دانشکده علوم - مرکز تحقیقات زمین لرزه شناسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ژئوفیزیک-زلزله شناسی

تعیین فرایند چشمه زلزله

(زلزله ۱۳۸۲ بم و زلزله های ۱۳۸۹ ریگان)

نگارنده:

صدیقه جلالی

استاد راهنما:

دکتر حسین صادقی

استاد مشاور:

دکتر سید کیوان حسینی

پاییز ۱۳۹۰

تقدیم به خانواده ام

به ویژه

پدر و مادرم

چکیده

امواج حجمی مشاهد شده در زلزله های بزرگ معمولاً بسیار پیچیده هستند. حتی اگر اثرات ساختار مانند انعکاس و یا انکسار از ناهمگنی ها، به حساب آورده شود، باز پیچیدگی فراتر خواهد رفت. این پیچیدگی ها به پیچیدگی های چشمه ی زلزله نسبت داده می شود. پیچیدگی‌های چشمه زلزله معمولاً توسط شوک های چندگانه مدل سازی می شوند، به گونه ای که فرایندهای چشمه براساس چند رخداد کوچکتر که در زمان و مکان های متفاوت رخ می دهد توضیح داده می شود. یکی از روش هایی که بر مبنای این اصول بنا نهاده شده است روش Kikuchi and Kanamori (1991) است. بر طبق این روش امواج حجمی دور لرزه‌ای سه زلزله ی بزرگ سال های ۸۲ و ۸۹ کرمان را به منظور تعیین مکانیزم و الگوی گسیختگی آن ها وارون سازی کردیم و تا با کمک آن امکان ارتباط میان این سه زلزله را بررسی کرده باشیم. در وارون سازی، مکانیزم های زیر رخدادها از داده های لرزه نگاشت ها تعیین می شوند و به آن ها اجازه داده می شود که در جریان وارون سازی تغییر کنند. براین اساس برای زلزله‌ی ۵ دی۸۲ بم ، مکانیزم نهایی امتداد لغزی (ریک،شیب،امتداد)=(۱۷۸،۷۳،۱۷۸) با بزرگی $M_w = ۶/۳۹$ و ممان لرزه ای $M_\circ = ۰/۴۷۹ \times ۱۰^{۱۹} [Nm]$ تعیین شده است. همچنین برای زلزله ی ۲۹ آذر ۸۹ ریگان که دیگر زلزله ی مورد بررسی ما بود، مکانیزم نهایی (۵-،۸۳، ۱۲۶) و بزرگی $M_w = ۶/۴۶$ و ممان لرزه ای $M_\circ = ۰/۶۱۷ \times ۱۰^{۱۹} [Nm]$ برآورد شده است. علاوه بر این برای زلزله ی ۷ بهمن ۸۹ ریگان نیز بزرگی $M_w = ۶/۰۰$ و ممان لرزه ای $M_\circ = ۰/۱۲۵ \times ۱۰^{۱۹} [Nm]$ و

مکانیزم نهایی (۴-،۳۱۴،۷۶) تخمین زده شد. لازم به ذکر است که برای هر سه زلزله، زمان خیز، سرعت گسیختگی، ابعاد Asperity بیشنه لغزش و تابع آهنگ ممان لرزه ای نیز تعیین گردید.

خدای را سپاس که فرصت تحصیل و کسب علم و دانش به من ارزانی داشت. باشد که شکرگزار بی ادعایش باشم.

سپاس گزار خانواده ی عزیزم به ویژه پدر عزیز و مادر مهربانم می باشم که در تمامی مراحل زندگی مراحمایت و تشویق نموده اند، همچنین قدردان زحمات بی دریغ و همراهی های همسر عزیزم هستم و بی شک بدون پشتیبانی آنان بنده ی حقیر، راه به جایی نمی بردم.

از استادبزرگوار جناب آقای دکتر حسین صادقی تشکر می نمایم که صبورانه زحمت آموزش و هدایت مرا در به ثمر رساندن این پایان نامه بر عهده گرفتند. از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر سید کیوان حسینی که گاه و بی گاه مشاوره ی ایشان راه گشای بنده بود و زحمت مشاوره این

پایان نامه را بر عهده داشتند، نیز کمال سپاس را دارم. علاوه بر این از اساتید گرامی آقایان دکتر خواجوی و دکتر رحیمی ممنون هستم که زحمت مطالعه و داوری این پایان نامه را متقبل شدند.

همچنین از تمامی هم کلاسی ها و دوستان گرامی به ویژه جناب آقای علی ریاحی که در بسیاری از مراحل کار از کمک های بی دریغ و بی چشم داشت ایشان سود جستم قدردانی می کنم.

در پایان جا دارد از کلیه ی اساتید و کارکنان مرکز تحقیقات زمین لرزه شناسی دانشگاه فردوسی مشهد به ویژه آقایان مطیعی و عابدی پور و تمامی کسانی که در طول این دوره مرا یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

همواره از خداوند بزرگ بهترین ها را برای این عزیزان خواستارم.

صدیقه جلالی

مهرماه ۱۳۸۸

فهرست مطالب

مقدمه: مروری بر مطالعات گذشته ۱

فصل اول: تعیین فرایند چشمه‌ی زمین لرزه ۷

۱-۱ الگوی تابش ۸

۱-۱-۱ مقدمه ۸

۱-۱-۲ نیروی نقطه‌ای ۹

۱-۱-۳ تانسور ممان ۱۱

۱-۱-۴ تانسورهای ممان همسان‌گرد و انحرافی ۱۵

۱-۱-۵ جفت نیروی مزدوج ۱۶

۱-۱-۶ جابجاشدگی ۱۹

۱-۲ فرایند چشمه ۲۲

۱-۲-۱ تابع آهنگ ممان ۲۲

۱-۲-۲ مدل شوک‌های چندگانه ۲۲

۱-۲-۳ شکل موج‌های ساختگی (میدان دور) ۲۳

۱-۲-۳-۱ تابع زمانی چشمه ۲۴

۱-۲-۳-۲ پاسخ ساختار نزدیک چشمه ۲۸

۱-۲-۳-۳ Q- فیلتر ۲۹

۱-۲-۳-۴ فاکتور گسترش هندسی ۳۱

۱-۲-۳-۵ پاسخ ساختار نزدیک گیرنده ۳۴

۱-۲-۳-۶ پاسخ دستگاه ۳۴

۱-۳ تحلیل شکل موج ۳۵

۱-۳-۱ معکوس سازی برای چشمه‌های جفت نیروی مزدوج ۴۰

فهرست مطالب

فصل دوم: پارامترهای ورودی ۴۳

۲-۱ آماده‌سازی لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده ۴۴

۲-۲ دیگر پارامترها ۴۶
۲-۲-۱ عمق کانونی زلزله ۴۷
۲-۲-۲ بیشینه سرعت گسیختگی ۴۷
۲-۲-۳ زمان خیز ۴۷
۲-۳ داده‌های ورودی زلزله‌های بم و ریگان ۴۹
۲-۳-۱ زلزله ۵ دی سال ۱۳۸۲ بم ۴۹
۲-۳-۲ زلزله ۲۹ آذر سال ۱۳۸۹ ریگان ۵۵
۲-۳-۳ زلزله ۷ بهمن سال ۱۳۸۹ ریگان ۶۱
فصل سوم: وارون سازی ۶۶
مقدمه ۶۷
۳-۱ مراحل وارون‌سازی ۶۸
۳-۱-۱ طرح شبکه ۶۸
۳-۱-۲ توابع گرین ۶۹
۳-۱-۳ نمودارهای هم‌بستگی شکل موج‌های ساختگی و ثبت شده ۶۹
۳-۱-۴ وارون‌سازی جهت تعیین مکانیزم نهایی ۷۰
۳-۱-۵ وارون‌سازی جهت تعیین توزیع لغزش و ابعاد Asperity ۷۲
۳-۲ وارون‌سازی زلزله‌های بم و ریگان ۷۳
۳-۲-۱ نتایج وارون سازی زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم ۷۳
۳-۲-۱-۱ زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم (مدل دو زیر رخدادی) ۷۹
۳-۲-۱-۲ زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم (مدل شش زیر رخدادی) ۸۴

فهرست مطالب

۳-۲-۲ نتایج زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ریگان ۹۰
۳-۲-۳ نتایج زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان ۱۰۱

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ۱۱۳

فهرست منابع ۱۲۱

فهرست شکل‌ها

مقدمه ۱

شکل۱: نقشه توپوگرافی با گسل های اصلی و سه زلزله بزرگ اخیر کرمان. ۶

فصل اول: فرایند چشمه زمین لرزه ۷

شکل ۱-۱: کره‌ی کانونی و پرتو لرزه‌ای ۹

شکل ۱-۲: نیروی نقطه‌ای لحظه‌ای ۱۰

شکل ۱-۳: مولفه‌ها تانسور ممان ۱۲

شکل ۱-۴: مکانیزم‌های تانسورهای ممان پایه ۱۳

شکل ۱-۵: هندسه‌ی گسل برشی ۲۱

شکل ۱-۶: گسل‌های برشی ۲۱

شکل ۱-۷: مدل هسکل ۲۴

شکل ۱-۸: حرکت جداشدگی ۲۵

شکل ۱-۹: زمان عبور متفاوت از نقاط مختلف روی یک صفحه گسل ۲۶

شکل ۱-۱۰: تابع جعبه‌ای ۲۸

شکل ۱-۱۱: وابستگی آزیموتی تابع زمانی چشمه ۲۸

شکل ۱-۱۲:مجرای پرتو در فضای همگن ۳۲

شکل ۱-۱۳: مجرای پرتو در ساختار زمین لایه‌ای ۳۳

فصل دوم: پارامترهای ورودی ۴۳

شکل ۲- ۱: مقیاسی برای زمان خیز نسبت به ممان لرزه‌ای(Miyake *et al*., 2003) ۴۸

شکل ۲-۲: نمایش پس لرزه های زلزله۵ دی ۱۳۸۲ بم روی نقشه ماهواره ای ناسا. مثلث های سبز ایستگاه های محلی می باشند. (Nakammura *et al.*, 2005). ۵۰

شکل ۲-۳: توزیع جهانی ایستگاه‌های باند پهن دور لرزه‌ای زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم ۵۱

شکل ۲-۴: لرزه‌های نگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌ها (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم) ۵۴

شکل ۲- ۵ : زلزله ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان و پس‌لرزه‌ها (IIEES,2010) ۵۶

شکل ۲-۶: توزیع جهانی ایستگاه‌های باند پهن دور لرزه‌ای زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان ۵۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۷ : لرزه‌های نگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌ها (زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان) ۶۰

شکل ۲- ۸ : زلزله ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان و پس‌لرزه‌ها(IIEES,2011) ۶۲

شکل ۲-۹: توزیع جهانی ایستگاه‌های باند پهن دور لرزه‌ای زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان ۶۳

شکل ۲- ۱۰: لرزه‌های نگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌ها (زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان) ۶۵

فصل سوم: وارون سازی ۶۶

شکل ۳-۱: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۵ کیلومتر (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم) ۷۴
شکل ۳-۲: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۱۰ کیلومتر (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم) ۷۵
شکل ۳-۳: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۱۵ کیلومتر (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم) ۷۶
شکل ۳-۴: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۲۰ کیلومتر (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم) ۷۷
شکل ۳-۵: مکانیزم زیر رخدادها و مکانیزم کلی (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم، دو زیر رخدادی) ۷۹
شکل ۳-۶: مقایسه‌ی بین شکل موج‌های ساختگی و ثبت شده در ایستگاه‌ها (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم، دو زیر رخدادی) ۸۰
شکل ۳-۷: آهنگ ممان لرزه‌ای (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم، دو زیر رخدادی) ۸۲
شکل ۳-۸: (a) مکانیزم نهایی ،(b) ابعاد Asperity (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم، دو زیر رخدادی) ۸۲
شکل ۳-۹: مقایسه‌ی بین شکل موج‌های ساختگی و ثبت شده در ایستگاه‌ها (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم، دو زیر رخدادی) ۸۳
شکل ۳-۱۰: مکان زیر رخدادها روی شبکه‌ی شیب-امتداد با فرض ثابت بودن مکانیزم (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم، دو زیر رخدادی) ۸۴
شکل ۳-۱۱: مکانیزم زیر رخدادها و مکانیزم کلی (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم، شش زیر رخدادی) ۸۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱۲: مقایسه‌ی بین شکل موج‌های ساختگی و ثبت شده در ایستگاه‌ها (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم، شش زیر رخدادی) ۸۶
شکل ۳-۱۳: آهنگ ممان لرزه‌ای (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم ، شش زیر رخدادی) ۸۸

شکل ۳-۱۴: (a) مکانیزم نهایی ،(b) ابعاد Asperity ۸۸
(زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم ، شش زیر رخدادی)
شکل ۳-۱۵: مقایسه‌ی بین شکل موج‌های ساختگی و ثبت شده در ایستگاه‌ها ۸۹
(زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم ، شش زیر رخدادی)
شکل ۳- ۱۶: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۷/۴ کیلومتر ۹۱
(زلزله‌ی ۲۹ آذر۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۱۷: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۱۲/۴ کیلومتر ۹۲
(زلزله‌ی ۲۹ آذر۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۱۸: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۱۷/۴ کیلومتر ۹۳
(زلزله‌ی ۲۹ آذر۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۱۹: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۲۲/۴ کیلومتر ۹۴
(زلزله‌ی ۲۹ آذر۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۲۰: مکانیزم زیر رخدادها و مکانیزم کلی (زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان) ۹۶
شکل ۳-۲۱: آهنگ ممان لرزه‌ای (زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان) ۹۸
شکل ۳-۲۲: (a) مکانیزم نهایی ،(b) ابعاد Asperity (زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان) ۹۸
شکل ۳-۲۳: مقایسه‌ی بین شکل موج‌های ساختگی و ثبت شده در ایستگاه‌ها ۹۹
(زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۲۴: مکان زیر رخدادها روی شبکه‌ی شیب-امتداد با فرض ثابت بودن مکانیزم ۱۰۰
(زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۲۵: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۷/۳ کیلومتر ۱۰۲
(زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۲۶: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۱۲/۳ کیلومتر ۱۰۳
(زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان)

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۲۷: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۱۷/۳ کیلومتر ۱۰۴
(زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۲۸: نمودار تابع هم‌بستگی و مکانیزم‌های متناظر برای عمق ۲۲/۳ کیلومتر ۱۰۵

(زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان)
شکل۳-۲۹: مکانیزم زیر رخدادها و مکانیزم کلی ۱۰۷
(زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۳۰: مقایسه‌ی بین شکل موج‌های ساختگی و ثبت شده در ایستگاه‌ها ۱۰۸
(زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۳۱: آهنگ ممان لرزه‌ای (زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان) ۱۱۰
شکل ۳-۳۲: (a) ابعاد Asperity ،(b) مکانیزم نهایی (زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان) ۱۱۰
شکل ۳-۳۳: مقایسه‌ی بین شکل موج‌های ساختگی و ثبت شده در ایستگاه‌ها ۱۱۱
(زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان)
شکل ۳-۳۴: مکان زیر رخدادها روی شبکه‌ی شیب-امتداد با فرض ثابت بودن مکانیزم ۱۱۲
(زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان)
فصل چهارم: نتایج ۱۱۳
شکل ۴- ۱: مقیاسی برای زمان خیز نسبت به ممان لرزه‌ای(Miyake *et al*., 2003) ۱۱۵
شکل ۴- ۲: مقیاسی برای گسیختگی موثر جنبش بزرگ نسبت به ممان لرزه‌ای
(Miyake *et al.,* 2003) ۱۱۶

فهرست جدول‌ها

مقدمه ۱
جدول۱: راهنمای جدول۲ ۳
جدول۲: مروری بر روش‌های وارون‌سازی ۳

فصل اول: فرایند چشمه زمین لرزه ۸

فصل دوم: پارامترهای ورودی ۴۳

جدول ۲-۱: ساختار چشمه و گیرنده (J-B Model) ۴۵

جدول ۲-۲ : مشخصات زلزله ۵ دی ۱۳۸۲ بم ۴۹

جدول ۲-۳: پارامترهای ایستگاه‌ها (زلزله ۵ دی ۱۳۸۲ بم) ۵۲

جدول ۲-۴ : مشخصات زلزله ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان ۵۵

جدول ۲-۵: پارامترهای ایستگاه‌ها (زلزله‌ی ریگان ۲۹ آذر) ۵۸

جدول ۲-۶: مشخصات زلزله ۷ بهمن ۸۹ ریگان ۶۱

جدول ۲-۷: پارامترهای ایستگاه‌ها (زلزله‌ی ریگان ۷ بهمن) ۶۴

فصل سوم: وارون سازی ۶۷

جدول۳-۱: زیر رخدادها و پارامترهای مربوطه (زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم، دو رخدادی) ۷۹

جدول ۳-۲: زیر رخدادها و پارامترهای مربوطه(زلزله‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم، شش رخدادی) ۸۴

جدول ۳-۳: زیر رخدادها و پارامترهای مربوطه (زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان) ۹۵

جدول ۳-۴: زیر رخدادها و پارامترهای مربوطه (زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان) ۱۰۶

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ۱۱۳

جدول ۴-۱: نتایج حاصل زلزله‌ی۵ دی ماه ۱۳۸۲ ۱۱۸

جدول ۴-۲: نتایج حاصل زلزله‌ی ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ریگان ۱۱۹

جدول ۴-۳: نتایج حاصل زلزله‌ی ۷ بهمن ۱۳۸۹ ریگان ۱۲۰

مقدمه

مروری بر مطالعات گذشته

طیف و شکل موج امواج حجمی لرزه‌ای، اطلاعات مهمی را در مورد جزئیات فرایند گسیختگی چشمه لرزه‌ای بدست می‌دهد. Buren در سال ۱۹۷۰ تحقیقات خود را در این زمینه به ثبت رسانید، وی از مجانب فرکانسی پایین و فرکانس گوشه از طیف جابجایی برای تخمین ممان لرزه ای و ابعاد چشمه لرزه‌ای استفاده کرده‌است.

در بررسی‌های امواج حجمی در حوزه زمانی، Aki(1968) ، Haskell(1969) و Kanamoni(1972) پیشگامان مدل سازی شکل موج امواج ثبت شده توسط تابع زمانی چشمه هستند. آن‌ها هم‌چنین تابع زمانی چشمه و ثابت‌های زمانی وابسته به آن را برحسب ابعاد چشمه و سرعت ذره‌ایی از حرکت گسل شرح داده‌اند.

Langston(1976) و Burdik and Mellman(1976) از روش وارون سازی در حوزه زمانی برای تعیین برخی پیچیدگی‌های تابع زمانی چشمه بهره بردند. با بررسی شکل موج امواج حجمی لرزه-ای مشاهده می‌شود که برای زلزله‌های بزرگ، این شکل موج‌ها بسیار پیچیده خواهد بود و هیچ روش استاندارد معینی برای وارون سازی آن‌ها وجود ندارد. *مدل چند رخدادی* این پیچیدگی‌های امواج حجمی از زلزله‌های بزرگ را به خوبی شرح می‌دهد، این مدل بیانگر این مطلب است که چشمه زلزله-های بزرگ شامل چندین تکان (شوک) مجزا هستند.

این چنین پیچیدگی‌هایی به ناهمگنی خصوصیات مکانیکی درون زون گسل برمی‌گردد که اغلب به عنوان Asperity و یا Barrier خوانده می‌شوند. بیشتر مطالعات انجام شده به اهمیت Asperity ها در انواع مسائل لرزه زمین ساخت دلالت دارد.

با توجه به این مهم، توسعه‌ی روشی با قاعده برای وارون سازی امواج حجمی پیچیده بر پایه شرکت چندین چشمه‌ی لرزه‌ای، همواره امری ضروری و مفید تلقی می‌شده است. از این رو محققان زلزله‌شناس همواره دست به توسعه‌ی چندین تکنیک وارون سازی زده‌اند. روند بیشتر این تکنیک‌های وارون سازی شامل سه مرحله اصلی زیر است.

۱- تعریف پارامترها برای مدل چشمه‌ای

۲- محاسبه توابع گرین (اجزا چشمه/ محاسبات)

۳- برازش حداقل مربعات (تعیین پارمترها)

در جدول ۲ لیستی شامل محققان زلزله‌شناس و تکنیک‌های وارون سازی آن‌ها جمع‌آوری شده-است.

جدول۱: راهنمای جدول۲

۱	نام منبع
۲	توضیح چشمه (تعریف پارامترهای مدل)
۳	تابع گرین (المان چشمه/محاسبات)
۴	حداقل مربعات (تکنیک/شرایط)
۵	توضیحات

جدول۲: مروری بر روش‌های وارون‌سازی

۱	Kikuchi and Kanamori(1982;1986)
۲	سری زیر رخدادها: (m_i, t_i, l_i) ، i بیانگر شماره زیر رخداد
۳	جداشدگی نقطه‌ای در امتداد گسل/ نظریه‌ی تابش
۴	Iterative deconvolution
۵	روشی موثر برای چشمه‌های گسسته اما نا مناسب برای چشمه‌های هموار (Smooth)
۱	Olson and Aspel (1982)
۲	توزیع مکان- زمانی جداشدگی‌ها: S_{jk} ، j عدد شبکه، k گام‌های زمانی
۳	جداشدگی نقطه‌ای در شبکه/ انتگرال گیری عدد موج
۴	وارون تعمیم یافته/ قید روی بردارهای لغزش
۵	موثر برای چشمه‌های هموار، قید در حدائقل مربعات نکته‌ی کلیدی می‌باشد.
۱	Ruff and Kanamori(1983)
۲	تابع زمانی چشمه برای هر ایستگاه

۳	چشمه‌ی نقطه‌ای لحظه‌ای
۴	وارون تعمیم یافته
۵	فرض اساسی برای منبع وجود ندارد، تعبیر نتایج نکته اصلی است.
۱	Nabelek(1984;1985)
۲	سری زیر رخدادها: $(m_i, t_i, \vec{x}_i, \tau_i)$، i بیانگر شماره زیر رخداد
۳	جداشدگی نقطه‌ای روی صفحه گسل/ نظریه‌ی تابش
۴	روش گاوس- نیوتون/ قید ضعیفی روی واریانس پارامترهای مدل
۵	زمانی که تعداد کمی از زیر رخدادها با جزییات مشخص شده باشد، موثر است.
۱	Takeo (1985;1987)
۲	توزیع مکانی- زمانی جداشدگی‌ها: (D_i, t_i)، i شماره شبکه
۳	جداشدگی نقطه‌ای روی شبکه/ انتگرال گیری عدد موج
۴	روش گاوس- نیوتون بهبود یافته
۵	متغییرهای طولانی از داده‌ها برای استفاده در دسترس است.
۱	Mori and Shimazaki(1985)
۲	توزیع مکانی- زمانی ممان: m_i، i عدد شبکه
۳	جداشدگی نقطه‌ای روی شبکه/ برهم‌نهی موج‌های نرمال
۴	روش حداقل مربعات خطی
۵	محاسبه تابع گرین نکته کلیدی است.
۱	Kikuchi and Fukao(1985;1987)
۲	سری زیر رخدادها: $(m_i, t_i, \vec{x}_i)$، i بیانگر شماره زیر رخداد
۳	جداشدگی نقطه‌ای در شبکه روی یک صفحه گسلی/ نظریه تابش
۴	Iterative deconvolution/ قید روی مثبت بودن ممان
۵	موثر برای زیررخدادهای گسسته
۱	Lida and Hakuno (1984)
۲	توزیع نسبی مکانی- زمانی جداشدگی‌ها
۳	جداشدگی نقطه‌ای در شبکه روی یک صفحه گسلی/ داده‌های مشاهده شده
۴	مسئله مستقیم و با ملاک قرار دادن کمترین خطا
۵	توان تفکیک ضعیف اما موثر برای ویژگی‌های کلی مشخصه‌هایی با دوره تناوب کوتاه
۱	Takeneka(1987)
۲	توزیع مکانی جداشدگی: D_i، i عدد شبکه
۳	جداشدگی چشمه روی ناحیه‌ی کوچکی از گسل هموار شده/ روش عدد موج گسسته
۴	روش شبه نیوتونی بیگ/ ثابت بودن سرعت گسلش فرض شده
۵	حتی زمانی که زمان مطلق برای داده‌های غیرواضح باشد، در دسترس است.
۱	Yoshida(1986;1988)
۲	توزیع مکانی- زمانی جداشدگی‌ها: $(D_{mn}, T_{mn}, \tau_{mn})$، mn شماره شبکه
۳	جداشدگی چشمه روی ناحیه‌ی کوچکی از گسل هموار شده/ نظریه‌ی تابش
۴	روش گاوس- نیوتون با قیدهای ضعیف
۵	موثر برای جداشدگی چشمه‌های هموار
۱	Fukuyama and Irikura(1986)

۲	توضیح مکانی نسبی برای ممان: : m_i، i عدد شبکه
۳	جدا شداگی چشمه در شبکه‌ها/ داده‌های ثبت شده پس‌لرزه‌ها
۴	روش گوس- نیوتون
۵	انتخاب داده‌های ثبت شده پس‌لرزه‌ها نکته کلیدی است.
۱	Koyama(1987)
۲	تابع زمانی چشمه برای تانسورهای ممان: M_i، i گام‌های زمانی
۳	مولفه‌های لحظه‌ای تانسورممان/ نظریه‌ی تابش
۴	وارون تعمیم‌یافته
۵	برای به دست آوردن ویژگی‌های عمده

در تمام این روش‌های وارون‌سازی، حتی توصیف چشمه در ساده‌ترین مدل نیازمند تعریف ۶ پارامتر یعنی ممان لرزه‌ای، سه پارامتر گسل(امتداد، شیب و لغزش) ، ثابت‌های زمانی (زمانِ خیز، پهنای پالس) است. برای مثال اگر خواهان مدل سازی یک رخداد چندگانه با ۱۰ رخداد مجزا باشیم، حدود ۱۰۰ پارامتر بایستی تعیین گردد، که پارامترهای زمان اصلی و مختصات هر رویداد هم به ۶ پارامتر قبلی اضافه شده‌است.

با توجه به مقدار کیفیت و محدوده‌ی پهنای باند که برای داده‌هایی که معمولاً برای این نوع مدل سازی در دسترس است تعیین تمامی این پارامترها بسیار مشکل می‌باشد. علاوه بر این مشکلات و با در نظر داشتن پیچیدگی در ساختارهای نزدیک چشمه، در طول مسیر و نزدیک گیرنده، آسان نیست که تمامی پیچیدگی‌های موجود در امواج حجمی را از خود چشمه در نظر بگیریم.

با توجه به این مشکلات، اساساً با بکارگیری این تکنیک‌ها بررسی پیچیدگی‌های کلی رخدادهای چندگانه به جای بررسی جزئیات تابع چشمه انجام می‌شود و مقداری ساده سازی صورت می‌گیرد و الزاماً مقداری عدم قطعیت نیز وجود خواهد داشت.

اما اعتبار این نوع مدل سازی باید در نهایت توسط گویایی و روشنی دیگر خروجی‌های آن مانند توزیع و هندسه شکستگی‌های سطحی و داده‌های محلی جنبش نیرومند زمین به بحث گذاشته شود.

در سال‌های اخیر سه زلزله‌ی بزرگ در محدوده‌ی عرض‌های جغرافیایی ۲۸ تا ۳۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ تا ۶۰ درجه شرقی (واقع در استان کرمان ایران) رویداده است. کاتالوگ زلزله‌های دستگاهی ISC (http://www.isc.ac.uk/search/bulletin/circular.html) و تاریخی NEIC (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/) نشان می دهند ، که این منطقه از لحاظ لرزه خیزی فعال نبوده است و هیچ زلزله ی بزرگ تر از ۶ تا قبل از زلزله‌ی

بم سال ۱۳۸۲ این منطقه را نلرزانده است. ۸ سال بعد از زلزله مخرب بم منطقه در گیر ۲ زلزله بزرگ دیگر در سال ۱۳۸۹بوده است ،به خوبی دیده می شود که نرخ لرزه خیزی در منطقه تغییر پیدا کرده است، که هنوز علت آن مشخص نشده است.

اولین مورد از این سه زلزله ی بزرگ ، زلزله‌ی بم در تاریخ ۵ دی سال ۱۳۸۲ می‌باشد. این زلزله توسط محققان زلزله شناس بسیاری از همان ابتدا تا کنون مورد بررسی قرار گرفته‌است و گسل پنهان جدیدی به فاصله‌ی ۴ کیلومتری غربی و موازی با گسل بم، تشخیص داده‌شد و گسل ارگ بم نامگذاری گردید.(Sadeghi et al.,2006 , Nakamora et al.,2005)

دو زلزله‌ی دیگر در جنوب شرقی محمدآباد ریگان و در سال ۱۳۸۹ اتفاق افتاده‌اند که با بررسی نقشه‌ی زمین شناسی منطقه هیچ گسل سطحی در نزدیکی آن‌ها تشخیص داده‌نشده است. (شکل۱)

در این مطالعه ما بر آنیم که فرایند چشمه‌های این سه زلزله را در جهت دستیابی به اطلاعاتی در چگونگی ارتباط این زلزله ها تعیین کنیم و بر این اساس از روش وارون سازی که توسط Kikuchi and Kanamori (1986;1991) معرفی شده‌است، استفاده کرده‌ایم. در این روش ،فرایند چشمه به صورت توالی از زیر رویدادهایی بیان می‌شود که اجازه دارند مکانیزم‌های متفاوتی از یک‌دیگر داشته باشند و هر زیر رویداد با یک تانسور ممان و زمان شروع و موقعیت مختص به خود مشخص می‌شوند. تانسورهای ممان هر کدام از زیر رویدادها توسط یک ترکیب خطی از تانسورهای ممان پایه که توسط Kikuchi and Kanamori (1991) تعریف شده است، بیان می‌شوند. در فصل اول به شرح این روش پرداخته‌ایم.