30	1.00	-6.00	1.00
0.35	-0.3	0.55	0.6	-0.1	0.7	-0.5	-0.6	-0.6	1.71	0.33	1.27	-1.29	2.00
0.5	-0.2	0.5	0.5	-0.1	0.8	-0.6	-0.8	-0.5	1.00	0.50	1.60	-1.20	4.00
1	-0.1	-0.1	1.1	0	1.3	-1.1	-1	-0.7	1.10	0.00	-13.00	-1.10	10.00
0.4	-0.23	-0.5	0.63	-0.1	0.6	-0.4	-0.7	-0.6	1.58	0.43	-1.20	-1.08	3.00
-0.55	-0.4	0	0.65	-0.1	0.4	-0.6	-0.9	-0.6	-1.18	0.25	X	1.09	2.00
0.7	-0.75	-0.2	1	0	1.3	-1	-1.1	-0.7	1.43	0.00	-6.50	-1.43	1.00
1	-0.1	0.5	1.1	0.2	1.4	-1.1	-1.1	-0.7	1.10	-2.00	2.80	-1.10	11.00
-0.2	-0.7	0.55	0.7	-0.1	0.6	-0.5	-0.8	-0.6	-3.50	0.14	1.09	2.50	1.00
0.25	-0.2	-0.7	1	0	1.2	-1	-1	-0.8	4.00	0.00	-1.71	-4.00	5.00
-0.1	-0.1	-0.6	0.8	0	1.2	-1	-1	-0.6	-8.00	0.00	-2.00	10.00	10.00
0.5	-0.5	0.5	0.75	0	0.7	-0.7	-0.8	-0.6	1.50	0.00	1.40	-1.40	1.00
0.3	-1	0	1	0.25	1.5	-1	-1	-0.7	3.33	-0.25	X	-3.33	1.00
0.1	-0.3	-0.5	0.6	-0.2	0.7	-0.5	-0.7	-0.5	6.00	0.50	-1.40	-4.50	2.00
0.9	-0.5	0.6	1	0	1	-1	-1	-0.7	1.11	0.00	1.67	-1.11	2.00
-0.3	-0.7	-0.3	0.8	0	1	-0.8	-0.9	-0.6	-2.67	0.00	-3.33	2.67	1.00
-0.1	-0.4	-0.4	0.55	-0.2	-1	-0.4	-0.7	-0.4	-5.50	0.38	1.75	4.00	1.00
0.6	-0.7	0	0.85	0	0.9	-0.9	-1	-0.7	1.42	0.00	X	-1.50	1.00
0.3	-0.1	-0.1	0.7	-0.1	0.6	-0.7	-0.7	-0.6	2.33	1.00	-6.00	-2.33	7.00
-0.6	-0.6	0.6	0.7	-0.1	0.8	-0.8	-0.9	-0.6	-1.17	0.17	1.33	1.33	1.00
-0.1	0	-0.1	0.6	0	0.7	-0.5	-0.6	-0.5	-6.00	X	-7.00	5.00	1.00

0.6	-0.1	-0.3	0.9	0	1.2	-0.9	-0.6	-0.9	1.50	0.00	-4.00	-1.50	6
-0.1	-0.5	-0.5	0.55	0	0.8	-0.5	-0.7	-0.5	-5.50	0.00	-1.60	5.00	1
-0.45	0.4	-0.4	0.9	0	1	-0.9	-1	-0.6	-2.00	0.00	-2.50	2.00	-2
-0.6	-0.6	0.3	0.8	0	0.7	-0.6	-0.7	-0.5	-1.33	0.00	2.33	1.00	1
0	0	-0.8	1	0.25	1.5	-1	-1	-0.8	X	X	-2.00	X	
-0.6	-0.6	0.8	0.9	0	1	-0.7	-1	-0.7	-1.50	0.00	1.25	1.17	1
-0.7	-0.7	0.4	0.8	0	0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-1.14	0.00	2.00	1.14	1
-0.4	-0.2	0.2	0.6	-0.1	0.6	-0.4	-0.7	-0.6	-1.50	0.50	2.75	1.00	3
0.1	-1	0	1	0	1.2	-1	-1	-0.7	10.00	0.00	X	-10.00	1
-0.5	0	-0.5	1	0	1.2	-1	-1	-0.7	-2.00	X	-2.40	2.00	
0.15	-0.8	0.15	0.7	-0.1	0.6	-0.6	-0.8	-0.6	4.67	0.13	4.00	-3.67	1
0.3	-0.6	0.5	0.6	-0.1	0.6	-0.4	-0.7	-0.5	2.00	0.17	1.20	-1.33	1
-0.7	-0.7	-0.1	1	0	1	-1	-1	-0.7	-1.43	0.00	-10.00	1.43	1
0.3	-0.3	-0.3	1	0	1.2	-1	-1	-0.7	3.33	0.00	-4.00	-3.33	3
-0.35	0.5	-0.4	0.4	-0.1	0.7	-0.5	-0.8	0.4	-1.14	-0.20	-2.00	1.43	-1
-1	-0.25	0.7	1	0.2	1.3	-1	-1	-0.2	-1.00	-0.80	1.86	1.00	4
-0.75	-0.6	0	0.9	0	0.8	-0.9	-1	-0.7	-1.20	0.00	X	1.20	1
0	-0.5	1.2	1	0	1.2	-1	-1	-0.7	X	0.00	1.00	X	2
-0.7	-0.6	0	1	0.2	1.3	-1	-1	-0.7	-1.43	-0.33	X	1.43	1
-0.2	-0.2	-0.5	0.8	0	0.8	-0.7	-0.8	-0.6	-4.00	0.00	-1.60	3.50	4
0.2	-0.5	0.6	0.6	-0.1	0.6	-0.4	-0.8	-0.5	3.00	0.20	1.00	-2.00	1
0.25	-0.75	-0.3	0.95	0	1	-0.8	-0.9	-0.6	3.80	0.00	-3.17	-3.20	1
0.1	-0.97	0.85	1	0	0.9	-0.9	-1	-0.7	10.00	0.00	1.06	-9.00	1
-0.4	0	-0.5	0.9	0	1	-0.9	-0.8	-0.6	-2.25	X	-2.00	2.13	
-0.5	-0.2	-0.5	1	0	0.9	-1	-1	-0.7	-2.00	0.00	-1.80	2.00	5
-0.5	-1	0	1	0.2	1.4	-1	-1	-0.7	-2.00	-0.20	X	2.00	1
0	-1	0.2	1	0	1	-0.9	-1	-0.7	X	0.00	5.00	X	1
-0.5	-0.4	0.1	0.6	0	0.6	-0.6	-0.8	-0.6	-1.20	0.00	6.00	1.20	2
0.2	-0.6	0.2	0.54	-0.1	0.5	-0.5	-0.7	0.55	2.70	0.17	2.50	-2.25	1
0.4	0	-0.6	0.9	0	1	-0.8	-0.9	-0.6	2.25	X	-1.67	-2.00	
0.1	-0.2	-0.5	0.8	0	1	-0.8	-0.8	-0.6	8.00	0.00	-2.00	-8.00	4
0.5	-0.3	0.35	0.6	0	0.6	-0.6	-0.8	-0.6	1.20	0.00	1.71	-1.20	2
-0.4	-0.9	0	1	0	1.3	-1	-1	-0.7	-2.50	0.00	X	2.50	1
-0.1	-0.1	1	0.6	0	1	-0.7	-0.7	-0.4	-6.00	0.00	1.00	7.00	7

فصل سوم: بررسی اثر جاذبه ماه و خورشید در زمین‌لرزه‌های ایران

0	0	-0.7	1	0	1.3	-1	-1	-0.7	X	X	-1.86	X	
-0.4	-0.2	-0.6	1.1	0.2	1.4	-1.1	-1	-0.7	-2.75	-1.00	-2.33	2.75	5.
0.3	-0.7	-0.4	1	0.2	1.3	-1	-0.8	-0.7	3.33	-0.29	-3.13	-3.33	1.
-0.7	0	0	0.8	0.1	1	-0.7	-0.9	-0.5	-1.14	X	X	1.00	
0.5	-0.8	0.1	1	0	1.2	-1	-1	-0.6	2.00	0.00	12.00	-2.00	1.
0	0	-0.7	1	0	1	-1	-1	-0.7	X	X	-1.43	X	
0.2	-0.2	-0.6	0.7	0	0.9	-0.8	-0.8	-0.6	3.50	0.00	-1.50	-4.00	4.
-0.1	-0.1	-0.6	-0.9	0	1	-0.8	-0.8	-0.6	9.00	0.00	-1.67	8.00	8.
0.1	-0.6	0.6	0.5	-0.2	0.6	-0.6	-0.9	-0.6	5.00	0.33	1.00	-6.00	1.
-0.8	-0.3	0.8	0.8	0	1.1	-0.9	-0.9	-0.6	-1.00	0.00	1.38	1.13	3.
-0.9	-0.6	0.2	1	0	0.9	-0.9	-0.9	-0.7	-1.11	0.00	4.50	1.00	1.
0.2	0	-0.5	1	0	1.3	-1	-1	-0.7	5.00	X	-2.60	-5.00	
-0.8	-0.3	-0.3	1	0.8	0.9	-0.9	-0.9	-0.7	-1.25	-2.67	-3.00	1.13	3.
-0.2	-0.7	-0.2	0.6	0	0.9	-0.6	-0.9	-0.4	-3.00	0.00	-4.50	3.00	1.
-0.9	0	0	1	0	1.2	-1	-1	-0.7	-1.11	X	X	1.11	
0.8	0	0.6	0.9	0	1.1	0.8	-1	-0.6	1.13	X	1.83	1.00	
-0.4	-0.3	0.1	0.6	-0.1	0.4	0.4	-0.7	-0.6	-1.50	0.33	4.00	-1.00	2.
-0.2	-0.1	-0.2	0.6	0	0.8	-0.4	-0.6	-0.6	-3.00	0.00	-4.00	2.00	6.
0	0	-0.7	1.1	0	1.3	-1	-1	-0.7	X	X	-1.86	X	
-0.1	-0.1	-0.6	0.9	0	1.1	-0.9	-0.9	-0.6	-9.00	0.00	-1.83	9.00	9.
0.1	-0.2	-0.6	0.8	0	1	-0.8	-0.8	-0.6	8.00	0.00	-1.67	-8.00	4.
0.6	-0.4	-0.4	1	0	1.2	-1	-1	-0.7	1.67	0.00	-3.00	-1.67	2.

پیوست ۲-۳- مقدار مؤلفه‌های ماه و خورشید در زمان پیش‌لرزه‌ها، پس‌لرزه‌ها و شوک اصلی درود

Date	EW	NS	Z	روز	ماه	سال	Time(UTC)	Lat.	Long.	Mw	Moon Rise	Moon Transit	Moon Set	Su
6/22/2004	-0.75	0	0	4	5	1425	7:18:06	33.76	49.04	2.9	8:48	15:58	22:59	5
2/5/2005	-0.28	0	-0.4	25	12	1425	11:54:37	34.02	48.52	2.6	3:58	8:47	13:35	7
5/1/2005	0.36	-0.3	-0.5	22	4	1426	15:29:59	33.91	48.72	3.6	1:28	6:28	11:34	5
5/1/2005	0.1	-0.4	0.67	22	4	1426	16:05:57	33.95	48.72	2.7	1:28	6:28	11:34	5
5/1/2005	0.6	-0.3	0	22	4	1426	20:04:08	33.94	48.7	3	1:32	6:32	11:39	5
5/1/2005	0	-0.3	0.7	22	4	1426	22:01:56	33.91	48.7	2.8	1:32	6:32	11:39	5
5/2/2005	0.35	-0.2	-0.5	23	4	1426	22:31:26	33.92	48.7	2.7	2:12	7:27	12:50	5
5/3/2005	0.25	0.67	0.25	24	4	1426	7:21:12	33.86	48.81	4.8	2:40	8:13	13:54	5

5/3/2005	0.3	-0.7	0.22	24	4	1426	7:24:27	33.85	48.87	4	2:39	8:12	13:54	5
6/5/2005	1	0.2	0.75	28	5	1426	10:19:18	33.92	48.73	3.2	3:36	10:50	18:14	5
8/1/2005	-0.25	-0.4	-0.6	25	6	1426	15:44:43	33.94	48.77	3.2	1:36	9:17	17:00	5
9/7/2005	0.8	-0.4	0.1	3	8	1426	1:30:24	33.83	48.94	3.5	8:59	14:41	20:16	5
9/7/2005	-0.3	-0.1	-0.5	3	8	1426	5:33:53	33.83	48.98	2.6	8:59	14:41	20:15	5
10/10/2005	-0.03	-0.6	-0.4	7	9	1426	16:42:15	33.67	49.07	2.6	13:18	18:04	22:52	6
1/1/2006	0.65	0.25	-0.5	1	12	1426	3:08:08	33.93	48.68	3.3	8:43	13:37	18:36	7
1/1/2006	-0.4	-0.7	-0.4	1	12	1426	7:38:04	33.95	48.69	3.2	8:43	13:37	18:36	7
2/17/2006	0.1	-0.9	0.4	18	1	1427	23:48:00	34.08	48.49	3.6	21:54	3:00	8:55	6
3/5/2006	0.3	-0.6	-0.4	4	2	1427	2:58:39	33.97	48.68	3.1	9:42	17:06	----	6
3/17/2006	-0.87	-0.2	-0.2	16	2	1427	6:08:15	33.75	48.73	2.9	20:45	1:38	7:22	6
3/26/2006	-0.55	-0.7	-0.2	25	2	1427	4:40:40	33.83	48.94	2.6	4:20	9:36	15:00	6
3/30/2006	0	-0.2	-0.7	29	2	1427	16:17:07	33.74	48.92	4.5	6:27	13:04	19:52	6
3/30/2006	-0.6	-0.7	0	29	2	1427	19:17:03	33.74	48.9	2.7	6:33	13:10	19:57	6
3/30/2006	-0.6	-0.8	0.2	29	2	1427	19:36:18	33.69	48.91	5.1	6:27	13:04	19:52	6
3/30/2006	0.1	-1	0.35	29	2	1427	22:00:29	33.74	48.94	3.1	6:27	13:04	19:51	6
3/31/2006	0.7	-0.4	0.4	1	3	1427	1:17:02	33.65	48.91	6.1	7:00	13:56	21:04	6
3/31/2006	0.6	-0.3	-0.5	1	3	1427	1:31:24	33.9	48.8	4.9	7:07	14:02	21:07	6
3/31/2006	0.6	-0.3	-0.5	1	3	1427	1:38:06	33.84	48.82	2.9	7:00	13:57	21:05	6
3/31/2006	0.6	-0.3	-0.5	1	3	1427	1:46:53	33.78	48.87	3	7:00	13:57	21:04	6
3/31/2006	0.5	-0.2	-0.6	1	3	1427	2:01:15	33.91	48.73	2.8	7:00	13:58	21:06	6
3/31/2006	0.4	-0.2	-0.6	1	3	1427	2:08:57	33.93	48.66	2.9	7:01	13:58	21:06	6
3/31/2006	0.4	-0.2	-0.6	1	3	1427	2:12:27	33.91	48.69	2.8	7:05	14:02	21:10	6
3/31/2006				1	3	1427	2:42:34	33.93	48.7	2.8	7:05	14:02	21:10	6
3/31/2006	0.1	0.1	-0.7	1	3	1427	2:48:28	33.92	48.75	3.3	7:00	13:57	21:06	6
3/31/2006	0.1	-0.1	-0.7	1	3	1427	2:58:28	33.94	48.64	3.2	7:01	13:58	21:06	6
3/31/2006	-0.75	0	-0.4	1	3	1427	5:03:08	33.72	48.89	2.9	7:00	13:56	21:04	6
3/31/2006	-0.8	-0.4	0	1	3	1427	5:08:30	33.77	48.86	2.8	7:00	13:57	21:04	6
3/31/2006	-0.9	-0.1	-0.2	1	3	1427	5:43:05	34.04	48.57	2.7	7:02	13:59	21:06	6
3/31/2006	-1	-0.3	0.1	1	3	1427	6:30:01	33.79	48.88	2.8	6:59	13:56	21:04	6
3/31/2006	-0.8	-0.5	0.8	1	3	1427	7:58:20	33.92	48.73	3	7:00	13:58	21:06	6
3/31/2006	-0.35	-0.7	1.1	1	3	1427	9:23:35	33.9	48.81	3.2	7:02	13:57	21:02	6
3/31/2006	-0.1	-0.7	1.1	1	3	1427	9:40:26	33.72	48.96	2.9	6:59	13:56	21:03	6
3/31/2006	0	-0.7	1.2	1	3	1427	9:56:27	33.71	49	2.7	7:02	13:58	21:06	6

3/31/2006				1	3	1427	11:44:12	33.85	48.89	3.2	6:59	13:56	21:04	6
3/31/2006	0.8	-0.5	0.8	1	3	1427	11:54:03	33.89	48.8	5.2	7:05	14:02	21:10	6
3/31/2006	0.9	-0.4	0.5	1	3	1427	12:41:31	33.76	48.89	2.6	6:59	13:56	21:04	6
3/31/2006	0.65	-0.3	0.4	1	3	1427	13:11:03	33.9	48.75	2.8	7:02	13:57	21:03	6
3/31/2006	-0.9	-0.1	-0.1	1	3	1427	13:50:02	33.87	48.81	2.8	7:00	13:57	21:05	6
3/31/2006	0.5	0.1	-0.5	1	3	1427	15:30:09	33.85	48.89	3.3	6:59	13:56	21:04	6
3/31/2006	0.35	0.07	-0.6	1	3	1427	16:02:49	33.73	48.89	2.9	7:00	13:56	21:04	6
3/31/2006	0.95	-0.3	0.3	1	3	1427	16:06:04	33.7	48.89	2.7	7:01	13:56	21:02	6
3/31/2006	0	0	-0.6	1	3	1427	17:02:18	33.84	48.84	2.6	7:00	13:57	21:05	6
3/31/2006	-0.5	-0.8	0.1	1	3	1427	20:04:14	33.86	48.88	2.9	6:59	13:56	21:05	6
3/31/2006	-0.1	-1	0.2	1	3	1427	21:46:19	33.94	48.67	2.7	7:00	13:58	21:06	6
4/1/2006	0.5	-0.2	-0.6	2	3	1427	1:56:47	33.94	48.65	3	7:36	14:52	22:18	6
4/1/2006	-0.7	0	-0.5	2	3	1427	4:49:11	33.76	48.93	2.5	7:35	14:50	22:15	6
4/1/2006	0.2	-0.8	-0.1	2	3	1427	5:23:03	33.9	48.76	3	7:39	14:52	22:14	6
4/1/2006	-1	-0.2	0	2	3	1427	6:12:38	33.77	48.87	3.4	7:35	14:51	22:16	6
4/1/2006	-0.8	-0.1	-0.1	2	3	1427	6:36:26	33.86	48.78	3.1	7:35	14:51	22:17	6
4/1/2006	-0.8	-0.4	0.5	2	3	1427	8:02:14	33.87	48.82	2.7	7:35	14:51	22:17	6
4/1/2006	-0.8	-0.4	0.75	2	3	1427	8:31:07	33.92	48.84	4.1	7:35	14:51	22:17	6
4/1/2006	-0.6	0.5	1	2	3	1427	9:13:38	33.68	48.99	3.1	7:35	14:50	22:15	5
4/1/2006	-0.5	-0.5	1	2	3	1427	9:35:56	33.93	48.67	2.5	7:36	14:52	22:18	6
4/1/2006	0	0.5	1.2	2	3	1427	10:27:24	33.89	48.78	2.8	7:35	14:51	22:17	6
4/1/2006	0.5	-0.4	1	2	3	1427	11:58:58	33.72	48.91	2.9	7:35	14:50	22:15	6
4/1/2006	0.5	-0.4	0.9	2	3	1427	12:08:35	33.9	48.85	4	7:38	14:51	22:13	6
4/1/2006	0.8	-0.2	0.4	2	3	1427	13:40:35	33.72	48.99	3	7:35	14:50	22:15	5
4/1/2006	0.5	0.1	-0.4	2	3	1427	16:21:13	33.71	48.99	3.1	7:35	14:50	22:15	5
4/1/2006				2	3	1427	23:08:21	33.9	48.76	2.9	7:39	14:52	22:14	6
4/2/2006	0.4	-0.5	-0.5	3	3	1427	1:59:04	33.76	48.91	4	8:16	15:47	23:24	5
4/2/2006	-0.7	-0.2	-0.3	3	3	1427	6:32:42	33.76	48.92	3.1	8:16	15:47	23:24	5
4/2/2006	-0.8	-0.1	-0.1	3	3	1427	6:45:27	33.93	48.74	2.7	8:16	15:48	23:26	5
4/2/2006	-0.75	-0.1	-0.1	3	3	1427	6:49:30	33.88	48.67	3.1	8:17	15:48	23:27	6
4/2/2006	-0.8	-0.1	0.1	3	3	1427	7:18:26	33.78	48.92	3.3	8:15	15:47	23:24	5
4/2/2006	-0.7	-0.3	0.6	3	3	1427	8:51:28	33.86	48.84	2.8	8:16	15:47	23:25	5
4/2/2006	0	-0.4	1.05	3	3	1427	14:36:41	33.88	48.8	3.2	8:21	15:52	23:31	6
4/2/2006	0.65	0.15	0.15	3	3	1427	16:06:49	33.76	48.87	2.5	8:16	15:47	23:25	5

4/2/2006	0.4	0.05	-0.2	3	3	1427	16:52:05	33.86	48.94	2.7	8:15	15:46	23:25	5
4/2/2006	-0.1	-0.2	0.35	3	3	1427	19:26:00	33.78	48.88	4.1	8:16	15:47	23:25	5
4/2/2006	-0.15	-0.7	-0.2	3	3	1427	21:44:43	33.8	48.95	2.6	8:19	15:46	23:20	5
4/2/2006	0	-0.8	-0.2	3	3	1427	23:17:28	33.86	48.88	3.1	8:15	15:47	23:25	5
4/3/2006	0.2	-0.5	-0.5	4	3	1427	2:59:00	33.97	48.77	3.6	9:02	16:45	----	5
4/3/2006	0.05	-0.3	-0.6	4	3	1427	4:15:37	33.93	48.94	2.6	9:01	16:43	----	5
4/3/2006	-0.55	-0.1	-0.3	4	3	1427	6:38:44	33.95	48.66	3.2	9:03	16:45	----	5
4/3/2006	-0.7	-0.1	0.1	4	3	1427	7:51:39	33.79	48.72	2.7	9:04	16:45	----	5
4/3/2006	-0.7	-0.1	0.3	4	3	1427	8:51:09	33.74	48.9	2.7	9:08	16:49	----	6
4/3/2006	-0.25	-0.3	0.9	4	3	1427	11:19:05	33.85	48.78	2.9	9:03	16:44	----	5
4/3/2006	-0.1	-0.2	0.9	4	3	1427	11:55:54	33.8	48.87	2.8	9:07	16:44	----	5
4/3/2006	0.2	-0.2	0.9	4	3	1427	13:08:15	33.69	48.89	2.4	9:03	16:44	----	5
4/3/2006	0.3	-0.2	0.87	4	3	1427	13:30:35	33.96	48.62	2.8	9:03	16:46	----	5
4/3/2006	0.35	-0.2	0.8	4	3	1427	13:40:08	33.86	48.88	2.8	9:02	16:44	----	5
4/3/2006	0.5	-0.1	0.7	4	3	1427	14:34:04	33.76	48.91	2.7	9:03	16:44	----	5
4/3/2006	0.3	-0.1	-0.2	4	3	1427	18:45:23	33.81	48.91	3.4	9:02	16:44	----	5
4/3/2006	0	-0.5	-0.3	4	3	1427	21:50:10	33.97	48.8	3.1	9:07	16:49	----	6
4/3/2006	0	-0.6	-0.3	4	3	1427	23:09:13	33.86	48.89	2.7	9:02	16:44	----	5
4/4/2006	0.1	-0.7	-0.4	5	3	1427	1:26:31	33.94	48.65	2.7	9:56	17:42	0:30	5
4/4/2006	-0.2	-0.2	-0.4	5	3	1427	5:56:46	33.81	48.88	3.6	9:56	17:40	0:28	5
4/4/2006	-0.5	-0.1	0.6	5	3	1427	10:56:27	33.84	48.87	2.9	9:55	17:40	0:28	5
4/4/2006	0.15	-0.3	-0.4	5	3	1427	21:19:25	33.93	48.69	3.2	9:56	17:41	0:30	5
4/5/2006	-0.05	-0.4	-0.4	6	3	1427	6:10:45	33.91	48.56	3	10:55	18:36	1:26	5
4/6/2006	-0.1	0.5	0.5	7	3	1427	0:45:26	33.85	48.89	2.9	11:53	19:25	2:11	5
4/6/2006	-0.35	0.05	0.05	7	3	1427	11:18:11	33.72	48.96	3	11:53	19:25	2:09	5
4/6/2006	-0.25	-0.3	0.75	7	3	1427	15:28:36	33.71	48.97	3	11:53	19:24	2:09	5
4/6/2006	-0.25	-0.3	0.75	7	3	1427	15:36:35	34.01	48.56	4.3	11:57	19:27	2:12	5
4/7/2006	-0.25	-0.7	-0.1	8	3	1427	4:42:31	33.76	48.92	2.9	12:54	20:12	2:49	5
4/7/2006	-0.5	0	0	8	3	1427	12:51:58	33.75	48.89	2.7	12:54	20:12	2:49	5
4/7/2006	-0.55	-0.2	0.5	8	3	1427	15:06:18	33.61	48.94	3	12:54	20:12	2:48	5
4/8/2006	0.1	-0.2	-0.6	9	3	1427	0:29:26	33.85	48.9	3.3	13:58	21:01	3:28	5
4/8/2006	0.35	-0.4	-0.2	9	3	1427	9:41:16	33.92	48.7	3.7	13:58	21:02	3:28	5
4/8/2006	0.5	-0.6	0.7	9	3	1427	19:18:42	33.87	48.89	3.3	13:53	20:56	3:22	5
4/9/2006	0.35	-0.8	0.25	10	3	1427	8:01:36	33.77	48.89	3.5	14:51	21:37	3:50	5

4/9/2006	0.4	-0.7	0.2	10	3	1427	8:27:43	33.95	48.63	2.9	14:52	21:39	3:52	5
4/9/2006	0.85	-0.5	0.1	10	3	1427	21:57:07	33.69	49.07	3	14:52	21:39	3:51	5
4/10/2006	0.7	-0.3	-0.4	11	3	1427	23:47:00	33.93	48.67	3	15:48	22:19	4:17	5
4/11/2006	0.85	-0.4	0	12	3	1427	11:06:27	33.89	48.77	2.7	16:43	22:57	4:39	5
4/11/2006	0.8	-0.4	0	12	3	1427	11:21:42	33.89	48.79	2.9	16:43	22:57	4:39	5
4/12/2006	-0.9	-0.5	0.3	13	3	1427	5:32:42	33.7	48.9	2.7	17:44	23:41	5:07	5
4/12/2006	0.9	0.8	0.8	13	3	1427	11:47:40	33.8	48.9	4.6	17:44	23:41	5:07	5
4/12/2006	-0.6	-0.2	-0.5	13	3	1427	16:10:09	33.92	48.7	3.1	17:45	23:41	5:07	5
4/13/2006	-0.25	-0.1	-0.7	14	3	1427	15:41:07	33.71	48.91	2.7	18:36	----	5:25	5
4/14/2006	0.7	-0.4	-0.4	15	3	1427	0:18:36	33.8	48.85	2.6	19:35	0:17	5:52	5
4/14/2006	-0.3	-0.7	1.2	15	3	1427	8:42:19	33.89	48.83	3.3	19:37	0:17	5:50	5
4/14/2006	0.9	-0.5	0.7	15	3	1427	11:12:29	33.73	48.74	2.7	19:37	0:18	5:51	5
4/15/2006	0.25	-0.2	-0.7	16	3	1427	2:09:30	33.92	48.9	2.8	20:45	1:06	6:23	5
4/17/2006	-0.7	0.25	-0.8	18	3	1427	8:28:41	33.83	48.84	3	22:49	2:40	7:31	5
4/18/2006	-0.6	0	-0.3	19	3	1427	5:58:32	33.87	48.87	3.6	23:52	3:35	8:19	5
4/19/2006	0.35	-0.1	-0.2	20	3	1427	18:56:37	33.97	48.71	2.9	----	4:35	9:17	5
4/19/2006	0.2	-0.2	-0.4	20	3	1427	20:10:33	33.95	48.73	3.3	----	4:35	9:17	5
4/19/2006	0.05	-0.6	-0.4	20	3	1427	23:13:41	33.76	48.91	4.2	----	4:34	9:17	5
4/20/2006	-0.2	-0.2	-0.3	21	3	1427	6:14:20	33.71	48.86	3.1	0:47	5:34	10:23	5
4/21/2006	-0.2	-0.2	-0.1	22	3	1427	8:54:22	33.72	48.98	3.1	1:35	6:31	11:32	5
4/22/2006	-0.4	-0.2	0	23	3	1427	12:15:25	33.81	48.83	2.5	2:19	7:28	12:45	5
4/23/2006	-0.45	-0.5	-0.4	24	3	1427	2:03:30	33.66	49.01	3.3	2:55	8:23	13:58	5
4/24/2006	0.1	-0.2	-0.7	25	3	1427	0:28:05	33.77	48.89	3.9	3:25	9:11	15:07	5
4/24/2006	-0.4	-0.9	0.4	25	3	1427	5:40:57	33.94	48.74	2.6	3:27	9:12	15:07	5
4/27/2006	1	0	-0.3	28	3	1427	13:08:04	33.73	48.87	3	4:55	11:42	18:39	5
4/28/2006	0.25	0.2	-0.4	29	3	1427	14:00:05	33.86	48.75	2.8	5:29	12:36	19:53	5
4/29/2006	0	0	-0.7	1	4	1427	16:39:14	33.75	48.92	2.6	6:07	13:30	21:03	5
4/29/2006	-0.4	-0.4	-0.4	1	4	1427	18:45:46	33.84	48.74	2.6	6:07	13:32	21:04	5
4/29/2006	-0.1	-0.9	-0.1	1	4	1427	21:31:33	33.93	48.72	2.8	6:07	13:32	21:05	5
4/29/2006	0.4	-0.8	-0.3	1	4	1427	23:55:27	33.5	48.96	2.5	6:09	13:30	20:59	5
4/30/2006	0	-0.1	-0.6	1	4	1427	18:00:18	33.76	48.92	3.5	6:51	14:28	22:10	5
5/1/2006	0.1	-0.1	-0.5	2	4	1427	18:30:47	33.76	48.9	3.8	7:48	15:32	23:17	5
5/5/2006	0	-0.6	-0.1	6	4	1427	4:57:18	33.83	48.88	2.8	11:43	18:52	1:22	5
5/5/2006	0.05	-0.4	-0.1	6	4	1427	6:28:14	33.68	49	2.8	11:45	18:54	1:23	5

5/6/2006	0.1	-0.2	-0.1	7	4	1427	9:02:51	33.84	48.86	3.3	12:41	19:34	1:52	5
5/6/2006	0	-0.1	-0.1	7	4	1427	10:03:28	33.89	48.87	2.6	12:41	19:34	1:52	5
5/7/2006	0.27	-0.7	0.27	8	4	1427	7:07:45	33.85	48.88	2.5	13:38	20:14	2:18	5
5/8/2006	-0.55	-0.4	0	9	4	1427	14:55:52	33.86	48.79	2.5	14:34	20:54	2:42	5
5/13/2006	-0.7	0.2	-0.4	14	4	1427	3:20:19	33.66	48.96	3.4	19:32	----	4:51	5
5/16/2006	0.25	-0.3	-0.4	17	4	1427	2:02:05	33.77	48.87	3	22:43	2:28	7:11	5
5/21/2006	-0.2	-0.8	0.2	22	4	1427	3:49:09	33.86	48.88	3	1:27	7:07	12:55	5
5/24/2006	0.5	-0.5	-0.5	25	4	1427	22:49:33	33.74	48.96	2.7	2:53	9:31	16:20	5
5/30/2006	-0.2	-0.5	-0.5	2	5	1427	20:32:42	33.98	48.69	2.8	7:26	15:07	22:42	5
5/31/2006	-0.8	-0.2	0.6	3	5	1427	8:40:03	34.05	48.66	2.7	8:31	15:59	23:19	5
6/2/2006	-0.5	-0.2	0.4	5	5	1427	10:14:41	33.9	48.73	2.7	10:33	17:30	----	5
6/6/2006	0.1	-0.9	0.15	9	5	1427	17:23:45	33.67	48.91	2.7	14:15	20:08	1:30	5
6/9/2006	0.25	-0.2	-0.7	12	5	1427	23:44:13	33.75	48.9	2.5	17:23	22:30	2:55	5
6/10/2006	0.25	-0.9	-0.2	13	5	1427	21:07:24	33.66	49.02	3.6	18:26	23:20	3:27	5
6/12/2006	-0.3	0.2	-0.6	15	5	1427	2:29:55	34	48.89	2.5	20:32	0:17	5:02	5
6/15/2006	0.6	0	-0.3	18	5	1427	16:44:23	33.86	48.69	3.5	23:00	3:19	8:24	4
6/17/2006	-0.45	-0.3	0.35	20	5	1427	10:18:24	33.9	48.81	2.6	23:59	5:05	10:49	5
6/17/2006	0.5	-0.5	0.3	20	5	1427	15:36:38	33.75	48.89	3.9	23:59	5:04	10:48	5
6/17/2006	0.2	-0.3	-0.5	20	5	1427	19:23:50	33.77	48.87	3.1	24:00:00	5:04	10:48	5
6/21/2006				24	5	1427	5:46:00	33.83	48.87	3.2	1:26	8:17	15:19	5
6/28/2006	0.4	-0.4	-0.5	1	6	1427	1:35:11	33.78	48.88	2.8	7:17	14:38	21:50	5
6/28/2006	0.37	-0.4	1.2	1	6	1427	11:11:57	33.94	48.7	2.6	7:22	14:43	21:56	5
6/30/2006	-0.65	-0.3	0.6	3	6	1427	9:27:25	33.7	49	3.2	9:21	16:08	22:46	5
7/6/2006	0.1	-0.8	-0.2	9	6	1427	17:50:11	33.84	48.85	2.7	15:02	20:14	0:47	5
7/26/2006	1	-0.3	0.7	29	6	1427	12:05:57	33.97	48.66	2.7	6:09	13:20	20:22	5
8/11/2006	-0.5	-0.9	0.3	16	7	1427	20:52:14	33.96	48.64	2.5	20:32	1:41	7:30	5
8/13/2006	-0.2	-0.2	-0.6	18	7	1427	18:10:19	33.86	48.87	2.8	21:29	3:20	9:51	5
8/14/2006	-0.25	-0.3	-0.1	19	7	1427	7:49:54	33.9	48.8	2.7	22:09	4:15	11:05	5
8/14/2006	0.1	-0.8	0.2	19	7	1427	11:51:11	33.59	49.04	2.8	22:03	4:11	11:02	5
8/16/2006	0.45	-0.1	0.4	21	7	1427	6:15:46	33.92	48.66	3.2	23:18	5:56	13:23	5
9/1/2006	0.35	-0.1	-0.1	7	9	1427	8:54:53	33.71	48.96	3.1	13:44	18:30	23:15	5
9/8/2006	0.2	-0.1	-0.7	14	9	1427	2:08:17	33.75	48.88	2.4	18:57	0:16	6:16	5
9/16/2006	0.2	-0.2	-0.5	22	9	1427	12:02:49	33.52	48.98	2.9	----	7:32	15:08	5
9/16/2006	-0.1	-0.4	-0.6	22	9	1427	13:22:54	33.64	48.99	2.8	----	7:32	15:09	5

فصل سوم: بررسی اثر جاذبه ماه و خورشید در زمین‌لرزه‌های ایران

9/16/2006	-0.05	-0.8	-0.2	22	9	1427	18:02:10	33.61	48.94	2.8	----	7:32	15:09	5
9/16/2006	0	0.15	-0.3	22	9	1427	22:20:29	33.58	48.9	2.5	----	7:38	15:15	6
9/16/2006	-0.1	-0.1	-0.3	22	9	1427	22:42:44	33.6	48.95	2.7	----	7:32	15:06	5
9/28/2006	-0.1	-0.6	-0.2	5	9	1427	10:11:13	33.86	48.82	3.9	11:36	16:24	21:09	6
10/7/2006	-1	-0.5	0.4	14	9	1427	18:15:31	33.75	48.9	3.4	17:59	----	6:20	6
10/15/2006	-0.1	-0.3	0.75	22	9	1427	3:37:49	33.75	48.88	2.8	----	7:10	14:27	6
10/24/2006	1	-0.2	0.5	2	10	1427	0:21:02	33.7	48.95	2.9	8:22	13:29	18:30	6

پیوست ۲-۴- مقدار مؤلفه‌های ماه و خورشید در زمان پیش‌لرزه‌ها، پس‌لرزه‌ها و شوک اصلی زرد

تاریخ	EW	NS	Z	روز	ماه	سال	ساعت	Lat.	Long.	Mw	Moon Rise	Moon Transit	Moon Set	Sun Rise
10/13/2002	-0.4	0	0.2	6	8	1423	23:19:31	30.73	56.88	4.6	12:56	18:01	23:07	5:41
10/14/2004	0.5	0	-0.6	1	9	1425	1:21:19	30.8	56.78	4.1	5:45	11:39	17:25	5:42
2/22/2005	-0.1	-0.1	-0.7	13	1	1426	2:25:22	30.8	56.76	6.4	15:57	23:01	5:23	6:14
2/22/2005	-0.1	-0.1	-0.7	13	1	1426	2:41:13	30.81	56.77	4.2	15:54	23:01	5:26	6:16
2/22/2005	-0.3	-0.2	-0.7	13	1	1426	3:00:26	30.81	56.74	3.4	15:55	23:01	5:26	6:16
2/22/2005	-0.4	-0.3	-0.6	13	1	1426	3:31:13	30.8	56.91	3.8	15:56	23:00	5:22	6:13
2/22/2005	-0.5	-0.4	-0.5	13	1	1426	3:59:06	30.78	56.75	3.1	15:55	23:01	5:26	6:16
2/22/2005	-0.5	-0.4	-0.5	13	1	1426	4:06:01	30.74	56.74	2.9	15:55	23:01	5:26	6:16
2/22/2005	-0.6	-0.7	-0.3	13	1	1426	5:08:31	30.79	56.86	4	15:54	23:00	5:25	6:15
2/22/2005	-0.6	-0.7	-0.1	13	1	1426	5:56:38	30.78	56.85	3.3	15:54	23:00	5:25	6:15
2/22/2005	-0.3	-1	0.2	13	1	1426	6:48:09	30.8	56.81	3.6	15:57	23:00	5:23	6:14
2/22/2005	0.5	-0.7	-0.1	13	1	1426	9:50:39	30.75	56.88	3.4	15:54	23:00	5:25	6:15
2/22/2005	-1	-0.3	0.7	13	1	1426	16:59:37	30.76	56.9	3.5	15:59	23:05	5:30	6:20
2/22/2005	-1	-0.3	0.8	13	1	1426	17:31:28	30.84	56.82	3.4	15:54	23:00	5:26	6:15
2/22/2005	0.5	-0.5	1.2	13	1	1426	20:46:03	30.85	56.83	3	15:54	23:00	5:26	6:15
2/22/2005	1.1	-0.3	0.3	13	1	1426	23:05:29	30.8	56.72	2.9	15:57	23:01	5:23	6:15
2/23/2005	-0.6	-0.8	0	14	1	1426	5:48:46	30.85	56.78	2.9	16:52	23:45	5:59	6:14
2/23/2005	-0.6	-0.8	0	14	1	1426	6:16:42	30.8	56.65	3.1	16:55	23:46	5:58	6:14
2/23/2005	-0.6	-0.8	0	14	1	1426	16:54:18	30.74	56.57	2.7	16:54	23:46	6:00	6:16
2/24/2005	1	-0.4	0.5	15	1	1426	23:26:32	30.78	56.71	3.9	17:50	----	6:30	6:14
2/25/2005	0.9	-0.2	-0.2	16	1	1426	1:12:00	30.79	56.75	4.2	18:47	0:27	6:57	6:12
2/26/2005	-0.2	0.95	0.7	17	1	1426	9:09:54	30.81	56.91	3.7	19:43	1:08	7:23	6:10
2/27/2005	0.9	-0.4	0.1	18	1	1426	13:20:45	30.83	56.8	4.2	20:47	1:56	7:55	6:15
2/28/2005	0.1	-0.2	-0.6	19	1	1426	3:48:32	30.82	56.77	4.3	21:43	2:34	8:18	6:09
3/1/2005	0.5	0	0	20	1	1426	16:13:46	30.8	56.87	4	22:43	3:19	8:51	6:06
3/2/2005	-0.3	-0.3	0.7	21	1	1426	11:22:59	30.79	56.78	3.4	23:53	4:09	9:25	6:07
3/3/2005	0.1	-0.7	-0.2	22	1	1426	0:50:05	30.8	56.89	4.1	----	5:02	10:10	6:04
3/4/2005	0.05	-0.7	-0.4	23	1	1426	3:42:41	30.79	56.75	3.6	1:01	6:01	10:58	6:05
3/5/2005	0	-0.4	-0.5	24	1	1426	0:23:00	30.78	56.9	3	2:13	7:08	12:04	6:08
3/6/2005	0.2	-0.4	-0.3	25	1	1426	9:02:53	30.76	56.77	4.2	3:10	8:07	13:07	6:02

3/7/2005	-0.8	0.1	-0.1	26	1	1426	14:35:12	30.77	56.81	3	4:04	9:09	14:20	6:01
3/9/2005	-0.5	0	-0.5	28	1	1426	14:52:46	30.74	56.92	3.2	5:28	11:02	16:43	5:57
3/10/2005	-1	-0.4	0.2	29	1	1426	17:39:24	30.78	56.7	3	6:09	11:59	17:58	6:02
3/12/2005	-0.8	-0.7	0.6	1	2	1426	7:34:53	30.72	56.78	3.3	7:05	13:30	20:02	5:55
3/15/2005	-0.7	-0.2	0.2	4	2	1426	8:00:35	30.79	56.87	3.9	8:42	15:53	23:10	5:51
3/18/2005	0.5	-0.1	0.3	7	2	1426	9:03:42	30.85	56.79	3	10:56	18:28	1:07	5:47
3/19/2005	-0.1	-0.5	-0.4	8	2	1426	1:29:56	30.84	56.77	3.5	11:50	19:19	1:59	5:46
3/20/2005	-0.3	-0.6	-0.3	9	2	1426	3:03:00	30.76	56.86	3.6	12:46	20:08	2:44	5:44
3/27/2005	0	0	-0.7	16	2	1426	2:26:00	30.74	56.8	2.8	19:40	0:36	6:26	5:41
3/31/2005	0.3	-0.1	-0.1	20	2	1426	18:35:25	30.78	56.72	2.9	----	3:56	8:55	5:31
4/1/2005	-0.1	-0.3	-0.4	21	2	1426	4:58:19	30.83	56.95	3.1	----	4:55	9:50	5:29
4/3/2005	-0.3	-0.7	-0.3	23	2	1426	2:29:04	30.82	56.64	2.9	2:00	7:01	12:07	5:28
4/4/2005	0	0	-0.3	24	2	1426	10:54:32	30.76	56.82	3	2:46	7:58	13:17	5:26
4/10/2005	-0.5	-0.3	-0.5	1	3	1426	17:23:07	30.79	56.68	3.1	6:05	12:54	19:52	5:19
4/11/2005	-0.9	-0.3	1	2	3	1426	7:20:31	30.8	56.83	2.8	6:40	13:42	20:51	5:18
4/22/2005	0.1	-0.1	-0.7	13	3	1426	0:27:13	30.82	56.67	2.8	16:22	22:26	3:54	5:06
4/23/2005	-0.7	-0.1	-0.4	14	3	1426	2:59:49	30.85	56.74	2.9	17:22	23:10	4:21	5:04
4/25/2005	-1	0	-0.2	16	3	1426	5:02:47	30.72	56.68	3.6	19:33	----	5:25	5:03
5/1/2005	0.57	-0.1	0.1	22	4	1426	18:58:39	30.8	57	5.1	0:44	5:55	11:12	4:59
5/2/2005	-0.3	-0.5	-0.3	23	4	1426	1:04:43	30.78	56.97	3.2	1:26	6:48	12:16	4:54
5/4/2005	-0.5	-0.2	0.5	25	4	1426	0:45:33	30.75	56.9	3	2:39	8:32	14:33	4:58
5/6/2005	0.2	-0.1	-0.7	27	4	1426	0:15:00	30.77	56.91	3.3	3:32	9:58	16:33	4:51
5/11/2005	0.1	0	-0.6	2	4	1426	16:56:16	30.8	57	3.1	6:43	14:09	21:38	4:51
5/14/2005	0.4	-0.1	-0.2	5	4	1426	18:04:57	30.72	56.65	5.2	9:23	16:42	23:56	4:47
5/15/2005	-0.5	0	0.3	6	4	1426	9:40:33	30.69	56.75	3	10:20	17:28	----	4:45
5/16/2005	-0.3	-0.7	-0.2	7	4	1426	1:29:48	30.75	56.83	3.6	11:16	18:11	0:29	4:44
5/17/2005	-0.4	-0.4	-0.4	8	4	1426	23:53:10	30.8	56.75	3.4	12:15	18:54	0:58	4:46
5/18/2005	-0.4	-0.4	-0.4	9	4	1426	0:18:14	30.83	56.71	3.8	13:10	19:36	1:27	4:43
5/22/2005	0.1	1.1	0.1	13	4	1426	19:27:58	30.79	57.04	3.3	17:14	22:39	3:21	4:42
5/26/2005	-0.3	-0.5	-0.5	17	4	1426	19:35:36	30.86	56.82	3.5	21:48	1:40	6:35	4:39
5/27/2005	0	-0.1	1.1	18	4	1426	10:52:53	30.59	56.8	3	22:46	2:50	7:52	4:44
6/2/2005	0.65	-0.1	0.1	24	5	1426	9:32:19	30.83	56.8	3.4	1:41	8:02	14:31	4:41
6/4/2005	0	-1	0.1	27	5	1426	18:56:36	30.76	56.91	3.7	2:35	9:28	16:28	4:36
6/15/2005	-0.1	-0.6	0.4	8	5	1426	14:07:21	30.76	56.93	3.4	11:53	18:10	----	4:35

6/21/2005	-0.7	-0.5	0.3	12	5	1426	1:55:24	30.79	56.84	3.2	18:23	23:20	3:17	4:36
6/26/2005	0	-0.4	0.9	19	5	1426	11:22:34	30.74	56.64	2.5	22:39	3:32	9:07	4:39
7/6/2005	1	0.3	0	29	5	1426	12:48:01	30.75	56.66	3.2	4:10	11:41	19:09	4:43
7/14/2005	-0.2	-0.5	0.2	7	6	1426	13:55:08	30.56	56.54	2.8	11:40	17:32	23:17	4:49
7/16/2005	-0.4	-0.3	-0.1	9	6	1426	23:10:36	30.73	56.72	3.3	13:41	19:04	----	4:48
7/18/2005	-0.5	-0.3	-0.4	11	6	1426	3:37:28	31.26	56.43	3.3	16:02	21:02	1:06	4:51
8/20/2005	-1	-0.3	0.5	15	7	1426	6:00:41	30.76 (۴-۲)	56.72 آدمه پیوست	3	19:04	----	5:33	5:10
8/22/2005	0.78	-0.6	0	17	7	1426	0:26:09	30.8	56.75	3.3 ۳.۳۴	20:08	1:40	7:52	5:12
9/4/2005	0.5	0.2	-0.7	30	7	1426	0:59:40	30.72	56.87	2.9	5:36	12:06	18:29	5:18
9/5/2005	-0.9	-0.2	-0.2	1	8	1426	5:00:16	30.79	56.72	3.8	6:32	12:47	18:55	5:19
9/6/2005	-0.8	-0.3	-0.3	2	8	1426	17:46:01	30.75	56.93	3.3	7:26	13:26	19:20	5:19
9/10/2005	0.4	-0.1	0.6	6	8	1426	2:02:14	30.8	56.95	3.7	11:26	16:35	21:40	5:21
9/21/2005	0	-0.9	0.3	17	8	1426	9:54:09	30.74	56.65	2.9	19:42	1:55	8:51	5:29
9/24/2005	-0.5	-0.1	0.2	20	8	1426	21:25:15	30.75	56.9	2.9	21:57	4:35	12:06	5:35
10/24/2005	-0.1	-0.6	-0.4	21	9	1426	11:41:04	30.79	56.66	3.3	22:29	5:01	12:26	5:51
11/6/2005	-0.7	0	0.2	5	10	1426	19:38:29	30.82	56.89	3	10:29	15:23	20:19	6:00
11/13/2005	-0.6	-0.6	1	12	10	1426	17:18:44	30.72	56.79	2.6	15:00	21:31	3:06	6:06
11/20/2005	-0.1	-0.1	-0.5	19	10	1426	16:11:07	30.82	56.88	3.7	20:15	2:49	10:17	6:12
1/8/2006	0.4	-0.2	0.7	8	12	1426	18:17:30	30.71	56.83	3.1	12:06	19:00	0:59	6:40
3/7/2006	0	-0.7	-0.3	6	2	1427	2:19:01	30.79	56.87	3.8	10:48	18:21	0:57	6:01
3/10/2006	-0.8	0	0.2	9	2	1427	14:30:48	30.83	56.73	3.1	13:39	20:58	3:32	5:58
5/7/2006	0.3	-0.6	0.3	8	4	1427	6:20:54	30.81	56.7	4.8	13:13	19:47	1:47	4:56
6/11/2006	0.8	0.3	-0.4	14	5	1427	13:15:57	30.71	56.62	2.9	18:49	23:45	3:47	4:37
7/28/2006	0.25	-0.5	0.25	2	7	1427	11:57:20	30.73	56.68	3.2	7:36	14:11	20:38	4:55
10/8/2006	0	0	-0.7	15	9	1427	2:52:55	30.78	56.72	3	18:01	0:03	6:52	5:39
10/9/2006	-0.5	-0.8	0	16	9	1427	7:43:53	30.83	56.74	4.5	18:41	0:58	8:04	5:40
11/19/2006	-0.5	-0.8	0	27	10	1427	4:56:36	30.77	56.94	3.3	4:37	10:05	15:27	6:10
11/26/2006	-0.3	0	0.78	5	11	1427	23:19:34	30.74	56.85	3	11:05	16:21	21:42	6:17
3/23/2007	0.6	0	0.3	4	3	1428	15:10:36	30.74	56.74	2.8	8:18	15:41	23:09	5:42
4/1/2007	0.2	-1	0.8	13	3	1428	19:51:25	30.79	56.74	4.2	16:59	23:07	4:43	5:31

پیوست ۲-۵- مقدار مؤلفه‌های ماه و خورشید در زمان پیش‌لرزه‌ها، پس‌لرزه‌ها و شوک اصلی منجیل

Date	روز	ماه	سال	EW	NS	Z	Time(UTC)	Lat.	Long.	Mw	Moon Rise	Moon Transit	M
6/20/1990	26	11	1410	-0.3	-0.7	-0.4	21:00:10	36.957	49.409	7.7	0:47	9:10	
6/20/1990	26	11	1410	0.3	-0.5	-0.5	22:04:07	36.724	49.731	4.6	0:43	8:48	
6/20/1990	26	11	1410	0.3	-0.5	-0.5	22:20:05	37.055	49.226	4.6	1:51	9:23	
6/20/1990	26	11	1410	0.35	-0.5	-0.5	22:23:43	37	49.16	4.3	2:08	9:37	
6/20/1990	26	11	1410	0.2	-0.25	-0.65	22:58:52	36.825	49.473	4.9	0:53	9:06	
6/20/1990	26	11	1410	0.25	-0.4	-0.6	23:00:36	36.891	49.591	4.9	0:40	8:57	
6/20/1990	26	11	1410	0.1	-0.1	-0.7	23:33:25	37.1	49.736	4.5	1:19	8:47	
6/21/1990	27	11	1410	0	0	-0.7	0:22:33	37.326	49.415	4.6	2:11	10:13	
6/21/1990	27	11	1410	-0.25	0.05	-0.6	0:52:35	36.804	49.568	4.8	1:28	10:03	
6/21/1990	27	11	1410	-0.4	0.1	-0.6	1:16:10	37.369	49.357	4.3	2:12	10:17	
6/21/1990	27	11	1410	-0.75	0.2	-0.4	2:08:51	36.789	49.789	5.4	1:14	9:47	
6/21/1990	27	11	1410	0	-0.4	1.35	7:50:23	36.988	49.523	4.9	1:12	10:06	
6/21/1990	27	11	1410	0.6	-0.3	0.15	9:02:15	36.636	49.799	5.8	1:26	9:46	
6/21/1990	27	11	1410	1	-0.25	0.7	10:09:46	37.358	49.671	4.3	1:51	9:55	
6/21/1990	27	11	1410	0.4	0.1	-0.1	12:17:27	36.732	49.407	5.3	1:45	10:14	
6/21/1990	27	11	1410	0.3	-0.7	-0.35	21:27:40	36.516	49.661	4.9	1:45	9:56	
6/21/1990	27	11	1410	0.25	-0.75	-0.4	21:31:08	36.794	49.333	4.8	1:45	10:19	
6/21/1990	27	11	1410	0.35	-0.4	-0.6	23:13:08	37.29	49.64	4.5	2:53	10:38	
6/22/1990	28	11	1410	-1	0.2	-0.25	3:32:48	37.078	49.73	4.7	3:49	11:43	
6/22/1990	28	11	1410	-0.9	-0.2	1	6:21:51	36.827	49.359	4.9	2:34	11:23	
6/22/1990	28	11	1410	-0.4	-0.5	-0.5	17:54:44	37.274	49.735	4.1	2:50	10:57	
6/22/1990	28	11	1410	-0.4	-0.6	-0.35	19:04:25	37.32	49.576	4.1	3:17	11:08	
6/22/1990	28	11	1410	0.1	-0.9	-0.3	21:20:06	37.341	49.496	4.3	3:02	11:14	
6/23/1990	29	11	1410	0.75	-0.4	1.2	10:41:08	37.129	49.725	4.6	4:09	12:03	
6/24/1990	30	11	1410	0	-0.5	1.3	9:45:57	36.863	49.405	5.1	5:00	13:26	
6/24/1990	30	11	1410	-0.35	-0.5	-0.5	19:05:21	37.222	49.647	4.8	5:24	13:09	
6/27/1990	3	12	1410	0.2	-0.3	-0.3	3:56:21	37.007	49.785	4.8	8:57	15:33	
6/28/1990	4	12	1410	0.3	-0.5	0	3:20:35	37.085	49.642	4.8	10:09	16:26	
6/29/1990	5	12	1410	-0.2	-0.65	0.2	1:06:04	37.382	49.69	4.3	11:53	17:47	
7/6/1990	12	12	1410	-0.2	-0.9	-0.3	19:34:52	36.861	49.303	5.3	19:20	22:58	

7/11/1990	17	12	1410	-0.3	0	-0.55	4:36:09	37.015	49.53	4.5	21:34	2:32
7/27/1990	4	1	1411	0.1	-0.1	-0.23	5:31:00	37.318	49.585	4.8	10:06	15:48
8/20/1990	28	1	1411	1	-0.25	0	12:20:11	36.956	49.72	4.8	4:37	12:02
8/21/1990	29	1	1411	-0.4	0	-0.6	3:47:26	37.309	49.685	4.8	5:28	12:07
8/22/1990	1	2	1411	-0.75	-0.75	0.5	7:51:49	37.056	49.327	4.3	7:02	13:16
8/23/1990	2	1	1411	-0.7	-0.4	-0.1	6:50:07	37.373	49.749	4.3	7:39	13:30
10/22/1990	2	4	1411	0.55	0.1	-0.4	3:50:20	36.933	49.298	4.7	10:49	14:26
12/28/1990	10	6	1411	-0.2	-0.6	-0.4	4:03:54	37.106	49.227	5	13:18	20:52

منابع فارسی

۱. آقائباتی، علی (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۲. ابراهیمی، م. (۱۳۸۰). اصول مدیریت بحران، مرکز مطالعات و پژوهش‌های مقابله با سوانح طبیعی، تهران، مؤسسه علمی-کاربردی.
۳. بربریان، مانوئل (۱۳۶۲). دگرریختی فاره‌ای در فلات ایران زمین (پژوهش و بررسی لرزه‌زمین‌ساخت ایران: بخش چهارم)، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۵۲.

۴. برگ، خسرو (۱۳۸۲). اصول مهندسی زلزله، انتشارات دانشگاه تهران.
۵. بیرشک، احمد (۱۳۷۳). گاهنامه تطبیقی سه هزار ساله، انتشارات بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.
۶. پورکرمانی، محسن، آرین، مهران (۱۳۷۶). ساینموتکتونیک لرزه زمین ساخت، مهندسی مشاور دز آب.
۷. پورکرمانی، محسن، آرین، مهران (۱۳۷۷). لرزه‌خیزی، ایران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، صفحه ۲۱۲.
۸. توکلی، شهاب (۱۳۷۳)، زلزله شناسی، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۳۵ ص.
۹. حافظی مقدس، ناصر (۱۳۸۱). مطالعه اثر ساختگاه و حرکات شدید زمین‌لرزه‌ها در شرق و مرکز ایران (استان خراسان و کرمان)، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۰. حسامی، خالد، جمالی، فرشاد، طیبی، هادی (۱۳۸۲). نقشه گسل‌های فعال ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
۱۱. حسن‌پور صدقی، محمد، (۱۳۸۰). مطالعه توزیع زمانی پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌های چند زمین‌لرزه بزرگ در ایران به کمک ضرایب contagious. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۷۴ ص.
۱۲. حسینی، زهرا (۱۳۸۶). بررسی زلزله‌های القایی مرتبط با برخی از سدهای بزرگ ایران (از دیدگاه توسعه پایدار)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۱۳. خانی، شهربانو (۱۳۸۶). مطالعه الگوی مکانی و زمانی پس‌لرزه‌های اصلی رخ داده در ایران طی ۳۰ سال اخیر (۲۰۰۶-۱۹۷۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه دامغان.
۱۴. درویش‌زاده، علی (۱۳۸۲). زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر.
۱۵. رزینیک، هالیدی، ترجمه دیانی، (۱۳۸۴). مبانی فیزیک هالیدی، جلد اول، انتشارات نص.
۱۶. رضانی اومالی، رمضان (۱۳۸۶). جایگاه ساختاری ناحیه شرق بجنورد (با تحلیلی بر مرز کپه‌داغ و البرز شرقی)، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی.
۱۷. زمانی، احمد؛ هاشمی، سید ناصر (۱۳۷۹). بررسی و تحلیل توزیع پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۱۷ اردیبهشت ۷۸ کهمره استان فارس (جنوب غرب ایران) با استفاده از مدل‌های آماری. فشرده مقالات چهارمی همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۸-۱۰ شهریور ۱۳۷۹، دانشگاه تبریز، ۳۸۷-۳۸۵.
۱۸. زیلیک، م. اسمیت، الف، ترجمه قنبری، جمشید؛ عدالتی، تقی (۱۳۷۶). نجوم و اختر فیزیک مقدماتی، جلد اول، چاپ ششم، انتشارات آستان قدس رضوی.
۱۹. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، بهمن ۱۳۷۲، گزارش لرزه‌خیزی و برآورد خطر زمین‌لرزه در ساختگاه سد کرخه.
۲۰. شرکت صدر سازه کوشا، (۱۳۸۰)، خلاصه گزارشات مطالعات مرحله اول طرح کرخه (مستند سازی طرح کرخه)، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
۲۱. عاقل، فیروزه (۱۳۸۶). ارزیابی ریسک خطر زلزله و مدیریت بحران در شهر مقدس مشهد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۲۲. عسکری، قاسم (۱۳۸۵). پیش‌بینی زلزله با استفاده از پیش‌نشانگرهای هواشناسی و سنجش از دور در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۲۳. کلهانگ الف، ترجمه بهادر، م.، توکلی، ب.، توکلی، ش.، قشلاقی، ف.، (۱۳۷۲). پیکرشناسی لرزه‌نگاشت‌ها، چاپ اول، انتشارات مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
۲۴. لی، ت.، والاس، ت.، س.، ترجمه حیدریان شهری، م.، (۱۳۸۱). لرزه‌شناسی مدرن جهانی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۵۱۳-۵۱۰.
۲۵. محمدیان، پریمه، (۱۳۸۳). مطالعه توزیع مکانی پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه‌های مهم رخ داده در ایران به کمک آنالیز فرکتالی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۲۳ ص.
۲۶. نصیری، ش.، (۱۳۸۵). زندگی با زمین لرزه‌ها در زاگرس- پی‌جویی مقدماتی صحرایی در زمین‌لرزه ۱۱ فروردین ۱۳۸۵ چالان چولان دشت سیلاخور، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین.

References

27. Aki, K., (1968), Seismicity and seismological method, *Tectonophysics*, Vol.6, pp. 41-58.
28. Aktar, M., Ozalaybey, S., Ergin, M., Karabulut, H., Bouin, M. P., Tapirdamaz, C., Bicmen, F., Yoruk, A., Bouchon, M., (2004), Spatial variation of aftershock activity across the rupture zone of the August 1999 Izmit earthquake, Turkey, *Journal of Tectonophysics*, Vol. 194, 325-334.
29. Ali, O., Öncel, Ö., A., (1999), Effect of aftershocks on earthquake hazard estimation: an example from the north Anatolian fault zone, *Natural Hazards*, Vol. 19, pp. 1–11.

30. Allen, M., Jackson, J., Walker, R., (2004), Late Cenozoic reorganization of the Arabia- Eurasia collision and the comparison of short- term and long- term deformation rates, *TECTONICS*, Vol. 23, TC 2008.
31. Bagby J. P., (1973), Further evidence of tidal influence on earthquake incidence.
32. Bath, M., (1965), Lateral inhomogeneities in the upper mantle, *Journal of Tectonophysics*, Vol. 2, pp. 483-514.
33. Beacher, B. G., Keeney, R. L., (1982), Statical examination of reservoir induced seismicity, *Bulletin of Seismol. Soc. Am.*, Vol. 72, pp. 553-569.
34. Benito, B., Cepeda, J. M., Martinz Diaz, J. J., (2004), Analysis of spatial and temporal distribution of the 2001 earthquakes in El Salvador, Geological Society of America, pp. 1-18.
35. Berberian, M., (1981), Aftershock tectonics of the 1978 Tabas-e-Golshan (Iran) earthquake sequence: a documented active "Thin-and thick-skinned tectonic" case, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*
36. Berberian, M., (1983), Active faulting and tectonics of Iran, in: continental deformation in Iranian plateau (contribution to the seismotectonics of Iran, Part IV), Geol. Sur. Of Iran, Rep. No. 52, pp. 464-500.
37. Berberian, M., (1995), Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Journal of Tectonophysics*, Vol. 241, pp. 193-224.
38. Bohenenstiehl, D. R., Tolstoy, M., Dziak, R. P., Fox, C. G., Smith, D. K., (2002), Aftershock sequences in the mid-ocean ridge environment: an analysis using hydroacoustic data, *Tectonophysics*, Vol. 354, pp. 49-70.
39. Bonini, M., Corti, G., Sokoutis, D., Vannucci, G., Gasperini, P., (2003), Sieral cloetingh, insights from scaled analogue modelling into the seismotectonics of the Iranian region, *Journal of Tectonophysics*, Vol. 376, pp. 137-149.
40. Bostrom, R. C., (1971), *Nature*, Vol. 234, pp. 536-538.
41. Caccamo, D., Barbieri, F. M., Lagana, C., Amico, S. D., Parrillo, F., (2005), The temporal series of the New Guinea 29 April 1996 aftershock sequence, *Physics of the earth and Planetary Interiors*, Vol. 153, pp. 175-180.
42. Carder, D. S., (1945), Seismic investigations in the Boulder Dam area, 1940-1944, and the influence of reservoir loading on earthquake activity, *Bulletin of Seismol, Soc. Am.* Vol. 35, pp. 175-192.
43. Chaudhury, H. M., Srivastava, H. N., (1973), *Pageoph*, Vol. 105.
44. Chen, Ch., Wang, W., Chang, Y., Wu, Y., Lee, Y., (2006), A correlation between the b-value and the fractal dimension from the aftershock sequence of the 1999 Chi- Chi, Taiwan, earthquake, *Geophysical Journal Institute*, Vol. 167, pp. 1215-1219.
45. Chen, L., (1996), Cerebration of the scientific guide lines, methodology and difficulties in earthquake prediction, *Journal of Seismological Research*, Vol. 15(2), pp. 1-6.
46. Christophersen, A., Smith, E. G., (2004), Aftershock number for forcasting short-term earthquake probabilities, American Geological Union, S23A, 0290.
47. Coburn, A., Spence, R., (2002), Earthquake protection, Second edition, John Wiley & Sons, Ltd.
48. Console, R., Murru, M., (2001), A simple and testable model for earthquake clustering, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, pp. 8699-8711.
49. Console, R., Murru, M., Lombardi, A. M., (2003), Refining earthquake clustering models, *Journal of Geophysical Research*, 108, 10.1029/2002JB002130.
50. Davis, S. D., Frohlich, C., (1991), Single-link cluster analysis of earthquake aftershocks: decay laws and regional variations, *J. Geophys. Res.*, Vol. 96, pp. 6335-6350.
51. Davis, S. D., Frohlich, C., (1991), Single-link cluster analysis, synthetic earthquake catalogues, and aftershock distribution, *Geophys. J. Int.* Vol. 104, pp. 289-306.
52. Di Giovambattista, R., Tyupkin, Y., (2000), Spatial and temporal distribution of seismicity before the Umbria-Marche September 26, 1997 earthquake, *Journal of Seismology*, Vol. 4, pp. 589-598.

53. Dimiri, V. P., Vedanti, N., Chattopadhydy, S., (2005), Fractal analysis of aftershock sequence of the Bhuj earthquake: a wavelet based approach, *National Geophysical Research Institute*, Vol. 88, No. 10.
54. Ding, Z., Jia, J., Wang, R., (1983) Seismic triggering effect of tidal stress, *Journal of Tectonophysics*, Vol. 93, pp. 319-335.
55. Ding, Z., Jia, R., Wang, Ren, (1983), Tidal stress as a triggering mechanism for earthquakes, *Journal of Acta Seismol. Sin.* Vol. 5, pp. 172.
56. Drakatos, G., Latussakis, J., (2001), A catalog of aftershock sequences in Greece (1971-1997) their spatial and temporal characteristics, *Journal of Seismology*, Vol. 3, pp. 137-145.
57. Drakopoulos, J., (1968), The characteristic parameters of the aftershock sequences in Greece, Ph.D. Thesis, Athens University.
58. Du, P., Xu, D., (1989), An introduction to astroseismology, Seismic Press, Beijing.
59. E.D.G., (2000), Report: How earthquake are being triggered?
<http://aje.oxfordjournals.org/cgi/content/full/160/7/688>
60. Earthquake Triggering, earthquake precursor signal generation, and earthquake sensitivity theory pictures, (2004). <http://www.freewebz.com/eq-forecasting/128.html>.
61. Enescu, B. D., (2003), Temporal and spatial variation patterns of seismicity in relation to the crustal structure and earthquake physics from the analysis of several seismic sequences in Japan and Romania, Doctoral Thesis, Kyoto University, 120.
62. Enescu, B. D., Ito, K., (2000), Some premonitory phenomena of the 1995 Hyogoken Nanbu (Kobe) earthquake: seismicity, b- value and fractal dimention, *Tectonophysics*, Vol. 338, pp. 297-314.
63. Evison, F. F., Rhoades, D.A. (2004), Demarcation and scaling of long-term seismogenesis, *Journal of Pure appl. geophys.* 161, DOI 10.1007/s00024-003-2435-8.
64. Fang, J., (1984), Solid earth tides, Scientific press, PP. 156-437, In Chinese.
65. Felzer, K. R., Abercrombie, R. E., Ekstroem, G., (2004), A common origin for aftershocks, foreshocks, and multiplets, *Bulletin of Seism. Soc. Am.* Vol. 94, pp. 88-98.
66. Felzer, K.R., Becker, T.W., Abercrombie, R.E., Ekstrom, G., Rice, J.R., (2002), Triggering of the 1999 Mw 7.1 Hector Mine earthquake by aftershocks of the 1992 Mw 7.3 Landers earthquake. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, pp. 2190.
67. Gao, X., Wang, W., (1983), On the characteristics of the phase of solid tidal stress for different types of earthquake sequences occurred in the continent of China, *Journal of Acta Seismol. Sin.* Vol. 5, pp. 323.
68. Gardner, J. K, Knopoff, L., (1974), Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?. *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 64, pp. 1363–1367.
69. Gribbin, J., (1973), *Nature*, Vol. 246, pp. 453.
70. Gribbin, J., Plagemann, S., (1974), The Jupiter effect, Walker, New York.
71. Gupta, H. K., (1992), Reservoir induced earthquakes, Elsevier, Amesterdam, 364 pp.
72. Gupta, H. K., (2002), A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with spatial emphasis on earthquakes in Koyna, India, *Journal of Earth science reviews*, Vol. 58, pp. 279-310.
73. Gupta, H. K., (2005), Nature of earthquakes, New Delhi, India, 58 pp.
74. Gupta, H. k., Rajendrnr, K., (1986), Large artificial water reservoirs in the vicinity of the Himalayan foothill and reservoir induced seismicity, *BSSA*, Vol. 76, No. 1, pp. 205-215.
75. Gupta, H. K., Rastogi, B. K., (1976), Dams and earthquakes, Elsevier, Amesterdam, 229 pp.
76. Gutenberg, B., Richter, C., (1944), Frequency of earthquakes in California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 34, pp. 185–188.
77. Hainzl, S., Zoller, G., Kurths, J., (1999), Similar power laws for foreshock and aftershock sequences in a spring-block model for earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, pp. 7243–7253.
78. Halmstetter, A., Sornette, D., (2002), Diffusion of epicenters of earthquake aftershocks, Omori's law, and generalized continuous time random walk models, *Physical Review*, E66, 064404.

79. Han, Y., Li, Z., Hu, H., (1998), Interdisciplinary studies of astronomical factors and earthquake in China, International of geodesy symposia, IAG, Scientific assembly, Rio de Janeiro, September 3-9, 1997, vol. 119, 465-471, Springer press.
80. Hatzfeld, D., Tatar, M., Priestley, K., Ghafory-Ashtiany, M., (2003), Seismological constraints on the crustal structure beneath the Zagros Mountain belt (Iran), *Journal of Geophys. Int.* 155, 403-410.
81. Hauksson, E., Jones, L.M., (1989), The 1987 Whittier narrows earthquake sequence in Los Angeles, southern California: seismological and tectonic analysis. *J. Geophys. Res.* Vol. 94, (B7), pp. 9569–9589.
82. Heaton, T. H., (1982), Tidal triggering of earthquakes, *Bulletin of Seism. Soc. Am.*, Vol. 72, pp. 2181-2200.
83. Helmstetter, A., (2003), Is earthquake triggering driven by small earthquakes? *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 91, pp. 58501.
84. Helmstetter, A., Sornette, D., (2002), Sub-critical and super-critical regimes in epidemic models of earthquake aftershocks, *Journal of Geophysical Research* , Vol. 107, pp. 2237.
85. Hesami, K., (2002), Tectonic history and present-day deformation in the Zagros Fold-Thrust Belt, Comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the faculty of Science and Technology, UPPSALA.
86. Hu, H., Li, X., (1999), Analysis of astronomical characteristics of major earthquakes in China, *Journal of Natural disasters*, Vol. 8 (1), pp. 30-34, in Chinese.
87. Hu, H., Zhao, H., Li, X., Wang, R., (1994), Analysis of the astronomical characteristics of major earthquakes in China, Proceeding of international workshop on seismotectonics and seismic hazard in south east Asia, Hanoi, Vietnam, pp. 57-60.
88. Jain, R., Pastogi, B. K., Dimri, V. P., (2003), Fractal dimension of the 1999 Chamoli earthquake from aftershock studies in Garhwal Himaliya, *Journal of Pure and Applied Geophysics*, Vol. 160, pp. 2329-2341.
89. Johnston, J. S., Mauk, F. J., (1972), *Nature*, Vol. 239, pp. 266-267.
90. Jones, L. M., (1984), Foreshocks (1966–1980) in the San Andreas System, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 74, pp. 1361–1380.
91. Jones, L. M., Molnar, P., (1979), Some characteristics of foreshocks and their possible relationship to earthquake prediction and premonitory slip on faults, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 84, pp. 3596-3608.
92. Kagan, Y., Jackson, J., David, D., (1998), Spatial aftershock distribution: Effect of normal stress, *Journal of Geophysical Research*, B10, 24453-24468.
93. Kagan, Y., Knopoff, L., (1978), Statical study of the occurrence of shallow earthquakes, *Geophys. J. R. Aster. Soc.*, Vol. 55, pp. 67-86.
94. Kagan, Y., Knopoff, L., (1981), Stochastic synthesis of earthquake catalogs, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 86, pp. 2853–2862.
95. Karl, S., (1990), Planetary alignment, Part 2, Great moments in Science, Kruszelnicki Pty Ltd.
96. Keilis-Borok, V. I., Knopoff, L., Rotwain, I. M., (1982), Burst of aftershocks, long-term precursors of strong earthquakes, *Nature*, Vol. 283, pp. 259–263.
97. Kijko, A., (1988), Maximum likelihood estimation of Gutenberg–Richter *b* parameter for uncertain magnitude values, *Pageoph*, Vol. 127, pp. 573–579.
98. Kijko, A., Sellevoll, M. A., (1987), Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files, Seismo Series No. 11, Seismol. Obs. Univ. of Bergen, Norway.
99. Kijko, A., Selovoll, M. A., (1990), Estimation of earthquake hazard parameters for incomplete and uncertain data files, *Pageoph*, Vol. 127, pp. 573–579.
100. Kijko, A., Skordas, E., Wahlstorm, R., Mantyneimi, P., (1993), Maximum likelihood estimation of seismic hazard for Sweden, *Natural Hazard*, Vol. 7, pp. 41-57.
101. Kilston, J. Knopoff, L., (1983), Lunar- solar periodicities of large earthquake in southern California, *Nature*, Vol. 304, pp. 21.

102. Klien, F. W., (1976), Earthquake swarms and the semidiurnal solid earth tide, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, Vol. 45, pp. 245-295.
103. Knopoff, L., (1964), Earth tides as a triggering mechanism for earthquakes, *Bulletin of Seism. Soc. Am.*, Vol. 54, pp. 1865-1870.
104. Kumar, B., Agrawal, R. C., Narang, S. S., RIS and reservoirs in the Northwestern and central Himalayan foothills, 208-296.
105. Lammlein D. R., Latham, G. V., Dorman, J., Nakamura, Y., Ewing, M., (1974), Lunar seismicity, structure and tectonics, *Rev. Geophys.*, Vol. 12, pp. 1-21.
106. Lay, T., Kanamori, H., (1980); Earthquake doublets in the Solomon Island, *Physics of the earth and Planetary Interiors*, Vol. 21, pp. 283-304.
107. Lee, A., (2002), International handbook of earthquake and engineering seismology, *Seismology and Physical Earth Interior*, 719-732.
108. Li, D., (1994), Is the gravitational acceleration a constant? Earth and geophysics, seismological press, pp. 78-96, in Chinese.
109. Lin, C. H., Yeh, Y. H., Chen, Y. I., Liu, J. Y., Chen, K. J., (2003), Earthquake clustering relative to lunar phases in Taiwan. *TAO.*, Vol. 14, No. 3, pp. 1-10.
110. Lombardi, A. M., The maximum likelihood estimator of b- value for mainshocks, (2003), *Bulletin of Seismol. Soc. Am.*, Vol. 93, pp. 2082-2088.
111. Luan, L; (1988), Motion of planets and long term weather and earthquake forecast, Beijing normal university press, 248 pp., in Chinese.
112. Mandel, P., Pastogi, B. K.,(2005), Self-organization fractal seismicity and b-value of aftershocks of the 2001 Bhuj earthquake in Kutch (India), *Journal of Pure and Applied Geophysics*, Vol. 162, pp. 53-72.
113. Marcellini, A., (1998), Physical model of aftershock temporal behavior, *Journal of Tectonophysics*, Vol. 277, pp. 137-146.
114. Mc Nutt, M., Heaton, T. H., (1981), An evaluation of the seismic window theory for earthquake prediction. *Journal of California geology* January, 12-16.
115. Mc Quarrie, N., Stock, J. M., Verdel, C., Wernicke, B. P., (2003), Senozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, Vol. 30, No. 20, 2036.
116. Mc Donald, R., (2005), Tidal forces and their effects in the solar system, pp. 1-7.
117. Melchior P., (1978), The tides of the planet earth, Pergamon Press, Oxford, 609.
118. Middlehurst, B. M., (1967), *Rev. Geophys. Space Phys.* Vol. 5, pp. 173-189.
119. Mogi, K., (1963), Some discussions on aftershocks and earthquake swarms- the fracture of a semi infinite body caused by by on inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena; *Bulletin of Earthquake Res. Inst.* Vol. 41, pp. 615-658.
120. Mogi, K., (1967), Regional variation of the aftershock activity, *Bulletin of Earthquake Res. Institute*, Vol. 45, pp. 711.
121. Mogi, K., (1985), Earthquake prediction, (Tokyo: Academic Press).
122. Molchan, G. M., Dmitrieva, O. E., (1992), Aftershocks identification: Methods and new approaches, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 109, pp. 501-516.
123. Molchan, G. M., Kronrod, T. L., Nekrasova, A. K., (1999), Immediate foreshocks: time variation of the b-value, *Phys. Earth Planet. Inter.*, Vol. 111, pp. 229-240.
124. Mostafaei, H., Kabeyasawa, T., (2004), Bam- Iran post earthquake insepction and seismic vulnerability of buildings in Iran, Earthquake Research Institute, The university of Tokyo, Japan.
125. Nanjo, K., Nagahama, H., (2000), Spatial distribution of aftershocks and the fractal structure of active fault systems, *Journal of Pure and Applied Geophysics*, Vol. 157, pp. 575-588.
126. Niesmianovin, E. I., (1984), The possibility of accurate time prediction for an earthquake, the deep earth crust structure in upper mantle boundary layer, Science press., Kiev, pp. 197-204, in Russian.

127. Ogata, Y., (1988), Statical models for earthquake occurrence and residual analysis for point process, *Journal of Am. Stat. Assoc.* Vol. 83, pp. 9-27.
128. Ogata, Y., (1989), Statical models for standard seismicity and detection of anomalies by residual analysis for point processes, *Journal of Tectonophysics*, Vol. 83, pp. 9-27.
129. Ohtake, M., Tanaka, S., Sato, H., (2001), Tidal modulation of seismicity: a global search, In 2nd annual workshop on statistical seismology, Victoria university, Wellington.
130. Omori, F., (1894), On the after-shocks of earthquakes, *J. College Sci., Imp. Univ. Tokyo*, Vol. 7, pp. 111-200.
131. Ouchi, T., Uekawa, T., (1976), Statical analysis of the spatial distribution of earthquake variation before and after large earthquake, *Physics of the earth and Planetary Interiors*, Vol. 44, pp. 211-225.
132. Palumbo, A., (1986), Lunar and solar tidal components in the occurrence of earthquakes in Italy, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, Vol. 84, pp. 93-99.
133. Papadopoulos, G. A., Drakatos, G., Plessa, A., (2000), Foreshock activity as a precursor of strong earthquakes in Corinthos Gulf, Central Greece, *Phys. Chem. Earth*, Vol. 25, pp. 239-245.
134. Papadopoulos, G. A., Latoussakis, I., Daskalaki, E., Diakogianni, G., Fokaefs, A., Kolligri, M., Liadopoulou, K., Orfanogiannaki, K., Pirentis, A., (2006), The east Aegean sea strong earthquake sequence of October-November 2005: lessons learned for earthquake prediction from foreshocks, *Journal of Natural Hazards Earth System Sciences*, Vol. 6, pp. 895-901.
135. Papazachos, B. C., (1971), Aftershock activity and aftershock risk in the area of Greece, *Ann. Geofis. (Rome)*, Vol. 24, pp. 439-456.
136. Papazachos, B. C., (1973), Foreshocks and earthquake prediction, *Journal of Tectonophysics*, Vol. 28, pp. 213-226.
137. Papazachos, B. C., (1975), Foreshocks and earthquake prediction, *Journal of Tectonophysics*, Vol. 28, pp. 213-226.
138. Parson, T., (2002), Global Omori law decay of triggered earthquakes: large aftershocks outside the classical aftershock zone, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, pp. 2199.
139. Plotnikova, L. m., Flyonova, M. G., Machmudova, Induced seismicity in the Gazly gaz field region, 309-320.
140. Possible gravitational influence on earthquake frequency from alignment of moon and sun, (1999) <http://www.indiana.edu/~pepp/curriculum/1999/rollings/peprep3.htm>
141. Priest, S. D., (1985), Hemispherical projection methods in rock mechanics, George Allen & Unwin, London, pp. 124.
142. Reasenber, P. A., Jones, L.M., (1989), Earthquake hazard after a mainshock in California, *Science*, Vol. 243, pp. 1173-1176.
143. Reasenber, P., (1985), Second-order moment of central California seismicity, 1969-1982, *J. Geophys. Res.*, Vol. 90, pp. 5479-5495.
144. Ren, Z., (1982), Analysis of relationship between Hebei major earthquakes and new moon and full moon, *Chinese science bulletin*, Vol. 27, No. 10, in Chinese.
145. Renee C. Bulow, Catherine L. Johnson, Bruce G. Bills, (2006), Tidal stress and deep moonquakes, *Lunar and planetary science*, XXXVII.
146. Richter, C. F., (1958), Elementary seismology, (San Francisco; California: W. H., Freeman & Co. Inc.).
147. Rigobert, Tibi, Douglas, Wiens, John, Hildebrand, (2001), *Journal of Geophysical Reaserch Letters*, Vol. 28, No. 22, pp. 4311-4314.
148. Rydelek, P. A., (2002), Spatial and temporal characteristics of law-magnitudeseismicity from dense array in western Nagano prefecture, Japan, *Journal of Earth, Planets and Space*, Vol. 54, pp. 81-89.
149. Rydelek, P. A., Davies, P. M., Koyanagi, R. Y., (1998), Tidal triggering of earthquake swarms at Kilauea Volcano, Hawaii, *Journal of. Geophys. Res.*, Vol. 95, pp. 4401-4411.
150. Saghatelian, E. A., Aghbalyan, Yu. G., Baburyan, M. G., Asmaryan, H. G., Solar eruptions as triggers of earthquakes. <http://www.meteoquake.org/karel3.html>.

151. Sauck, W. A., (1975), The Brawley, California, earthquake swarm of January, 1975, and triggering by earth tides, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 2, pp. 506-509.
152. Savage, M. K, Depolo, M., (1993), Foreshock probabilities in the western Great-Basin Eastern Sierra Nevada, *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 83, pp. 1910-1938.
153. Savage, W., (1972), Microearthquake clustering near Fair View Peak, Nevada and in the Nevada seismic zone, *J. Geophys.*, Vol. 77, pp. 7049-7056.
154. Scholz, C. H., (1968), Micro fracturing and the inelastic deformation of rock in compression, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 73, pp. 1417-1432.
155. Scholz, K., (1963), Some discussions on aftershocks and earthquake swarms- the fracture of a semi infinite body caused by by on inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena; *Bulletin of Earthquake Res. Inst.* Vol. 41, pp. 615-658.
156. Segall, P., (1992), Induced stresses due to fluid extaction from axismmetric reservoirs, *PAGEOPH*, Vol. 139, No. 314, 535-560.
157. Shaik, M. A., Srivastava, S., (2003), Statistical parameters of Bhuj earthquake sequence of January 26th, 2001, *Earth Planet. Sci.*, Vol. 112, No. 3, , pp. 397-400.
158. Shaw, B. E., (1993), Generalized Omori low for aftershocks and foreshocks from a simple dynamics, *Geophysical Research Letters*, Vol. 20, pp. 907-910.
159. Shlien, S., Toksoz, M. N., (1970), A clustering model for earthquake occurrences, *Bulletin of Seism. Soc. Am.*, Vol. 60, pp. 1765-1787.
160. Simpson, D. W., (1976), Seismicity changes associated with reservoir loading, *Journal of Eng. Geol.* Vol. 10, pp. 123-150.
161. Sobolev, G. A., (2000), Precursory phases of Large Kamchatkan earthquakes, *Volcanol. Seismol.*, Vol. 21, pp. 497-509.
162. Souchay, J., Stavinschi, M., (1997), Study of the correlations between long-periodic terrestrial tides and occurrence of earthquakes in the Vrancea Site, *Journal of Earth, Moon Planets*, Vol. 77, pp. 105-124.
163. Souriau, M., Souriau, A., Gagnepain, J., (1982), Modeling and detecting interactions between earth tides and earthquakes with application to an aftershock sequence in the Pyrenees, *Bulletin of Seism. Soc. Am.*, Vol. 72, pp. 165-180.
164. Talebian, M., Jackson, J., (2004), A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shorting in the Zagros mountains of Iran, *Journal of Geophys. Int.* Vol. 156, pp. 506-529.
165. Tamrazyan, G. P., (1959), Intermediate and deep focus earthquakes in connection with the earth's cosmic space conditions, *Izv. Geophys. Ser.*, Vol. 4, pp.598-603.
166. Tamrazyan, G. P., (1962), On the presence of pulsations of the earth coupled in time with solar activity, *Dokl. Akad. Nauk. SSSR.*, vol. 147, pp.1361-64.
167. Tamrazyan, G. P., (1967), Tide-forming forces and earthquakes, *Icarus*, Vol. 7, pp.59-65.
168. Tamrazyan, G. P., (1968), Earthquakes of Nevada (U.S.A.) and the tidal forces, *J. Geophys. Res.*, Vol. 73, pp. 6013-6018.
169. Tamrazyan, G. P., (1968), Principal regularities in the distribution of major earthquakes relative to solar and lunar tides and other cosmic forces, *Icarus*. Vol. 9, pp. 574-592.
170. Tarnrazyan, G. P., (1958), On the seismic activity in the area of the Northwestern Pacific Ocean Margin, *Akad. Nauk. SSSR, Geophys. Ser.*, Vol. 5, pp. 664-668.
171. Tchalenko, J. S., (1974), Recent destructive earthquakes in the central Alborz, *Geol. Surv. Iran, Ref. Irrn.*, Nyn 0029, P. 97 A116; Imp. Coll., Lond.
172. Telesca, L., Guomo, V., Lapenna, V., Vallianatos, F., Drakatos, G., (2001), Analysis of temporal properties of Greek aftershock sequences, *Journal of Tectonophysics*, Vol. 341, pp. 163-178.
173. Tidal theory. http://www.sanho.co.za/tides/tide_theory.PDF
174. Tokarev, P. I., (1973), Forecasting volcanic eruptions from seismic data, *Bulletin of Volcanology*, Vol. 35, pp. 243-250.

175. Tsuruoka, H., Ohtake, M., Sato, H., (1995), Statistical test of the tidal triggering of earthquakes, contribution of the ocean tide loading effect, *Geophys. J. Int.* Vol. 122, pp. 183–194.
176. United States Committee On Large Dams (USCOLD), (1977), Report 20 pp.
177. Utsu, T., (1961), A statical study on the occurrence of aftershocks, *Geophysical Magazine*, Vol. 30, pp. 521.
178. Utsu, T., (1999), Representation and analysis of the earthquake size distribution: a historical review and some new approaches, *Journal of Pure and Applied Geophysics*, Vol. 155, pp. 509–535.
179. Utsu, T., (2002), Statistical features of seismicity, Invited contribution to “The IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology”, Vol. 81A. Academic Press, London.
180. Venkatanathan, N., Rajeswara Rao, N., Sharma, K. K., Periakalli, P., Planetary configuration: implications for earthquake prediction, 1-8 pp.
181. Vere-Jones, D., (1969) A note on the statistical interpretation of Bath's law. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 59, pp. 1535–1541.
182. Vidale, J. E., Agnew, D. C., Johnston, M. J. S., Oppenheimer, D. H., (1998), Absence of earthquake correlation with Earth tides: an indication of high preseismic fault stress rate, *Journal of Geophys. Res.*, Vol. 103, No. 24, pp. 567-572.
183. Walter M Dower, Identifying high risk and extreme risk days for great earthquakes, Worldwide, New York Academy of Sciences.
184. Wood, K. D., (1972), *Nature*, Vol. 240, pp. 91.
185. Wu, X., Mao, W., Huang, Y., Jiang, J., (1999), Statistical analysis of tidal stress effect on seismic faults, *Chin. Geophys. J.*, Vol. 42, pp. 65–74.
186. Wyss, M., (1999), Earthquake prediction not yet but eventually, *Nature debate*.
http://www.nature.com/nature/debates/earthquake/equake_2.html
187. Yamaoka, K., Ooida, T., Ueda, Y., (1999), Detailed distribution of accelerating foreshocks before a *M* 5.1 earthquake in Japan, *Journal of Pure and applied geophysics*, Vol. 155, pp. 335–353.
188. Zhao, J., Han, Y., Li, Z., (2002), Variation of lunar- solar tidal force and earthquakes in Taiwan island of China, *Journal of Earth, Moon and Planets*, Vol. 88, pp. 123-129.
189. Zhuang, J., Ogata, Y., Vere-Jones, D. (2004), Analyzing earthquake clustering features by using stochastic reconstruction, *Journal of Geophysical Research*, 109 B05301, 4755-4768.
190. Zhuang, J.C. (2000), Statistical modeling of seismicity patterns before and after the Cape Palliser earthquake, New Zealand, *Journal. of Geology and Geophys*, Vol. 43, pp. 447–460.
191. Zi, X., (1980), Influence of positional change of celestial objects to earthquake from Tanghai Earthquake, *Journal of seismological in Chinese*.

سایت‌های اینترنتی

- | | |
|--|--|
| 192. http://www.iiees.ac.ir | وبگاه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله |
| 193. http://www.ngdir.com | وبگاه پایگاه ملی داده‌های علوم زمین |
| 194. www.njsas.org | انجمن دانش پژوهان آماتور نیوجرسی |
| 195. http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_oneyear.php | وبگاه رصدخانه نیروی دریایی آمریکا |

-
196. <http://ga.gov.au/geodesy/astro/moonrise.jsp> وبگاه علوم زمین استرالیا
197. <http://www.islamonline.net>
198. <http://www.oriold.unizh.ch>
199. <http://fa.wikipedia.org/>
200. <http://www.islam.com>
201. www.roshdmag.ir
202. www.syzygy.com
203. www.Tebyan.net
204. www.usgs.gov

نرم افزار

۲۰۵. نرم افزار Accurate times 5.1.11، انجمن ستاره شناسان اردن، (۲۰۰۵).
۲۰۶. نرم افزار StereoNett نسخه ۲/۰۲، دانشگاه زمین‌شناسی بوخوم آلمان، (۱۹۹۷).