

بررسی خصوصیات چشمه زمینلرزه ۱۹۹۷ اردبیل

صنم عاطفی^۱، دکتر محمدرضا قیطانچی^۲ و حسین ابره دری^۳

چکیده

زمینلرزه ۲۸ فوریه ۱۹۹۷ اردبیل بزرگترین و مخربترین زمینلرزه منطقه اردبیل و بعد از زمینلرزه ۱۹۹۰ رودبار بزرگترین زمینلرزه شمال غرب ایران بشمار می‌آید. در این مطالعه با استفاده از داده‌های ۱۹ ایستگاه لرزه نگاری شبکه جهانی GDSN مدلسازی شکل موج صورت گرفته و تابع زمانی چشمه از نوع دو حادثه‌ای بوده و بیشترین مقدار انرژی در ۱۰ ثانیه نخست آزاد شده است. مقادیر ممان لرزه‌ای $\sum M_0 = 1/89 \times 10^{25}$ dyne-cm و بزرگی گشتاوری $M_w = 6/2$ و میزان جابجائی $D = 27$ cm و افت استرس $\Delta\sigma = 149$ bar بدست آمد. شکستگی از نوع امتداد لغز بوده که از ناحیه کانونی شروع شده و به صورت یکطرفه در جهت شمال شرقی گسترش پیدا نموده است. نتایج این مطالعه با نتایج حاصل از مطالعات قبلی هم خوانی خوبی دارند.

کلیدواژه‌ها: زمینلرزه اردبیل، سازوکار کانونی، ممان لرزه‌ای، افت استرس

Investigation of source characteristics of the 1997 Ardabil Earthquake

Sanam Atefi, Dr. Mohammad-Reza Gheitanchi and Hossein Abredari

Abstract

The 28th February, 1997, earthquake is the largest and the most destructive earthquake in Ardabil Province and the largest recorded earthquake in NW Iran since the 1990 Rudbar earthquake. The result of teleseismic waveform modeling in this study, indicates that the source process of this earthquake follows mainly two subevents model and focal mechanism of the mainshock is mainly strike slip. The source time function suggests that the main energy was released during the first 10 seconds, the total seismic moment was calculated to be $\Sigma M_0 = 1/89 \times 10^{25}$ dyn-cm, the obtained moment magnitude was $M_w = 6/2$. The calculated maximum dislocation was about 27 cm and the stress drop was estimated to be 149 bar. Rupture during the mainshock initiated around the hypocenter and extended unilaterally to the northwest. The results of this study are in agreement with the result of previous studies.

Keywords: Ardebil earthquake, Focal mechanism, stress drop, seismic moment

۱- کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک (زلزله‌شناسی) دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات sanamatefi@yahoo.com

۲- عضو هیئت علمی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران mrghchee@ut.ac.ir

۳- کارشناس موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و مدرس واحد علوم و تحقیقات abrehdari@ut.ac.ir

مقدمه

در ساعت ۱۶:۲۷:۱۷ روز جمعه ۲۸ فوریه ۱۹۹۷ زمینلرزه‌ای با $M_w = 6.0$ و مختصات رومرکز $38/05^\circ N$ و $48/05^\circ E$ (USGS) در جنوب غربی بخش سرعین از توابع اردبیل روی داد که مهمترین زمینلرزه در قرن اخیر در ناحیه پر جمعیت و زلزله خیر استان اردبیل می‌باشد (Amberseys and Melville, 1982). بر اثر این زمینلرزه بیش از ۱۲۰۰ نفر کشته و متجاوز از ۲۶۰۰ نفر زخمی شده ۱۲۰۰ خانه ویران و ۳۶۰۰۰ نفر بی خانمان شدند. با توجه به محدود بودن مطالعات زلزله‌شناسی در این منطقه و وقوع زمینلرزه ۱۹۹۷ اردبیل بررسی خصوصیات چشمه مسبب این زمینلرزه ضروری بنظر می‌رسد. در این مطالعه با استفاده از مدلسازی شکل موج پارامترهای چشمه زمینلرزه از قبیل طول شکستگی، مساحت ناحیه شکست، ممان (گشتاور) لرزه‌ای M_0 ، بزرگی گشتاوری M_w ، افت استرس $\sigma \Delta$ و میزان جابجائی D مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مدلسازی امواج دورلرز زمینلرزه اردبیل

در این مطالعه برای انجام مدلسازی به روش وارون، از داده‌های دوره بلند ۱۹ ایستگاه شبکه جهانی رقمی GDSN استفاده شده است. به منظور پرهیز از اثر سه گانه شدن در گوشته فوقانی و تداخل فازهای هسته، شکلهای موج P ایستگاههای واقع در فواصل بین 30° تا 100° مورد استفاده قرار

گرفته اند (Lay and Wallace, 1995). در جدول ۱ مشخصات ایستگاههای مورد استفاده ارائه شده است. شکل موجها در مدت ۴۰ ثانیه پس از ورود امواج P در فواصل زمانی یک ثانیه‌ای نمونه برداری، رقمی و درونیابی شده‌اند. توابع گرین واقعی و مصنوعی تمام ایستگاهها با لرزه نگاشتهای GDSN، با وزن یکسان، معادلسازی شده است (Kikuchi and Kanamori, 1991). به منظور انجام مدلسازی گسلش، روش واهمامیخت تکراری چندگانه (Gheitanchi et al., 1993) و برای تعیین محل زیررویدادها، نقاط مبنا با فواصل یکسان ۱۰ کیلومتری در امتداد گسل و ۵ عمق مجزای ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ کیلومتر بکارگرفته شدند. حال چشمه نقطه‌ای^۱ با تابع زمانی مثلثی شکل در نظر گرفته می‌شود، عرض این تابع زمانی آنقدر تغییر داده می‌شود تا بهترین برازش بین امواج ثبت شده و امواج مدلسازی شده بدست آید. زمان فرایش ۳ ثانیه، زمان گسیختگی ۴ ثانیه و سرعت گسیختگی ۲/۵ کیلومتر بر ثانیه بهترین برازش را نشان می‌دهد. خطای ماند در این حالت ۰/۷۴ است. تابع زمانی چشمه^۲ در شکل ۱ و سازوکار کانونی^۳ این تک حادثه در شکل ۲ دیده می‌شوند. سازوکار این زمینلرزه با توجه به شکل ۲ از نوع امتداد لغز می‌باشد. اگر در شکل ۳ به شکل موجهای واقعی (بالا) و مصنوعی (پائین) توجه شود تطابق میان آنها در ۱۰ ثانیه اول کاملاً واضح است.

1- Point source
2- Source time function
3- Focal mechanism



شکل ۲- سازوکار کانونی زمینلرزه تک حادثه‌ای اردبیل

شکل ۱- تابع زمانی چشمه تک حادثه‌ای زمینلرزه اردبیل

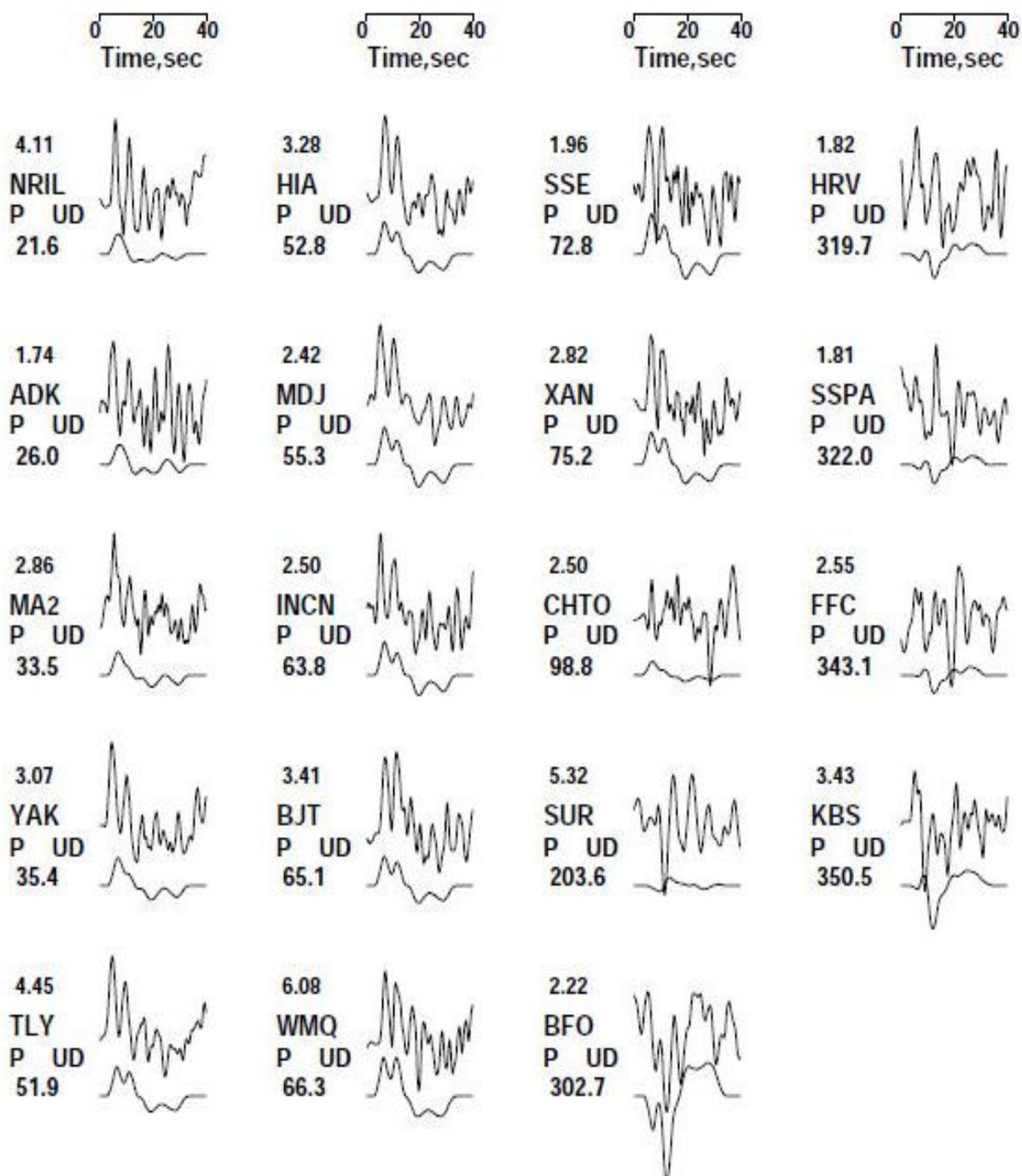
جدول ۱- مشخصات ایستگاههای GDSN مورد استفاده در مطالعه زمینلرزه اردبیل

Station	Az Deg.	B.Az Deg.	Delta ¹ Km
NRIL	21.6	-124.1	38.1
ADK	26	-34.0	82.3
MA2	33.5	-59.0	63.9
YAK	35.4	-76.4	53.4
TLY	51.9	-87.1	40.7
HIA	52.8	-73.9	51.2
MDJ	55.3	-65.3	59.2
INCN	63.8	-62.9	60.2
BJT	65.1	-68.8	51.7
WMQ	66.3	-87.1	30.3
SSE	72.8	-61.4	59.2
XAN	75.2	-66.7	48.6
CHTO	98.8	-55.2	48.1
SUR	-156.4	21.9	76.4
BFO	-57.3	94.8	30.4
HRV	-40.3	43.7	82.8
SSPA	-38.0	39.7	87.4
FFC	-16.9	23.3	84.1
KBS	-9.5	137.5	43.5

1- epicentral distance of station

Ardabil 1997.2.28

3.0 3.0 0.7570

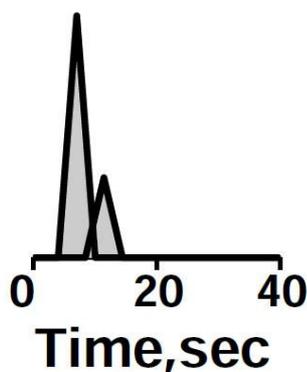


شکل ۳- مقایسه شکل موجهای واقعی (بالا) و مصنوعی (پائین) برای چشمه نقطه‌ای تک حادثه‌ای زمینلرزه اردبیل. ضریب همبستگی، نام ایستگاه، نام مولفه و آزمون هر شکل موج در قست چپ آن نوشته شده است.

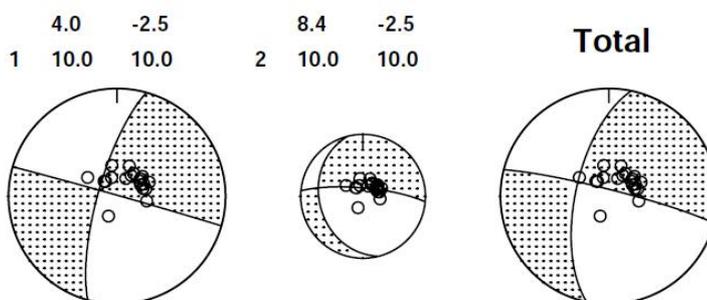
در شکل ۵ سازگارهای رویداد اصلی، زیر رویداد همچنین سازوکار کلی زمینلرزه اردبیل دیده می‌شوند. اندازه ممان لرزه‌ای بدست آمده در این حالت برای حادثه‌های اول و دوم به ترتیب عبارتند از: $1/49 \times 10^{25}$ dyne-cm و $0/49 \times 10^{25}$ dyne-cm. در این ممان لرزه‌ای کلی $1/82 \times 10^{25}$ dyne-cm، در این زمینلرزه عمده انرژی در حادثه اصلی آزاد گردیده است به همین دلیل زمینلرزه پس‌لرزه‌های بزرگی بدنبال نداشته است. در شکل ۶، شکل موجهای واقعی (بالا) و مصنوعی (پائین) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با اندکی دقت در شکل موجها و مقایسه آنها با حالت تک حادثه‌ای (شکل ۳)، بهبود برازش شکل موجها دیده می‌شود.

با ثابت نگهداشتن تابع زمانی چشمه تعداد چشمه‌های لرزه‌ای را افزایش می‌دهیم تا برازش امواج واقعی و مدلسازی بهینه شود. نتیجه حاصله نشان می‌دهد که یک چشمه لرزه‌ای نقطه‌ای شکل نمی‌تواند تطابق کاملی داشته باشد به خصوص در ثانیه‌های بعد از ۱۰ ثانیه اول، یعنی زمینلرزه اصلی تک حادثه‌ای نبوده است.

با توجه به خصوصیات منطقه و به منظور پرهیز از ناپایداری پاسخ، شکل تابع زمانی چشمه را ثابت در نظر گرفته شده و تعداد حادثه افزایش داده می‌شود. خطای ماند در حالت دو حادثه $0/67$ می‌باشد که نسبت به حالت تک حادثه‌ای کاهش نشان می‌دهد. در شکل ۴ تابع زمانی چشمه دو حادثه‌ای زمینلرزه و



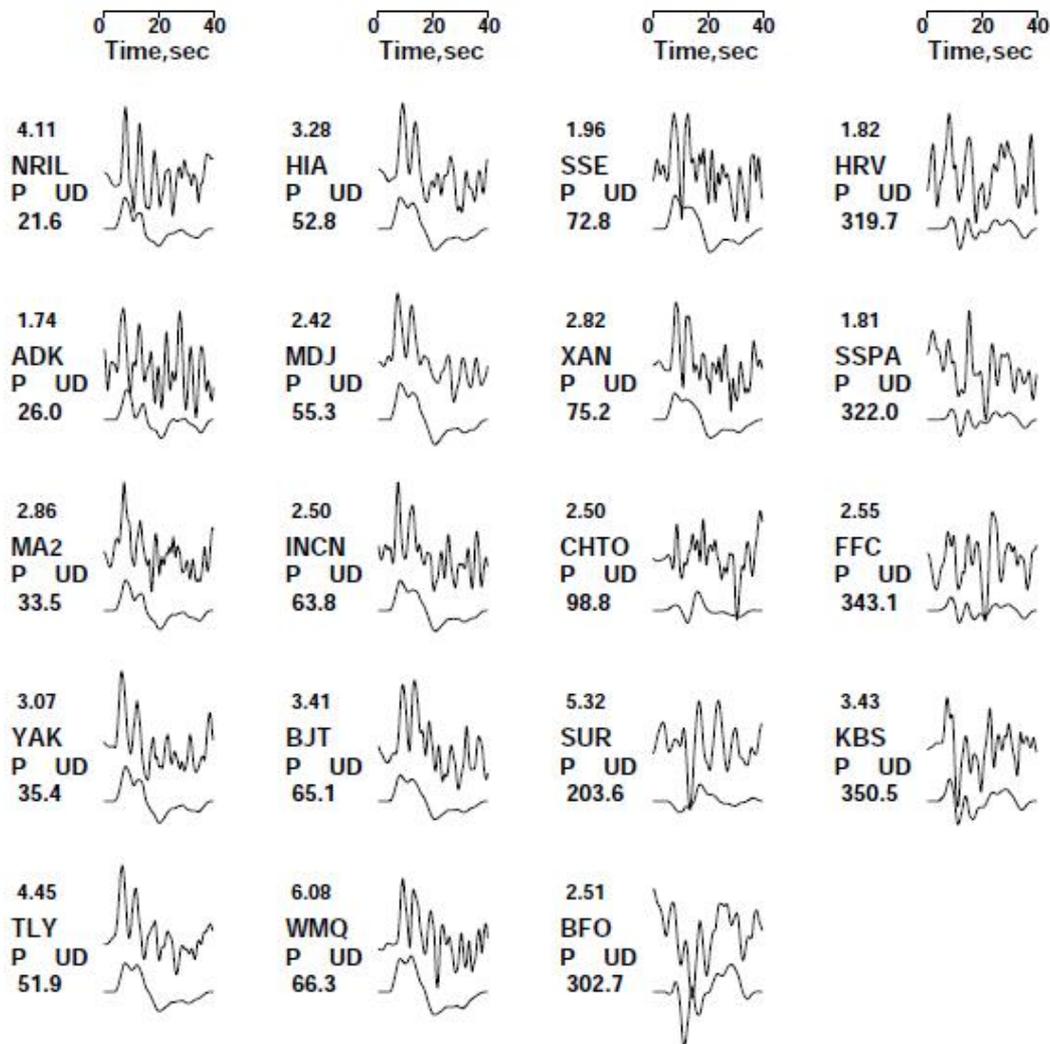
شکل ۴- تابع زمانی چشمه دو حادثه‌ای زمینلرزه اردبیل



شکل ۵- سازوکارکانونی رویداد اصلی و زیر رویداد زمینلرزه اردبیل

Ardabil 1997.2.28

3.0 3.0 0.6724



شکل ۶- مقایسه شکل موجهای واقعی (بالا) و مصنوعی (پائین) برای زمینلرزه دو حادثه‌ای اردبیل. ضرب همبستگی، نام ایستگاه، نام مولفه و آزمون هر شکل موج در قست چپ آن نوشته شده است.

محاسبه پارامترهای چشمه زمینلرزه اردبیل

با داشتن مقدار ممان لرزه‌ای زمینلرزه برای هر حادثه می‌توان بزرگی گشتاوری را با رابطه ۱ (کاناموری ۱۹۷۷) بدست آورد:

$$M_w = 0.6671 \log M_0 - 1.07 \quad 1$$

بزرگی گشتاوری حادثه اول $M_{w1} = 6/1$ و بزرگی گشتاوری حادثه دوم $M_{w2} = 5/8$ و بزرگی گشتاوری مجموع $M_{w\text{total}} = 6/2$ می‌باشند. با توجه به اینکه سرعت شکستگی $2/5$ کیلومتر در ثانیه در نظر گرفته شده است طول شکستگی $L = 26 \text{ km}$ و مساحت ناحیه شکست $S = 230 \text{ km}^2$ خواهند بود. با مشخص شدن

مستقر در منطقه استفاده گردید. رابطه بین بزرگی پس‌لرزه‌ها و زمان وقوع آنها تا تاریخ ۱۹۹۷/۴/۳۰ در نمودار ۱ دیده می‌شود. رخداد‌های ثبت شده دارای حداقل بزرگی ۲/۵ هستند. فراوانی پس‌لرزه‌ها از تاریخ ۱۹۹۷/۲/۲۵ تا ۱۹۹۷/۴/۳۰ در نمودار ۲ بیانگر سیر نزولی پس‌لرزه‌ها پس از رخداد اصلی بوده و تنها در انتهای بازه زمانی اندکی افزایش نشان می‌دهد. در بازه زمانی مورد مطالعه بیشترین تعداد مربوط به پس‌لرزه‌هایی با بزرگی ۳ تا ۳/۵ می‌باشد که در نمودار ۳ نشان داده شده است.

به منظور تعیین راستا و جهت شکستگی در زمینلرزه اردبیل، از ۹۸ پس‌لرزه ثبت شده تا تاریخ ۱۹۹۷/۲/۳۰ استفاده شد که پس از تعیین مکان در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده می‌شوند.

با مقایسه محل رخداد اصلی و امتداد پس‌لرزه‌ها، مهاجرت در امتداد جنوب غربی - شمال شرقی کاملاً محسوس می‌باشد.

مساحت ناحیه شکستگی ممان لرزه‌ای میزان جابجائی و افت استرس از روابط ۲ و ۳ قابل محاسبه است:

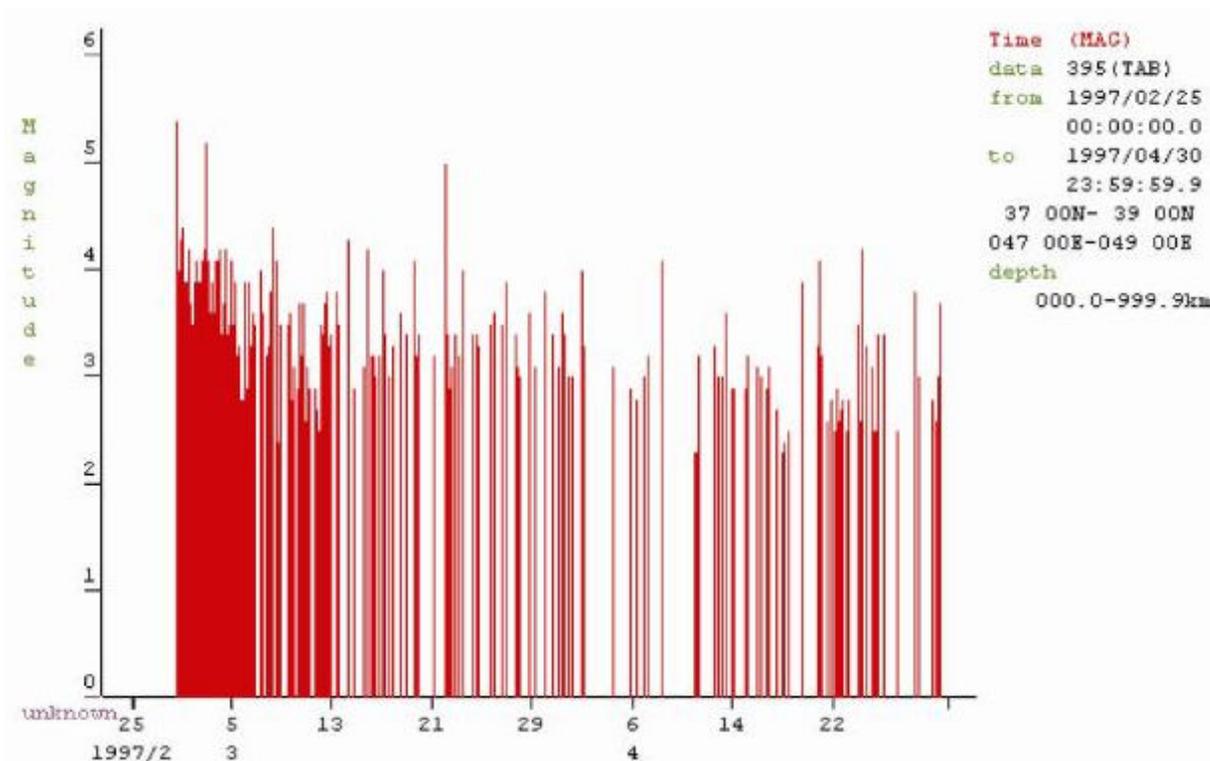
$$M_0 = \mu DS \quad 2$$

$$\Delta\sigma = 2/5 M_0 / S^{1/5} \quad 3$$

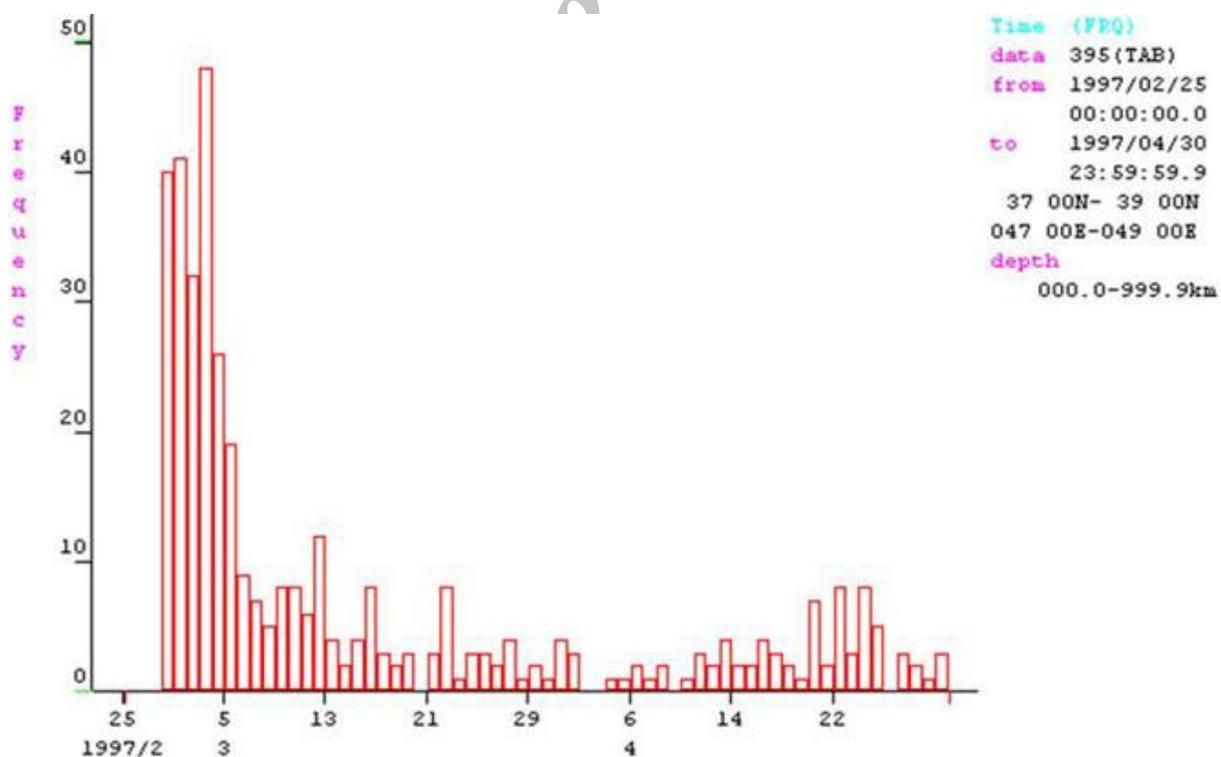
اندازه جابجائی $D = 27m$ و افت استرس $\Delta\sigma = 145 \text{ bar}$ محاسبه شدند.

تحلیل پس‌لرزه‌ها

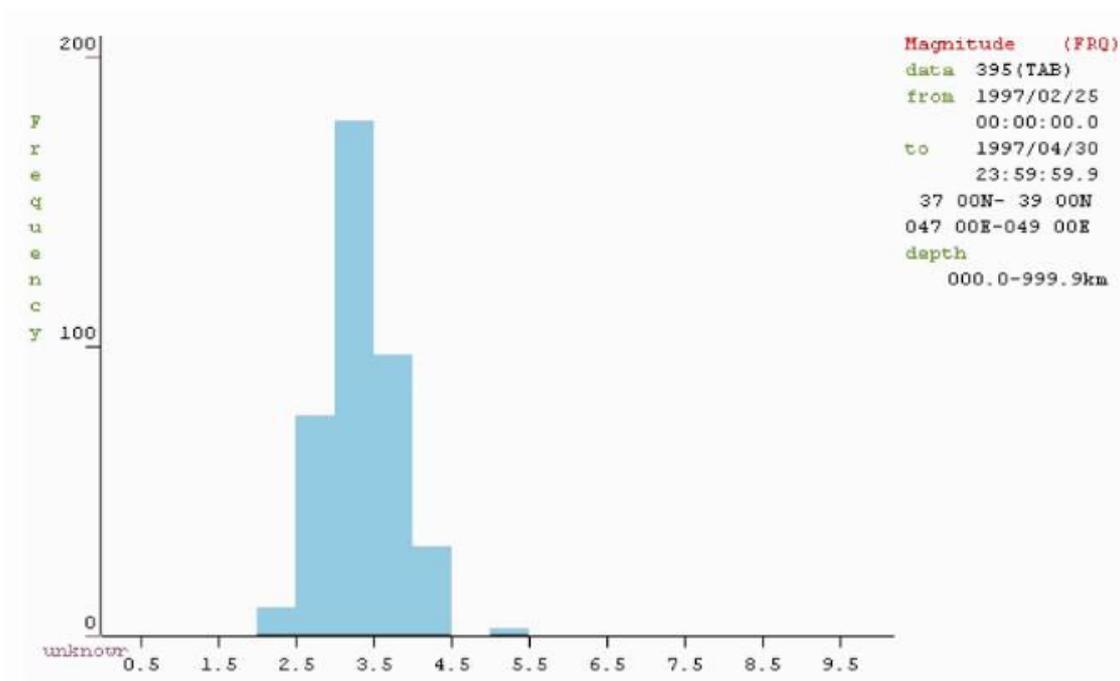
پس‌لرزه‌ها معمولاً اطلاعات مهمی درباره چشمه اصلی زمینلرزه در اختیار زلزله‌شناسان قرار می‌دهند که از مهمترین آنها می‌توان ابعاد گسل و امتداد شکستگی را نام برد، برای این منظور گسترش زون پس‌لرزه در ساعات اولیه (حداکثر ۴۸ ساعت پس از وقوع حادثه اصلی) مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این مطالعه به منظور تعیین امتداد و راستای شکستگی از پس‌لرزه‌های ثبت شده در شبکه لرزه‌نگاری استان آذربایجان شرقی و شبکه موقت



نمودار ۱- نمودار بزرگی پس لرزه‌ها و زمان رخداد آنها



نمودار ۲- نمودار فراوانی پس لرزه‌ها

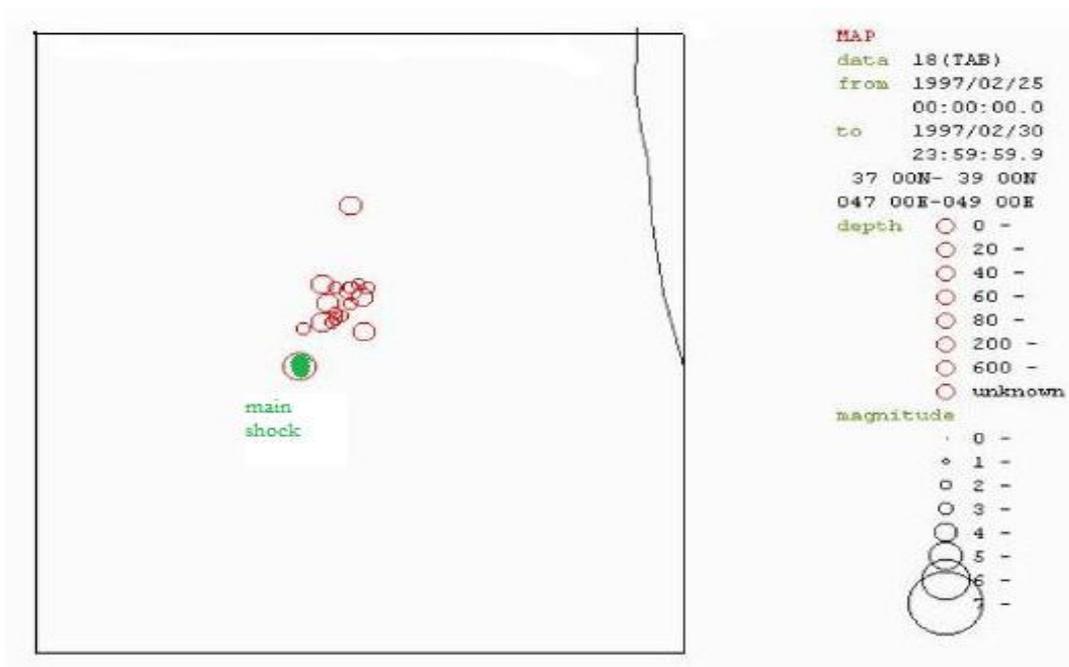


نمودار ۳- نمودار توزیع بزرگی پس لرزه‌های زمینلرزه اردبیل

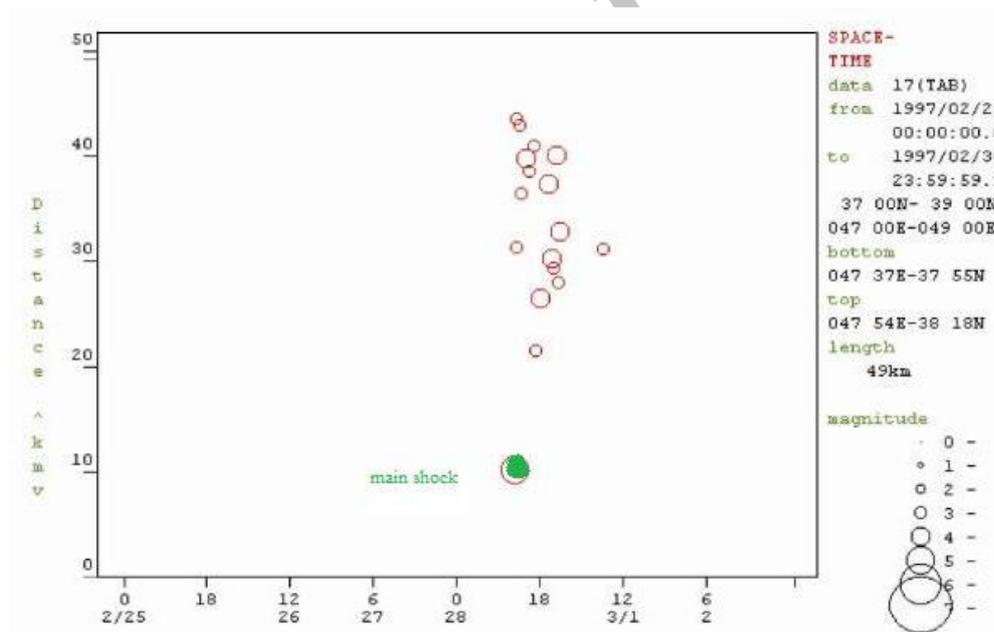
جنوب غرب پیروی می‌کنند. این روند در اکثر ساختارهای زمین‌شناسی منطقه به ویژه گسلها قابل مشاهده است.

در شکل ۹ امتداد پس‌لرزه‌ها بر روی نقشه گسلهای منطقه نشان داده می‌شود، توزیع مکانی پس‌لرزه‌ها اکثرا در جنوب و جنوب غربی شهرستان اردبیل پراکنده بوده و از یک روند شمال شرق -

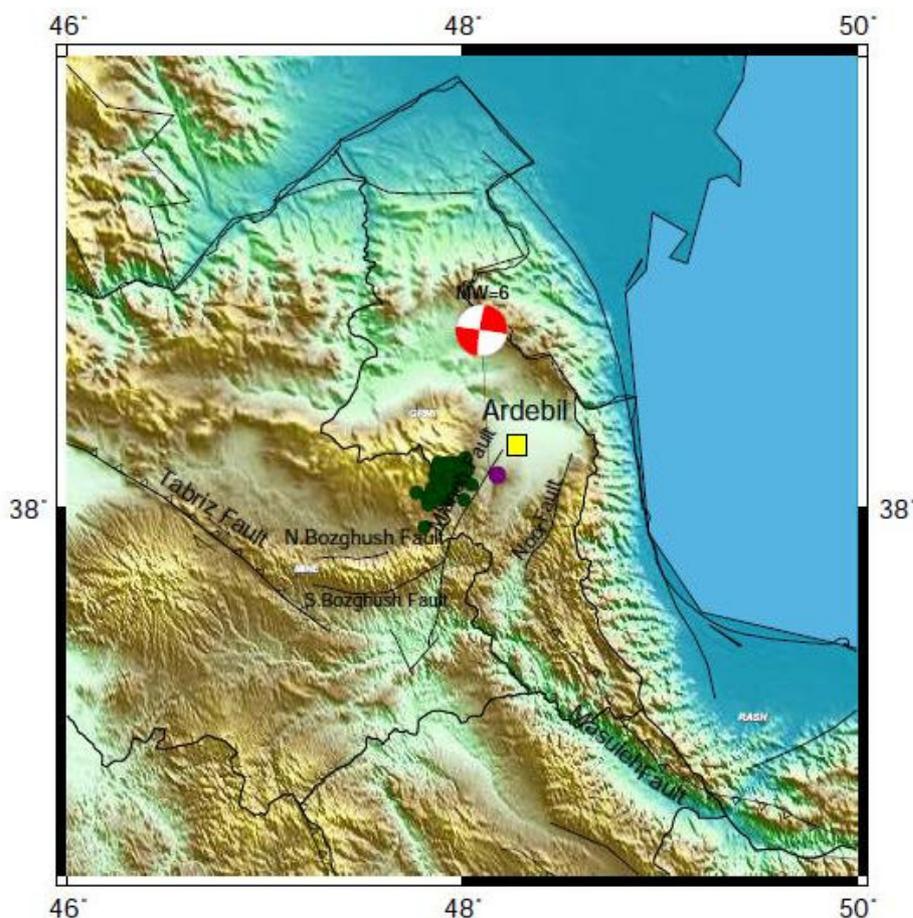
Archive



شکل ۷- نقشه رومرکز پس‌لرزه‌ها (محور افقی: طول جغرافیایی و محور عمودی: عرض جغرافیایی)



شکل ۸- نمودار زمان - جابجایی پس‌لرزه‌های اولیه



شکل ۹- نقشه گسلهای منطقه و رو مرکز پس لرزه‌های اولیه همراه با سازوکار کانونی زمینلرزه اصلی

بحث و نتیجه گیری

رخ داده و به سمت شمال شرق امتداد یافته است و دارای روند شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد. پس لرزه‌های زمینلرزه اردبیل در سال ۱۹۹۸ توسط قیطانچی و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است و از روی توزیع پس لرزه‌ها طول گسل مسبب زمینلرزه را ۲۵km و اندازه جابجایی گسل را ۲۹cm ارزیابی کرده‌اند. سازوکار اشتراکی پس لرزه‌ها را از روی پلاریته‌های پس لرزه‌های ثبت شده بدست آورده‌اند که نتیجه سازوکاری امتداد لغز را نشان می‌دهد (قیطانچی و همکاران، ۱۹۹۸). بدین ترتیب نتایج بدست آمده از مدلسازی در این مطالعه با نتایج حاصل از مطالعات قبلی هم‌خوانی خوبی دارند.

چشمه زمینلرزه ۲۸ فوریه ۱۹۹۷ اردبیل از نوع دو حادثه‌ای بود. زمان حادثه اول در ثانیه چهارم و حادثه دوم در ثانیه هشتم بدست آمد و قسمت اعظم انرژی در حادثه اول آزاد شده و ممان لرزه‌ای کلی $dyne\text{-}cm$ $10^{25} \times 1/82$ و بزرگی گشتاوری مجموع $M_w = 6/2$ سازوکار کانونی حادثه اول از نوع امتداد لغز و حادثه دوم دارای مولفه نرمال می‌باشد. اندازه جابجایی برابر با $D = 27\text{ cm}$ و مقدار افت استرس $\Delta\sigma = 145\text{ bar}$ محاسبه شدند. مساحت ناحیه شکستگی $S = 230\text{ km}^2$ و طول شکست $L = 26\text{ km}$ می‌باشد که در جنوب غربی شهر اردبیل

تشکر و قدر دانی

داده‌های رقمی دورلرز از سایت اینترنتی IRIS و داده‌های پس‌لرزه‌های ثبت شده توسط شبکه لرزه نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از سایت شبکه لرزه‌نگاری کپی شده‌اند. از آقای رضا منصوری به خاطر کمک نرم‌افزاری و ارائه نکات آموزنده سپاسگزاری می‌شود.

منابع و مراجع

- Amberseys, M. M. and Melville, C. P., 1982, A history of Persian earthquake: Cambridge University Press. 219pp.
- Lay, T. and Wallace, T.C., 1995, Modern Global Seismology, Academic Press, 521pp
- Gheitanchi, M.R., Kikuchi, M., and Mizoue, M. 1993, Teleseismic Interpretation of the 1968 Dasht-E Bayaz, NE Iran, Earthquake, Geophys. Res. Lett., 20, 245-248.
- Gheitanchi, M.R., Shafiei, D. and Bayramnadjad, E. 1998, The February 28, 1997, Ardabil, North-West Iran, Earthquake and its Aftershocks, J. Earth & Space Physics, Vol.24, P. 1-9.
- Kikuchi, M. and Kanamori, H. 1991, Inversion of complex body waves-III, Bull. Soc. Am., 81, 2335-2350.