دوره آموزشی زلزله‌شناسی کاربردی با استفاده از نرم‌افزار سایزن

عبدالرضا قدس

دانشیار ژئوفیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان

نسخه ۲.۰ مهرماه ۱۳۹۳

aghods@iasbs.ac.ir

www.iasbs.ac.ir/~aghods

Institute for Advanced Studies
in Basic Sciences
Gava Zang, Zanjan, Iran

این کارگاه توسط انجمن ژئوفیزیک ایران برگزار شد.

aghods@iasbs.ac.ir

مفاد ارایه شده در کارگاه زلزله‌شناسی کاربردی

- مروری بر نحوه کار شبکه‌های لرزه‌نگاری
- مروری بر فازهای لرزه‌ای و طریقه خوانش آنها
- مروری بر روش مکان‌یابی گایگر
- مکان‌یابی زلزله‌های محلی، منطقه‌ای و دور
- بررسی دقت مکان‌یابی زلزله با استفاده از روش تک رویدادی
- اندازه‌گیری بزرگای محلی، سطحی و ممان
- مروری بر وضعیت زلزله‌نگاری در ایران و نحوه استفاده از داده‌های شبکه‌های زلزله‌نگاری ایران
- بدست آوردن مکانیزم زلزله‌ها با استفاده از اولین رسید موج P

aghods@iasbs.ac.ir

محتویات الکترونیک ارایه شده در این کارگاه

- تمام فایل‌های مورد استفاده در این کارگاه در یک پوشه به نام seisan_workshop1393 ارایه شده است.
- در داخل این پوشه، زیرپوشه‌های سایزن شامل CAL، WAV، REA و DAT وجود دارد. داده‌های موجود در پوشه WAV شامل شکل موج‌های زلزله‌های ورزقان-اهر و کاکی است. پوشه CAL حاوی فایل‌های پاسخ بیشتر ایستگاه‌های موجود شبکه‌های لرزه‌نگاری کشور است. در فایل STATION0.HYP داخل پوشه DAT مشخصات ایستگاه‌های زلزله‌شناسی ایران آمده است.
- در داخل زیرپوشه SUP درون پوشه seisan_workshop1393 پوشه‌های زیر قرار دارد که در درس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

```
catalogs، conversions iiees_response_file
irsc_response_files  maps
more_earthquake_data
```

aghods@iasbs.ac.ir

پیش‌فرض‌های این کارگاه

- این کارگاه برای دانشجویان ژئوفیزیک کارشناسی ارشد که درس زلزله‌شناسی را گذرانده‌اند طراحی شده است.
- شرکت‌کنندگان باید توانایی کار با سیستم عامل ویندوز و ترجیحاً لینوکس را داشته باشند.
- شرکت‌کنندگان باید نرم‌افزار سایزن را از قبل بر روی کامپیوترهای خود نصب کرده باشند.

aghods@iasbs.ac.ir

ساختار شبکه لرزه‌نگاری

شبکه لرزه‌نگاری مشتمل بر چهار جزء زیر است:

- دستگاه‌های زلزله‌سنج(Seismometers)،
- دستگاه‌های رقومی‌کننده (Digitizers)،
- دستگاه‌های‌فرستنده و گیرنده، کامپیوتر و نرم‌افزار دریافت کننده داده (Acquisition system)،
- نرم‌افزار آنالیز داده‌ها جهت تعیین موقعیت زلزله‌ها، بزرگا و سازوکار کانونی آن‌ها.

سایزن یک نرم‌افزار آنالیز داده‌های لرزه‌نگاری است.

aghods@iasbs.ac.ir

چرا SEISAN ؟

- یک نرم‌افزار مجانی و open source است،
- بر روی تمام سیستم‌عامل‌های موجود قابل نصب است،
- برای انجام کارهای معمول یک شبکه لرزه‌نگاری مناسب است،
- یادگیری آن ساده است،
- مجهز به یک بانک داده ساده مبتنی بر ساختار فایلی است،
- قابلیت اجرای batch دارد. بعنوان مثال می‌توان تمام زلزله‌ها را با استفاده از یک مدل زمین جدید مکان‌یابی کرد و یا بزرگای تمام زلزله‌ها را بر اساس یک فرمول جدید بزرگا دوباره محاسبه کرد،
- قابلیت رسم نقشه و جفت شدن با نرم‌افزار رسم پیشرفته GMT را دارد،
- امکان استفاده از نرم‌افزارهای دیگر به مانند VELEST، SAC و ... را دارد.

aghods@iasbs.ac.ir

Seisanرا از کجا می‌توان تهیه کرد؟

از سایت انستیتوی فیزیک زمین دانشگاه برگن می‌توانید به نرم افزار و تمام راهنماهای مربوطه دسترسی پیدا کنید. همچنین می توانید عضو گروه پست الکترونیکی سایزن شوید و در صورت اشکال، سئوالات خود را در آن مطرح کنید. سایت مذکور توسط آدرس زیر قابل دسترسی است.

Index of ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/SOFTWARE/SEISAN/

Up to higher level directory

Name	Size	Last Modified
filenr.lis	1 KB	06/19/2014 11:38:00 AM
readme	1 KB	09/10/2014 01:41:00 PM
se-2.5.0.src.zip	401 KB	10/07/2014 01:19:00 PM
se-2.5.0.zip	13808 KB	10/09/2014 06:41:00 AM
seisan-tutorial.pdf	4033 KB	09/10/2014 10:40:00 AM
seisan.pdf	7539 KB	09/10/2014 10:40:00 AM
seisan_test_data.rar	57810 KB	06/19/2014 09:46:00 AM
seisan_test_data.tar.gz	69339 KB	06/19/2014 09:46:00 AM
seisan_test_data.zip	70777 KB	06/19/2014 09:46:00 AM
seisan_v10.1_linux_32bit.tar.gz	115409 KB	06/19/2014 01:07:00 PM
seisan_v10.1_linux_64bit.tar.gz	95915 KB	06/19/2014 12:41:00 PM
seisan_v10.1_macosx_64bit.tar.gz	75367 KB	06/19/2014 12:41:00 PM
seisan_v10.1_solaris_32bit.tar.gz	100592 KB	06/19/2014 12:42:00 PM
seisan_v10.1_windows.msi	149295 KB	06/19/2014 11:36:00 AM
seisan_v10.2_windows.msi	152943 KB	09/10/2014 01:38:00 PM
seitrain.pdf	1220 KB	09/02/2014 06:33:00 AM

aghods@iasbs.ac.ir

اطلاعات لازم برای پردازش‌های معمول در زلزله‌شناسی

صرف‌نظر از اینکه نرم‌افزار مورد استفاده چه باشد، برای انجام پردازش‌های معمول زلزله‌شناسی به مانند مکان‌یابی زلزله، تعیین بزرگا و سازوکار زلزله‌ها نیاز به اطلاعات زیر است. سایزن هر کدام از اطلاعات زیر را در یک پوشه مجزا نگه‌داری می‌کند.

- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های زلزله‌نگاری و مدل زمین (DAT)
- شکل‌موج زلزله‌ها (WAV)
- منحنی پاسخ زلزله‌نگارها (CAL)

aghods@iasbs.ac.ir

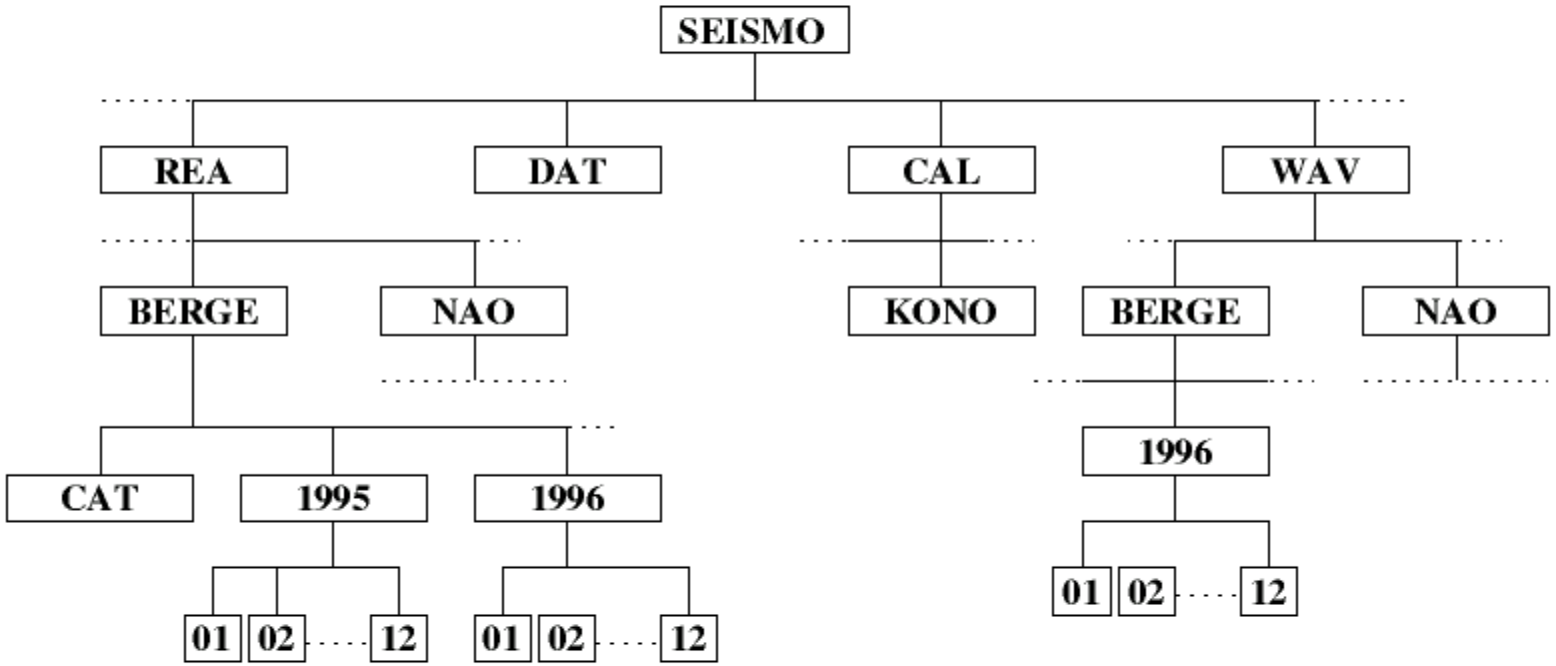
نحوه ذخیره اطلاعات تولید شده توسط سایزن

- فرآیند پردازش، خود منجر به تولید داده‌های جدیدی می‌شود که باید این داده‌ها به نحوی ذخیره شوند که دستیابی به آن‌ها به سادگی انجام بگیرد. نرم‌افزارهای پردازش داده‌های زلزله‌شناسی هر کدام به نحوی اطلاعات تولید شده نظیر زمان وقوع، مکان و بزرگای زلزله و زمان رسید فازهای لرزه‌ای را ذخیره می‌کنند. در بعضی از موارد بدون داشتن نرم‌افزارهای ویژه نمی‌توان به اطلاعات ذخیره شده دستیابی داشت. سایزن تمام اطلاعات تولیدی ناشی از پردازش داده‌های زلزله‌شناسی را به صورت فایل‌های متنی به نام S-file در داخل پوشه REA ذخیره می‌کند. بازیابی اطلاعات از این فایل‌های متنی به طریقه‌های متفاوتی قابل انجام است و نیازی به داشتن نرم‌افزار ویژه‌ای نیست.

aghods@iasbs.ac.ir

دایرکتوری‌های نرم‌افزار SEISAN

Figure 1. Structure of SEISAN. Note that BERGE under WAV is optional and DELET (not shown) under REA has a similar directory structure as e.g. NAO.



aghods@iasbs.ac.ir

دایرکتوری‌های نرم‌افزار SEISAN

اگر به شاخه $HOME/seisan بروید شاخه‌های زیر را می‌بینید،

- شاخه REA حاوی فایل‌های S-file که بر اساس اسم‌بانک، سال و ماه وقوع زلزله مرتب شده‌اند، است.
- شاخه WAV حاوی فایل‌های شکل موج است.
- شاخه DAT شامل فایل‌هایی که تنظیمات برنامه‌های سایزن را کنترل می‌کنند. از مهمترین این فایل‌ها، فایل STATION0.HYP است که مختصات ایستگاه‌ها، پارامترهای برنامه مکان‌یابی و معرفی مدل زمین در آن تعریف می‌گردد.
- شاخه CAL حاوی فایل‌های منحنی پاسخ ایستگاه‌های لرزه‌شناسی است. هر مولفه از یک ایستگاه باید یک فایل منحنی پاسخ که با اسم ایستگاه شروع می‌شود داشته باشد.
- شاخه COM فایل SEISAN.bash که حاوی تمام متغیرهای سایزن است در این پوشه قرار می‌گیرد. در این فایل مسیر برنامه‌های سایزن، مسیر داده‌ها و اسم بانک داده‌ها معرفی می‌گردد.
- شاخه PRO حاوی کد برنامه‌ها و فایل‌های اجرایی آنها است.
- شاخه‌های LIB و INC حاوی برنامه‌های کتابخانه‌ای است.
- شاخه INF حاوی کتابچه‌های راهنمای سایزن و برنامه‌های مورد استفاده در سایزن است.

aghods@iasbs.ac.ir

ساختار بانک اطلاعاتی SEISAN

- بانک اطلاعاتی سایزن بر پایه فایل سیستم بنا نهاده شده است.
- هر زلزله دارای یک فایل شناسنامه که به اصطلاح S-file نامیده می‌شود، است. این فایل حاوی تمام اطلاعات مربوط به یک زلزله از قبیل اطلاعات مکان‌یابی زلزله‌ها، فازها و مسیر پوشه‌ای که در آن فایل شکل موج است، می‌باشد.
- اس‌فایل‌ها در شاخه REA قرار دارند. این شاخه دارای زیر شاخه‌های نام بانک، سال و ماه است.
- اس‌فایل‌های زلزله‌های یک ماه درون زیرشاخه ماه مربوطه قرار می‌گیرند.
- داده‌های شکل موج در درون دایرکتوری WAV قرار می‌گیرند. فایل یا فایل‌های یک زلزله بر اساس نام شبکه ثبت کننده و تاریخ ثبت نام‌گذاری می‌شود.

aghods@iasbs.ac.ir

یک نمونه از S-file

```
1996  128 1417 22.8 L  34.981  53.229  0.0  TES  8 0.3 2.5LTES                1
GAP=287        1.11       3.4     8.9  9.9  0.4145E+01 -0.6609E+02 -0.4437E+01E
ACTION:UP  02-02-10 11:22 OP:reza STATUS:               ID:19960128141719 L   I
../WAV/Tehran/281415/1996-01-28-1413-45S.TEHRA_031                            6
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO AIN AR TRES W  DIS CAZ7
SFB  GZ EPg      1417 40.90                              91    -0.410  115 233
SFB  GN ESg      1417 55.08                              91     0.310  115 233
SFB  GZ E        1417 56.74       150.0 0.20                           115 233
DMV  GZ EPg      1417 42.82                              91    -0.510  127 302
DMV  GE ESg      1417 58.46                              91     0.110  127 302
DMV  GZ  AML     1418  3.17       101.5 0.31                           127 302
VRN  GZ EPg  4 D 1417 43.87                              90    -1.0 0  137 271
VRN  GN ESg      1418  0.84                              90    -0.210  137 271
VRN  GZ E        1418  5.01        87.6 0.20                           137 271
AFJ  GZ EPn    C 1417 49.21                              50    -0.310  169 306
AFJ  GN  Lg      1418  9.65                               0     0.010  169 306
AFJ  GZ E        1418 12.85       416.6 0.32                           169 306
QOM  GZ EPn      1417 53.21                              50     0.310  198 266
QOM  GE  Lg      1418 17.54                               0    -0.210  198 266
SHR  GZ EPn      1417 53.22                              50     0.110  199 298
```

aghods@iasbs.ac.ir

توضیحات بیشتر در مورد S-file

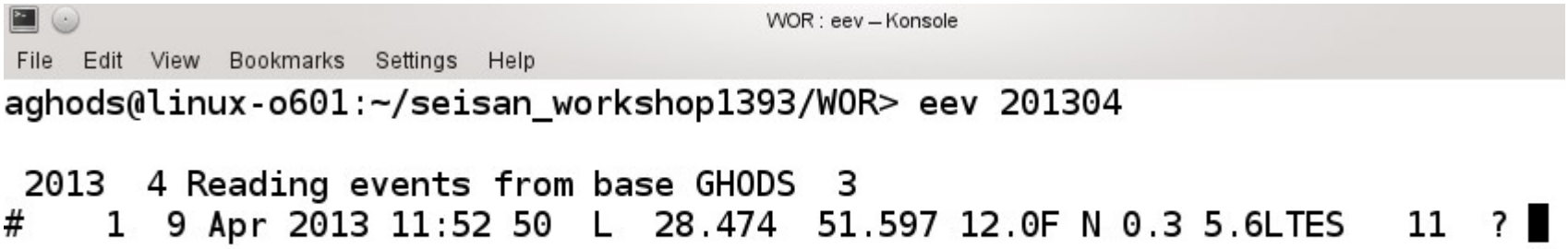
```
1996  128 1417 22.8 L  34.981  53.229  0.0  TES  8 0.3 2.5LTES                1
GAP=287        1.11       3.4     8.9  9.9  0.4145E+01 -0.6609E+02 -0.4437E+01E
ACTION:UP  02-02-10 11:22 OP:reza STATUS:               ID:19960128141719 L   I
../WAV/Tehran/281415/1996-01-28-1413-45S.TEHRA_031                            6
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO AIN AR TRES W  DIS CAZ7
SFB  GZ EPg      1417 40.90                              91    -0.410  115 233
SFB  GN ESg      1417 55.08                              91     0.310  115 233
SFB  GZ E        1417 56.74       150.0 0.20                           115 233
```

- همانطور که ملاحظه می‌کنید S-file کاملاً یک فایل متنی است که بسادگی توسط ویرایشگرهایی نظیر vi قابل ویرایش است. خط اول که توسط یک علامت ایندکس ۱ در ستون منتهی الیه سمت راست (ستون ۸۰) مشخص می‌شود (به اصطلاح به این خط، خط نوع ۱ می‌گوئیم) حاوی اطلاعات بولتنی زلزله است. خط دوم خط نوع Eام است (در ستون منتهی‌الیه سمت راست یک E دارد) حاوی اطلاعات خطای مکان‌یابی است. خط سوم خط نوع I است که حاوی اطلاعات مشخه یک زلزله است. این خط شامل یک شماره مخصوص برای زلزله است آخرین عملی که بر روی زلزله انجام گرفته را هم نشان می‌دهد. خط چهارم خط نوع ۶ است که مسیر فایل‌های شکل موج را مشخص می‌کند. یک اس فایل می‌تواند چندین‌تا خط نوع ۶ داشته باشد. خط بعدی خط نوع ۷ است. این خط پارامترهای فازهای لرزه‌ای که در خطوط بعدی از نوع خط ۴ می‌آیند را معرفی می‌کند. توجه کنید که گذاشتن عدد ۴ در ستون منتهی‌الیه راست خط نوع ۴ اختیاری است. در یک اس فایل به تعداد فازها و دامنه‌های برداشت شده خط نوع ۴ وجود دارد.

aghods@iasbs.ac.ir

معرفی دستور eev

- دستور eev را می‌توان به عنوان شاه دستور دستورات بسته نرم‌افزار سایزن نامید.
- دستور eev به شما اجازه می‌دهد که به سادگی به اطلاعات بولتنی (تاریخ، زمان، مکان، بزرگای زلزله) و اطلاعات فازهای لرزه‌ای(نوع فاز، زمان رسید و دامنه فاز، کیفیت فاز، پولاریتی فاز، ..) دسترسی پیدا کنید و از آنجا به راحتی با اجرای نرم‌افزارهای دیگر به شما امکان دیدن شکل‌موج، خوانش فازها، فیلترکردن، مکان‌یابی و غیره را می‌دهد.
- برای استفاده از نرم افزار، دستور eev 201304 که زلزله‌های ماه چهارم از سال ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد را در خط فرمان اجرا کنید.



aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۱: کار با دستور eev برای دیدن اطلاعات بولتنی زلزله‌ها

- با اجرای دستور wo به پوشه کاری سایزن بروید.
- با اجرای دستور eev 201304 می‌توانید زلزله‌های ماه چهارم سال ۲۰۱۳ را ببینید. با زدن کلید enter اطلاعات بولتنی زلزله بعدی را مشاهده می‌کنید. چند زلزله در این ماه وجود دارد؟
- جهت مشاهده محتویات S-file مربوط به یک زلزله t تایپ کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

دیدن رومرکز یک زلزله بر روی نقشه

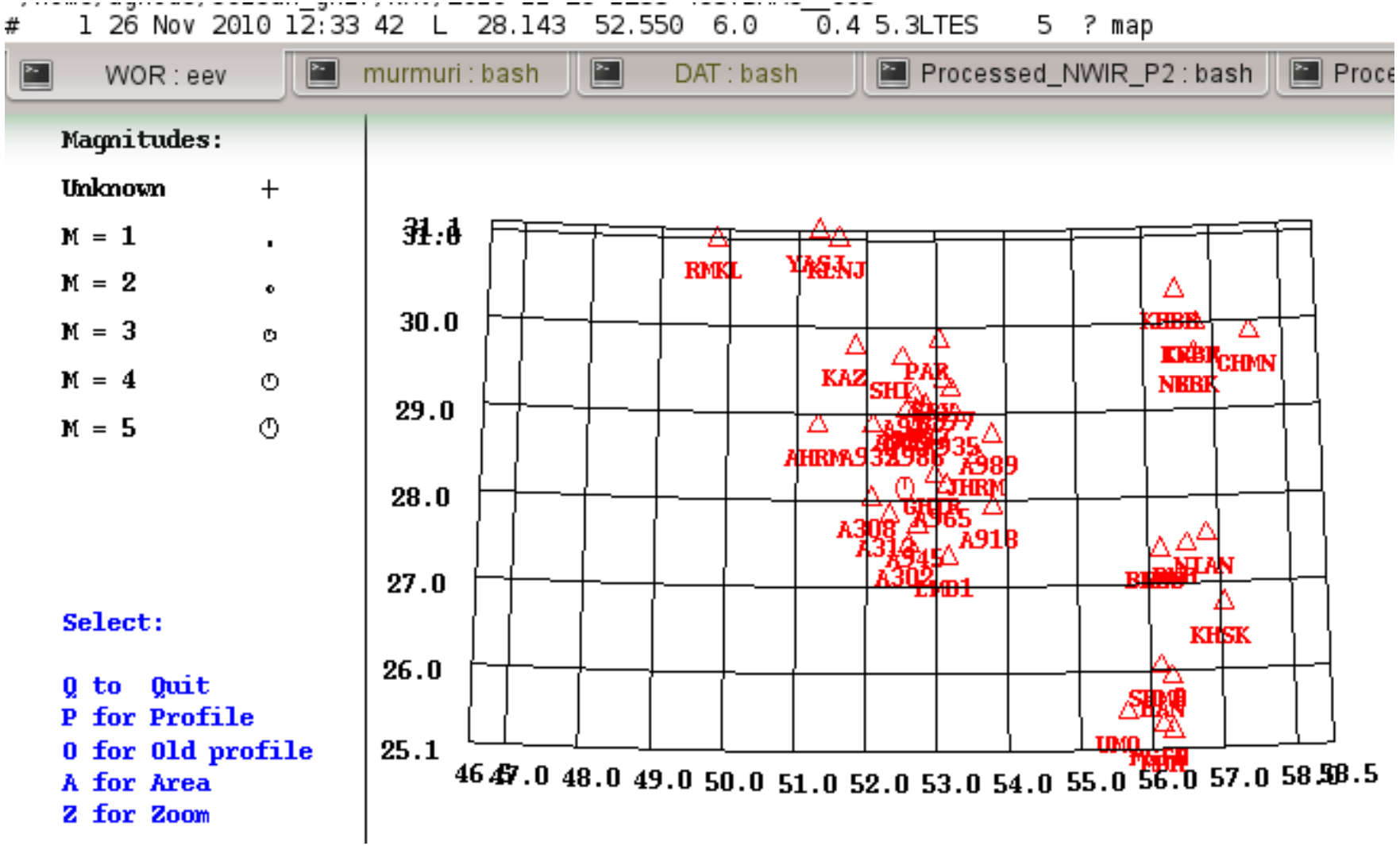
- جهت دیدن رومرکز یک زلزله از قبل مکان‌یابی شده، کافی است که بعد از پیدا کردن زلزله مورد نظر در محیط eev کلید map در خط فرمان eev اجرا کنید. این دستور منجر به ایجاد شکل صفحه بعد می‌شود که موقعیت زلزله (دایره در صورتی که زلزله دارای بزرگا باشد و یک علامت + اگر زلزله بدون بزرگا باشد) و ایستگاه‌های لرزه‌شناسی (مثلث‌ها) اطراف آن می‌گردد.

- برای زوم کردن بر روی نقشه با نگه داشتن موش بر روی صفحه نقشه کلید a را تایپ کنید و بعد با استفاده از موشی چندین نقطه بر روی قسمتی از نقشه که می‌خواهید بر روی آن زوم کنید بزنید. وقتی که نقاط را زدید کلید f را بزنید تا عملیات زوم انجام گیرد. با زدن دوباره کلید f نقشه به حالت قبل از زوم برمی‌گردد.

- کیفیت نقشه کشیده شده پایین است ولی اگر شما googleearth داشته باشید می‌توانید با بارگذاری فایل gmap.cur.kml که در پوشه WOR است در محیط گوگل‌ارث تصویر نقشه بسیار بهتری داشته باشید (دو اسلاید بعد).

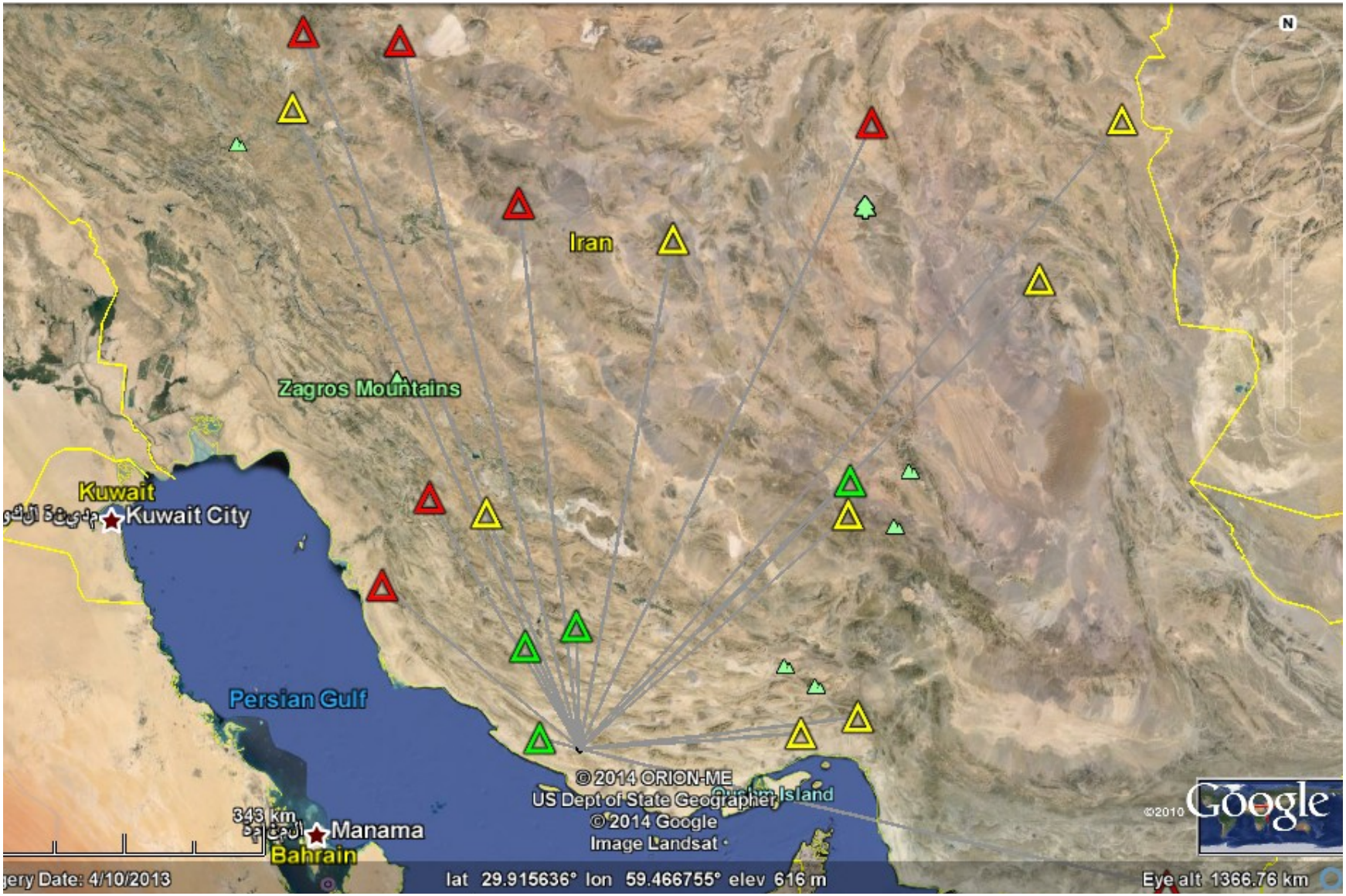
aghods@iasbs.ac.ir

دیدن رومرکز یک زلزله بر روی نقشه



aghods@iasbs.ac.ir

دیدن رومرکز یک زلزله با استفاده از google-earth



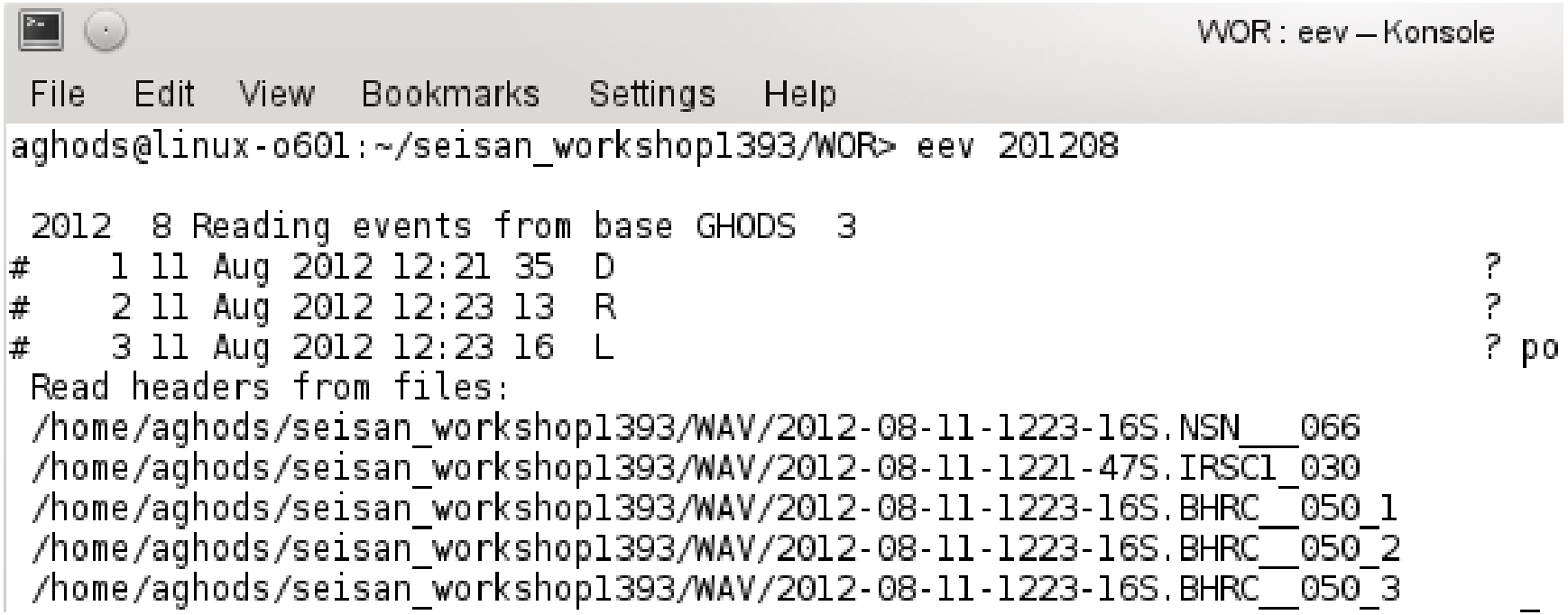
aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۲: کار با دستور eev برای دیدن شکل‌موج‌ها

- به کمک eev زلزله 201304091204 را پیدا کنید (این پوشه حاوی زلزله‌های خوشه کاکی بوشهر است).
- بزرگی زلزله چقدر است و نوع بزرگای آن چیست؟ (لطفاً توجه کنید که لفظ ریشتر برای بیان بزرگای زلزله غلط است!)
- برای دیدن شکل موج در خط فرمان po تایپ کنید. این دستورنرم‌افزار mulplt را صدا می‌کند و یک پنجره گرافیک باز می‌شود که شما تمام شکل موج‌ها را در آن می‌بینید. به این صفحه گرافیکی multi trace mode می‌گوئیم.
- در سمت راست بالای صفحه یک کلید به نام MENU وجود دارد. با فشردن کلید منو صفحه‌ی منویی ظاهر می‌شود که امکانات بیشتری از سایزن را در دسترسی شما قرار می‌دهد.
- جهت دیدن تعداد انتخابی از شکل موج‌ها بر روی اسم و مولفه‌ای شکل‌موج‌هایی که در سمت چپ صفحه نمایش شکل‌موج‌ها آمده کلیک کنید و سپس دکمه r (مخفف replot) را بفشارید.
- برای دیدن همه مولفه‌های عمودی کلید oth c را بفشارید. به یک صفحه دیگر خواهید رفت. در آنجا کلید All Z را فشار دهید.
- جهت مرتب کردن مولفه‌های انتخابی بر حسب فاصله از رومرکز زلزله کلید منوی Dist را فشار دهید و سپس r را تایپ کنید.
- جهت برگشت به محیط eev کلید q را بفشارید. با تایپ کردن و فشردن کلید enter از محیط eev خارج می‌شوید.

aghods@iasbs.ac.ir

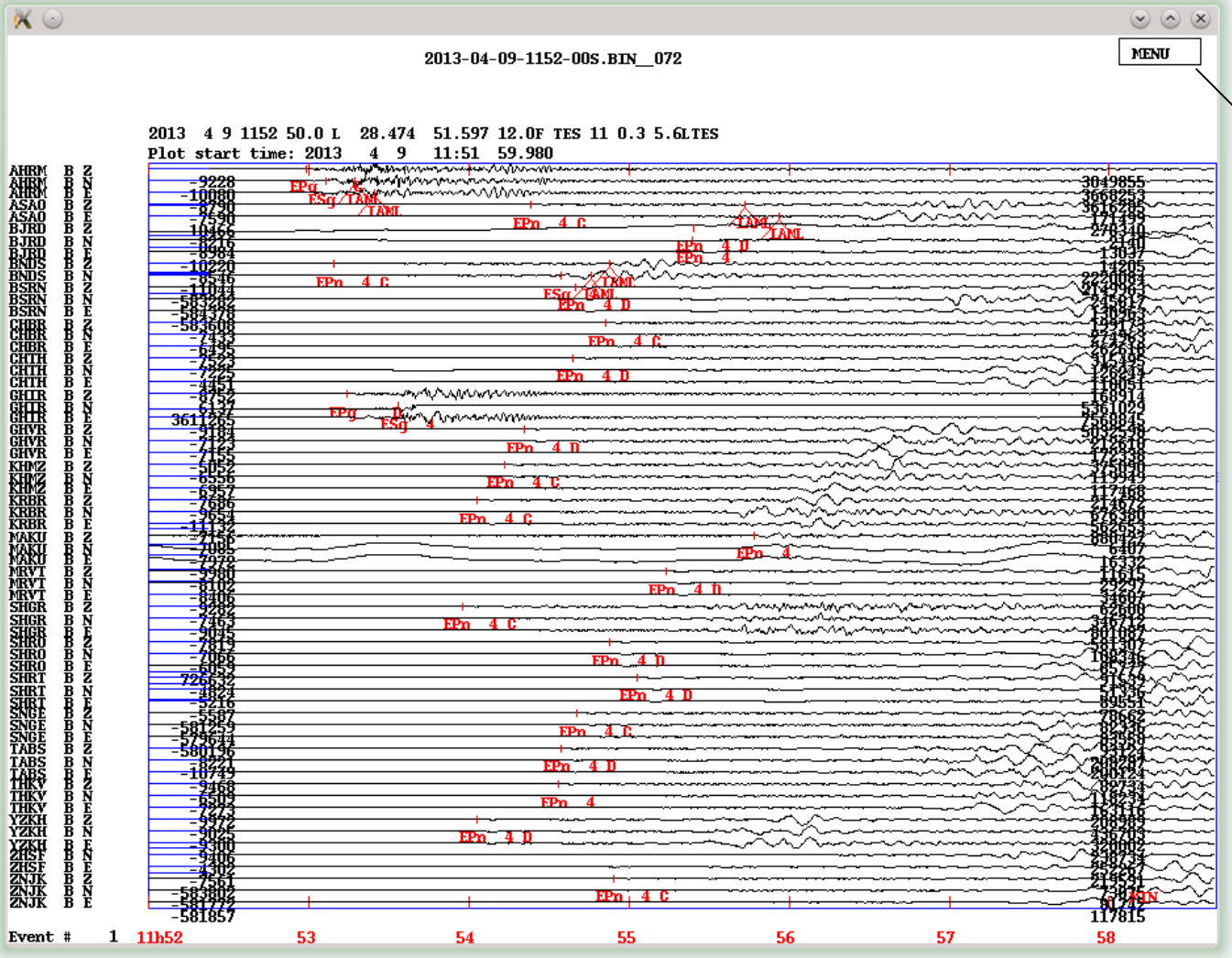
دیدن شکل موج‌ها با استفاده از eev



با تایپ کردن po در خط فرمان eev تمام شکل‌موج‌ها در حالت مولتی تریس (صفحه بعد) دیده خواهند شد. خروجی برنامه (۷ خط آخر) نشان می‌دهد که هفت فایل شکل‌موج از شبکه‌های مختلف نمایش داده می‌شوند.

aghods@iasbs.ac.ir

دیدن شکل‌موج‌ها با استفاده از eev در حالت multi-trace



با فشردن این کلید منوی کامل سایزن در حالت مولتی تریس را خواهید دید.

در ستون‌های سمت چپ شما بترتیب نام ایستگاه و مولفه آنرا دارید که با کلیک کردن بر روی یک یا چند خط و سپس فشردن کلید r می‌توانید مولفه‌های ایستگاه‌های انتخابی را با بزرگنمایی بیشتر ببینید.

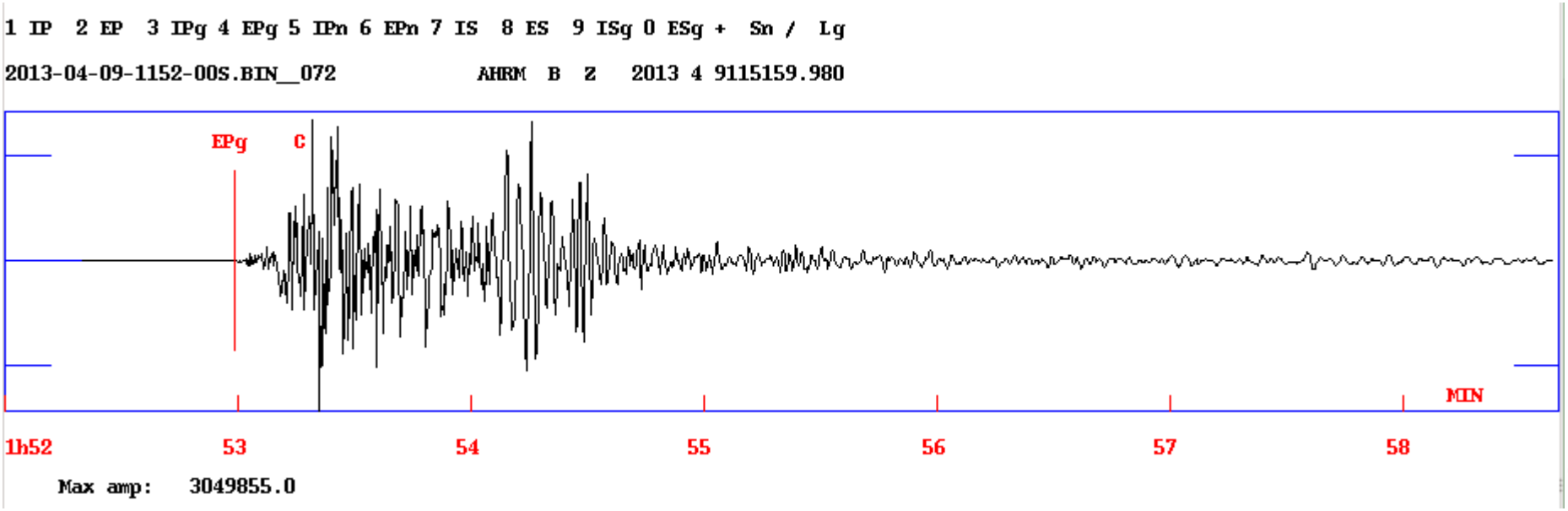
aghods@iasbs.ac.ir

ادامه تمرین ۲: کار با دستور eev برای دیدن شکل‌موج‌ها

- جهت زوم کردن روی قسمتی از شکل‌موج نشانه‌گر(کورسر) را بترتیب در سمت چپ و راست منطقه دلخواه کلیک کنید.
- جهت برگشت به حالت اول نشانه‌گر را در دو نقطه اختیاری به ترتیب از سمت راست به چپ کلیک کنید.
- جهت دیدن شکل‌موج‌ها بصورت تک تک کلید t (مخفف toggle)را بزنید. این کار شما را به پنجره single trace model می‌برد که دارای امکانات ویژه‌ای است.
- با فشردن کلیدهای f و shift+b می‌توانید به ترتیب شکل‌موج‌های بعدی و قبلی را ببینید.
- جهت برگشت به پنجره multi trace mode دوباره کلید t را فشار دهید.

aghods@iasbs.ac.ir

دیدن شکل‌موج‌ها با استفاده از eev در حالت single-trace

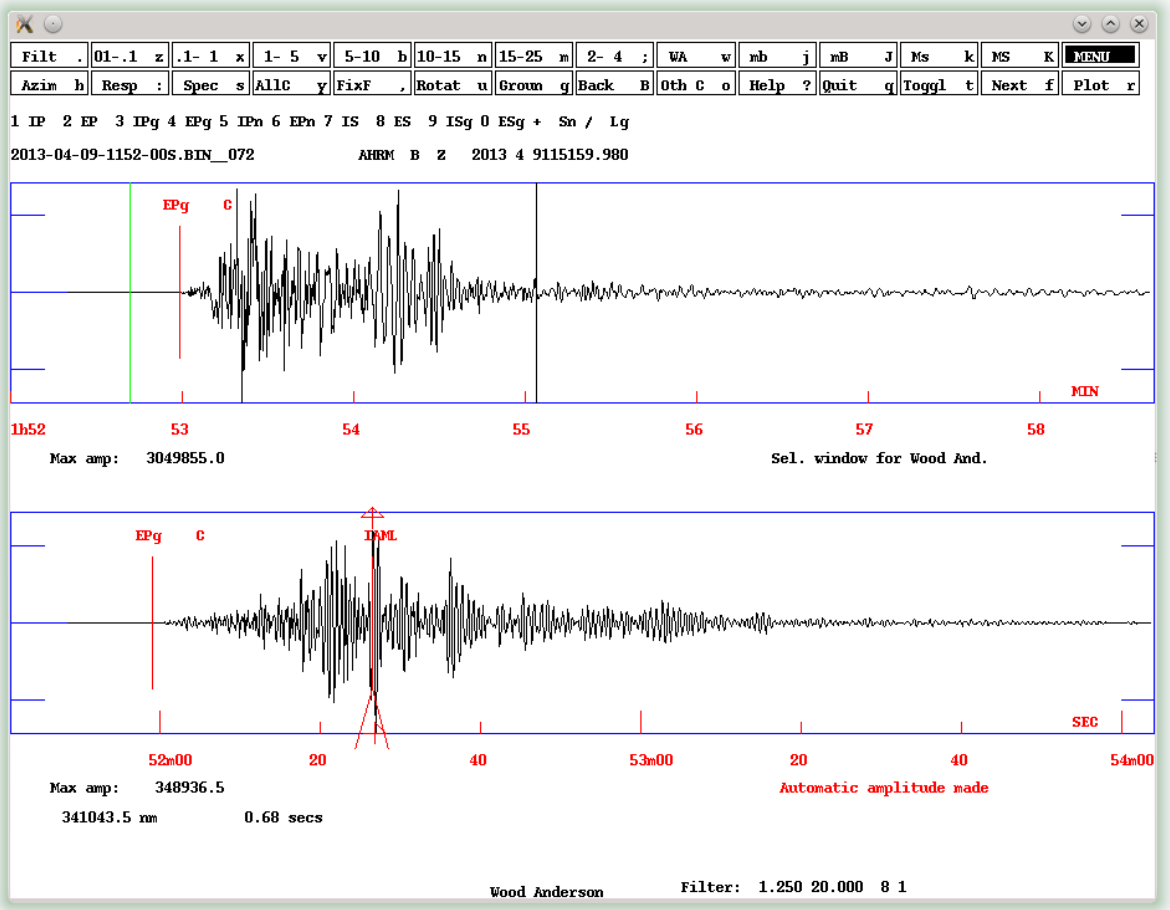


با فشردن کلید t بر روی پنجره multi-trace mode به حالت single-trace mode می‌روید (شکل بالا) که دارای امکانات ویژه‌ای برای اندازه‌گیری بزرگا است. با فشردن کلید t بر روی پنجره single-trace mode دوباره به پنجره multi-trace mode برمی‌گردیم.

در پنجره single-trace mode امکانات ویژه‌ای برای اندازه‌گیری دامنه برای بزرگاهای متفاوت وجود دارد. بعد از اندازه‌گیری دامنه به پنجره multi-trace برگردید و با فشردن کلید *l* و Enter مکان و بزرگای زلزله را محاسبه کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

دیدن و زوم کردن شکل موج‌ها با استفاده از eev در حالت single-trace



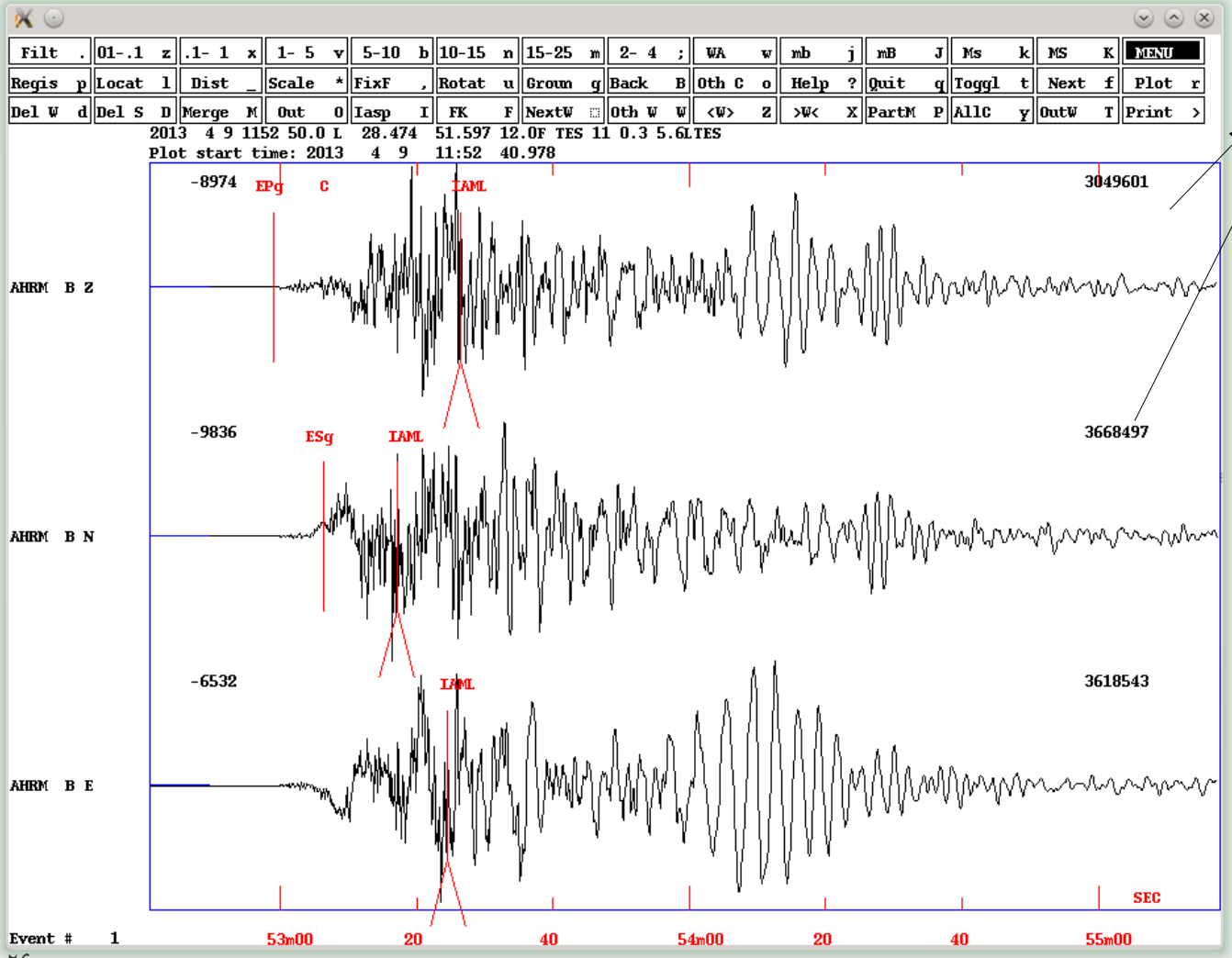
با قرار دادن و فشردن نشانه‌گر در ابتدا و انتهای ناحیه مورد علاقه برای زوم کردن، یک پنجره جدید در پائین پنجره اصلی باز می‌شود و ناحیه زوم شده را نشان می‌دهد. جهت برگشت به حالت اول باید کلید r و Enter را فشار داد.

کاربر می‌تواند بر روی هر دو پنجره تعیین فاز و دامنه کند ولی برای مکان‌یابی و تعیین بزرگا باید حتماً بر روی پنجره multi-trace mode باشد.

از ویژگی‌های مهم این صفحه امکان شبیه‌سازی شکل موج‌ها در دستگاه‌های لرزه‌نگار نظیر Wood-Anderson است. کلید : به ما امکان دیدن تابع‌پاسخ مربوط به یک شکل موج را می‌دهد.

aghods@iasbs.ac.ir

کار با دستور eev برای دیدن شکل موج‌ها :
مفهوم اعداد روی نمودارهای شکل موج



- در هر دو حالت نمایش اعداد سمت راست نشانگر ماکزیمم دامنه موج مربوطه به count است. اعداد سمت چپ مقدار DC است.
- جهت دیدن دامنه به m/s یا nm باید با استفاده از فیلترهای موجود در صفحه single-trace اثر تابع پاسخ لرزه‌نگار را حذف کرد.

aghods@iasbs.ac.ir

تغییر بزرگنمایی دامنه شکل‌موج‌ها

- بصورت پیش فرض دامنه هر موج در مقیاس مستقلی از شکل موج‌های دیگر کشیده می‌شود. جهت هم مقیاس کردن دامنه شکل موج‌ها کلید * را فشار دهید و مقدار دامنه‌ای که قصد دارید همه موج‌ها بر اساس آن رسم شوند را وارد کنید. سپس کلید enter و بعد کلید r را بفشارید. فشردن دوباره کلید r شما را به حالت پیش فرض می‌برد.

- با استفاده از یک مقیاس یکسان برای نمایش شکل‌موج‌ها، ما می‌توانیم شکل‌موج‌های ثبت شده در ایستگاه‌های متفاوت را از نظر دامنه با هم مقایسه کنیم. فاصله کانونی مهم‌ترین عامل کنترل کننده دامنه ثبت شده در یک زلزله‌نگاشت است. دامنه امواج لرزه‌ای با زیاد شدن فاصله کانونی کم می‌شود. کاهیده‌شدن دامنه ناشی از پخش هندسی امواج و جذب ذاتی انرژی امواج زلزله است. با استفاده از یک مقیاس می‌توان به نحوه کاهیده شدن دامنه امواج زلزله با فاصله کانونی پی برد. برای اینکار باید تنها یک مولفه از زلزله‌نگاشت‌هایی که بر اساس فاصله کانونی ردیف شده‌اند را با استفاده از یک مقیاس نمایش داد.

- استفاده از مقیاس متغیر برای هر شکل موج به ما اجازه می‌دهد تا بتوانیم اثر کاهیده شدن دامنه امواج با فاصله را تا حد زیادی از بین ببریم تا به راحتی بتوانیم زمان رسیدهای فازهای ثبت‌شده در ایستگاه‌های متفاوت را تعیین کنیم.

aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۳: پرینت گرفتن از شکل موج‌ها

- در محیط eev شکل موج‌های مورد نظر خود را با استفاده از کلید c oth انتخاب کنید و سپس در محیط multi trace mode کلید > را فشار دهید. اینکار باعث ایجاد یک فایل بنام mulplt.plt می‌گردد که دارای فرمت postscript است. این فایل در پوشه کاری WOR تولید می‌شود.
- شما با دستور `gs multplt.plt` می‌توانید خروجی تهیه شده را مشاهده کنید.
- با دستور `lp mulplt.plt` می‌توانید فایلتان را جهت چاپ به پرینتر بفرستید.

aghods@iasbs.ac.ir

فیلتر کردن شکل موج‌ها

- فیلتر کردن در هر دو مد مشاهده شکل موج ممکن است. تنها کافی است که دکمه فیلتر مربوطه که در ردیف بالای منو لیست شده‌اند را بفشارید و سپس کلید r را بفشارید.
- جهت برگشت به حالت اولیه کلید r را فشار دهید. اگر به حالت اول برنگشتید کلید FixF و سپس r را فشار دهید.
- با کلید Filt می‌توانید شکل موج‌های خود را با هر پهنای باند دلخواهی فیلتر کنید.
- همواره سعی کنید که زمان رسید فازهای لرزه‌ای را بدون اعمال فیلتر بخوانید.
- فیلتر کردن شکل موج‌های زلزله‌های کوچک که توسط زلزله‌نگارهای باند پهن ثبت شده می‌تواند کمک شایانی در شناسایی فازهای لرزه‌ای باشد.

aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۴: کار با دستور eev برای فیلتر کردن شکل موج‌ها (band pass filters)

- شکل‌موج‌های ایستگاه AHRM مربوط به زلزله 201304091204 را برای پریودهای ۲۰ الی ۴۰ ثانیه فیلتر کنید. توجه کنید که ورودی فیلترهای سایزن بر اساس فرکانس است نه پریود.
- شکل موج فیلتر شده و نشده را با هم مقایسه کنید و بگویید چه قسمتی از شکل موج کاملاً از بین می‌رود و چرا؟

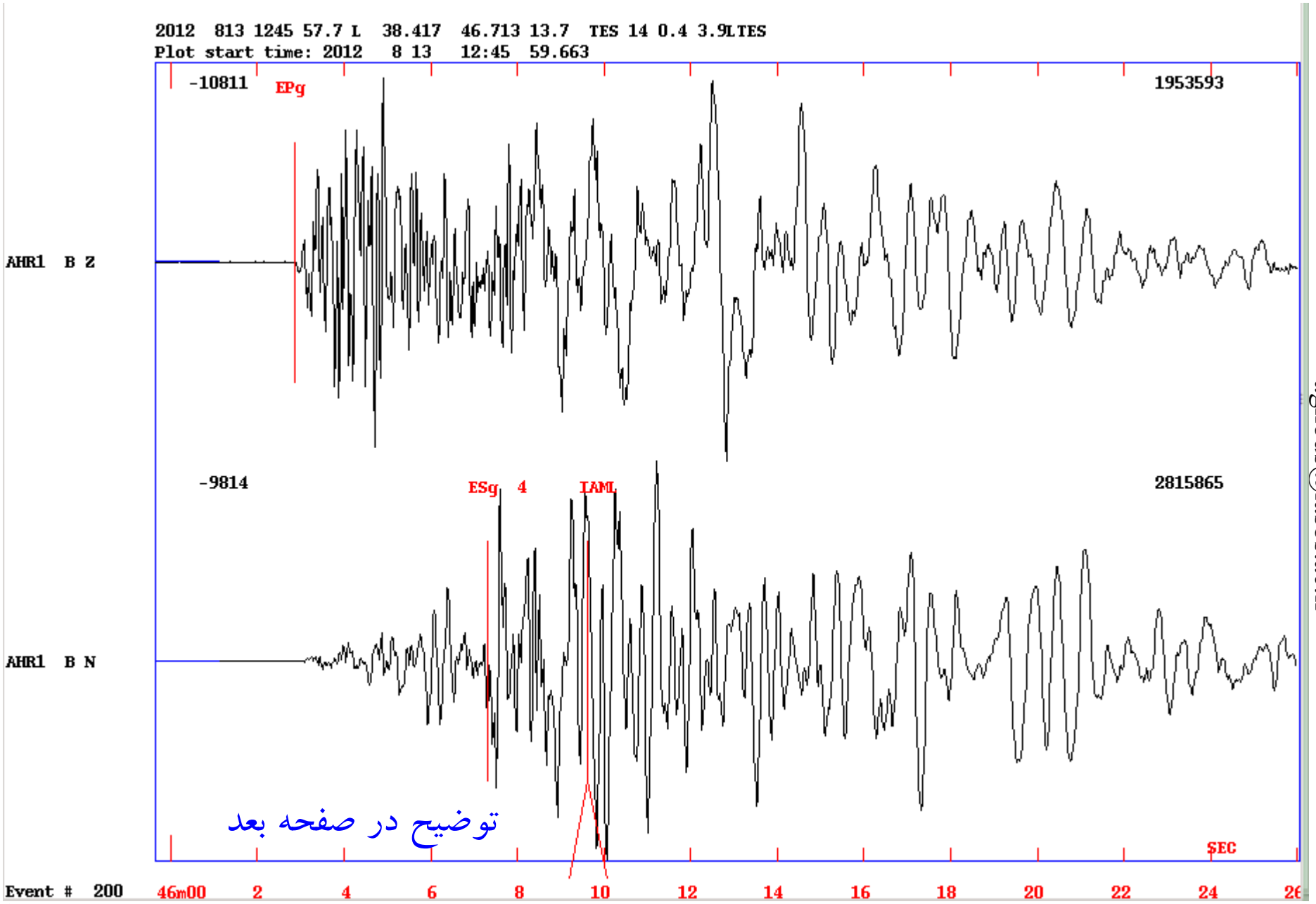
aghods@iasbs.ac.ir

تمرین۵ : کار با دستور eev برای تعیین فازهای جدید

- بوسیله eev زلزله 20120813 را پیدا کنید.
- کلید e را تایپ کنید تا به صفحه ویرایش S-file مربوط به زلزله بروید. تمام خطوط مربوط به فازها را حذف کنید وبعد از ثبت تغییرات از محیط vi خارج شوید
- در هر دو مد نمایش می‌توانید تعیین فاز کنید ولی در مد single کلیدهای مربوط به فازهای مجاز در بالای صفحه نمایش داده می شود.
- حال شروع به تعیین فاز نمائید. اول فاز P . برای این‌کار نشانه‌گر خود را بر روی محلی که فکر می‌کنید فاز P در آن اتفاق می افتد قرار دهید. سپس برای فاز سریع impulsive P کلید ۱ و برای فاز P آهسته (emergent) کلید ۲ را بزنید. برای زدن فاز سریع و آهسته Pg به ترتیب کلید ۳ و ۴ را باید بزنید. برای زدن فاز Pn باید کلید ۶ را بزنید.
- جهت تغییر محل یک فاز تعیین شده نشانه‌گر را به محل جدید برده و کلید مربوط به فاز مورد نظر را دوباره فشار دهید. فاز تعیین شده قبلی از محل قبلی پاک شده و به محل جدید می‌آید.

aghods@iasbs.ac.ir

طریقه نمایش فازها در سایزن



aghods@iasbs.ac.ir

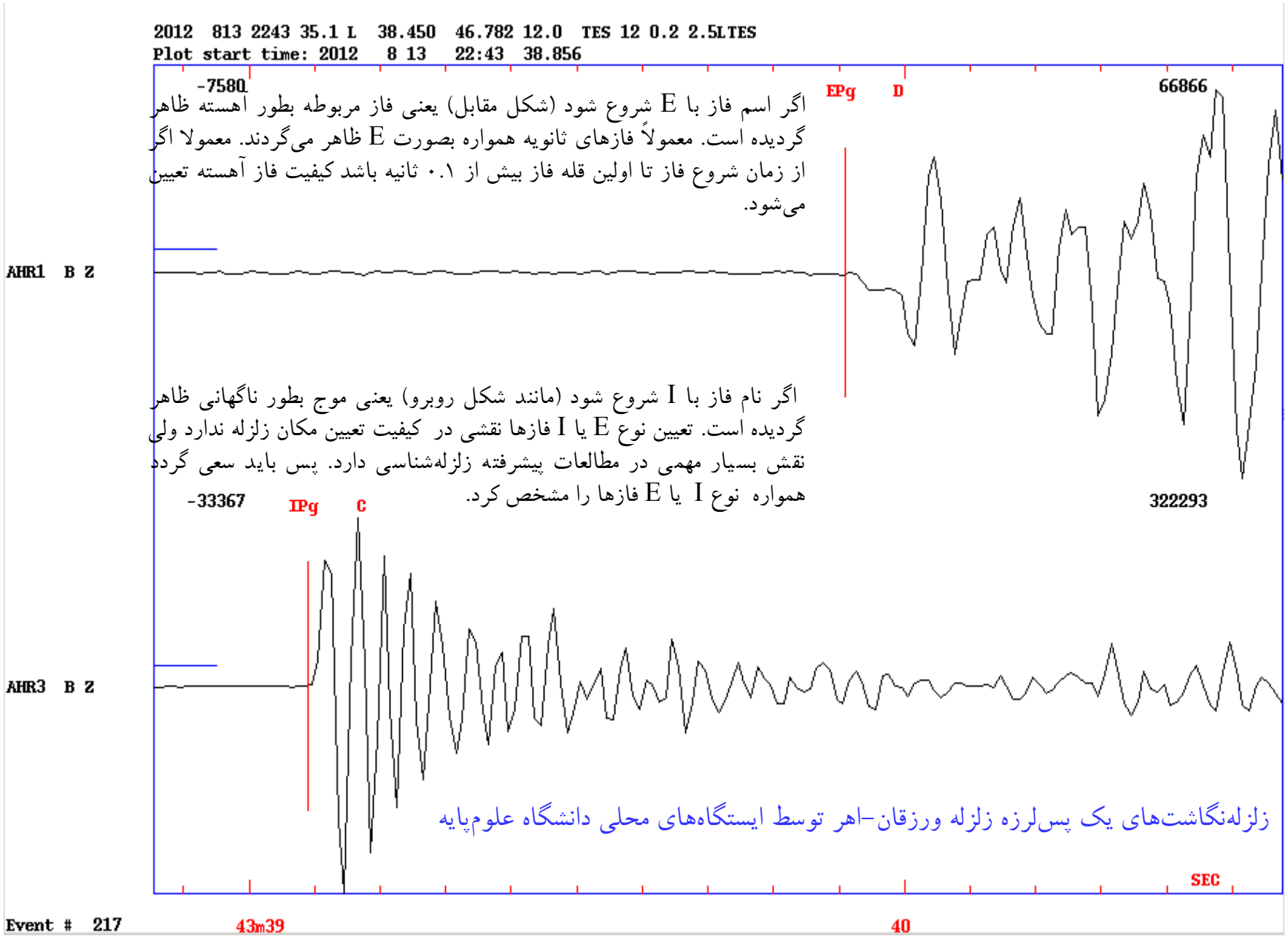
طریقه نمایش فازها در سایزن (ادامه)

محل یک فاز توسط یک خط عمودی مشخص می‌شود. اسم فاز درست در بالای خط می‌آید. وزن فاز مربوطه بصورت یک عدد بین ۰ تا ۹ بعد از اسم فاز می‌آید. وزن صفر نشان داده نمی‌شود. اگر پولاریتی تعیین شده باشد بصورت حرف D (کششی Dilatational) و یا حرف C (فشارشی Compressional) نشان داده می‌شود.

بر روی شکل اسلاید قبل بر روی مولفه عمودی (Z) یک فاز EPg که دارای پولاریتی D و وزن صفر است داریم. علاوه بر این بر روی افقی شمالی-جنوبی یک تعیین دامنه بزرگای محلی (فاز IAML) هم صورت گرفته که بصورت یک خط عمودی که در قسمت پایینی آن بصورت دوشاخ در می‌آید از خطوط عمودی نشانگر فازهای زمان رسید متمایز می‌شود. همچنین بر روی مولفه شمالی-جنوبی یک فاز ESg با وزن ۴ تعیین شده است.

aghods@iasbs.ac.ir

Impulsive (I) and Emergent (E) phases کیفیت فازها در سایزن



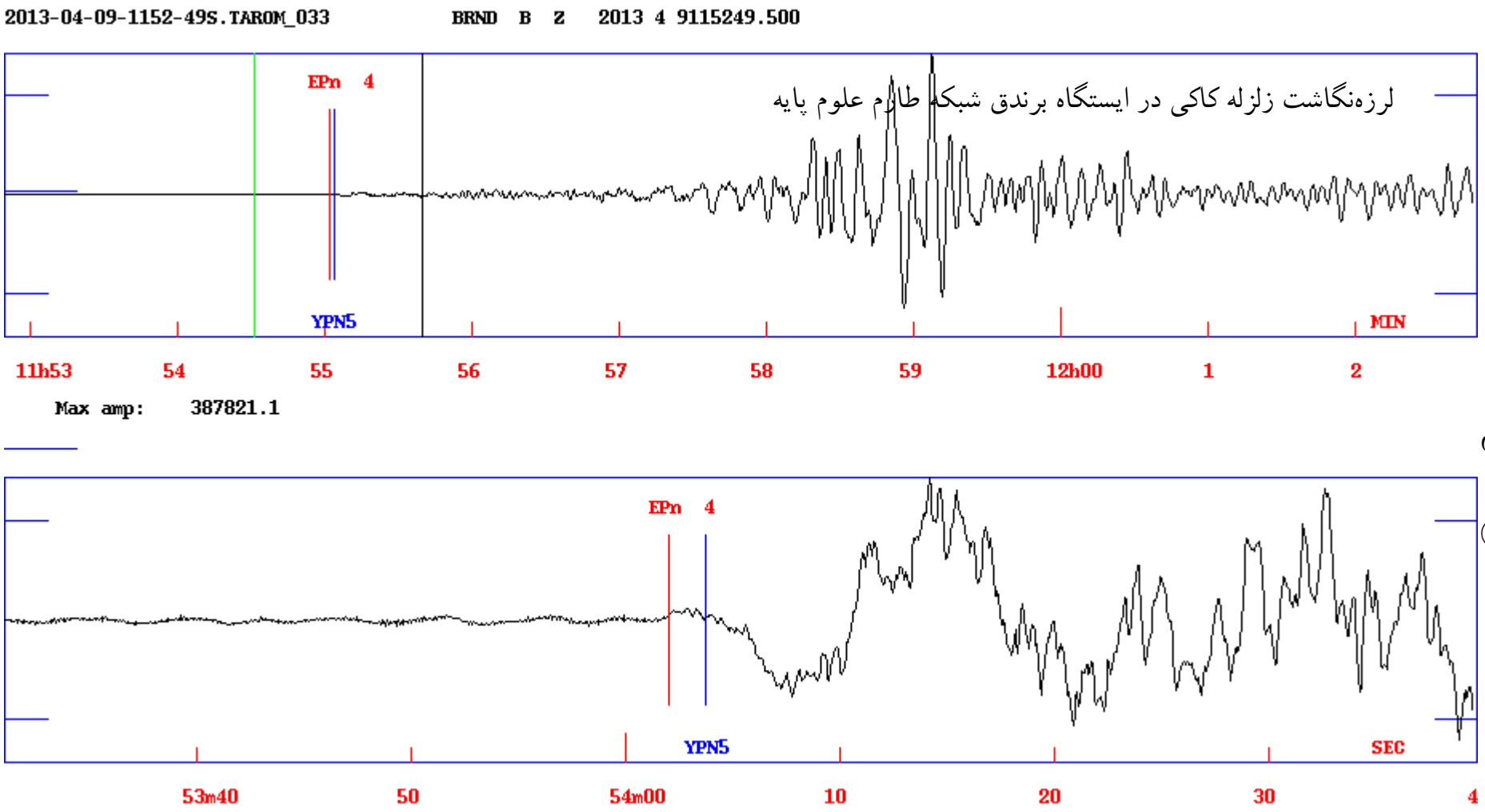
اگر اسم فاز با E شروع شود (شکل مقابل) یعنی فاز مربوطه بطور آهسته ظاهر گردیده است. معمولاً فازهای ثانویه همواره بصورت E ظاهر می‌گردند. معمولا اگر از زمان شروع فاز تا اولین قله فاز بیش از ۰.۱ ثانیه باشد کیفیت فاز آهسته تعیین می‌شود.

اگر نام فاز با I شروع شود (مانند شکل روبرو) یعنی موج بطور ناگهانی ظاهر گردیده است. تعیین نوع E یا I فازها نقشی در کیفیت تعیین مکان زلزله ندارد ولی نقش بسیار مهمی در مطالعات پیشرفته زلزله‌شناسی دارد. پس باید سعی گردد همواره نوع I یا E فازها را مشخص کرد.

زلزله‌نگاشت‌های یک پس‌لرزه زلزله ورزقان-اهر توسط ایستگاه‌های محلی دانشگاه علوم‌پایه

aghods@iasbs.ac.ir

محل زمان رسید فازها بر اساس مدل زمین



aghods@iasbs.ac.ir

محل زمان رسید فاز Pn بر اساس مدل زمین داده شده به سایزن بصورت یک خط عمودی که در زیر آن YPN4 نوشته شده است مشخص می‌شود. خطوط Y بعد از ورود به eev و انجام یک بار مکان‌یابی ظاهر می‌شوند. این خطوط می‌توانند ما را در تعیین فازها کمک کنند ولی نباید وقتی فازی در محل پیشنهادی نمی‌بینیم فاز مربوطه را تعیین کنیم. بعنوان مثال در شکل بالا فاز زمان رسید Pn قبل از محل پیشنهادی فاز Ypn است.

وزن دادن به زمان رسید فازهای لرزه‌ای

- فازهایی که دارای خطای بالایی هستند باید وزن کمتری به آنها داده شود.
- بطور پیش فرض همه فازها دارای وزن کامل که در سایزن بصورت عدد صفر است، هستند. وزن‌های غیر صفر بصورت یک عدد که در ستون ۱۵ می‌آید، مشخص می‌شود.
- وزن‌های ۰، ۱، ۲، ۳ و ۴ را می‌توان به یک فاز داد. وزن ۴ یعنی فاز مربوطه عملاً در مکان‌یابی شرکت نمی‌کند.
- برای دادن وزن، نشانگر را به نزدیکی یک فاز ببرید و با فشردن کلید shift و تایپ کردن عدد مربوطه، وزن مورد نظر خود را به فاز مربوطه بدهید. کلید r را بفشارید تا عدد وزن مربوطه را ببینید. همچنین شما می‌توانید با ویرایش S-file بطور دستی وزن فازها را تغییر دهید.
- وزن ۹ وقتی استفاده شود که فاز اولیه دارای زمان دقیقی نیست و در نتیجه تفاوت موج اولیه و ثانویه در مکان‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وزن وقتی مفید است که حداقل یک فاز ثانویه علاوه بر فاز اولیه بر روی یک شکل موج تعیین شده باشد. با این ترفند می‌توان حتی شکل‌موج‌های شتاب‌نگارهای سازمان تحقیقات مسکن ایران که معمولاً دارای زمان دقیقی نیستند را در مکان‌یابی زلزله‌ها شرکت داد. توجه کنید که سایزن فقط تفاضل موج S از P یا Lg از P را می‌تواند وارد محاسبات کند.

aghods@iasbs.ac.ir

چرخاندن شکل موج‌های مولفه‌های افقی

- چرخاندن مولفه‌های افقی می‌تواند کمک شایانی در شناسایی موج‌های ثانویه باشد.
- جهت چرخاندن مولفه‌های افقی ابتدا باید زلزله از قبل مکان‌یابی اولیه شده باشد و کاربر باید در پنجره multi-trace mode باشد.
- جهت چرخاندن موج کافی است اول کلید u و سپس کلید r را بفشارید. اینکار باعث می‌شود که مولفه N به مولفه‌ای در راستای حرکت جبهه موج که به اختصار R یا Radial خوانده می‌شود و مولفه‌ی E به مولفه‌ای عمود بر جبهه موج که به اختصار T یا Transverse خوانده می‌شود تبدیل شود.
- با فشردن دوباره کلیدهای u و r به حالت معمولی برمی‌گردید.

aghods@iasbs.ac.ir

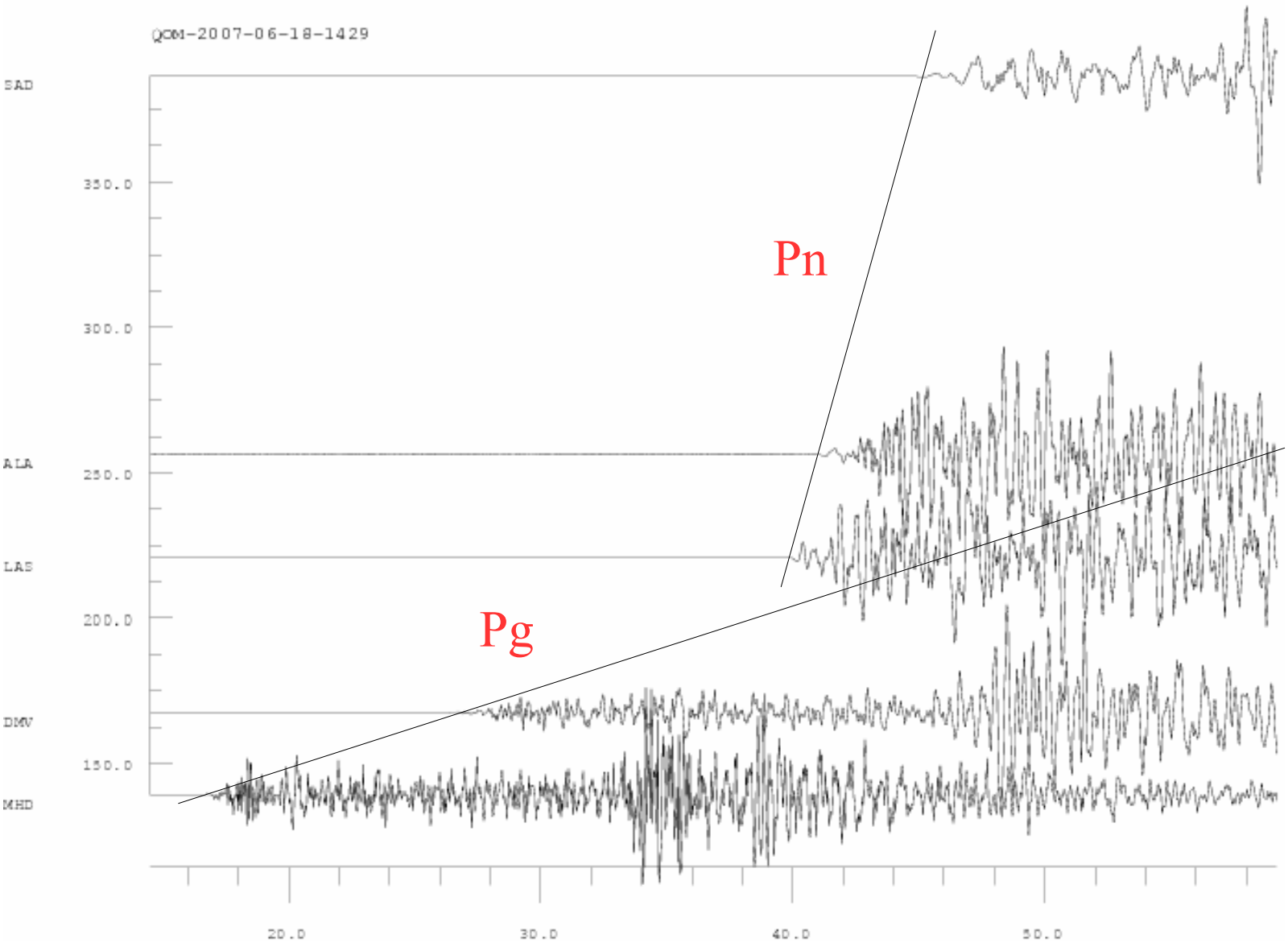
راهکارهای موثر در برداشت فازهای ثانویه

در صورتی که در خوانش فازهای ثانویه مشکل دارید کارهای زیر را انجام دهید،

- مولفه های افقی را بچرخانید
- برای یک زلزله‌ای محلی یا منطقه‌ای با استفاده از فیلتر Wood-Anderson از شکل‌موج انتگرال بگیرید تا آن را به جابجایی تبدیل کنید. در اینحالت سیگنال نرم‌تر شده و تشخیص فازها سهل‌تر می‌گردد.
- یک فیلتر مناسب باندار انتخاب کنید و بر روی سیگنال اعمال کنید.

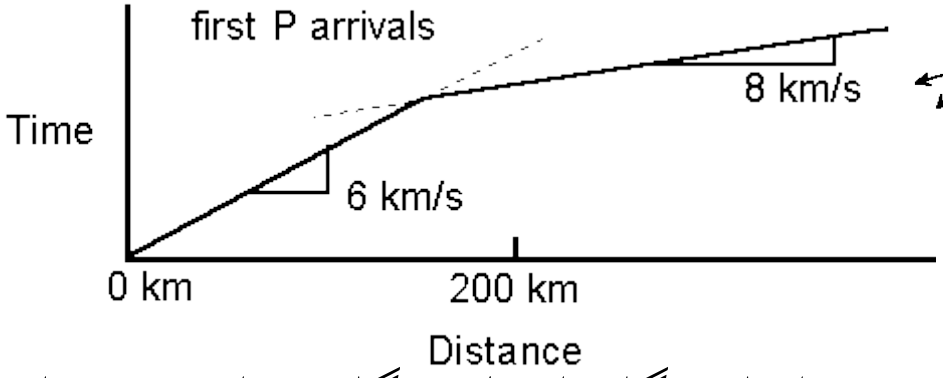
aghods@iasbs.ac.ir

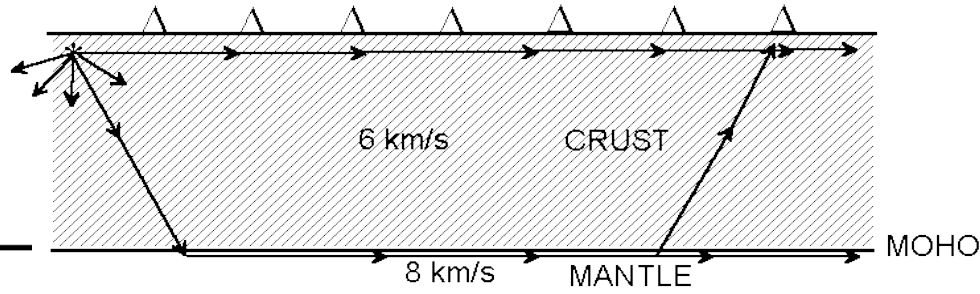
تبدیل موج Pg به Pn در زلزله قم ۲۰۰۷/۰۶



aghods@iasbs.ac.ir

معرفی فازهای لرزه‌ای برای زلزله‌های محلی-منطقه‌ای





اگر رومرکز زلزله‌ها در فاصله کمتر از ۱۲ درجه از ایستگاه‌های لرزه‌نگاری باشد، دو فاز لرزه‌ای اولیه Pg و Pn قابل مشاهده هستند. از فازهای مهم ثانویه فازهای لرزه‌ای Sg و Sn را می‌توان نام برد. مسیر سیر هر دو فاز لرزه‌ای Pg و Sg کاملا درون پوسته است ولی مسیر فازهای Pn و Sn شامل پوسته و قسمت فوقانی جبه می‌گردد. سرعت فازهای مستقیم Pg و Sg به ترتیب در ارتباط مستقیم با سرعت امواج طولی و عرضی در پوسته است. سرعت فازهای Pn و Sn در ارتباط مستقیم با سرعت امواج طولی و عرضی در جبه فوقانی است. فاصله رومرکزی که فاز لرزه‌ای Pn و یا Sn به عنوان فاز اولیه ظاهر می‌گردد با ضخامت پوسته زیادتر می‌گردد. در ایران در فواصل کانونی بیش از ۲۰۰ کیلومتر فاز Pn به عنوان فاز اولیه ظاهر می‌گردد.

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه تشخیص فاز Pn از فاز Pg

- مهم‌ترین پارامتر برای تمیز دادن فاز Pn از Pg، فاصله کانونی است. برای بدست آوردن فاصله کانونی یک ایستگاه تفاضل زمان رسید فاز S را از P بطور تقریبی بدست آورید و در ۸ ضرب کنید. عدد ۸ در ارتباط با مدل زمین است. اگر فاصله کانونی بدست آمده کمتر از ۲۰۰ کیلومتر است، فازهای مستقیم Pg و Sg را بر روی زلزله‌نگاشت خوانش کنید.
- فاز Pg برخلاف فاز Pn بیشتر دارای اولین رسید واضح و Impulsive است.
- شما می‌توانید همه فازهای اولیه را صرف نظر از Pg یا Pn بودنشان بصورت P خوانش کنید. در این حالت سایزن با سعی و خطا بهترین فازی که با مدل زمین شما همخوانی دارد را در مکان‌یابی شرکت می‌دهد.
- عیب روش بالا این است که بررسی فازهای لرزه‌ای بر اساس نوع آن‌ها را مشکل می‌سازد.

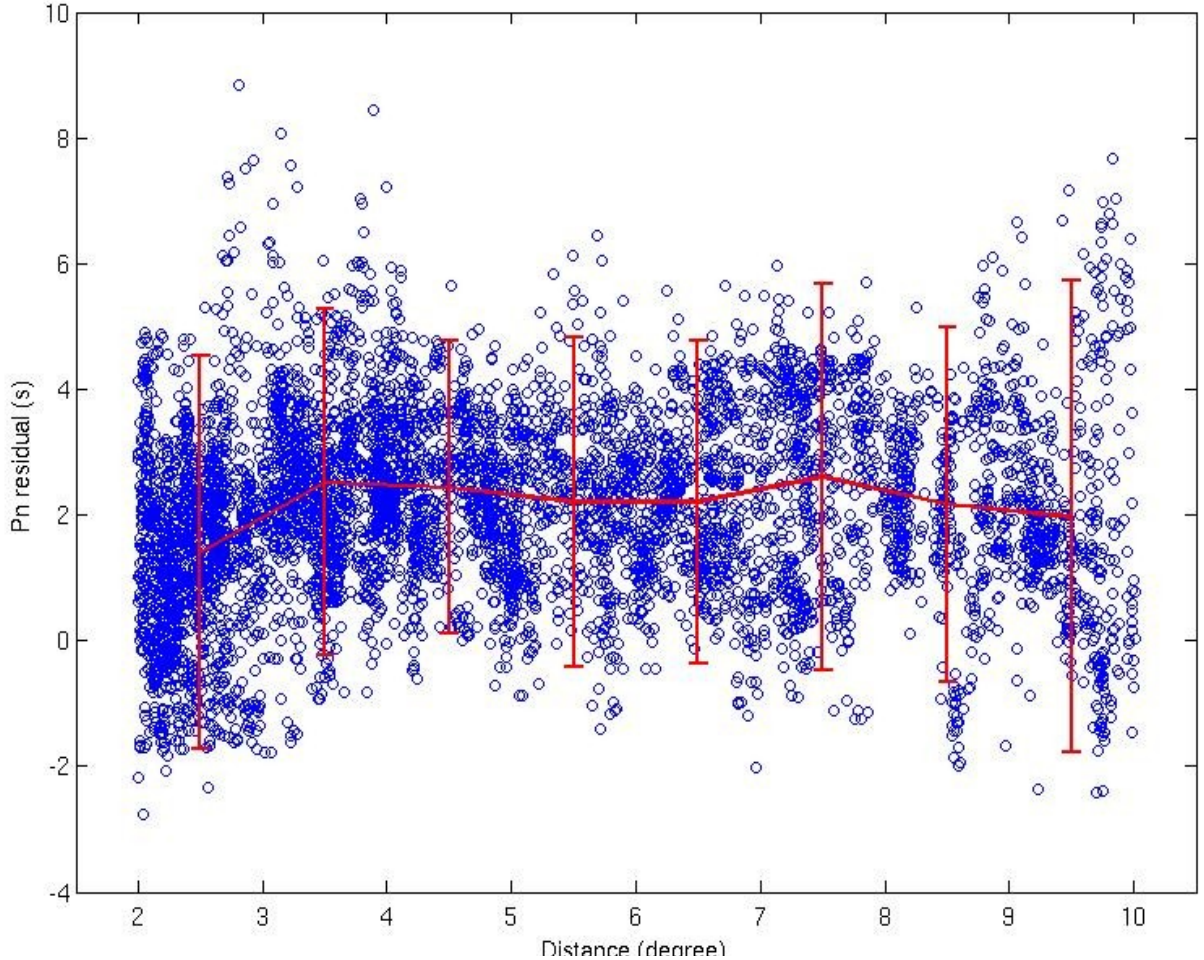
aghods@iasbs.ac.ir

فاز بی‌کیفیت Pn !

- فاز Pn در مقایسه با فاز Pg به مراتب دارای خطای بیشتری است. معمولاً مقدار باقیمانده فاز Pg (تفاضل زمان رسید خوانده شده از مقدار محاسبه شده از یک مدل زمین) همواره کمتر از ۰/۵ ثانیه است البته با فرض اینکه مدل زمین یک بعدی بکار برده شده مدل خوبی باشد. مقدار باقیمانده برای شبکه‌های بسیار محلی (فواصل ایستگاهی در حد چند ده کیلومتر) برای ثبت پس‌لرزه‌ها می‌تواند در اغلب موارد کمتر از ۰/۱ ثانیه باشد.
- اوضاع برای فاز Pn به این خوبی نیست! حتی در بهترین شرایط که ما دارای دقت بالایی در مدل زمین و مکان‌یابی زلزله‌ها هستیم، باقیمانده‌های فاز Pn می‌تواند دارای خطایی متوسط ۴ ثانیه‌ای باشند! این بدین معنی است که بکارگیری فاز Pn می‌تواند بیش از ۳۰ کیلومتر خطا به مکان‌یابی زلزله ما تحمیل کند.
- علت باقیمانده‌ی بالای فاز Pn در این است که مدل ساده و یک بعدی زمین بکار برده شده در سایزن می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای از مدل واقعی زمین متفاوت باشد. متأسفانه هیچ راهی برای از بین بردن خطای موج Pn وجود ندارد به جز بکارگیری مدل‌های زمین دوبعدی و سه بعدی که موجود نیستند و حتی در صورت وجود بکارگیری آن‌ها در سایزن ممکن نیست.
- به علت خطای بالای فاز Pn تنها باید در صورت فقدان فازهای Pg کافی از آن در مکان‌یابی استفاده کرد.
- در هر حالت فاز Pn را با وزن ۴ خوانش کنید چون فاز Pn دربرگیرنده اطلاعات ذیقیمتی از ساختار جبه فوقانی است و مطالعه فاز Pn می‌تواند منجر به اطلاعات جدیدی در مورد جبه فوقانی گردد.

aghods@iasbs.ac.ir

نمودار باقیمانده فاز Pn در ایران



منحنی تغییرات باقیمانده زمان رسید برای موج Pn بر علیه فاصله کانونی. محور عمودی باقیمانده زمان رسید موج Pn بر حسب ثانیه است که نسبت به مدل ak۱۳۵ است. محور افقی فاصله کانونی بر حسب درجه است. تعداد ۱۳۶۱ فاز Pn در رسم مورد استفاده قرار گرفتند. خط قرمز متوسط مقدار باقیمانده زمان رسید موج Pn را نشان می‌دهد. میله‌های عمودی محدوده‌ای از داده‌ها که در داخل دو استاندارد انحراف قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد. این نمودار با استفاده از داده‌های ۲۷ کلاستر زلزله در ایران رسم شده است. (با تشکر از دکتر اریک برگمن از دانشگاه کلورادو برای دراختیار قرار دادن داده‌های کلاسترهای کالیبره شده ایران)

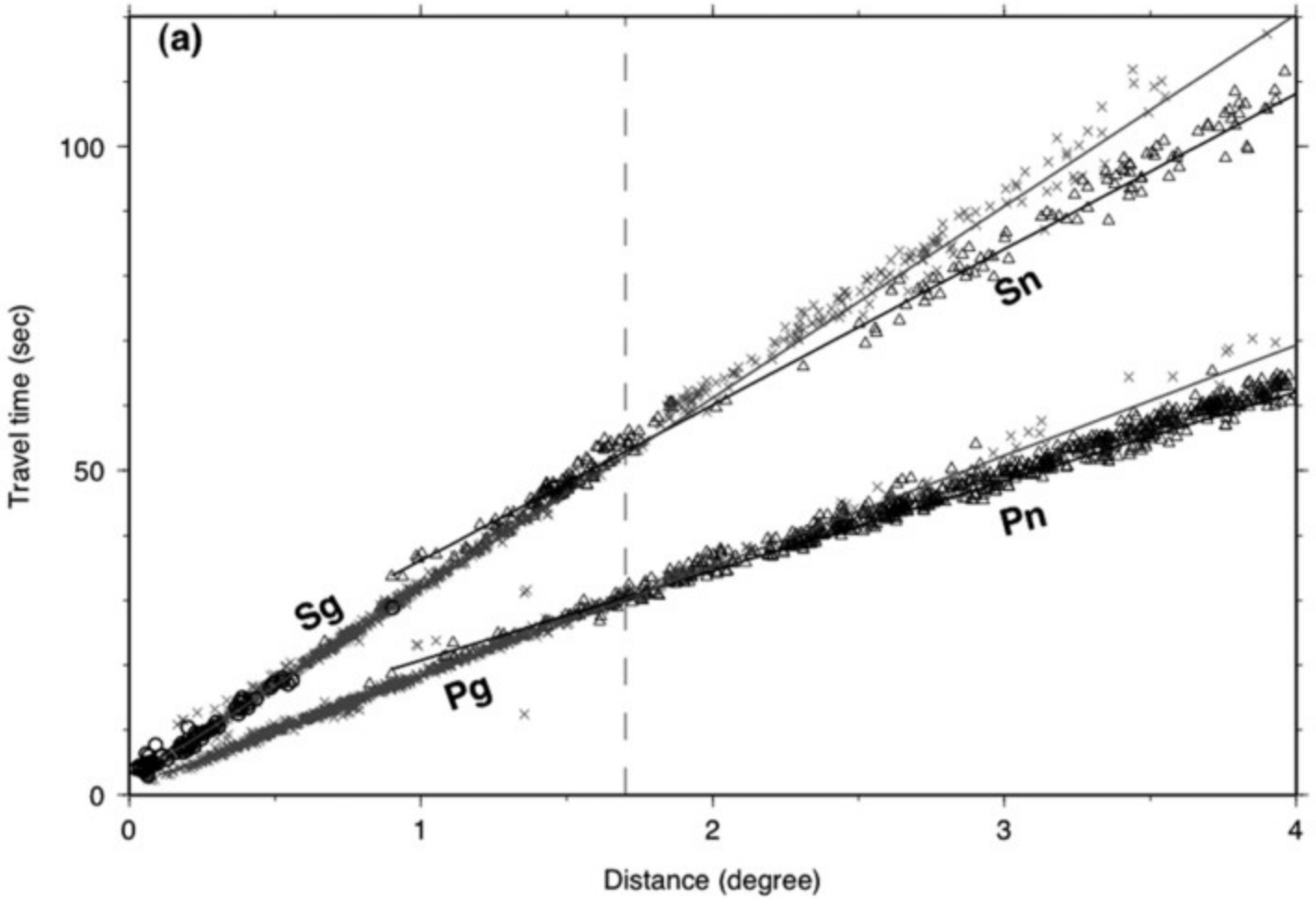
aghods@iasbs.ac.ir

نحوه تشخیص فاز Sg

- تشخیص فاز Sg تا فواصل کانونی تقریبی کمتر از ۱۶۰ کیلومتر در بسیاری از موارد ساده است. در این فواصل موج Sg همواره به صورت اولین موج برشی زودتر از موج‌های دیگر ظاهر می‌شود و خوانش آن بسیار ساده است.
- چرخاندن مولفه‌های افقی به مولفه‌های شعاعی و عرضی می‌تواند خوانش فاز Sg را آسان کند.
- در ایران که دارای ضخامت متوسط پوسته ۴۵ کیلومتر است، در حوالی فواصل کانونی ۱۶۰ کیلومتری فازهای ثانویه دیگری به مانند SmS ظاهر می‌شوند و خوانش صحیح Sg را بسیار مشکل می‌کنند. فاز SmS یک فاز انعکاسی از جبه است که دارای تابع زمان رسید بسیار متفاوت از فاز Sg است. توجه کنید که فاز Sn در ایران بعد از فواصل کانونی ۲۰۰ کیلومتر ممکن است دیده شود.
- به علت سرعت کمتر، فاز Sg نقش بسیار تعیین کننده در مکان‌یابی دارد و خوانش آن بسیار تأکید می‌شود.
- تنها فازهای Sg ی را بخوانید که کاملاً از صحت آن‌ها مطمئن هستید چون بعلت تأثیر بالای آن‌ها در مکان‌یابی، فازهای غلط Sg می‌تواند مکان‌یابی شما را به شدت خراب کند!

aghods@iasbs.ac.ir

منحنی زمان رسید فازها برای زلزله‌های محلی-منطقه‌ای در منطقه‌ای تالش



Aziz-Zanjani et al., 2013, GJI.

aghods@iasbs.ac.ir

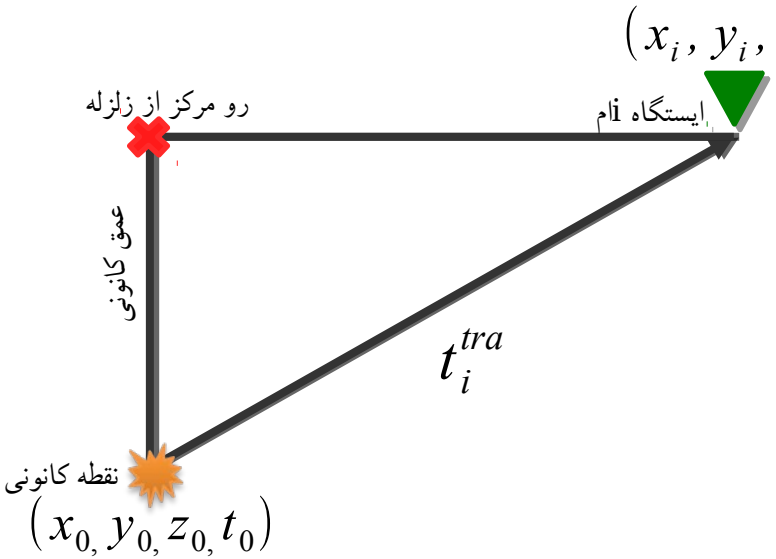
میرایی شدید فاز Sn در ایران

- فاز Sn در ایران بعد از فواصل کانونی ۲۰۰ کیلومتر باید قاعدتاً دیده شود. سرعت فاز Sn برابر با سرعت موج برشی در جبه و معمولا بیش از ۴/۵ کیلومتر بر ثانیه است. به علت سرعت بالای موج S نسبت به سرعت موج Sg و امواج سطحی که دارای سرعت تقریبی ۳/۵ کیلومتر بر ثانیه هستند، موج Sn در صورت وجود باید کاملا زودتر و جدا از موج Sg و Lg که به همراه هم می‌رسند دیده شود.
- در اکثر مناطق ایران به علت گرم بودن جبه بالایی فاز Sn به شدت میرا می‌شود و قابل دیدن نیست. تنها برای زلزله‌هایی که در بلندی آبشرون در دریای خزر اتفاق می‌افتند موج Sn بطور واضحی حتی در ایستگاه‌های لرزه‌شناسی واقع در البرز قابل دیدن است.
- در بولتن شبکه‌های لرزه‌نگاری ایران تعداد قابل ملاحظه‌ای فاز Sn برای تمام ایران گزارش شده است. متأسفانه اکثر این فازها صحیح نیست!

aghods@iasbs.ac.ir

اصول روش مکان یابی گایگر

- هدف پیدا کردن مکان زلزله است.



$$t_i^{cal} = t_0 + t_i^{tra}$$

$$t_i^{cal} = t_0 + \frac{1}{v}\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - 0)^2}$$

$$\Delta t_i = t_i^{obs} - t_i^{cal} = r_i \qquad ; i = 1, \ldots, n$$

r_i بازماند در ایستگاه iام است.

- ابتدا فرض اولیه‌ای از زمان رخداد و موقعیت مکانی آن در نظر گرفته می شود(بردار مدل):

$$m^0 = (x_0, y_0, z_0, t_0)$$

aghods@iasbs.ac.ir

ادامه اصول روش مکان یابی گایگر

- تصحیح مورد نیاز برای پارامترهای مدل با بردار تصحیح زیر تعریف می شود:

$$\Delta m=(\Delta x,\Delta y,\Delta z,\Delta t)$$

در این صورت:

$$m^1=m^0+\Delta m$$

که m^1 فرض جدید مسأله است.

- t_i^{cal} معرفی شده در اسلاید قبل یک رابطه خطی نیست. برای خطی سازی مسأله بسط تیلور حول پارامترهای مدل اولیه انجام داده و از مشتق مراتب بالاتر صرف نظر می شود.

$$t_i^{cal}=t_0+\frac{1}{v}\sqrt{(x_0-x_i)^2+(y_0-y_i)^2+(z_0-0)^2}$$

$$\rightarrow t_i^{cal}(m)=t_i^{cal}(m^0)+\frac{\partial t_i^{cal}}{\partial m_j}\Delta m_j \qquad ;i=1,\dots,n \quad ,j=1,\dots,4$$

aghods@iasbs.ac.ir

ادامه اصول روش مکان یابی گایگر

$$\Delta t_i(m) = \underbrace{t_i^{obs}(m) - t_i^{cal}(m)}_{\text{هدف: اختلاف به صفر میل کند.}} = t_i^{obs}(m) - t_i^{cal}(m^0) - \frac{\partial t_i^{cal}}{\partial m_j}\Delta m_j$$

$$\underbrace{r_i = \Delta t_i(m)}_{\text{صفر}} = \Delta t_i(m^0) - \frac{\partial t_i^{cal}}{\partial m_j}\Delta m_j \qquad ; G_{ij} = \frac{\partial t_i^{cal}}{\partial m_j}$$

r_i بازماند در ایستگاه iام و $\Delta t_i(m^0)$ بازماند مربوط به حدس اولیه است.

$$r_1 = \frac{\partial t_1}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial t_1}{\partial y}\Delta y + \frac{\partial t_1}{\partial z}\Delta z + \Delta t$$

$$r_2 = \frac{\partial t_2}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial t_2}{\partial y}\Delta y + \frac{\partial t_2}{\partial z}\Delta z + \Delta t$$

$$r_n = \frac{\partial t_n}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial t_n}{\partial y}\Delta y + \frac{\partial t_n}{\partial z}\Delta z + \Delta t$$

$$\underbrace{\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ .. \\ r_n \end{pmatrix}}_{r=\Delta t} = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{\partial t_1}{\partial x} & \frac{\partial t_1}{\partial y} & \frac{\partial t_1}{\partial z} & 1 \\ \frac{\partial t_2}{\partial x} & \frac{\partial t_2}{\partial y} & \frac{\partial t_2}{\partial z} & 1 \\ .. & .. & .. & .. \\ \frac{\partial t_n}{\partial x} & \frac{\partial t_n}{\partial y} & \frac{\partial t_n}{\partial z} & 1 \end{pmatrix}}_{G} \times \underbrace{\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta x \\ \Delta t \end{pmatrix}}_{\Delta m}$$

aghods@iasbs.ac.ir

ادامه اصول روش مکان یابی گایگر

$$G^T \Delta t = G^T G \Delta m$$

$$\rightarrow \Delta m = (G^T G)^{-1} G^T \Delta t = G^{-g} \Delta t$$

G^{-g} وارون فراگیر نامیده می‌شود و می‌توان ثابت کرد که این روش همان روش وارون سازی کمترین مربعات است.

- پس ما با یک حدس اولیه از مدل m^0 شروع کردیم و با حل معادله وارون Δm را بدست آورده و مقدار جدید مکان و زمان زلزله m^1 را محاسبه می‌کنیم. با تکرار این روند هر بار بردار مدل مسأله تصحیح می‌شود تا زمان رسید محاسبه‌ای به مشاهده ای نزدیک شود. این فرآیند زمانی متوقف می‌شود که بازماند مدل(Δm) در یک مرحله نسبت به مرحله قبل خود تفاوت چندانی نداشته باشد.

aghods@iasbs.ac.ir

تئوری خطای مکان‌یابی زلزله

- فرض کنید در یک نقطه k بار زلزله اتفاق افتاده باشد و همه آن‌ها در ایستگاهی ثبت شده باشند. خطای داده در ایستگاه iام با Δt_i نشان داده می‌شود. میانگین خطا برابر خواهد بود با:

$$\overline{\Delta t_i} = \lim_{K\to\infty} \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} \Delta t_i^{(k)}$$

- انحراف معیار(واریانس) پراکندگی داده‌ها را توصیف می‌کند و مقدار آن برابر است با:

$$\sigma_i^2 = \lim_{K\to\infty} \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} \left(\Delta t_i^{(k)} - \overline{\Delta t_i}\right)^2$$

- حال اگر چندین ایستگاه وجود داشته باشد که تعداد زیادی زلزله که در یک نقطه اتفاق افتاده‌اند را ثبت کرده باشد، خطا در ایستگاه های متفاوت بوسیله ماتریس واریانس –کوواریانس داده‌ها توصیف می‌شود. مقدار عناصر قطری ماتریس کوواریانس–واریانس مقادیر واریانس در ایستگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد و عناصر غیرقطری مقدار همبستگی خطا در ایستگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

$$\sigma_d^2 = \sigma_{d_{ij}}^2 = \lim_{K\to\infty} \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} \left(\Delta t_i^{(k)} - \overline{\Delta t_i}\right)\left(\Delta t_j^{(k)} - \overline{\Delta t_j}\right)$$

aghods@iasbs.ac.ir

ارتباط خطای مدل با خطای داده‌ها

خطای داده‌ها که با ماتریس واریانس-کوواریانس داده‌ها تعریف شد، به علت فرآیند وارون سازی وارد فضای مدل می‌شود و بر روی پارامترهای مدل اثر می‌گذارد. خطا در پارامترهای مدل را نیز می‌توان با یک ماتریس واریانس-کوواریانس نمایش داد:

$$\sigma_m^2=\sigma_{m_{ij}}^2=\lim_{K\to\infty}\frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\left(\Delta m_i^{(k)}-\overline{\Delta m_i}\right)\left(\Delta m_j^{(k)}-\overline{\Delta m_j}\right)$$

$$\Delta m_j=\sum_i G_{ji}^{-g}\Delta t_i$$

$$\sigma_{m_{ji}}^2=\lim_{K\to\infty}\frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\left(\sum_p G_{jp}^{-g}\left(\Delta t_p^k-\overline{\Delta t_p}\right)\right)\left(\sum_s G_{is}^{-g}\left(\Delta t_s^k-\overline{\Delta t_s}\right)\right)$$

$$\sigma_m^2=G^{-g}\,\sigma_d^2\left(G^{-g}\right)^T$$

aghods@iasbs.ac.ir

تقریب ماتریس واریانس-کوواریانس داده

- با توجه به اینکه در یک نقطه به جای k بار معمولاً یک بار زلزله اتفاق می‌افتد، نمی‌توان میانگین و انحراف معیار را برای هر فاز ایستگاه‌های مختلف محاسبه کرد. بنابراین ما در مکان‌یابی تک‌رویدادی همواره فرض می‌کنیم خطاهای داده‌ها غیر وابسته‌اند. این منجر به صفر شدن عناصر غیرقطری ماتریس واریانس-کوواریانس می‌گردد. در قدم بعدی ما معمولاً مقدار خطا برای یک فاز در ایستگاه‌های مختلف را با هم مساوی می‌گیریم. این کار باعث می‌شود که همه مقادیر عناصر قطری باهم برابر گردند و عملاً ماتریس واریانس-کوواریانس به یک عدد که همان واریانس σ^2است تبدیل می‌گردد و ما می‌توانیم رابطه صفحه قبل را به رابطه ساده زیر تبدیل کنیم.

$$\sigma_m^2 = \sigma^2 \left(G^T G \right)^{-1}$$

- از تجربه می‌دانیم که این فرض‌ها درست نیستند بنابراین خطایی که برای مدل محاسبه می‌کنیم خطای واقعی نیست و به اصطلاح biased error است. سایزن مقدار واریانس را از روی باقیمانده‌های فازهایی که در مکان‌یابی یک ایستگاه شرکت می‌کنند تخمین می‌زند. هر چه تعداد فازها بیشتر باشد مقدار تخمینی واریانس برای یک فاز بیشتر می‌شود. عناصر قطری ماتریس خطای مدل، قطرهای بیضوی خطا را برای ما مشخص می‌کنند. توجه کنید که عناصر غیرقطری ماتریس مدل صفر نیستند و معرف جهت‌گیری بیضوی خطا در فضا هستند. متأسفانه سایزن مقادیر عناصر غیرقطری را گزارش نمی‌کند.

aghods@iasbs.ac.ir

کار با eev برای مکان‌یابی یک زلزله محلی

- برای تعیین مکان یک زلزله باید فازهای لرزه‌ای را بخوانید.
- قبل از هر کاری اولین ایستگاهی که زلزله را ثبت کرده، پیدا کنید. با خواندن فاصله تقریبی موج P و S و ضرب آن در ۸ ، فاصله کانونی زلزله را تخمین بزنید. در ایران اگر این فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتر باشد اولین فاز رسیده به ایستگاه از نوع Pg است.
- سعی کنید اول تمام زمان رسیدهای فاز مستقیم Pg را بخوانید. توجه کنید که اولین رسید زلزله‌نگاشت‌هایی با S-P کمتر از ۲۵ ثانیه حتماً مربوط به فاز Pg است. این فاز مسافت کمتری را نسبت به فاز Pn طی می‌کند و معمولاً دارای انحراف کمتری نسبت به مدل زمین مورد استفاده است.
- اولین سعی برای تعیین مکان یک زلزله بعد از خواندن چهار فاز Pg از ایستگاه‌هایی که با پوشش آزیموتی مطلوبی زلزله را محاط کرده‌اند، ممکن می‌شود. در صورت گپ آزیموتی بالا مکان‌یابی بعد از خوانش یک فاز Sg اضاف بر فازهای اولیه خوانده شده ممکن می‌گردد.
- در خواندن موج Sg بسیار محتاط باشید. خواندن موج Sg بسیار مهم و مؤثر است ولی فقط و فقط فازهای واضح Sg را بخوانید.

aghods@iasbs.ac.ir

کار با eev برای مکان‌یابی یک زلزله محلی (ادامه)

- برای تعیین مکان زلزله حتماً باید در پنجره mode multi trace باشید.
- برای تعیین مکان کلید *l* را فشار دهید. این کار شما را از پنجره‌ای گرافیکی به پنجره‌ای که در آن eev را اجرا کردید می‌برد و نتایج مکان‌یابی را به شما نشان می‌دهد. کلید enter را بزنید تا به پنجره‌گرافیکی برگردید.
- حالا شما علاوه بر فازهایی که خودتان تعیین کردید محل فازهای محاسبه شده بر اساس مدل زمین را هم مشاهده خواهید کرد. نام فازهای تئوری با Y شروع می‌شود.
- هرگز سعی نکنید با منطبق کردن فازهای خوانده شده با محل فازهای پیشنهادی مکان‌یابی را بهبود دهید. این کار یعنی گول زدن خودتان و اگر اوپراتور شبکه هستید یعنی خیانت!
- مکان‌یابی زلزله را با تعیین فازهای بیشتر اولیه و ثانویه و برداشت دقیق‌تر فازهای از قبل خوانده شده ادامه دهید تا حدی که به یک خطای قابل قبول برسید.
- اگر به اندازه کافی فاز Pg دارید، از فازهای کم کیفیت Pn در مکان‌یابی استفاده نکنید. خوانش فاز Pn جهت کارهای تحقیقاتی باید انجام بگیرد پس آن‌ها را بخوانید ولی وزن‌شان را ۴ بدهید تا در مکان‌یابی شرکت داده نشوند.

aghods@iasbs.ac.ir

خروجی برنامه مکان یابی

```
date hrmn   sec      lat      long depth   no m    rms  damp erln erlt erdp i
 2 613 1924 20.41 36 6.24N  52  7.1E  11.3   16 3   0.27 0.000  2.4  3.4 12.2
stn   dist   azm  ain w phas    calcphs hrmn tsec  t-obs  t-cal    res   wt di
PRN     25  52.2116.9 0 Pg    C PG      1924 24.6    4.2    4.5  -0.28 1.00  6
PRN     25  52.2      0 AML             1924 25.3    4.9
 DMV     59 187.6103.0 0 Sg      SG      1924 37.2   16.8   16.9  -0.06 1.00 16
ALA     62  92.0102.6 0 Pg    C PG      1924 30.6   10.2   10.3  -0.06 1.00  4

QOM  GZ   hdist:     169.4   coda:        121.0   mc =   2.6
QOM  GZ   hdist:     169.4   amp:          85.1   ml =   2.4
ANJ  GZ   hdist:     177.4   coda:        154.0   mc =   2.9
ANJ  GZ   hdist:     177.4   amp:          97.8   ml =   2.5

2002  613 1924 20.4 L  36.104  52.118 11.3  TES 13 0.3 2.7CTES 2.5LTES
OLD:  613 1924 20.4 L  36.104  52.118 11.3  TES 13 0.3 2.7CTES 2.5LTES
```

همانطور که ملاحظه می‌کنید برنامه ابتدا مشخصات بولتنی زلزله را به همراه پارامترهای مهم خطا (rms ، خطاهای عرض و طول جغرفیایی (erln, erlt) و خطای عمق (erdp)) را در خط اول نشان می‌دهد. سپس برای هر فاز نام ایستگاه، فاصله ایستگاه، زمان رسید مشاهده شده و محاسبه شده و اختلاف آنها(res) را به همراه وزن فاز مربوطه می‌دهد. کاربر باید سعی کند با تعیین هر چه دقیق‌تر فازها rms، خطا در طول و عرض جغرافیایی و مقدار باقیمانده res ایستگاه‌ها را کمتر کند. در قدم بعدی برنامه بزرگای زلزله را بر اساس نوع بزرگا برای هر ایستگاه می‌دهد (پاراگراف دوم). در پایان مقدار متوسط بزرگا به همراه سایر پارامترهای مکان‌یابی نشان داده می‌شود. آخرین خط مقدارهای قبلی پارامترهای مکان‌یابی و بزرگای زلزله را نشان می‌دهد. در صورتی که کاربر جواب جدید را قبول کند باید دستور update را در محیط eev بزند.

aghods@iasbs.ac.ir

کجا می‌توان اطلاعات تکمیلی در مورد مکان‌یابی زلزله را پیدا کرد؟

- اطلاعات تفصیلی در مورد فرآیند مکان‌یابی، پارامترهای مورد استفاده در مکان‌یابی و تعداد تکرار فرآیند محاسبه معکوس مکان زلزله همگی در فایل print.out که در پوشه WOR درست می‌شود، قابل دسترسی است. کاربر با مراجعه به این فایل می‌تواند به نحوه کار نرم‌افزار مکان‌یابی پی ببرد.
- اطلاعات خلاصه نتایج مکان‌یابی در فایل hypsum.out نوشته می‌شود.
- معمولاً ما نیازی به دو فایل مذکور نداریم و اطلاعات لازمه از آنها استخراج شده و در فایل S-file مربوطه ذخیره می‌گردد. محتوای دو فایل مذکور مربوط به آخرین زلزله‌ای است که مکان‌یابی برای آن انجام گرفته است.

aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۶: مکان‌یابی زلزله ورزقان-اهر با استفاده از فازهای محلی

- با استفاده از بانک اطلاعاتی داده شده در این کارگاه آموزشی زلزله ورزقان-اهر که بصورت محلی در بانک سایزن ثبت شده را مکان‌یابی کنید.
- برای محل‌یابی زلزله تنها از ایستگاه‌هایی با فاصله کانونی کمتر از ۲۰۰ کیلومتر استفاده کنید و سعی کنید که فازهای Pg و Sg را بر روی آن‌ها بخوانید.
- برای شبکه BHRC که همان شبکه شتابنگاری ایران است باید فاز تفاضلی S-P را بخوانید. این فاز را بعد از مکان‌یابی اولیه زلزله به فازهای دیگر اضافه کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۷: مکان‌یابی زلزله ورزقان-اهر با استفاده از فازهای منطقه‌ای

- با استفاده از بانک اطلاعاتی داده شده در این کارگاه آموزشی زلزله ورزقان-اهر که بصورت منطقه‌ای (R) در بانک سایزن ثبت شده را مکان‌یابی کنید.
- برای محل‌یابی زلزله تنها از ایستگاه‌هایی با فاصله کانونی بیش از ۲۰۰ کیلومتر استفاده کنید و سعی کنید که فازهای Pn و Sg را بر روی آن‌ها بخوانید.
- دقت مکان‌یابی زلزله ورزقان-اهر با استفاده از ایستگاه‌های منطقه‌ای را با دقت بدست آمده از مکان‌یابی با استفاده از ایستگاه‌های محلی مقایسه کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۸: مکان‌یابی زلزله ورزقان-اهر با استفاده از فازهای دور

- با استفاده از بانک اطلاعاتی داده شده در این کارگاه آموزشی زلزله ورزقان-اهر که بصورت دور (D) در بانک سایزن ثبت شده را مکان‌یابی کنید.
- برای محل‌یابی زلزله تنها از ایستگاه‌هایی با فاصله کانونی بیشتر از ۱۵۰۰ کیلومتر استفاده کنید و سعی کنید که فازهای P و S را بر روی آن‌ها بخوانید.
- دقت مکان‌یابی زلزله ورزقان-اهر با استفاده از فازهای دور را با دو روش قبلی مقایسه کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

نکاتی برای مکان‌یابی سریع یک زلزله محلی-منطقه‌ای

- ابتدا با فراخوانی شکل موج‌های مولفه عمودی، همه فازهای اولیه مستقیم (Pg) را بخوانید. خوانش فاز Pn در صورت وجود کافی فاز Pg نه تنها ضرورتی ندارد بلکه خوانش آن در این مرحله باعث خراب شدن حل اولیه می‌شود. اگر ایستگاه‌هایی که خوانش فاز لرزه‌ای برای آنها انجام گرفته دارای گاف آزیموتی کمتر از ۱۸۰ درجه باشد، معمولاً محاسبه مکان زلزله ممکن می‌گردد.
- بر روی مولفه‌های افقی یکی از ایستگاه‌هایی که برای آن فاز اولیه تعیین کرده‌اید، حداقل یک فاز ثانویه بخوانید. ترجیحاً بهتر است فاز ثانویه از نوع Sg و بر روی نزدیکترین ایستگاه لرزه‌ای باشد. برداشت درست فاز Sg باعث بهبودی قابل توجه مکان‌یابی شما خواهد شد. تا جایی که ممکن است از برداشت فاز Sg در فواصل بیش از ۱۵۰ کیلومتر اجتناب کنید. برای پوسته ایران در فواصل حدود ۱۵۰ به بعد چندین فاز S با هم به یک ایستگاه می‌رسند!
- در بسیاری از موارد مخصوصاً وقتی که بیشینه گاف زاویه‌ای کمتر از ۱۰۰ درجه باشد، شما بعد از ۱۰ دقیقه از وقوع زلزله قادر به محاسبه مکان زلزله خواهید شد که قابل گزارش به دفتر مدیریت بحران وزارت کشور خواهد بود.

aghods@iasbs.ac.ir

نکاتی برای مکان‌یابی سریع یک زلزله جدید (ادامه)

- قبل از گزارش کردن زلزله بزرگی آن باید حساب شود. برای این کار خیلی سریع تمام مولفه‌های افقی را دوباره فرا بخوانید و به پنجره single-mode بروید و بطور اتوماتیک بر روی همه آنها دامنه بزرگای محلی را بخوانید. بعد از این زلزله را دوباره مکان‌یابی کنید و خیلی سریع آن‌را گزارش کنید.
- اگر بزرگای محلی بیش از ۵.۵ بود، امکان اشباع بزرگای محلی وجود دارد و باید سعی کنید بزرگای امواج سطحی را تعیین کنید.
- مسلماً فرآیند مکان‌یابی زلزله بعد از گزارش آن باید با خوانش فازهای اولیه و ثانویه بیشتر و بازبینی فازهای خوانده شده ادامه یابد تا منجر به بهبود بیشتر مکان یابی اولیه و گردآوری اطلاعات لرزه‌ای مفید برای کارهای لرزه‌شناسی آتی گردد.

aghods@iasbs.ac.ir

تمهیداتی برای بهتر کردن مکان‌یابی زلزله

- همه فازهای Pg را بچینید. تا می‌توانید فازهای ثانویه که قابل تشخیص هستند را بچینید. از دادن وزن‌های کم به فازهای اولیه Pg حتی‌المقدور اجتناب کنید. در ایران فاز مستقیم Pg معمولاً در فواصل کمتر از ۲۰۰ کیلومتر فاز اول است. این بدین معنی است که اگر فاصله زمانی بین زمان رسید موج P و S کمتر از ۲۵ ثانیه باشد به احتمال زیاد فاز اولیه ما از نوع Pg است.
- بعد از چیدن هر فاز ثانویه با مکان‌یابی دوباره تاثیر آنرا بطور جداگانه بر روی مکان‌یابی ارزیابی کنید. برای فواصل کمتر از ۱۵۰ کیلومتر Sg فاز ثانویه‌ای است که می‌توان در بسیاری از موارد آن را درست تشخیص داد.
- با چرخاندن مولفه‌های افقی، زمان رسید مولفه‌های ثانویه را با دقت بیشتری تعیین کنید.
- از فیلترهای ۲–۴ هرتز و ۱–۵ هرتز در شناسایی فازهای ثانویه زلزله‌های محلی استفاده کنید.
- فازهای اولیه غیر مستقیم (Pn) معمولاً باعث بیشتر شدن خطای مکان یابی می‌شوند. بنابراین از دادن وزن‌های کم به این فازها واهمه‌ای نداشته باشید. اصولاً وقتی که ما تعداد قابل توجهی فاز Pg داریم باید وزن فازهای Pn را ۴ داد تا کیفیت مکان‌یابی را بد نکنیم. با اینحال ما باید بعد از گزارش زلزله، فازهای Pn را بچینیم چون این فازها در مطالعات پوسته که توسط لرزه شناسان انجام می‌گیرد بسیار مهم هستند.
- فاز Sn فقط برای تعدا معدودی از زلزله‌های ایران که در منطقه آبشرون اتفاق می‌افتند قابل خوانش است.

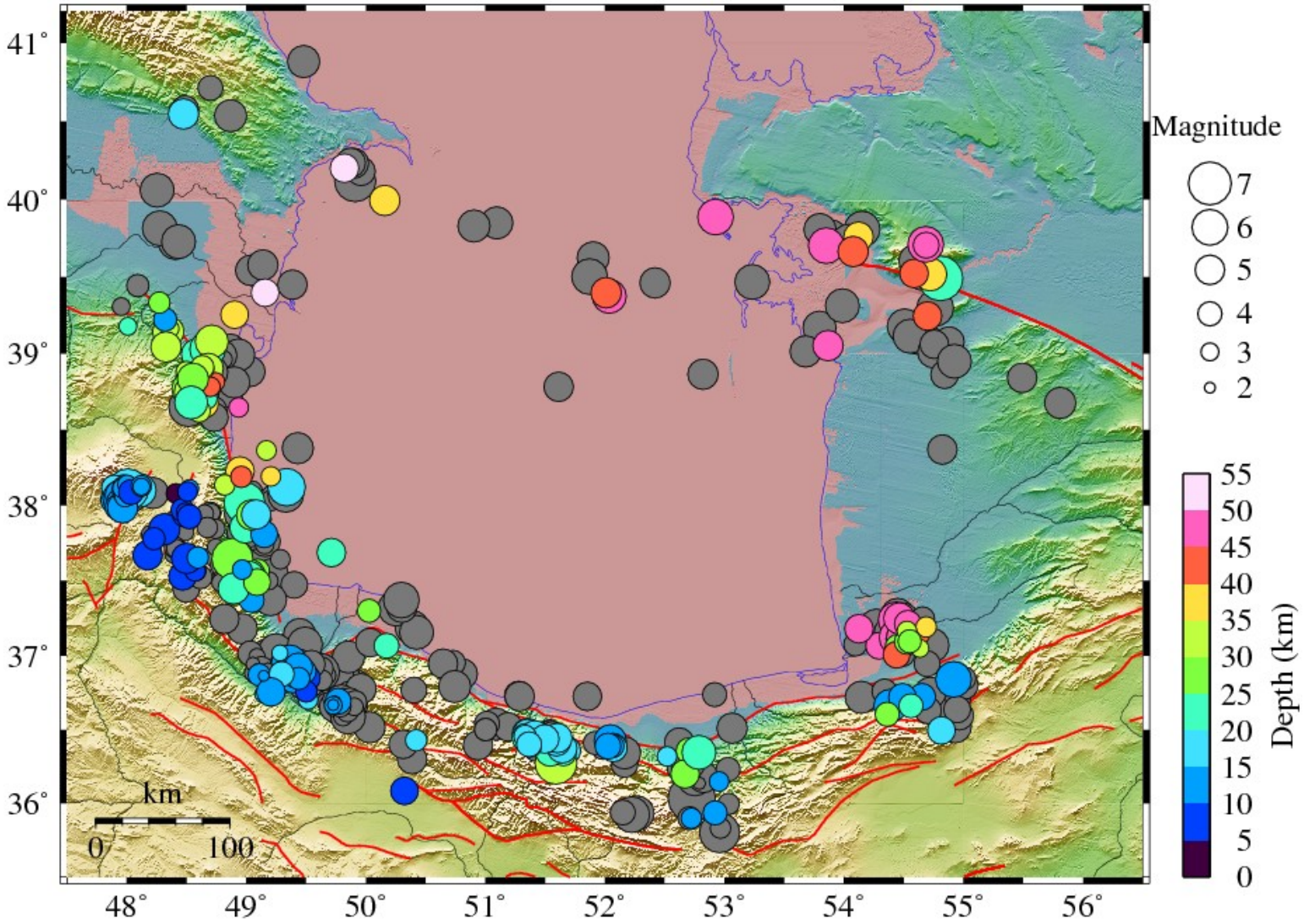
aghods@iasbs.ac.ir

تعیین دقیق عمق کانونی زلزله!

- یشترین خطا در تعیین پارامترهای کانون زلزله در تعیین عمق زلزله است. بجز موارد نادر که یک یا چند ایستگاه به فاصله رومرکزی یک الی دو مرتبه بیشتر از عمق زلزله داریم، تعیین عمق یک زلزله محلی و منطقه‌ای همواره با خطای بالایی همراه است.
- از آنجاییکه که عمق متوسط زلزله‌ها در ایران حدود ۱۵ کیلومتر است، اکثر عمق‌های گزارش شده توسط شبکه‌های ملی دارای خطای قابل ملاحظه‌ای هستند.
- در ایران، زلزله‌های عمیق‌تر از ۳۰ کیلومتر فقط در منطقه حاشیه دریای خزر، آبشرون و مکران اتفاق می‌افتند.
- با استفاده از تفاضل زمان رسید موج‌های pP-P و sP-P می‌توان عمق زلزله‌های دور را تعیین کرد. البته تعیین زمان رسید موج‌های عمقی نیاز به تبحر زیادی دارد و معمولاً تنها برای زلزله‌هایی با بزرگای در محدوده‌ای ۵ الی ۶.۵ و عمق بیشتر از ۲۰ کیلومتر می‌توان آن‌ها را با اطمینان خوبی خوانش کرد. برای زلزله‌های بزرگ‌تر و یا کم عمق‌تر موج P با موج‌های عمقی تداخل پیدا می‌کند و خوانش آنها ممکن نیست.

aghods@iasbs.ac.ir

نقشه زلزله‌های حاشیه دریای خزر (قدس و همکاران، ۲۰۱۴)



عمقی برای رویدادهایی که با دایره خاکستری نشان داده شده محاسبه نشده است.

aghods@iasbs.ac.ir

تنظیم دستی عمق زلزله

- در مواردی که دارای خطای عمق قابل ملاحظه‌ای هستیم، توصیه اکید می‌شود که با ویرایش S-file عمق زلزله را به عددی که همخوانی با واقعیت‌های زمین‌شناسی منطقه‌ای که در آن زلزله اتفاق افتاده است تنظیم کنید. در ایران عمق متوسط زلزله‌ها ۱۵ کیلومتر است.
- جهت تنظیم دستی عمق زلزله در محیط eev کلید e را تایپ کنید و کلید enter را بزنید تا ویرایشگرتان S-file مربوطه را باز کند. به ستون منتهی‌الیه عددی که عمق را نشان می‌دهد بروید و حرف F که مخفف Fixed است را تایپ کنید. توجه کنید که فرمت اولیه اعداد و قرارگیری اولیه آنها در ستون‌ها بهم نخورد. باید عدد ۱ که معرف خط نوع اول است در ستون ۸۰ام باشد. سپس بعد از ثبت تغییرات از محیط ویرایشگر خارج و به محیط eev برگردید و کلید *l* و enter را جهت مکان‌یابی دوباره بفشارید.
- در اطلاعات بولتنی که توسط eev نشان داده می‌شود یک ستاره در کنار عدد نشان‌دهنده‌ی عمق زلزله ظاهر می‌گردد که نشاندهنده این است که عمق زلزله بطور دستی تنظیم شده است.

aghods@iasbs.ac.ir

در چه شرایطی مکان یابی یک زلزله قابل گزارش است؟

- برای زلزله‌های محلی که در داخل شبکه قرار دارند، همواره انتظار می‌رود مکان‌یابی اولیه ما کمتر از ۱۰ کیلومتر در عرض وطول جغرافیایی خطا داشته باشد و rms آن کمتر از ۰.۵ ثانیه باشد. منظور ما از زلزله‌های محلی زلزله‌هایی هستند که توسط چند ایستگاه لرزه‌ای در فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتر ثبت شده باشند.
- هر چه فاصله‌ای کانونی ایستگاه‌های لرزه‌ای ثبت کننده یک زلزله کمتر باشد، دقت مکان یابی زلزله بیشتر می‌شود.
- برای زلزله‌های محلی ولی در خارج از شبکه، خطای کمتر از ۲۰ کیلومتر در عرض و طول جغرافیایی و rms کمتر از یک ثانیه برای گزارش اولیه زلزله قابل قبول است.
- هر چه گاف زاویه‌ای ایستگاه‌هایی که یک زلزله را ثبت کرده‌اند بیشتر باشد، مکان‌یابی آن دقت کمتری دارد.

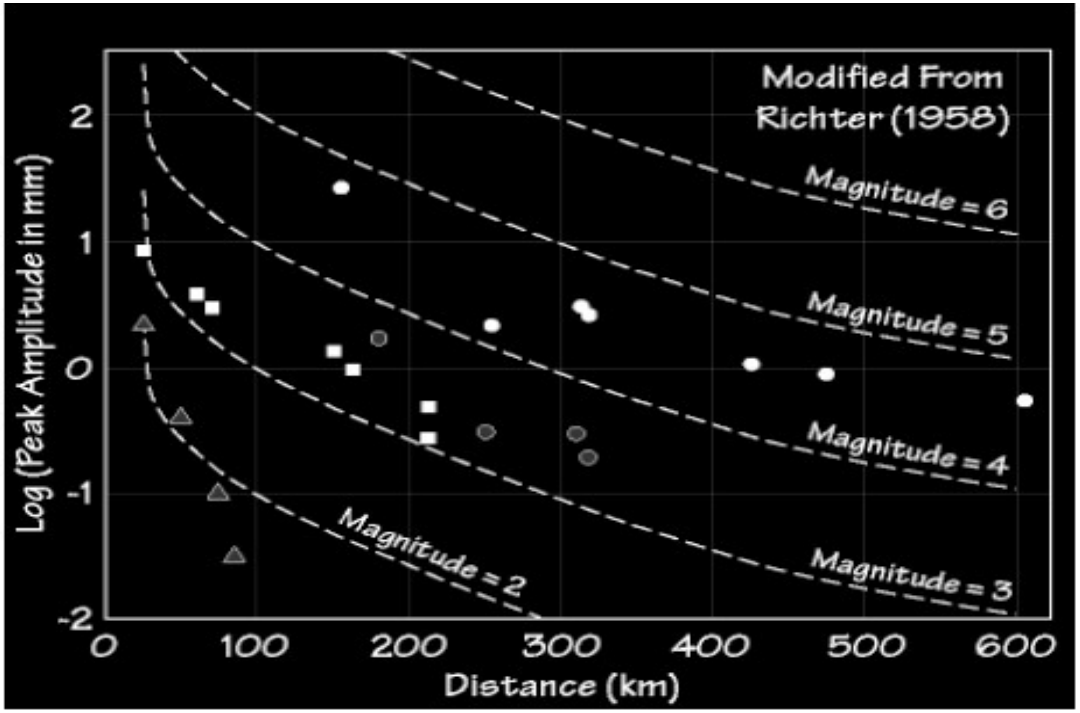
aghods@iasbs.ac.ir

مکان‌یابی دوباره زلزله‌ها بر اساس یک مدل جدید زمین

- بعد از مکان‌یابی یک تعداد زلزله با یک مدل فرضی می‌توان با استفاده از دستور select زلزله‌های باکیفیت‌تر (آن‌هایی که دارای گپ آزیموتی کمتر از ۱۸۰ و RMS کمی هستند) را انتخاب کنیم. با استفاده از زلزله‌های انتخابی می‌توان مدل زمین جدیدی را محاسبه کرد. با در دست داشتن مدل جدید زمین می‌توانیم باید تمام زلزله‌ها را دوباره مکان‌یابی کنیم. این‌کار به سادگی قابل انجام است. فایل collect.out تمام زلزله‌ها را تولید کنید. سپس مدل جدید را وارد فایل STATION0.HYP کنید. حالا با اجرای دستور hyp در خط فرمان و دادن فایل collect.out به عنوان فایل ورودی، می‌توان تمام زلزله‌ها را بطور اتوماتیک دوباره مکان‌یابی کرد. برنامه قبل از اجرا شدن از شما سئوال Interactive operation (N/Y=default) را خواهد کرد. کاراکتر N را تایپ کنید و کلید enter را بفشارید. همه زلزله‌ها بطور اتوماتیک دوباره مکان‌یابی خواهند شد و در فایل hyp.out ثبت می‌شوند.

aghods@iasbs.ac.ir

تعریف بزرگای محلی M_L



$$M_L = \log A(R) - \log A_0(R)$$

$$\log A_0(R) = 3$$

aghods@iasbs.ac.ir

ریشتر چگونه توانست بزرگای زلزله را ابداع کند؟

آقای ریشتر برای چندین زلزله نمودار لاگ بزرگترین دامنه امواج زلزله A (محور عمودی در نمودار صفحه قبل) را بر حسب فاصله کانونی Δ (محور افقی نمودار صفحه قبل) ایستگاه‌های ثبات رسم کرد. او متوجه شد که هر چه زلزله بزرگتر باشد، فاصله بین منحنی‌های لاگ دامنه برحسب فاصله کانونی به طور تقریبا یکنواختی زیاد می‌شود و یا به عبارتی میرایی دامنه برای زلزله‌های متفاوت تقریبا به یک شکل است. او با این یافته توانست فرمول زیر را برای بزرگای زلزله M_L ارایه دهد.

$$M_L = \log_{10} A(\Delta) - \log_{10} A_0(\Delta)$$

که در آن مقدار $\log_{10} A_0$ مقدار دامنه زلزله مرجع است که دارای بزرگای صفر است و به نوعی اثر میرایی ناشی از فاصله رومرکز را از بین می‌برد. مقدار دامنه زلزله مرجع برای فواصل متفاوت توسط ریشتر محاسبه شد و سپس برای سادگی بر روی منحنی بدست آمده یک فرمول برازش شد و در نتیجه فرمول بزرگای محلی ریشتر به شکل ساده زیر در آمد.

$$M_L = \log_{10} A + 2.56 \log_{10} \Delta - 1.67$$

aghods@iasbs.ac.ir

اندازه‌گیری بزرگای زلزله

- تنها بعد از اینکه کانون زلزله محاسبه شد می‌توان بزرگای آن را محاسبه کرد.
- برای محاسبه بزرگای محلی یک زلزله بزرگترین دامنه امواج زلزله باید اندازه‌گیری گردد و سپس این مقدار به همراه فاصله ایستگاه از کانون زلزله درون فرمول اسلاید قبل قرار داده شود تا بزرگای زلزله برای یک ایستگاه محاسبه گردد.
- امواج زلزله به مانند امواج ناشی از انفجار به صورت کروی انتشار پیدا نمی‌کنند. همچنین به علت زمین‌شناسی متفاوت در مسیرهای متفاوت مقدار جذب و در نتیجه مقدار بیشینه دامنه امواج زلزله بر روی سطح یک کره به مرکز کانون زلزله یکسان نیست! برای همین بزرگای‌های زلزله که در ایستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری شده حتی می‌تواند تا یک واحد بزرگا با هم تفاوت داشته باشند. برای رفع این نقصان همواره بزرگای زلزله را برای چندین ایستگاه حساب می‌کنند و میانگین آنها را به عنوان بزرگای زلزله اعلام می‌کنند.
- بزرگای زلزله در ارتباط با کل انرژی لرزه‌ای آزاد شده در کانون زلزله است. توجه کنید که بزرگای زلزله یک مقیاس لگاریتمی است. دامنه امواج یک زلزله با بزرگای ۶ ده مرتبه بزرگتر از یک زلزله با بزرگای ۵ است! و یا به عبارتی تکان ناشی از یک زلزله با بزرگای ۶ ده مرتبه بیشتر از تکان ناشی از یک زلزله ۵ است!

aghods@iasbs.ac.ir

نکاتی در مورد مقیاس بزرگای زلزله

- بزرگای زلزله یک روش سریع برای تخمین زدن انرژی یک زلزله است. برخلاف تصور مردم واحد بزرگای زلزله ریشتر نیست و استفاده از واحد ریشتر بصورت یک غلط مصطلح در ایران در آمده است. بزرگای زلزله دارای واحد فیزیکی ملموسی نیست و صرفا جنبه کاربردی برای طبقه‌بندی زلزله بر اساس مرتبه بزرگی انرژی آنها است و تنها با آن می‌توان گفت یک زلزله چند مرتبه بزرگتر از زلزله‌های دیگر است. انرژی زلزله را می‌توان با روش‌های زلزله‌شناسی اندازه گرفت ولی این کار بسیار مشکل و وقت‌گیر است.
- از فیزیک موج می‌دانیم که هر چه دامنه و فرکانس یک موج بیشتر باشد، انرژی موج بیشتر است. برای همین بزرگای زلزله در ارتباط مستقیم با لگاریتم دامنه آن است. در فرمول بزرگای محلی هیچ اثری از فرکانس و یا پریود موجی که دارای بزرگترین دامنه است، نیست چون لرزه‌نگار مورد استفاده در محاسبه بزرگای محلی (لرزه‌نگار وود–آندرسون) دارای فرکانس ویژه نزدیک به یک هرتز است.
- دوباره از فیزیک موج می‌دانیم که هر چه موج از محل تولید خود دور شود، انرژی بر واحد سطح جبهه موج کاهش می‌یابد. به این نوع میرایی، میرایی هندسی می‌گوییم. اگر موج ما یک موج درونی باشد نحوه کاهش انرژی بر واحد سطح جبهه موج در ارتباط با معکوس فاصله است. همچنین می‌دانیم که سنگ‌ها اجسام کاملا الاستیک نیستند و عبور امواج از آنها همراه با میرایی است. به این نوع میرایی، میرایی ذاتی می‌گوییم که مقدار آن وابسته به زمین شناسی منطقه بین کانون زلزله و ایستگاه ثبات است. هر دوی این میرایی‌ها در نحوه تعریف $-\log_{10} A_0$ آمده است.

aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگی زلزله M_L

- تعیین بزرگی باید با استفاده از مولفه‌های افقی صورت گیرد و باید کاربر در پنجره single mode باشد.

- کلید WA که در منوی بالای پنجره single mode است را فشار دهید و با استفاده از نشانه‌گر منطقه‌ای که در آن انتظار پیدا کردن بزرگترین دامنه را دارید انتخاب کنید. این کار باعث می‌شود که تابع پاسخ ترکیبی دستگاه لرزه‌نگار و وسایل جانبی آن از روی شکل موج برداشته شود و سپس منحنی پاسخ دستگاه Wood-Anderson که برای اولین بار بزرگی زلزله بر روی آن تعریف شده بر روی زلزله‌نگاشت ما قرار داده شود. در صورتی که منحنی پاسخ مولفه ایستگاه شکل موج وجود نداشته باشد برنامه مواجه با مشکل شده و به شما خطا را گزارش می کند.

- نشانه‌گر را بر روی پنجره زوم که در زیر پنجره بالایی باز می‌شود قرار دهید و کلیدهای ترکیبی shift+a را فشار دهید. اینکار باعث انتخاب اتوماتیک بزرگترین دامنه می گردد. اگر درست عمل کرده باشید این کار باعث رسم یک خط عمودی که در قسمت پائینی آن حالت دوشاخه دارد و بالای آن کلمه AMP نوشته شده است می‌گردد.

- به پنجره multi trace mode بروید و جهت تعیین بزرگی کلید *l* را فشار دهید. این بار علاوه بر تعیین مکان زلزله بزرگی آن را هم محاسبه می‌کنید..

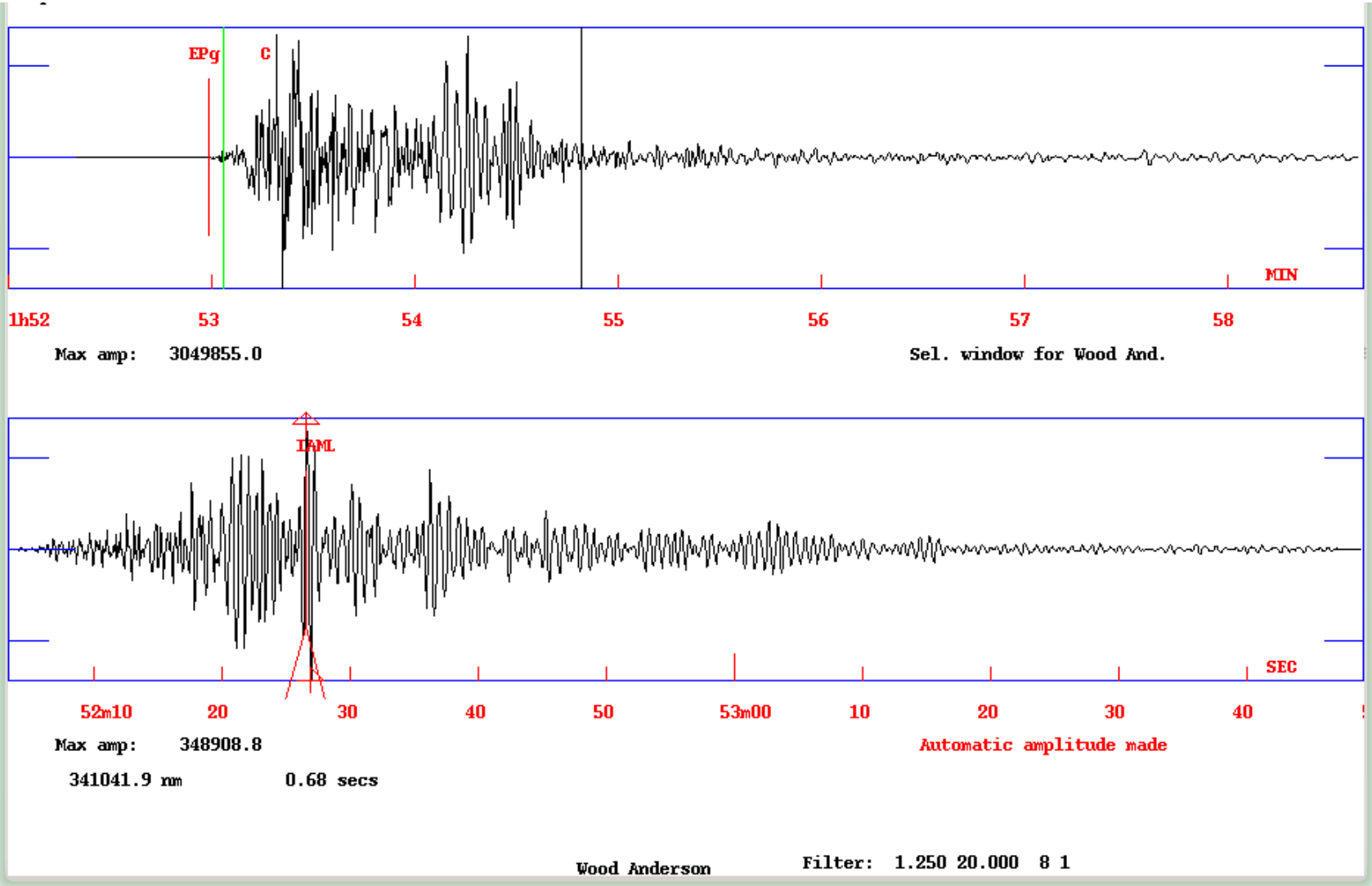
aghods@iasbs.ac.ir

نکاتی برای محاسبه دقیق بزرگی زلزله M_L

- توجه کنید که برداشت دامنه بر روی مولفه عمودی باعث ارزیابی غلط بزرگای محلی می‌گردد. فرمول بزرگای محلی غالباً برای مولفه‌های افقی کالیبره شده است.
- خوانش دامنه را تنها بر روی مولفه‌های افقی که نسبت سیگنال به نوفه آن‌ها بالاتر از ۵ است بخوانید.
- حتماً سعی کنید که خوانش دامنه را بر روی هر دوی مولفه‌ی افقی انجام دهید.
- حتماً سعی کنید که خوانش دامنه را بر روی همه زلزله‌نگارهایی که دارای فاصله رومرکزی کمتر از ۵۰۰ کیلومتری هستند انجام دهید. تعداد بیشتر دامنه‌ها، دقت اندازه‌گیری بزرگا را بیشتر می‌کند.
- دامنه، پریود و زمان رسید دامنه مصنوعی بیشینه بزرگای محلی در S فایل درج می‌گردد. دامنه به نانومتر است و مقدار بهره ۲۰۸۰ زلزله‌نگار وود اندرسون بر روی آن اعمال نشده است. مقدار بهره در فرمول بزرگای محلی تعبیه گردیده است.
- سایزن برای هر دامنه‌ی خوانده شده یک بزرگا محاسبه می‌کند. اگر مقدار محاسبه شده بزرگا برای یک یا چند مولفه از مقدار میانگین بزرگا بیش از یک درجه تفاوت داشت ، وزن آن دامنه را ۴ بدهید.

aghods@iasbs.ac.ir

محاسبه‌ی بزرگی زلزله M_L



aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۹: تعیین بزرگای محلی M_L

- با استفاده از همه شکل‌موج‌های موجود، بزرگای محلی زلزله ورزقان-اهر را محاسبه کنید.
- دامنه بزرگای محلی را تنها بر روی مولفه‌های افقی بخوانید.
- دامنه را تنها بر روی نگاشت‌هایی که دارای نسبت سیگنال به نوفه بیش از پنج هستند بخوانید.
- تفاوت بین بزرگای‌های محاسبه در ایستگاه‌های مختلف در چه بازه‌ای است؟
- علت تفاوت در بزرگاها در ایستگاه‌های مختلف چیست؟
- چرا برنامه برای ایستگاه‌های دور بزرگای محلی محاسبه نمی‌کند؟

aghods@iasbs.ac.ir

چرا به مقیاس‌های بزرگی دیگری نیاز داریم؟

بزرگای محلی برای زلزله‌های بزرگتر از ۶ اشباع می‌شود و یا به عبارتی هر چه زلزله بزرگتر از ۶ شود باز هم بزرگا چندان تغییر نمی‌کند. مسلما این نقصان بسیار جدی برای فرمول بزرگای محلی آقای ریشتر است. آقای ریشتر خود به این موضوع پی برد و بزرگای دیگری که بر اساس بزرگترین دامنه امواج سطحی (Ms) با پریود ۲۰ ثانیه است را تعریف کرد. این بزرگا برای زلزله‌های کوچکتر از ۸.۵ کاربرد دارد.

- هر چه زلزله بزرگتر شود، انرژی آن بیشتر در طول موج‌های بلند آن متمرکز می‌گردد. برای همین بزرگای محلی که با استفاده از لرزه‌نگارهای پریود کوتاه محاسبه می‌گردد قابلیت اندازه‌گیری زلزله‌های بزرگتر از ۶.۵ را ندارد. وقتی که زلزله بزرگتر از ۸.۵ باشد، بزرگای امواج سطحی هم اشباع می‌شود.

- هنوز بشر راهی برای اندازه‌گیری سریع و مطمئن زلزله‌های بسیار بزرگ نظیر زلزله سونامی سال ۲۰۰۴ نیافته است.
- بزرگای محلی تنها برای زلزله‌های کوچکتر از ۶.۵ قابلیت استفاده دارد. همچنین همه لرزه‌نگارهایی که برای تعیین بزرگای محلی بکار می‌روند باید در فواصل کمتر از ۶۵۰ کیلومتری از کانون زلزله واقع شده باشند. برای همین برای تعیین بزرگای زلزله‌های دور کوچکتر از ۶.۵ بزرگایی به نام بزرگای m_b تعریف شد که بر اساس دامنه امواج درونی طولی کار می‌کند.

aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگی کودای زلزله Mc

- بزرگی Mc یک مقیاس بزرگی زلزله است که فقط بر پایه طول شکل موج که حاوی امواج زلزله است، محاسبه می گردد. در مواردی که زلزله بزرگی در نزدیکی یک شبکه ی لرزه‌نگاری اتفاق می‌افتد، دستگاه‌های زلزله‌نگاری قادر به ثبت بزرگترین دامنه زلزله نیستند و به اصطلاح کلیپ می‌کنند. در این موارد بزرگی Mc یا بزرگی Coda تنها نوع بزرگای است که می‌توان اندازه‌گیری کرد.
- برای تعیین بزرگی کودای بر روی یک شکل‌موج یک زلزله، شکل‌موج مذکور حتماً باید دارای یک فاز اولیه باشد. فاز اولیه نشانگر شروع امواج زلزله است. برای نشان دادن محل پایان امواج زلزله نشانه‌گر را به محلی که حدس می زنید کودا در آن محل تمام می‌شود ببرید و کلید c را فشار دهید. با مکان یابی دوباره زلزله، شما بزرگی زلزله را بر حسب بزرگی Mc هم خواهید داشت.
- تعیین فاز Coda در هر دو مود نمایش گرافیکی ممکن است.

aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۱۰: کار با دستور eev برای تعیین بزرگی زلزله Mc

- با استفاده از شکل‌موج‌های باند پهن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله بزرگای کدای زلزله ورزقان–اهر را محاسبه کنید.
- تفاوت بین بزرگای‌های محاسبه در ایستگاه‌های مختلف در چه بازه‌ای است؟
- علت تفاوت در بزرگاها در ایستگاه‌های مختلف چیست؟

aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگی زلزله m_b

- بزرگی m_b یک مقیاس بزرگی زلزله است که بر اساس اندازه‌گیری بزرگترین دامنه سرعت امواج حجمی P محاسبه می‌گردد. بزرگی m_b مقیاس بزرگی بسیار معروفی است که بطور گسترده‌ای در زلزله‌نگارهای پریود کوتاه‌ی شبکه جهانی WWSSN کاربرد داشته و هم اکنون هم مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- بیشینه دامنه بزرگایm_b بر روی چند طول موج اول امواج P و بر روی زلزله‌نگاشت عمودی انجام می‌گیرد.
- بزرگی m_b برای تعیین بزرگای زلزله‌های دور (فاصله‌ی رومرکزی بیش از ۱۲ درجه و کمتر از ۱۰۰ درجه) استفاده می‌شود.
- این مقیاس بزرگی به مانند بزرگای محلی برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ شروع به اشباع شدن می‌کند.
- جهت تعیین بزرگی m_b بر روی کلید Mb از منوی پنجره single trace mode فشار دهید و سپس با کمک نشانه بر روی منطقه‌ای که فقط موج اولیه P در آن قرار دارد زوم کنید. سپس با فشار دادن کلیدهای shift+a بطور اتوماتیک دامنه بزرگترین موج P را بدست آورید. اینکار را بر روی تمام مولفه‌های عمودی ایستگاه‌های موجود انجام دهید و سپس با مکان‌یابی دوباره (با فشار دادن کلید *l* در پنجره single trace mode) بزرگی m_b را محاسبه کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگای امواج سطحی Ms

- بزرگی Ms یک مقیاس بزرگا بر اساس اندازه‌گیری بیشینه دامنه سرعت امواج سطحی ریلی با پریود ۲۰ ثانیه است. محاسبه بزرگای امواج سطحی حتما باید با زلزله‌نگاشت‌های باند بلند، متوسط و یا پهن انجام بگیرد.
- خوانش دامنه بزرگای امواج سطحی تنها باید بر روی مولفه عمودی زلزله‌نگارهایی با فواصل کانونی بیش از ۱۰۰ کیلومتر انجام می‌گیرد.
- بزرگای امواج سطحی تنها برای زلزله‌های بیش از بزرگای ۵ ممکن است چون این زلزله‌ها می‌توانند دارای دامنه قابل ملاحظه‌ی در امواج سطحی ۲۰ ثانیه باشند.
- برای زلزله‌هایی با بزرگای بیش از ۵.۵ در مقیاس بزرگای محلی و یا دورلرز حتماً بزرگای امواج سطحی را تعیین کنید تا به اندازه واقعی یک زلزله پی ببرید.
- جهت تعیین بزرگی Ms بر روی کلید Ms از منوی پنجره single trace mode فشار دهید و سپس با کمک نشانه بر روی پنجره امواج سطحی زوم کنید. سپس با فشار دادن کلیدهای shift+a بطور اتوماتیک دامنه بزرگترین موج سطحی را بدست آورید. اینکار را بر روی تمام مولفه‌های عمودی ایستگاه‌های موجود انجام دهید و سپس با مکان‌یابی دوباره (با فشار دادن کلید *l* در پنجره single trace mode) بزرگی Ms را محاسبه کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

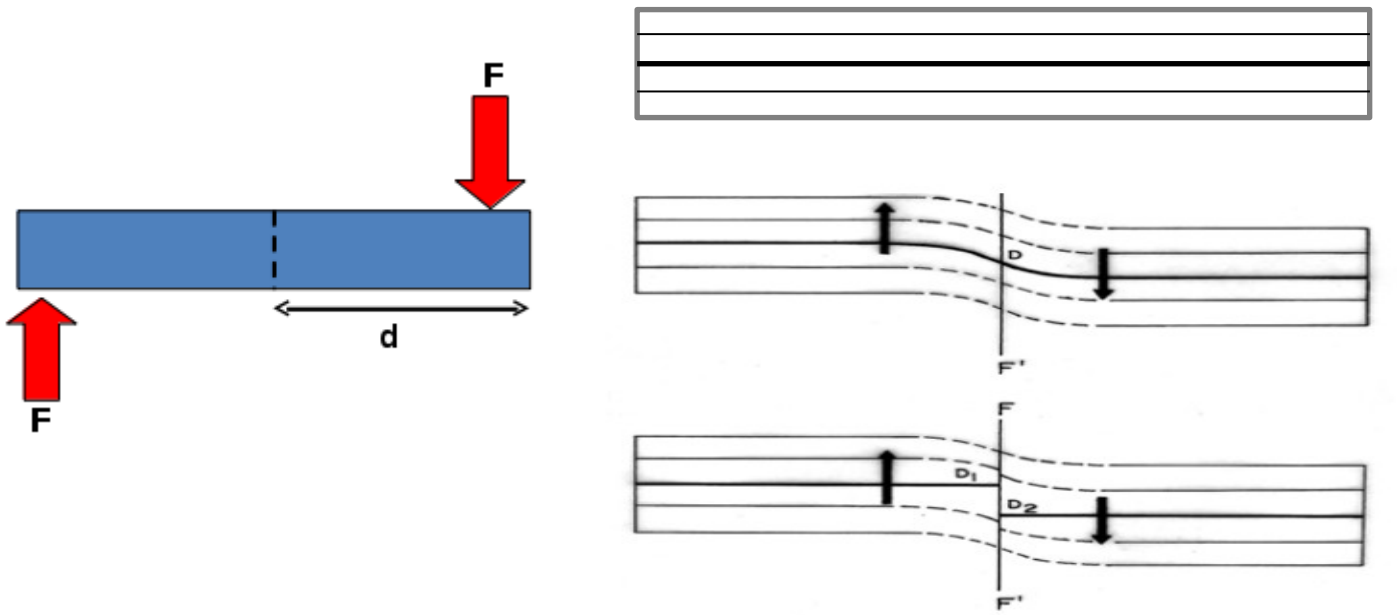
تمرین ۱۲: تعیین بزرگای Ms برای زلزله اهر–ورزقان ۲۰۱۲۰۸

- با استفاده از شکل‌موج‌های باند پهن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله بزرگای سطحی زلزله ورزقان–اهر را محاسبه کنید.
- تفاوت بین بزرگای‌های محاسبه در ایستگاه‌های مختلف در چه بازه‌ای است؟
- علت تفاوت در بزرگاها در ایستگاه‌های مختلف چیست؟
- چرا برنامه برای ایستگاه‌های نزدیک بزرگای سطحی محاسبه نمی‌کند؟

aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگای گشتاوری Mw

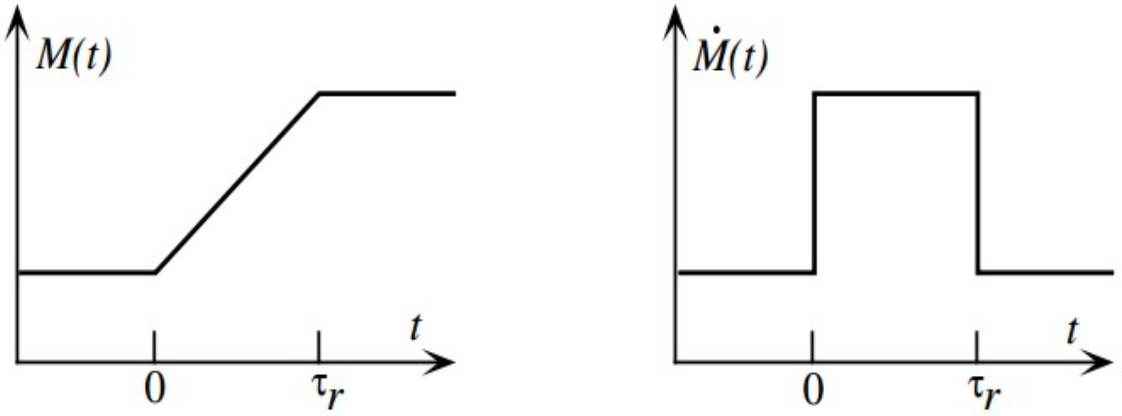
ممان لرزه‌ای کمیتی است که زلزله‌شناسان برای تعیین بزرگای زلزله از آن استفاده می‌کنند و بیانگر مقدار گشتاوری است که لازم است تا یک زلزله اتفاق بیفتد (شکل ۱).



aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگای گشتاوری Mw

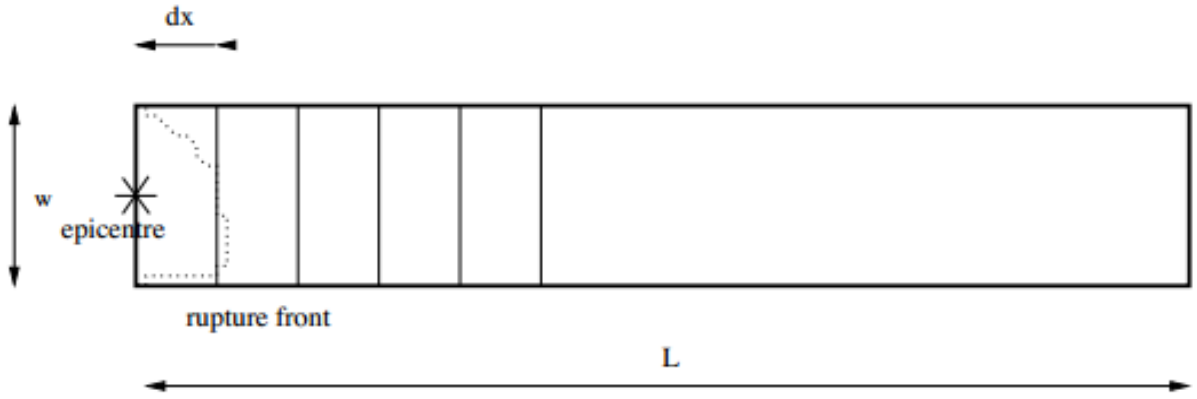
در فواصل دور چشمه‌ی زلزله نقطه‌ای می‌شود. اگر این چشمه را بصورت تابع رمپ (ramp) در نظر بگیریم مشتق آن و جابجایی میدان دور یک boxcar خواهد بود. طول زمانی این جعبه معرف rise time است.



aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگای گشتاوری Mw

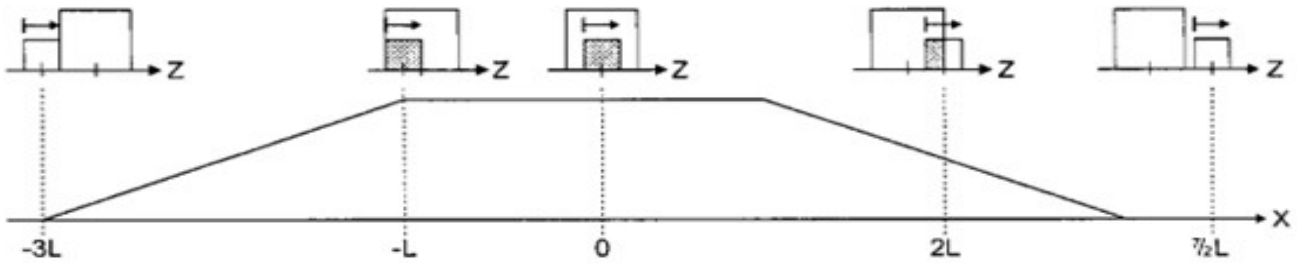
پارگی یک گسل را می‌توان بصورت مدل هسکل که شکل پارگی را بصورت یک مستطیل در نظر می‌گیرد توصیف کرد. شکل موج حاصل از یک مدل چشمه هسکل را می‌توان با استفاده از برهم‌نهی تعداد زیادی چشمه‌ی نقطه‌ای محاسبه کرد. مجموع پاسخ‌های این چشمه‌ها معرف پاسخ کل گسل خواهد بود. تابعی که طول پارگی گسل را توصیف می‌کند خود یک تابع boxcar با عرض τ_d است.

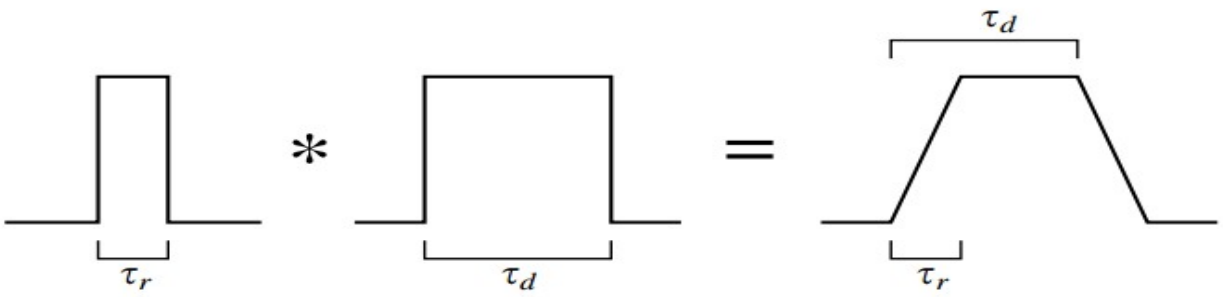


aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگای گشتاوری Mw

اگر لغزش در یک نقطه از گسل را نیز به صورت تابع رمپ در نظر بگیریم شکل جابجایی میدان دور از هم‌آمیخت دو boxcar بدست می‌آید. نتیجه‌ی این هم‌آمیخت یک ذوزنقه خواهد بود که به آن مدل گسل هسکل می‌گویند و یک مدل ساده برای چشمه‌ی خطی است.





aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگای گشتاوری Mw

حال خصوصیات پاسخ میدان دور را در فضای فرکانس بررسی می‌کنیم. تبدیل فوریه‌ی یک boxcar با عرض و ارتفاع واحد از رابطه‌ی ۳ بدست می‌آید.

$$\mathcal{F}[B(t)] = \int_{-1/2}^{1/2} e^{i\omega t} dt = \frac{1}{i\omega}\left(e^{i\omega/2} - e^{-i\omega/2}\right)$$

$$= \frac{1}{i\omega}[i\sin(\omega/2) - i\sin(-\omega/2) + \cos(\omega/2) - \cos(-\omega/2)] \qquad ۳$$

$$= \frac{1}{i\omega} 2i\sin(\omega/2) = \frac{\sin(\omega/2)}{\omega/2}.$$

به این ترتیب تبدیل فوریه برای یک boxcar با عرض τ_r نیز بدست می‌آید.

$$\mathcal{F}[u(t/a)] = |a|u(a\omega).$$

$$\mathcal{F}[B(t/\tau_r)] = \tau_r \mathrm{sinc}(\omega\tau_r/2) \qquad ۴$$

aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگای گشتاوری Mw

مدل گسل هسکل از هم‌آمیخت دو boxcar در فضای زمان بدست می‌آمد. در فضای فرکانس این رابطه معادل با ضرب دو تابع *sinc* خواهد بود (رابطه‌ی ۵).

$$\mathcal{F}[B(t/\tau_r) * B(t/\tau_d)] = \tau_r \tau_d \,\mathrm{sinc}(\omega\tau_r/2)\mathrm{sinc}(\omega\tau_d/2). \qquad ۵$$

رابطه‌ی ۶ طیف دامنه را نشان می‌دهد. در این رابطه g برای تصحیح مقیاس و حذف اثراتی مثل پخش هندسی است.

$$|A(\omega)| = gM_0\,|\mathrm{sinc}(\omega\tau_r/2)|\,|\mathrm{sinc}(\omega\tau_d/2)|\,, \qquad ۶$$

معمولاً طیف دامنه در مقیاس log-log رسم می‌شود. رابطه‌ی ۷ نتیجه‌ی لگاریتم‌گیری از رابطه‌ی ۶ است.

We can approximate $|\mathrm{sinc}\, x|$ as 1 for $x < 1$ and $1/x$ for $x > 1$.

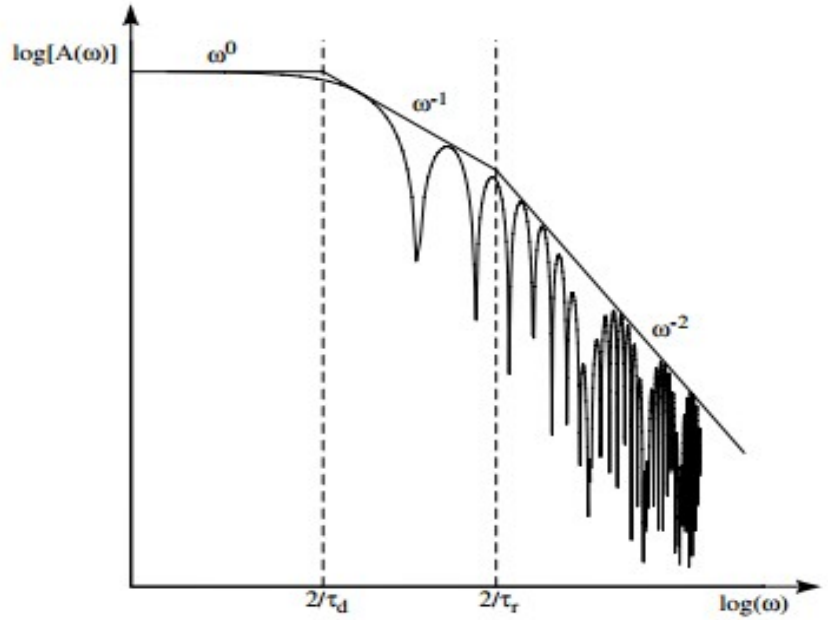
۷

$$\begin{aligned}
\log|A(\omega)| - G &= \log M_0, && \omega < 2/\tau_d \\
&= \log M_0 - \log\frac{\tau_d}{2} - \log\omega, && 2/\tau_d < \omega < 2/\tau_r \\
&= \log M_0 - \log\frac{\tau_d\tau_r}{4} - 2\log\omega, && 2/\tau_r < \omega
\end{aligned}$$

aghods@iasbs.ac.ir

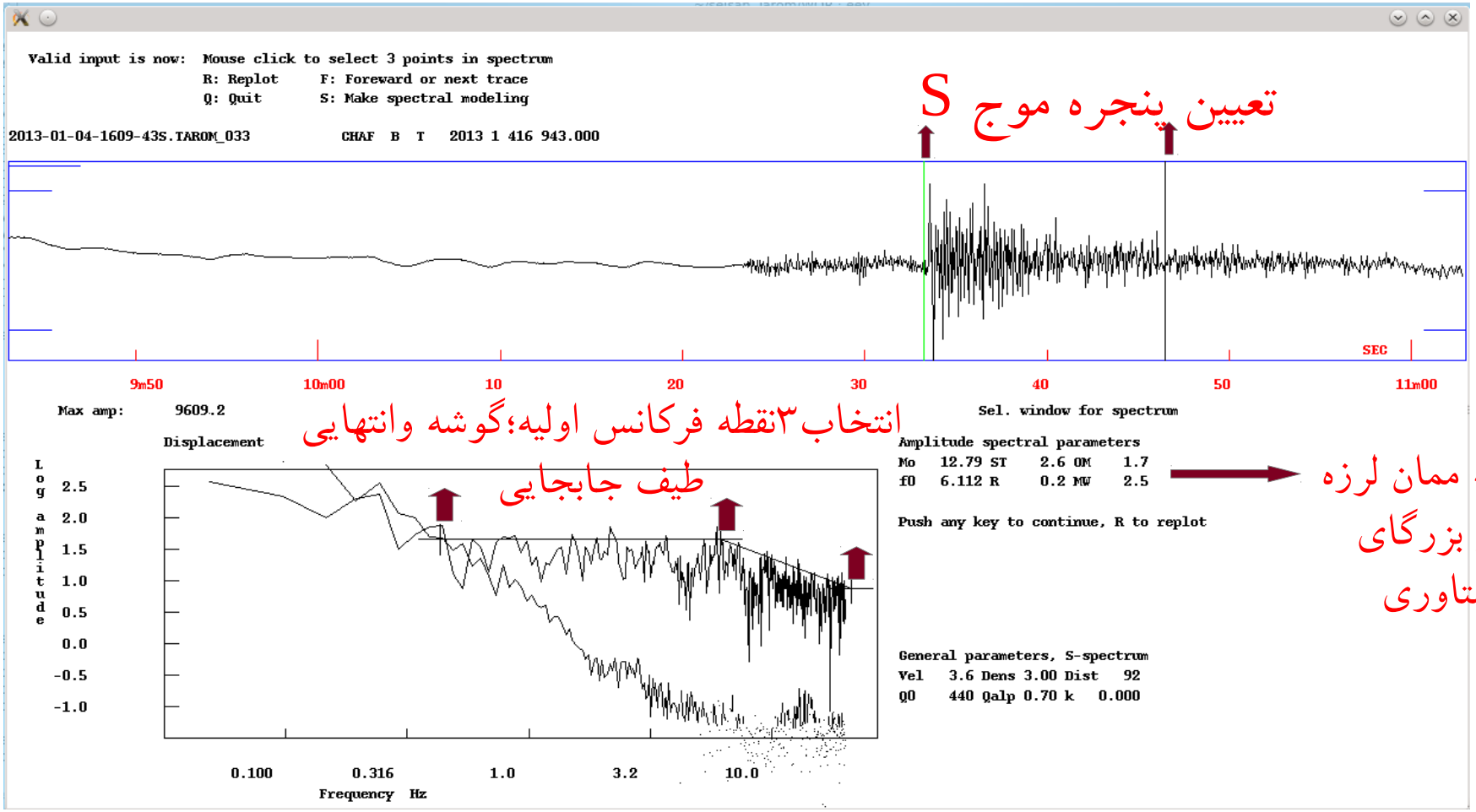
تعیین بزرگای گشتاوری Mw

شکل زیر طیف دامنه یک زلزله را نشان می‌دهد. در فرکانس‌های پایین منحنی طیف دامنه صاف است و مقدارش متناسب با ممان لرزه‌ای است. با بررسی طیف دامنه یک زلزله‌ی واقعی در اصل باید بتوانیم مقادیر ممان لرزه‌ای و rise time و rupture time را بدست آوریم. با وجود این در عمل تنها می‌توانیم یک فرکانس گوشه در رکوردها تشخیص دهیم.



aghods@iasbs.ac.ir

تعیین بزرگای گشتاوری Mw



aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۱۳: تعیین بزرگای گشتاوری Mw

- با استفاده از شکل‌موج‌های باند پهن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله بزرگای گشتاوری زلزله ورزقان–اهر را محاسبه کنید.
- سعی کنید بزرگای گشتاوری را بروی مولفه چرخانده شده T و بر روی زلزله‌نگارهای با فاصله کمتر محاسبه کنید. بهترین حالت استفاده از زلزله‌نگارهایی با فاصله کانونی کمتر از ۱۰۰ کیلومتر است که فاقد امواج سطحی هستند.
- تفاوت بین بزرگای‌های محاسبه در ایستگاه‌های مختلف در چه بازه‌ای است؟
- علت تفاوت در بزرگاها در ایستگاه‌های مختلف چیست؟

aghods@iasbs.ac.ir

ثبت کردن اطلاعات شکل موج یک زلزله جدید در سایزن

- در یک شبکه لرزه‌نگاری مدرن زلزله‌های جدید بصورت اتوماتیک تشخیص داده می‌شوند و فایل‌های مربوطه در یک دایرکتوری قرار می‌گیرد. کاربر باید فایل‌های شکل‌موج وقایع مشکوک به زلزله را تک به تک ببیند و اگر آنها را یک رویداد زلزله تشخیص داد، آنها را ثبت و مکان یابی کند. ثبت کردن زلزله‌ها یعنی اینکه یک S-file برای زلزله درست شود و فایل شکل موج مربوطه به دایرکتوری WAV منتقل شود.

- جهت مشاهده رویدادها با دستور dirf اسامی تمام فایل‌های شکل‌موج جدید را درون فایل filenr.lis لیست می‌کنیم. دستور dirf به مانند دستور dir کار می کند ولی خروجی خود را به ترتیبی که سایزن نیاز دارد درون فایل filenr.lis می‌ریزد.

- حالا با اجرای دستور mulplt در همان دایرکتوری که دستور dirf را اجرا کردیم شروع به دیدن شکل‌موج‌ها می‌کنیم. با اجرای دستور mulplt با پیغام زیر مواجه می شویم.

aghods@localhost WOR]$ mulplt

Filename, number, filenr.lis for all or cont for cont base

- در جواب به سئوال بالا عدد ۱ را تایپ کنید و در جواب به سئوال بعدی عدد ۰ را تایپ کنید. در جواب به سئوالات بعدی فقط کلید enter را بفشارید. با اجرای این عملیات شما شکل‌موج‌ها را در پنجره multi-trace mode که در eev با آن خیلی کار کرده‌اید می‌بینید.

aghods@iasbs.ac.ir

ثبت کردن اطلاعات شکل موج یک زلزله جدید به سایزن (ادامه)

- اگر تشخیص شما این بود که شکل موج مربوط به یک زلزله است، کلید Regis از منوی صفحه‌ای که در آن هستید را بفشارید. این‌کار شما را به محیط Text خط فرمان می‌برد و برای ثبت کردن زلزله شما باید به چند سئوال جواب بدهید. اولین سئوال در مورد نوع زلزله از نظر مسافت زلزله‌است

```
ENTER EVENT TYPE L,R OR D   WRONG TYPE, TRY AGAIN
```

- زلزله‌ها بر اساس فاصله‌ای که از مرکز زلزله دارند به سه نوع محلی L ، منطقه‌ای R و دور D تقسیم می شوند. تقریباً تمام زلزله‌هایی که شبکه ایران با آن بطور معمول سر و کار دارد از نوع L است. پس L تایپ کنید و کلید enter را بزنید. در قدم بعدی برنامه کد اپراتوری که عملیات ثبت را انجام‌می‌دهد را می‌خواهد. هر اپراتور باید برای خود یک کد چهار حرفی شخصی داشته باشد. بعد از ورود کد شخصی اپراتور باید اسم بانک داده‌ای که می خواهد داده در آن ثبت گردد را وارد کند. برای حالت ما این کد GHODS است. با ورود اسم بانک و زدن کلید enter برنامه از شما سئوال می‌کند که آیا مطمئن هستید که می‌خواهید زلزله را ثبت کنید که در جواب، شما جواب مثبت Y را می‌دهید. با اینکار یک S-file برای زلزله مورد نظر شما ایجاد می‌شود و همچنین یک کپی از شکل موج شما به شاخه WAV کپی می‌گردد. اگر شما از قبل زلزله را ثبت کرده باشید یک اخطار مناسب دریافت خواهید کرد. بعد از اتمام ثبت اولین زلزله عملیات برای فایل‌های شکل موج بعدی تکرار می‌شود.

- بعد از ثبت داده‌ها، از mulplt خارج شوید و با استفاده از eev آنها را مکان یابی کنید. هر گونه تعیین فاز و یا مکان‌یابی با استفاده از mulplt هدر دادن زمان است چون اطلاعات تعیین شده توسط شما در داخل S-file ثبت نمی‌شود.

aghods@iasbs.ac.ir

ثبت گروهی شکل‌موج‌ها autoreg

- زمانی که شما تعداد زیادی شکل موج زلزله دارید ثبت آنها با استفاده از دستور mulplt بصورت تک به تک بسیار وقت‌گیر است. در این حالت می‌توان همه شکل‌موج‌ها را بطور همزمان در بانک داده مربوطه ثبت کرد.

- بعد از اینکه با دستور * dirf اسامی همه شکل موج‌ها را در فایل filenr.lis لیست کردیم دستور autoreg را اجرا می کنیم. برنامه اول فاصله زلزله‌ها (محلی، منطقه‌ای و دور) را می‌پرسد که ما بر اساس اطلاعاتی که از شبکه داریم جواب مناسب را می‌دهیم. در قدم بعد برنامه می‌پرسد آیا شکل موج‌ها را به دایرکتوری WAVانتقال دهد یا آن‌ها را صرفا به دایرکتوری نامبرده کپی کند. در قدم بعد برنامه نام بانک داده‌ای که می‌خواهید زلزله‌ها را در آن ثبت کنید را می‌خواهد. در نهایت برنامه کد اپراتور را هم می‌خواهد که آن را به صورت یک کد چهار رقمی وارد می‌کنید.

- حال فرض کنید بعد از ثبت گروهی شکل موج‌ها آن‌ها را با دستور eev مشاهده کردید و تشخیص دادید که یکی از آن‌ها زلزله نیست و یا یک زلزله مطلوب (مثلاً یک زلزله دور است که شما علاقه‌ای به مطالعه آن ندارید) و می‌خواهید آن را از بانک داده حذف کنید. برای حذف شکل موج در پنجره multi-trace کلید > را می‌زنید. برنامه بطور اتوماتیک یک کپی از s-file‌ی که حذف کردید را در داخل دایرکتوری DELET از بانک داده‌ای که در پوشه REA ساختید نگه خواهد داشت تا در صورت اشتباه بتوانید آن را دوباره به سز جای خود برگردانید.

aghods@iasbs.ac.ir

تمرین ۱۴: ثبت گروهی شکل‌موج‌ها autoreg

- با استفاده از محتویات پوشه

2013-04-09-1152-Kaki_Main_Event

فایل‌های زلزله را ثبت گروهی کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

وارد کردن دستی اطلاعات فاز شبکه‌های دیگر به سایزن

- فایل S-file که تمام مشخصات بولتنی و فازهای یک زلزله را در خود دارد یک فایل متنی است. این خاصیت به ما اجازه می‌دهد که به راحتی اطلاعات زمان رسید ایستگاه‌هایی که از آنها شکل موج نداریم ولی از طریق سایر روش‌ها (مثال:ارتباط تلفنی یا از وب‌سایت‌های لرزه‌نگاری) به دست ما رسیده را وارد فایل S-file کنیم. برای اینکار زلزله مود نظر خود را با استفاده از eev پیدا کنید و کلید e را اجرا کنید. اینکار باعث باز شدن S-file در یک ویرایشگر می‌شود که به شما اجازه وارد کردن دستی زمان رسیدها را می‌دهد. فقط دقت کنید که فرمت لازمه داده‌های زمان رسید را رعایت کنید.

- اطلاعات مربوط به بیشینه دامنه مربوط به بزرگاهای متفاوت هم قابل وارد کردن در S-file است. نام فاز مربوط به بزرگای محلی، امواج سطحی و امواج درونی به ترتیب AML، AMS و AMB است.

aghods@iasbs.ac.ir

تعریف ایستگاه‌های جدید به سایزن

- فایل STATION0.HYP که معمولاً در دایرکتوری DAT سایزن قرار دارد حاوی اطلاعات ایستگاه‌های موجود است. ایستگاه‌های جدید باید به این فایل اضافه شوند. فرمت اطلاعات ایستگاه‌ها خیلی شبیه به فرمت استاندارد HYPO71 است که در اینجا با یک مثال به شرح آن می‌پردازیم.

2250	5107.56E	3554.48N	CHTH
ارتفاع از سطح دریا به متر	طول جغرافیایی. دو رقم اول از سمت چپ قسمت صحیح طول جغرافیایی به درجه است. عددهای بعدی قسمت غیر صحیح طول جغرافیایی به دقیقه است.	عرض جغرافیایی. دو رقم اول از سمت چپ قسمت صحیح عرض جغرافیایی به درجه است. عددهای بعدی قسمت غیر صحیح عرض جغرافیایی به دقیقه است	اسم ایستگاه که می‌تواند تا پنج حرف باشد

- ارتفاع ایستگاه‌ها برای ایستگاه‌هایی که در چاه‌ها قرار دارند می‌تواند مقادیر منفی به خود بگیرد.
- در صورتی که اطلاعاتی از قبیل تاخیر در رسید فاز P و S و یا تصحیح ایستگاه برای بزرگی خاصی وجود داشته باشد می‌توان در ادامه خط در سمت راست آنها را معرفی کرد.

aghods@iasbs.ac.ir

تعریف مدل زمین به سایزن

- مدل زمین به مانند اطلاعات ایستگاه‌های لرزه‌نگار در فایل STATION0.HYP که در شاخه DAT سایزن قرار دارد تعریف می‌گردد. اگر ما علاقه‌مند به آزمایش یک مدل زمین برای یک زلزله‌ی خاص هستیم می توانیم یک فایل STATION0.HYP در شاخه WOR قرار دهیم و در آن مدل جدیدی را مطرح کنیم. برنامه مکان یابی، اول شاخه ای که در آن کار می‌کنیم (بطور معمول WOR) را برای فایل STATION0.HYP می‌گردد و اگر پیدا نکرد آنوقت فایل مذکور را از شاخه DAT می‌خواند. مدل زمین تقریباً در انتهای فایل STATION0.HYP قرار دارد که در اینجا به شرح آن می‌پردازیم. این مدل زمین برای زلزله‌های محلی و منطقه‌ای بکار می‌رود.

		عمق سطح بالایی لایه (km)	سرعت موج P (km/s)
لایه اول		-3.0	5.4
لایه دوم		6.0	5.9
لایه سوم		14.0	6.3
لایه چهارم		18.0	6.5
لایه پنجم(مشخص کننده مرز موهو)	N	51.0	8.05
پایان لایه های مدل زمین		80.0	8.1

aghods@iasbs.ac.ir

تعریف مدل زمین به سایزن (ادامه)

در خط پایانی فایل STATION0.HYP پارامترهای مورد استفاده در مدل زمین تعریف می‌گردد. عدد اول نقطه شروع عمق (۱۵ به کیلومتر) در محاسبات تکراری برای پیدا کردن عمق زلزله را مشخص می‌کند. عدد دوم مشخص می‌کند که بعد از فاصله مشخص شده (۶۰۰ کیلومتر) فازها وزن‌دار شده و وزن کمتری بگیرند. عدد سوم مشخص می‌کند که بعد از ۱۳۰۰ کیلومتر فازها وزن صفر بگیرند و یا عملاً فاز در مکان‌یابی استفاده نشود. عدد چهارم نسبت Vp/Vs است. عدد پنجم تعداد عمق‌ها در فرآیند تکراری تعیین عمق را مشخص می‌کند. عدد آخر فواصل بین شروع عمق‌ها را معین می‌کند.

15.0	600.	1300.	1.73	40	5.	1.0

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه تغییر فرمول بزرگای محلی در سایزن

- پارامترهای بزرگی همگی در فایل STATION0.HYP توسط متغیرهای TEST معرفی می‌گردند. معمولاً مقادیر اولیه این پارامترها بصورت معقولی تنظیم شده‌اند و دستکاری آنها تنها در صورتی که فرمول بزرگای بهتری در دست است، لازم می‌شود.
- بزرگی Ml بصورت زیر و توسط پارامترهای زیر معرفی می گردد.

$$Ml = a * \log (amp) + b * \log (dist) + c * dist + d$$

وقتی که a و b و c و d ضرایبی هستند که باید تعریف گردند. Log لگاریتم بر پایه ۱۰ است و amp دامنه بیشینه قله تا دره بیشینه دامنه به nm است . dist فاصله به km است.

مقادیر پیش فرض که بر اساس مدل هاتون و بور است به شرح زیر هستند،

$$a = TEST (75) = 1 \text{ ، } b = TEST (76) = 1.11$$

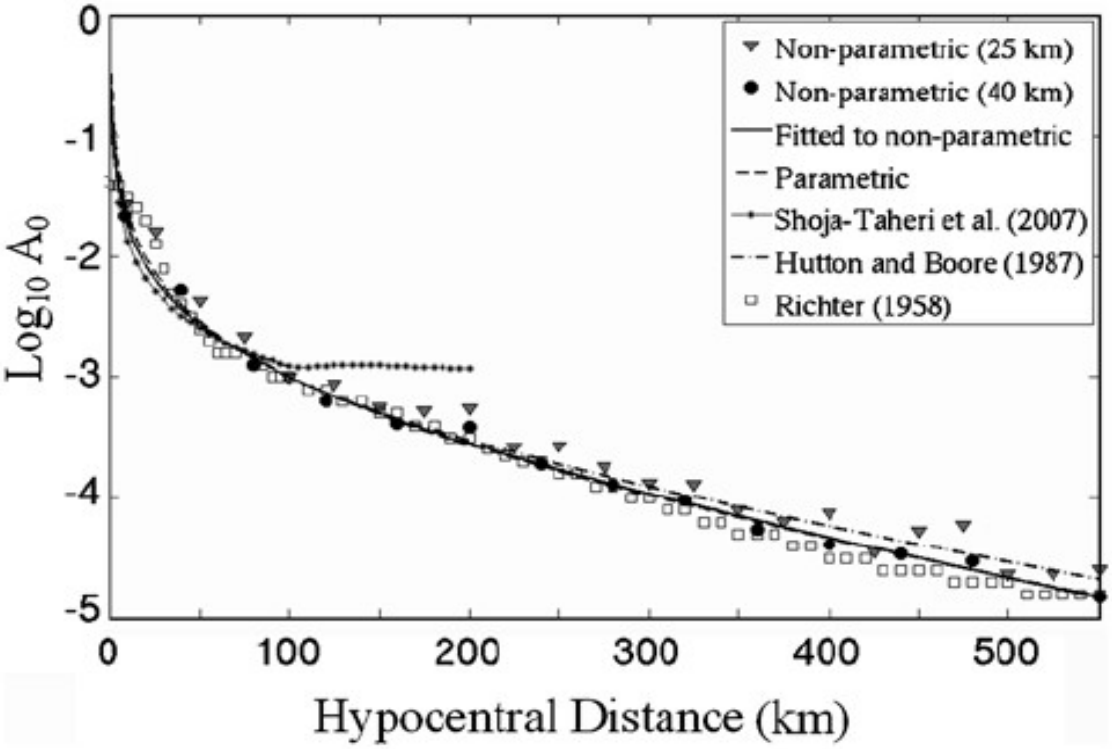
$$c = TEST (77) = 0.00189 \text{، } d = TEST (78) = 2.09$$

برای سایر بزرگی‌ها دفترچه HYPO71 را مطالعه کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

کدام فرمول بزرگای محلی؟

- فرمول بزرگای محلی وابسته به زمین‌شناسی منطقه دارد. شکل مقابل فرمول بزرگای عسکری و همکاران (خط پیوسته) برای البرز را با دیگر مدل‌های مطرح از جمله مدل هاتون و بور مقایسه کرده است. مدل عسکری و همکاران تقریباً مشابه مدل هاتون و بور است.



Askari, Ghods and Sobouti, BSSA, 2009

aghods@iasbs.ac.ir

معرفی منحنی پاسخ ایستگاه‌های جدید به سایزن

جهت اندازه گیری بزرگی زلزله ها حتماً نیاز به معرفی تابع پاسخ دستگاه ثبت کننده زلزله داریم. پاسخ دستگاهی از رابطه‌ی ۱ بدست می‌آید.

$$T(\omega) = A_0 \times \frac{(i\omega - z_1)(i\omega - z_2)...(i\omega - z_n)}{(i\omega - p_1)(i\omega - p_2)...(i\omega - p_m)} \qquad ۱$$

در رابطه‌ی ۱ مقادیر z و p با اندیس ۱ تا n به ترتیب صفر و قطب‌های دستگاه هستند. مقدار A از رابطه‌ی ۲ بدست می‌آید.

$$A_0 = normalization\ \ factor \times Sensor\ Gain \times Digitizer\ Gain \qquad ۲$$

در رابطه‌ی ۲ ضریب نرمالیز کردن (normalization factor) در یک هرتز است. Sensor Gain برحسب (V/m/s) است و Digitizer Gain برحسب Cont/V است.

aghods@iasbs.ac.ir

معرفی منحنی پاسخ ایستگاه‌های جدید به سایزن

اگر صفر و قطب‌ها بر حسب هرتز داده شده باشند باید با استفاده از رابطه‌ی ۳ به رادیان تبدیل شوند.

$$Zero\ (radian) = Zero\ (Hz) \times 2\pi$$
$$Pole\ (radian) = Pole\ (Hz) \times 2\pi \qquad (۳)$$
$$normalization\ factor\ (radian) = normalization\ factor\ (Hz) \times 2\pi^{\,numberof\ poles - numberof\ zeros}$$

پاسخ دستگاهی باید در نهایت برحسب جابجایی باشد برای این‌کار یک صفر به صفرهای دستگاه اضافه کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

معرفی منحنی پاسخ ایستگاه‌های جدید به سایزن

- منحنی‌های تابع پاسخ یک زلزله نگار را می توان با دستور RESP ایجاد کرد. برای هر مولفه از هر ایستگاه یک فایل منحنی پاسخ باید ایجاد شود و در پوشه CAL قرار گیرد. اسم این فایل‌ها شکل کلی STATTCOMP.YYYY-MM-DD.hh.mm-FOR را دارد. وقتی که STATT که ایستگاه، COMP معرف مولفه‌ی لرزه نگار، YYYY سال، MM ماه، DD روز، hh ساعت، mm ماه و FOR یک کد سه حرفی معرف فرمت فایل منحنی پاسخ است که می تواند SEI (سایزن) یا GSE باشد.
- فایل پاسخ می‌تواند به دو گونه اطلاعات مربوط به منحنی پاسخ را ذخیره کند. بصورت قطب و صفر (Pole and Zero) و یا بصورت فرکانس دامنه و فاز (FAP). فایل پاسخ سرعت یک زلزله‌نگار مکانیکی بطور معمول بصورت زیر است که در آن وقتی که h ضریب damping و ω_0 فرکانس ویژه زلزله‌نگار است. G مقدار ترکیبی بزرگنمایی زلزله‌نگار و دیجیتایزر است. رابطه پایین را می‌توان بصورت مجموعه‌ای از چندجمله‌ای‌ها در صورت (صفرها) و در مخرج (قطب‌ها) نوشت. معمولاً تعداد قطب‌ها و صفرهای یک زلزله‌نگار باندپهن امروزی بیشتر از زلزله‌نگارهای الکترومکانیکی باندکوتاه یا بلند است.

$$T(\omega) = G \frac{\omega^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - 2i\,\omega\omega_0 h}$$

- اطلاعات ورودی مورد نیاز برای برنامه RESP مقدار ضریب کاهندگی (برای زلزله‌نگارهای مکانیکی بدون قطب و صفر)، مقدار بزرگنمایی زلزله‌نگار (Sensor gain) و مقدار بزرگنمایی دیجیتایزر (Recording media gain) است.

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه ساخت منحنی پاسخ دستگاهی برای ایستگاه جدید

برای ساخت منحنی پاسخ دستگاهی برای یک ایستگاه باید یک فایل ورودی شامل قطب ها و صفرها و یک عدد ثابت که ازحاصلضرب های زیر بدست می‌آید ساخت:

$$const = Sensor\ Gain\,(v/m/s) \times Digitizer\ Gain\,(v/count) \times Normalization\ Factor \times (2\pi)^{number\ of\ poles - number\ of\ zeros}$$

فرمت فایل ورودی بصورت زیر است:

```
6 3 5.71e20 6
-4.442 4.442
-4.442 -4.442
-392.0 850.7
-392.0 -850.7
-2199.0 0.0
-475.0 0.0
0.0 0.0
0.0 0.0
0.0 0.0
```

سطر اول یعنی این دستگاه ۶ قطب و ۳ صفر دارد و ضریب ثابت آن ۵.۷۱×۱۰^{۲۰} است. در سطرهای بعد ابتدا قطب‌ها و سپس صفرها برحسب رادیان نوشته می‌شوند. نکته‌ای که باید توجه کنیم این است که ما پاسخ جابجایی دستگاه را می‌خواهیم و باید یک صفر به تعداد صفرها اضافه کنیم. یعنی در سطر اول به جای ۳ بنویسیم ۴ و در سطر آخر هم یک صفردیگر اضافه کنیم. فایل روبرو پاسخ سرعت را می‌دهد. توجه کنیم که صفرها لزوماً 0.0 نیستند.

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه ساخت منحنی پاسخ دستگاهی برای ایستگاه جدید

برای ساخت پاسخ دستگاهی دستور resp را در جایی که فایل ورودی قطب و صفر را ساختیم اجرا می‌کنیم. اولین سؤال درمورد فرمت خروجی است که گزینه ۲ را انتخاب می‌کنیم زیرا با فرمت seisan و برحسب poles&zeros می‌خواهیم تابع پاسخ را بسازیم. سؤال بعدی درمورد نوع دستگاه است که گزینه ۱ را انتخاب می‌کنیم. به ۳ سؤال بعدی هیچ پاسخی نمی‌دهیم و با زدن enter از آن‌ها عبور می کنیم چون مقادیر gain را ما در مقدار const تاثیر داده‌ایم و همچنین فرض می‌کنیم هیچ فیلتری هم نداریم. در قسمت بعدی نام فایل ورودی قطب و صفر را می‌دهیم. به سؤال بعدی هم پاسخی نمی‌دهیم. با ۲ بار زدن enter می‌توانیم منحنی های پاسخ را ببینیم. به سؤال بعدی جواب مثبت y می‌دهیم. در قدم بعدی برنامه اسم ایستگاه را می‌پرسد که حتماً با حروف بزرگ وارد می‌کنیم. در قدم بعد برنامه نوع دستگاه و مولفه را می‌پرسد. در صورتی که نوع دستگاه باندپهن باشد گزینه B را انتخاب کنید و بعد آن دو کاراکتر خالی میگذاریم و در کاراکتر چهارم نام مولفه (Z، E،N)را وارد می‌کنیم. در نهایت برنامه تاریخ و مشخصات محل دستگاه را می‌پرسد. تاریخ را برابر با تاریخی که در آن دستگاه کالیبره شده می‌دهیم.

aghods@iasbs.ac.ir

ایجاد یک بانک جدید داده

- تا بحال ما با بانک داده TEHRA که قبلاً ساختار فایلی آن درست شده بود کار کردیم. اگر شما بخواهید بانک داده خود را درست کنید این کار به سادگی با دستور makerea امکان‌پذیر است.
- در خط فرمان لینوکس makerea را تایپ کنید. برنامه ابتدا از شما نام بانک داده جدید را می‌پرسد. نام بانک باید پنج حرفی و بصورت حروف بزرگ باشد. نام بانک را بدهید و کلید enter را فشار دهید. برنامه سپس سال و ماه شروع بانک داده و همچنین سال و ماه پایان بانک داده از شما می‌پرسد. این اطلاعات را وارد کنید. بعد از این از شما سوال خواهد کرد که آیا ساختار فایل را برای دایرکتوری s-file ها (REA) می خواهید یا برای دایرکتوری شکل موج ها (WAV) و یا هر دو BOTH را تایپ کنید و کلید enter را بفشارید. با این کار برنامه شروع به ساختن ساختار فایلی می کند.
- ساختن ساختار فایلی برای REA ضروری و برای WAV اختیاری است. اگر تعداد فایل‌های موج زیاد است توصیه می‌شود که برای WAV هم یک ساختار فایلی درست گردد.
- با ساخته شدن ساختار فایلی شما می توانید با mulplt و یا دیگر نرم افزارها (SPLIT) داده ها را به بانک اطلاعاتی خود وارد کنید.
- با دستور makerea می‌توانید طول بانک اطلاعاتی که قبلاً درست کردید را افزایش دهید.

aghods@iasbs.ac.ir

تبدیل داده های شکل موج از فرمت نانومتریک به فرمت سایزن

- داده‌های شبکه لرزه‌نگاری ایران وابسته به موسسه ژئوفیزیک دارای فرمت نانومتریکس (فرمت Y) هستند که بطور مستقیم فقط قابل استفاده در نرم‌افزار DAN ، نرم‌افزار آنالیز داده‌های زلزله‌ای شرکت نانومتریکس است. جهت مشاهده و آنالیز داده‌های شبکه ایران در سایزن باید ابتدا داده‌های لرزه‌ای از فرمت نانومتریکس به فرمت سایزن تبدیل شود.

- تبدیل داده‌های نانومتریکس به سایزن توسط برنامه nansei ممکن است. nansei با استفاده از نرم‌افزار y5dump که توسط شرکت نانومتریکس نوشته شده تبدیل را انجام می‌دهد. متاسفانه نرم‌افزار y5dump فقط بر روی سیستم DOS و SUN قابل اجرا است.

- توصیه می‌شود که با استفاده از یک اسکریپت ساده متلب(conversions/nanometrics_waveform_to_nordic_waveform/extract_irsc.m) کار تبدیل داده‌های نانومتریکس به سایزن تک مولفه‌ای را بر روی سیستم عامل ویندوز انجام بدهید. فایل‌های ورودی این اسکریپت فایل‌های زیپ‌شده‌ای است که پایگاه داده لرزه‌نگاری در اختیار کاربران قرار می‌دهد.

- داده‌های تبدیل شده را می‌توانید با دستور `seisei` به هم بچسبانید. یک مشکل بزرگ در شبکه مؤسسه ژئوفیزیک این است که گاهی اوقات شکل موج یک مولفه به جای یک فایل متشکل از صدها فایل کوچک است. اگر بخواهید این مشکل را حل کنید باید در محیط لینوکس با استفاده از اسکریپت conversions/nanometrics_waveform_to_nordic_waveform/convert_irsc فایل‌ها را بهم بچسبانید.

aghods@iasbs.ac.ir

جمع‌آوری بانک اطلاعاتی زلزله‌ها در یک فایل

- بعد از مکان‌یابی زلزله‌ها به دلایل متفاوت ما نیاز داریم همه S-file های موجود در بانک داده را جمع‌آوری کنیم. این کار به ما اجازه می‌دهد که براحتی اطلاعات تولید شده را به همکاران بفرستیم و یا بر روی آن‌ها کارهای آماری انجام بدهیم.
- از دستور `collect` برای جمع‌آوری همه S-file ها استفاده می‌کنیم. دستور `collect` را در کنسول لینوکس تایپ کنید و کلید enter را بفشارید. برنامه از شما نام بانک اطلاعاتی که در آن S-file ها هستند را می‌خواهد. اسم بانک را بدهید و enter را بفشارید. برنامه از شما بازه‌ی زمانی (سال شروع و سال پایانی) که می‌خواهید S-file ها را جمع کنید می‌پرسد. بازه زمانی را بدهید. بعد از آن برنامه یک سئوال به صورت (Compact output file Y/N=default) می‌پرسد. برای اینکه همه داده‌ها نه خلاصه شده آن‌ها را جمع کنید، کلید enter را بفشارید. برنامه آمار فایل‌های جمع‌آوری شده را بر روی صفحه کنسول می‌نویسد و تمام فایل‌ها جمع‌آوری شده را درون یک فایل به نام collect.out قرار می‌دهد.
- فایل collect.out به مانند S-file یک فایل متنی است که محتویات آن را براحتی می‌توان با یک ویرایشگر معمولی مشاهده کرد.

aghods@iasbs.ac.ir

گزارش‌گیری از بانک اطلاعاتی زلزله‌ها

- بعد از مکان‌یابی زلزله‌ها، معمولاً ما نیاز داریم از داده‌های تولید شده یک کاتالوگ یا یک گزارش شامل تاریخ، زمان، بزرگا، مکان، عمق، بزرگا را تولید کنیم. جهت تولید یک گزارش ابتدا همه S-file های موجود در بانک داده را با دستور `collect` جمع‌آوری کنید. سپس دستور `report collect.out` را در خط فرمان تایپ کنید و کلید enter را بفشارید. با اجرای دستور راهنمای دستور و بعد از آن خط زیر نشان داده خواهد شد.

```
Date TimeE L E LatE LonE Dep E F Aga Nsta Rms Gap McA MlA MbA MsA MwA Fp Spec
```

با تایپ کردن یک حرف به مانند x در زیر هر کدام از ستون‌های بالا، ستون مربوطه در گزارش شما خواهد بود. Nsta تعداد ایستگاه‌ها، Fp پارامترهای سازوکار کانونی هستند. بعد از انتخاب ستون کلید enter را بفشارید. خروجی برنامه در یک فایل متنی به نام report.out چاپ می‌شود.

aghods@iasbs.ac.ir

گزارش‌گیری از بانک اطلاعاتی زلزله‌ها (ادامه)

```
azam@linux-epdh:~/seisan_test/WOR> report collect.out
  Below is shown parameters which can be chosen for output.
  A return will chose all, placing any character under a field
  will chose that parameter in the output. Each field starts
  with a capital letter and ends within the following blank.
  The order of the output can be changed by placing a number
  under the field and fields will be written out in the order
  of the numbers. E after time, lat, lon and dep are errors,
  L E is distance and event id s, F is both fix flags and A is
  agency for magnitude.
  The following example shows that Mc, Depth(Dep) and Time with
  error are selected and written out in given order.
Date TimeE L E LatE LonE Dep E F Aga Nsta Rms Gap McA MlA MbA MsA MwA Fp Spec
      30  45             20                       10

Date TimeE L E LatE LonE Dep E F Aga Nsta Rms Gap McA MlA MbA MsA MwA Fp Spec
x     x         x    x                    x           x
  Number of output fields           6

  Number of events                                  1267
  Number of events with spectra:                       0
  Number of events with fault plane solution:          0
  Number of events with error estimates:               0
  Number of events with mc             :               0
  Number of events with ml             :               0
  Number of events with mb             :               0
  Number of events with ms             :               0
  Number of events with mw             :               0

  Output report file is report.out
  Output nordic file is report_n.out
  Output of choises used in report.inp

azam@linux-epdh:~/seisan_test/WOR>
```

aghods@iasbs.ac.ir

انتخاب زلزله‌ها از بانک اطلاعاتی

برای انتخاب تعدادی زلزله بر اساس محدوده زمانی و جغرافیایی، مقدار RMS، گاف آزیموتی، خطای مکان‌یابی، تعداد ایستگاه‌های ثبت کننده، و محدوده بزرگا و عمق کانونی باید از دستور `select` استفاده کرد. برنامه می‌تواند انتخاب را بر روی زلزله‌های موجود در یک بانک داده انجام دهد و یا انتخاب را بر روی مجموعه‌ای از s-file ها که به صورت یک فایل به نرم‌افزار معرفی شده انجام دهد. ابتدا تاریخ شروع و پایان زلزله‌های درخواستی را به برنامه می‌دهیم. سپس از روی یک فهرست ۲۴ تایی پارامترهای انتخابی از برنامه می‌خواهیم تا زلزله‌های موردنظرمان را پیدا کند. زلزله‌های انتخاب شده در فایل خروجی select.out نوشته می‌شوند که دارای همان فرمت فایلcollect.out است. فایلی که حاوی اطلاعات مربوط به نحوه‌ی انتخاب شما باشد select.inp است.

aghods@iasbs.ac.ir

تبدیل کردن اطلاعات مکانی زلزله‌ها به فرمت KML

- پس از تهیه collect.out و select.out از زلزله های مکان یابی شده، می‌توانید این زلزله ها را بر روی google earth نمایش دهید. برای این کار باید فایل ورودی به google earth به فرمت KML باشد. بنابراین در داخل پوشه WOR دستور gmap را در خط فرمان تایپ کنید و enter را بفشارید. سپس نام فایل ورودی (collect.out یا select.out) را تایپ کنید.

در این صورت یک فایل gmap.kml به عنوان خروجی ایجاد می‌شود که می‌توان آن را روی google earth اعمال کرد و محل زلزله ها را نشان داد.

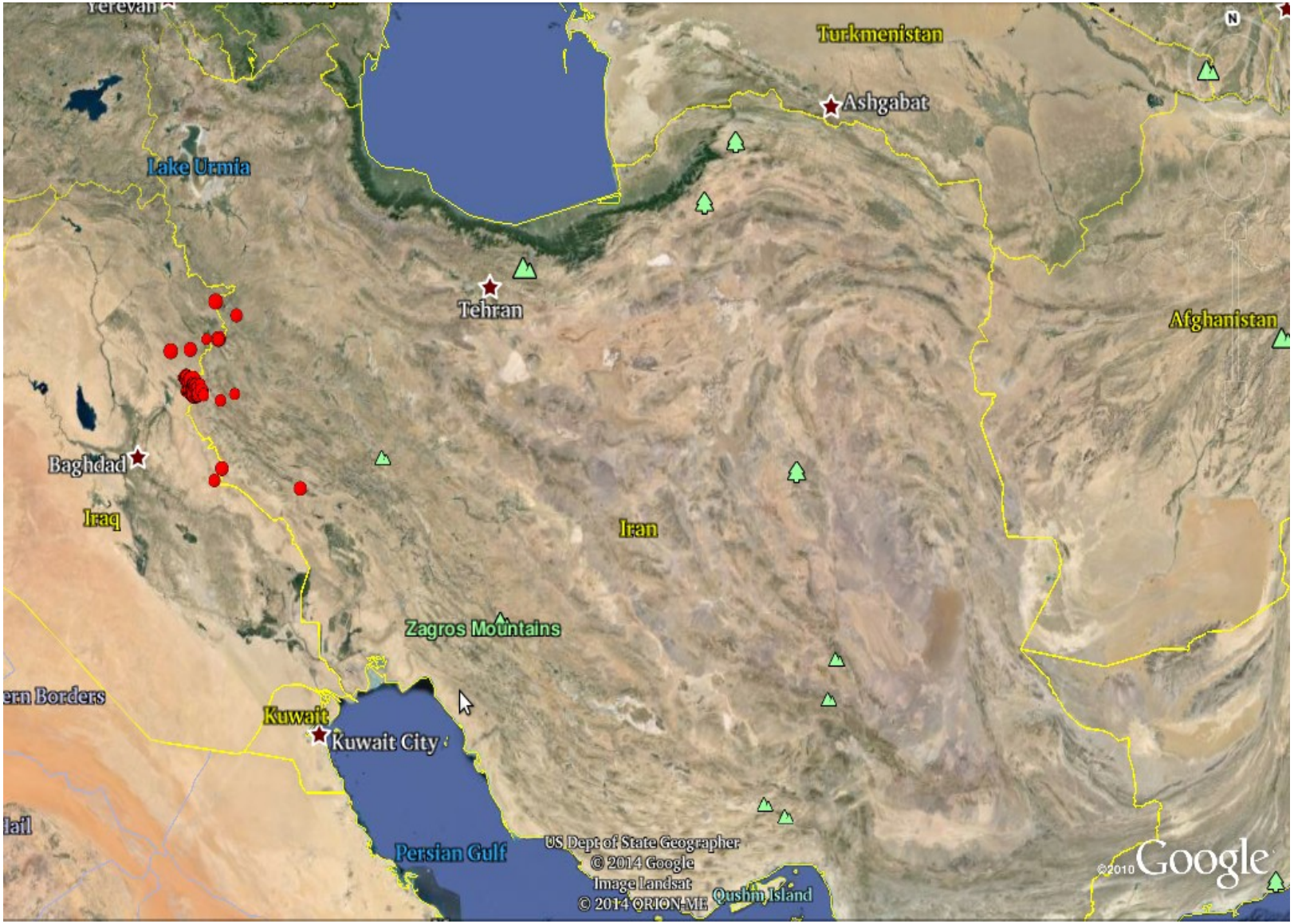
aghods@iasbs.ac.ir

نحوه تلفیق دو کاتالوگ زلزله

- فرض کنید اطلاعات چند زلزله را بصورت دو collect.out جدا از هم داشته باشید(مثلا یک فایل مربوط به ایستگاه های مؤسسه و دیگری مربوط به ایستگاه های پژوهشگاه باشد) و بخواهید آن را به بانک داده خود اضافه کنید. برای اینکه هر s-file در پوشه REA در پوشه ماه مربوط به خود قرار بگیرد دستور `split` را تایپ کرده و enter را فشار دهید. و نام یکی از فایل‌های collect.out را وارد کنید. سپس دوباره دستور split را تایپ کرده و اینبار نام فایل collect.out دوم را وارد کنید. در این مرحله از بین گزینه های ارائه شده create new events for ALL duplicates (*)را انتخاب کنید.
- توجه شود که در بعضی از سیستم‌های لینوکس دستور `split` سایزن با دستور مشابه در لینوکس اشتباه گرفته می‌شود. برای رفع این مشکل به دایرکتروی PRO سایزن بروید و نام دستور `split` را به چیز دیگری به مانند `split_sei` تغییر بدهید.
- مشاهده می‌کنید که برای هر زلزله یکسان، دو s-file مجزا ایجاد می‌شود(مثلاً یکی حاوی ایستگاه های مؤسسه و دیگری حاوی ایستگاه های پژوهشگاه است). برای حل این مشکل دستور associ را تایپ کنید و نام بانک داده و تاریخ داده‌ها را وارد کنید. در مرحله آخر از بین ۳گزینه موجود، گزینه (۳) یعنی associate and merge events delete merged events را انتخاب کنید تا s-file زلزله های مشترک با هم تلفیق شوند.

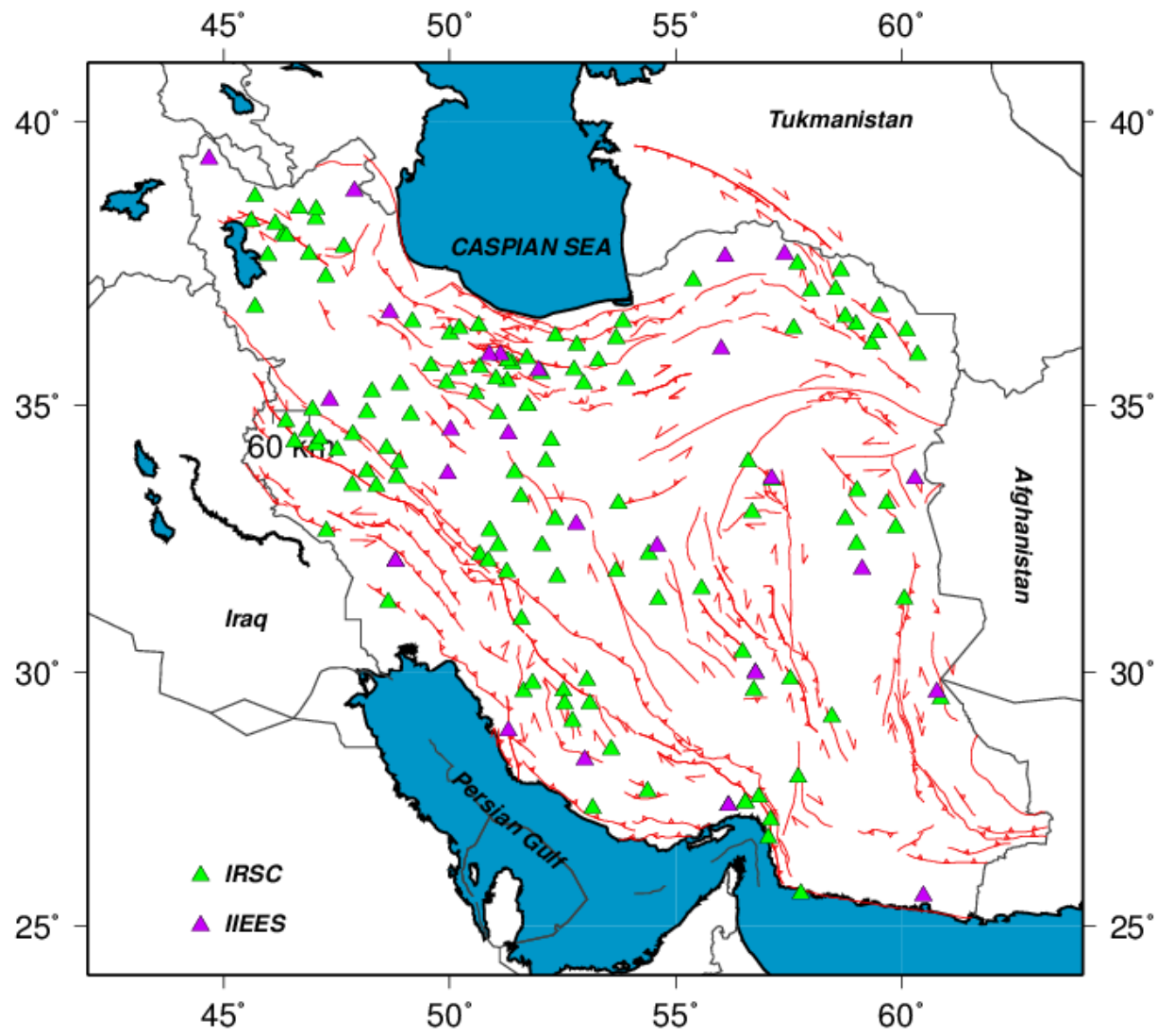
aghods@iasbs.ac.ir

مثالی از نشان دادن زمین‌لرزه ها در google earth



aghods@iasbs.ac.ir

شبکه‌های زلزله‌نگاری ایران

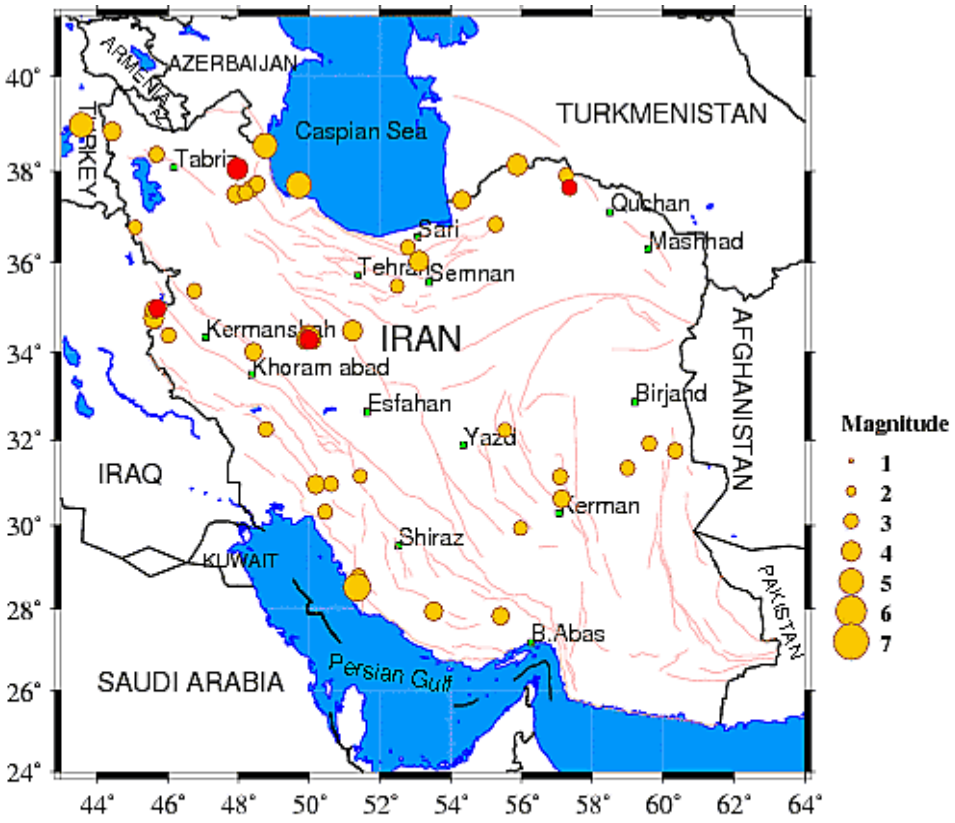


منحنی قرمز اثر سطحی گسل‌های فعال ایران را نشان می‌دهد (حسامی وهمکاران ۲۰۰۳)

- در ایران دو شبکه دائمی زلزله‌نگاری بطور مجزا در حال ثبت زلزله‌ها هستند در شکل روبرو ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری کشوری وابسته به موسسه ژئوفیزیک irsc.ut.ac.ir (مثلث‌های سبز) و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله www.iiees.ac.ir (مثلث‌های بنفش) نشان داده شده است.
- ایستگاه‌های لرزه‌نگاری کشور بطور دائم اطلاعات لرزه‌شناسی ثبت شده را به مرکز شبکه، تهران، می‌فرستند. این اطلاعات بصورت برخط (آن‌لاین) در اختیار عموم قرار می‌گیرد.

aghods@iasbs.ac.ir

پایگاه اطلاعاتی مرکز لرزه‌نگاری کشوری irsc.ut.ac.ir



NO.	Origin Time (UTC)	Lat.	Long.	Depth	Mag.	Comments	No. of Stations	Reference	Download
1	2012/02/07 16:59:29.8	38.05 N	47.97 E	8	3.8	Nir, Ardebil	20	IGUT	wave file

این وب سایت و بانک‌های اطلاعاتی مربوط به آن توسط قدس و همکاران از دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم‌پایه زنجان در سال ۲۰۰۶ طراحی و اجرا شد.

aghods@iasbs.ac.ir

وضعیت لرزه‌نگاری در ایران

- در حال حاضر بطور رسمی موسسه ژئوفیزیک مسئول ثبت، گزارش و جمع‌آوری داده‌های زلزله‌شناسی ایران است. این موسسه دارای بیش از ۱۲۰ زلزله‌نگار عمدتا باند کوتاه است که از طریق اینترنت و ماهواره به مرکز شبکه تهران متصل هستند. لرزه‌نگارهای موسسه ژئوفیزیک دارای پراکندگی مکانی بسیار نامتجانسی هستند. شبکه موسسه ژئوفیزیک در اطراف تهران، تبریز و کرمانشاه دارای بیشترین تراکم (به فواصل متوسط بین ایستگاهی ۵۰ کیلومتر) ولی در تعدادی از استان‌های کشور حتی یک لرزه‌نگار هم ندارد. وب سایت این شبکه داده‌های فاز تمام زلزله‌های ایران و شکل موج‌های زلزله‌های بزرگ‌تر از ۴ را بصورت برخط در اختیار همگان قرار می‌دهد.
- پژوهشگاه بین‌المللی زلزله و مهندسی زلزله دارای حدود۲۶ لرزه‌نگار باندپهن است که بطور تقریبا متجانسی در کل کشور پراکنده شده‌اند ولی فاصله بین ایستگاهی زیاد (گاهی اوقات در حد چند صد کیلومتر) و بالاتر از استانداردهای موجود است. این شبکه تمام زلزله‌های بالاتر از بزرگای چهار را در اسرع وقت بطور برخط و مستقل از موسسه ژئوفیزیک گزارش می‌کند. وب سایت این شبکه داده‌های فاز تمام زلزله‌های ایران و شکل موج‌های زلزله‌های بزرگ‌تر از ۴.۵ را بصورت برخط در اختیار عموم قرار می‌دهد.
- متاسفانه بطور رسمی هیچ‌گونه تبادل برخط داده بین دو شبکه لرزه‌نگاری کشور و یا بین شبکه‌های داخل و کشورهای همسایه برای بهبود مکان‌یابی زلزله‌ها وجود ندارد.
- به علت عدم تبادل داده بین دو شبکه اصلی لرزه‌نگاری ایران، در بعضی موارد (بطور مثال ایستگاه دماوند، بندرعباس و ایستگاه تلویزیون کرمان و زاهدان)، هر دو شبکه تقریبا در یک مکان دارای یک ایستگاه مستقل هستند.
- در صورت وقوع زلزله در تهران و خراب شدن مراکز لرزه‌نگاری دو شبکه کشوری، لرزه‌نگاری کشور بطور کامل متوقف می‌شود. برای رفع این مشکل احتمالی باید برای شبکه‌های موجود، مراکز معین لرزه‌نگاری در نظر گرفت.

aghods@iasbs.ac.ir

نکاتی در کار با داده‌های فاز شبکه‌های زلزله‌نگاری ایران

- بر اساس تجربیات چندین ساله نگارنده در مکان‌یابی زلزله‌های ایران با استفاده از داده‌های شبکه‌های زلزله‌نگاری ایران، داده‌های بولتنی شبکه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله دارای کیفیت بهتری هستند و برای همین توصیه می‌شود که اول داده‌های فاز شبکه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله را به داده‌های خود اضافه کنید و یا مکان یابی یک زلزله را با داده‌های بدست آمده از این شبکه شروع کنید.

- بانک داده بر روی خط شبکه لرزه‌نگاری ایران داده‌های بولتنی خود را بصورت فایل s-file در اختیار کاربران قرار می‌دهد و لذا بطور مستقیم قابل استفاده در سایزن هستند. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله اطلاعات بولتنی خود را به فرمتی نزدیک به فرمت نوردیک به کاربران می‌دهد. وارد کردن اطلاعاتی بولتنی پژوهشگاه به سایزن تنها بعد از تغییر فرمت ممکن می‌شود.

- بزرگترین مشکل با داده‌های شبکه لرزه‌نگاری کشور وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک مشکل زمانی شکل موج‌ها است. این بدین معنی است که زمان بعضی از ایستگاه‌ها در بعضی موارد صحیح نیست. در چند سال اخیر این مشکل تنها برای فازهای خوانده شده از ایستگاه BNDS پژوهشگاه بین‌المللی زلزله وجود دارد.

- کاربر باید در ابتدا تنها فازهای Pg را به تدریج با دیگر داده‌ها تلفیق کند و بعد اقدام به اضافه کردن دیگر فازها نماید.

- اگر برای ایستگاهی دیدید که هر دو فاز Pg و Sg به یک اندازه دارای باقیمانده هستند به احتمال زیاد ایستگاه دارای زمان دقیق نیست. در این موارد می‌تواند با اعمال وزن ۹ فاز S-P ایستگاه را وارد محاسبات مکان‌یابی کنید.

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه تهیه شکل‌موج از شبکه‌های زلزله‌شناسی ایران

- مرکز لرزه‌نگاری کشوری تمام داده‌های فاز زلزله‌های ایران و همچنین داده‌های شکل موج زلزله‌های مساوی ویا بزرگ‌تر از بزرگای ۴ در مقیاس بزرگای ناتلی را در اختیار همگان قرار می‌دهد. این شبکه لرزه‌نگاری تنها داده‌های ثبت شده از ابتدای سال ۲۰۰۶ تا بحال را در اختیار همگان قرار می‌دهد. این شبکه از سال ۱۹۹۶ شروع بکار کرده است و از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶ زیر شبکه‌های این شبکه بزرگ تعداد بسیار زیادی زلزله را بصورت مجزا محل‌یابی و ثبت کرده‌اند و همه اطلاعات ثبت شده در قالب مدون بصورت بانک اطلاعاتی موجود است.

- فرمت داده‌های شبکه لرزه‌نگاری کشور به صورت نانومتریکس است و تنها بعد از تبدیل فرمت به نوردیک و یا مینی‌سید قابل خواندن در سایزن می‌شوند.

- مرکز لرزه‌نگاری باندپهن کشور که از سال ۲۰۰۴ تاسیس شده است تمام داده‌های فاز و شکل موج‌های زلزله‌های بزرگ‌تر از ۴.۵ را بصورت برخط در اختیار همه قرار می‌دهد. فرمت داده‌های شکل موج بصورت نوردیک است و بطور مستقیم قابل خواندن در سایزن است. این شبکه از نرم‌افزار سایزن برای پردازش داده‌های خود استفاده می‌کند.

- امکان درخواست شکل موج زلزله‌های کوچکتر و یا زلزله‌های دور از هر دو شبکه وجود دارد البته اگر به اندازه کافی صبور و پی‌گیر باشید!

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه تهیه داده‌های جهانی و استفاده از آن‌ها در سایزن

- اگر بخواهیم یک زلزله بزرگ و یا یک زلزله در نزدیکی مرزها اتفاق افتاده را بهتر مطالعه کنیم نیاز به اطلاعات بولتنی و یا شکل موج از زلزله‌نگارهای کشورهای همسایه داریم. یک پایگاه مهم برای دریافت اطلاعات بولتنی پایگاه ISC (http://isc.ac.uk است. اطلاعات این پایگاه تنها بعد از تغییر فرمت قابل استفاده در سایزن هستند (برنامه‌های تبدیل در پوشه conversions هستند). مهم‌ترین پایگاه داده برای دریافت شکل موج پایگاه داده IRIS است.
- یک راه ساده برای دریافت شکل‌موج‌های یک زلزله یا چند زلزله از پایگاه داده‌ی IRIS فرستادن پست الکترونیکی است که نمونه آن در اسلاید بعدی آمده است.
- باید یک پست الکترونیکی به آدرس miniseed@iris.washington.edu با عنوان Data Request بفرستید. بدنه پست باید از فرمت خاصی تبعیت کند. قسمت ابتدایی بدنه ایمیل شامل مشخصات شما و طریقه‌ای که شما داده را می‌خواهید است. بهترین راه برای تهیه بدنه ایمیل کپی مثال صفحه بعد و ویرایش آن است. در عمل شما باید تنها اسم و ایمیل خودتان را به جای اسم و ایمیل من وارد کنید. در قسمت دوم بدنه ایمیل نام ایستگاه‌هایی که داده برای آن درخواست شده وارد می‌شود. هر خط داده را برای یک یا چند مولفه یک زلزله‌نگار برای یک بازه زمانی درخواست می‌کند.
- بعد از ارسال ایمیل یک ایمیل تأیید دریافت درخواست برای شما می‌آید و بسته به حجم درخواست شما با یک تأخیر زمانی یک ایمیل دیگر برای شما ارسال خواهد شد که در آن آدرس اینترنتی که در آن داده‌های شما الصاق شده اعلام می‌گردد.
- داده‌ها به فرمت miniseed هستند و بدون تبدیل قابل خواندن در سایزن هستند. شما می‌توانید با دستور seisei فایل‌های مجزای مربوط به یک زلزله را به یک فایل متشکل از تمام مولفه‌های همه ایستگاه‌ها تبدیل کنید. این کار وارد کردن نام فایل‌های داده‌ها به فایل S-file را آسان می‌کند.

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه تهیه داده‌های جهانی از طریق پست الکترونیکی

Subject: Data request
From: "Abdolreza Ghods" <aghods@iasbs.ac.ir>
Date: Sat, June 7, 2014 10:46 am
To: miniseed@iris.washington.edu

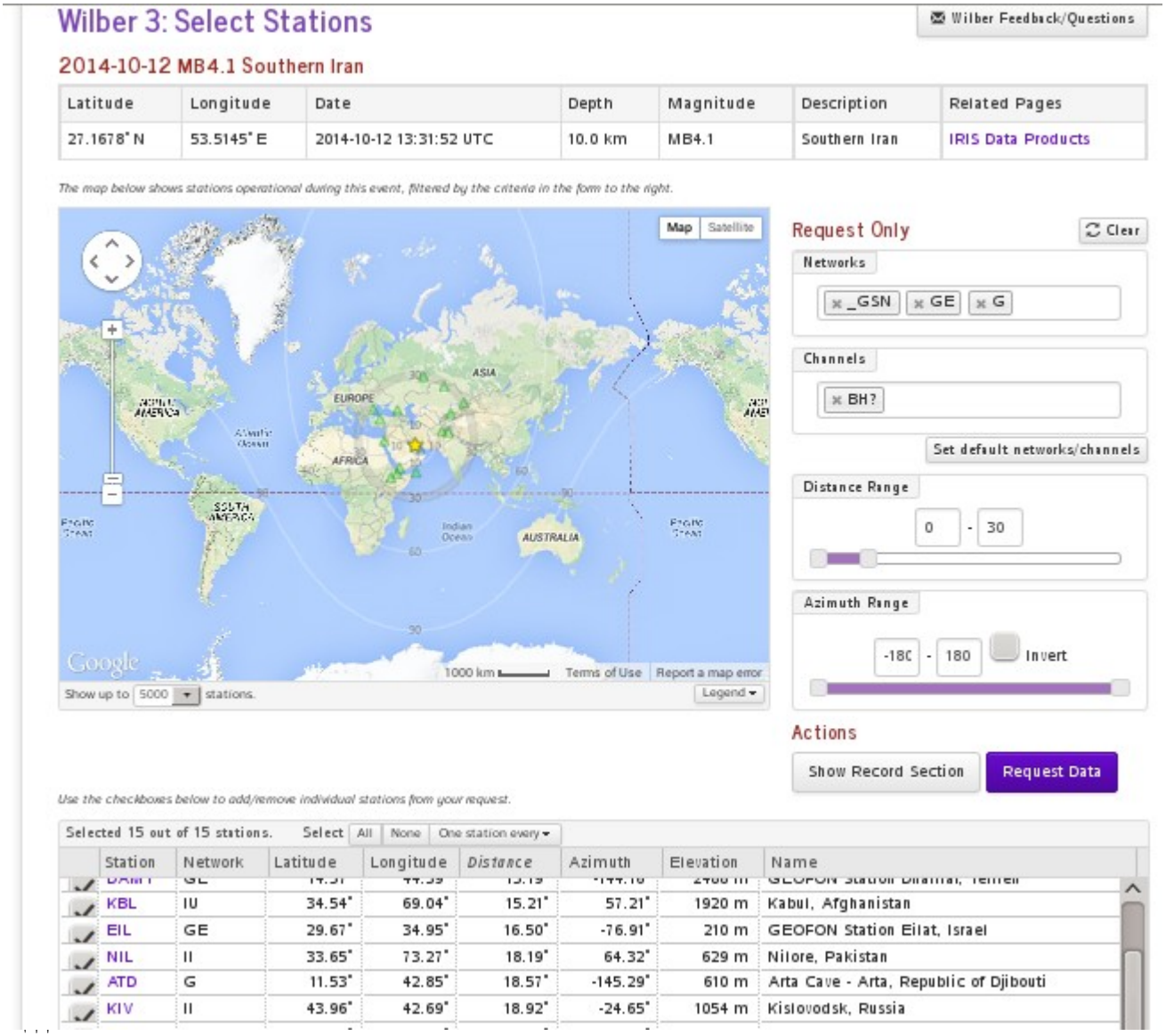
.NAME Reza Seismologist

.INST IASBS
.MAIL zanjan
.EMAIL aghods@IASBS.AC.IR
.PHONE 555 555-1212
.FAX 555 555-1213
.MEDIA FTP
.ALTERNATE FTP
.ALTERNATE FTP
.LABEL Kaki_3
.QUALITY E
.END

GNI IU 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??
RAYN II 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??
ARU II 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??
BRVK II 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??
AAK II 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??
NIL II 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??
KBL IU 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??
KIEV IU 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??
ABKT II 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??
UOSS II 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??
RAYN II 2013 04 09 11 52 00 2013 04 09 12 30 00 2 BH? S??

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه تهیه داده‌های جهانی



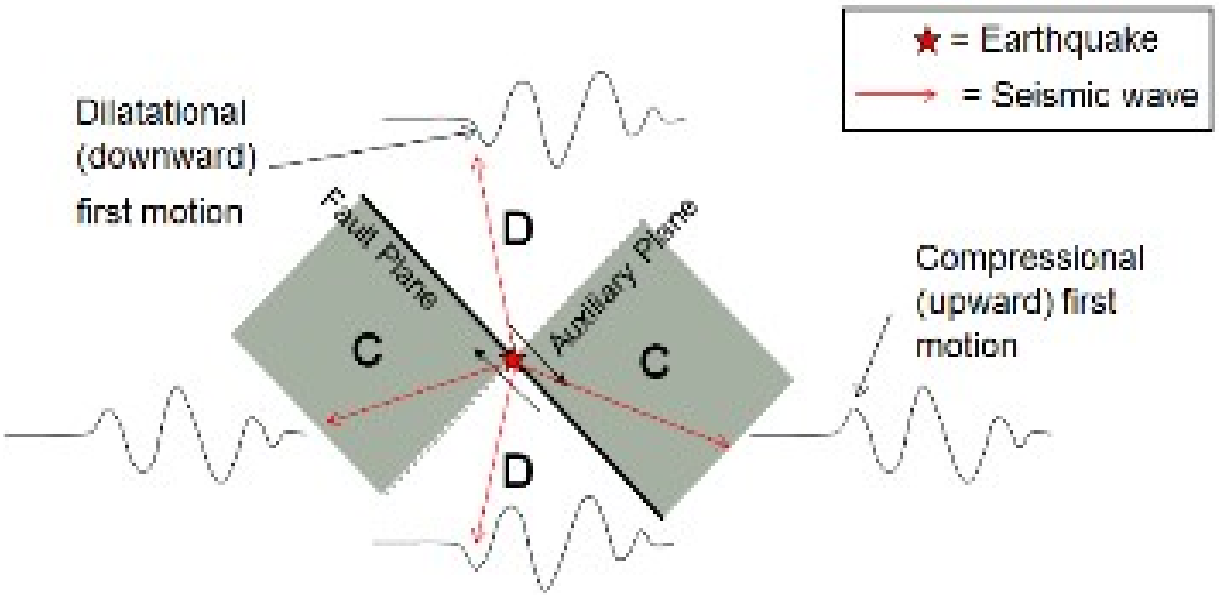
یک راه دیگر برای گرفتن داده از سایت IRIS استفاده از نرم‌افزار برخط Wilber است. با مراجعه به سایت زیر می‌توانید با وارد کردن مختصات جغرافیایی و تاریخ و بزرگای زلزله (مانند شکل) شکل موج های ایستگاه های مورد نظر را دانلود کنید. این مرکز، داده‌های مورد نظر را برای شما ایمیل خواهد کرد و شما می‌توانید به راحتی آن‌ها را دانلود کنید.

www.iris.edu/wilber3/find_event

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه محاسبه سازوکار زلزله

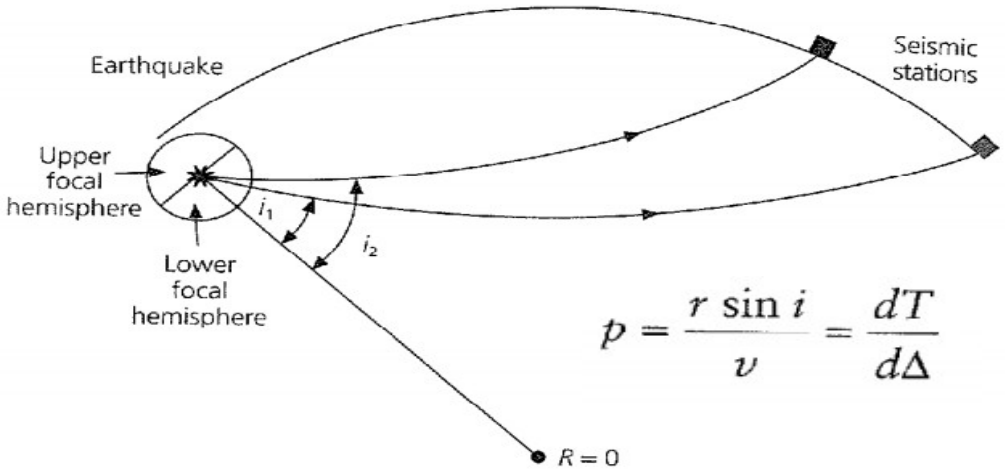
Shida در سال ۱۹۱۷ نشان داد که الگوی پلاریته‌ی امواج پی را در یک منطقه پیرامون کانون زلزله می‌توان به چهار ربع تقسیم کرد که توسط دو خط گرهی از هم جدا می‌شوند



aghods@iasbs.ac.ir

نحوه محاسبه سازوکار زلزله (ادامه)

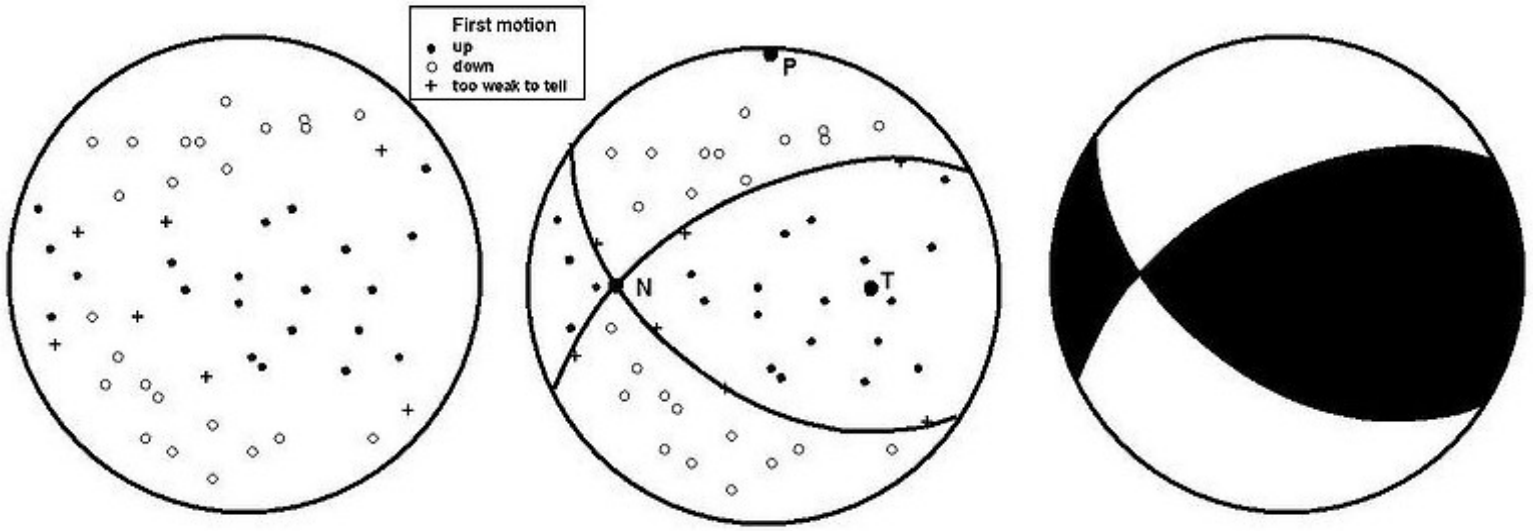
امواج پی اولین رسید موج روی لرزه‌نگاشت‌ها هستند و معمولاً خواندن پلاریته آن‌ها ساده است. پس مشاهدات ما پلاریته‌ی موج پی در ایستگاه‌هایی با آزیموت و فاصله‌ی متفاوت از رومرکز زلزله است. یک کره با شعاع محدود در نظر بگیرید. مکان ایستگاه‌ها را روی نیم‌کره‌ی پایینی تصویر می‌کنیم. برای این‌کار نیاز به دو زاویه است. آزیموت ایستگاه‌ها مشخص است و تنها باید زاویه‌ی خروج پرتو را محاسبه کرد. برای این منظور یک مدل زمین در نظر می‌گیریم و با استفاده از قانون اسنل زاویه‌ی خروج پرتو را محاسبه می‌کنیم.



$$p = \frac{r \sin i}{v} = \frac{dT}{d\Delta}$$

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه محاسبه سازوکار زلزله در سایزن



First motion data for a hypothetical earthquake from various seismograph stations

Nodal planes and N, P & T axes fitted to the data

Resultant 'beachball' plot showing that the earthquake resulted from reverse oblique movement on a fault of one of two possible orientations

حال تمام ایستگاه‌ها را روی نیم‌کره‌ی پایینی تصویر کنید. ایستگاه‌ها با پلاریته‌ی مثبت را با دایره‌های مشکی و ایستگاه‌ها با پلاریته‌ی منفی را با دایره‌های سفید مشخص کنید. نیم‌کره‌ی بالایی را حذف کنید. نواحی با پلاریته‌ی منفی و مثبت را می‌توانید با دو صفحه از هم جدا کنید. به این صفحات صفحات گرهی می‌گویند. از بالا به نیم‌کره‌ی پایینی نگاه کنید. یک دایره خواهید دید که صفحات گرهی در آن به صورت خط یا منحنی دیده می‌شوند. به این ترتیب سازوکار کانونی زلزله بدست می‌آید.

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه محاسبه سازوکار زلزله در سایزن

برای بدست آوردن سازوکار کانونی در سایزن ابتدا باید پلاریته‌ی موج پی را در S-file مشخص کنید. برای انجام این کار هنگام خواندن فاز پی اگر پلاریته مثبت است بالای رکورد پیک بزنید و اگر منفی است پایین‌تر از رکورد پیک بزنید.

پس از فراخوانی زلزله با دستور eev دستور f را تایپ کنید. این دستور از برنامه‌ی focmec برای بدست آوردن سازوکار کانونی استفاده می‌کند. پس از اجرا شدن برنامه باید یکی از گزینه‌های آمده در شکل زیر را انتخاب کنید. برای بدست آوردن جواب جدید گزینه‌ی ۴ را انتخاب کنید.

```
Stop                        (0)
Plot saved solution         (1)
Plot new solutions          (2)
Plot selected solution      (3)
Find new solutions          (4)
-1, -2, -3 also plot station
```

aghods@iasbs.ac.ir

نحوه محاسبه سازوکار زلزله در سایزن

پس از این برنامه تعداد مجاز فیت نشدن پلاریته با جواب سازوکار کانونی را از شما می‌پرسد. ۰ تا ۵ خطا در پلاریته مناسب است. اگر می‌خواهید برنامه کمترین تعداد خطا در پلاریته را پیدا کند در پاسخ این سؤال ۱- را تایپ کنید.

در ادامه برنامه از شما گام افزایش زاویه را برای شروع جستجو می‌خواهد. در ابتدا از ۲۰ درجه شروع کنید. با کم کردن این زاویه تا ۵ درجه میتوانید جواب نهایی را بدست آورید.

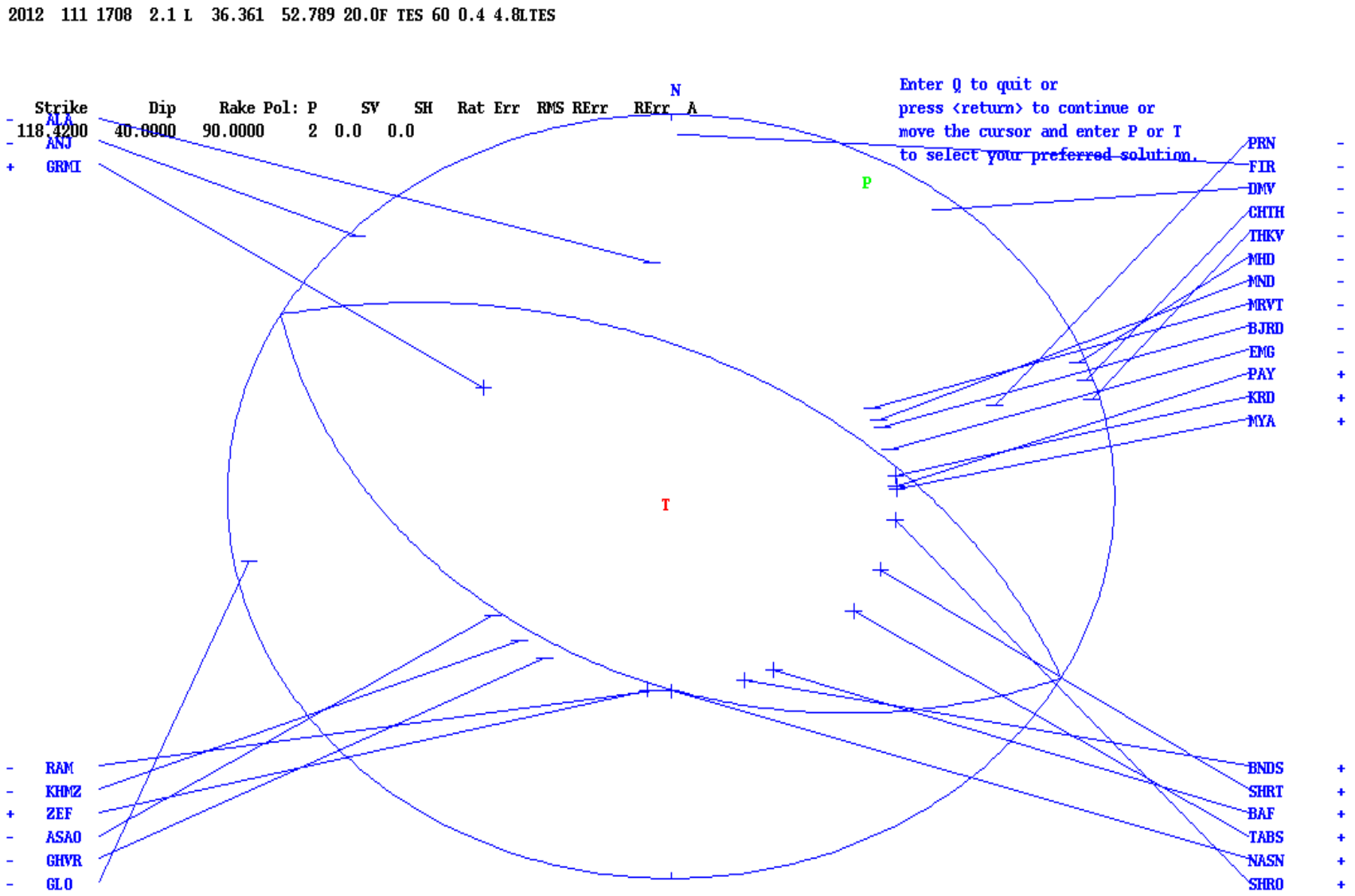
پس از این برنامه شروع به جستجو خواهد کرد و با تایپ ۲- می‌توانید جواب‌ها را مشاهده کنید. دوباره می‌توانید با استفاده از گزینه‌های ۰-۴ جستجو را ادامه دهید تا جواب مناسب‌تر را بیابید.

می‌توانید جواب انتخابی خود را رسم کنید. در این‌صورت باید موس را نزدیک محور P یا T جواب مورد نظر ببرید. با فشار دادن کلید T برنامه نزدیک‌ترین جواب را انتخاب می‌کند. با تایپ گزینه‌ی ۳ این جواب رسم می‌شود.

aghods@iasbs.ac.ir

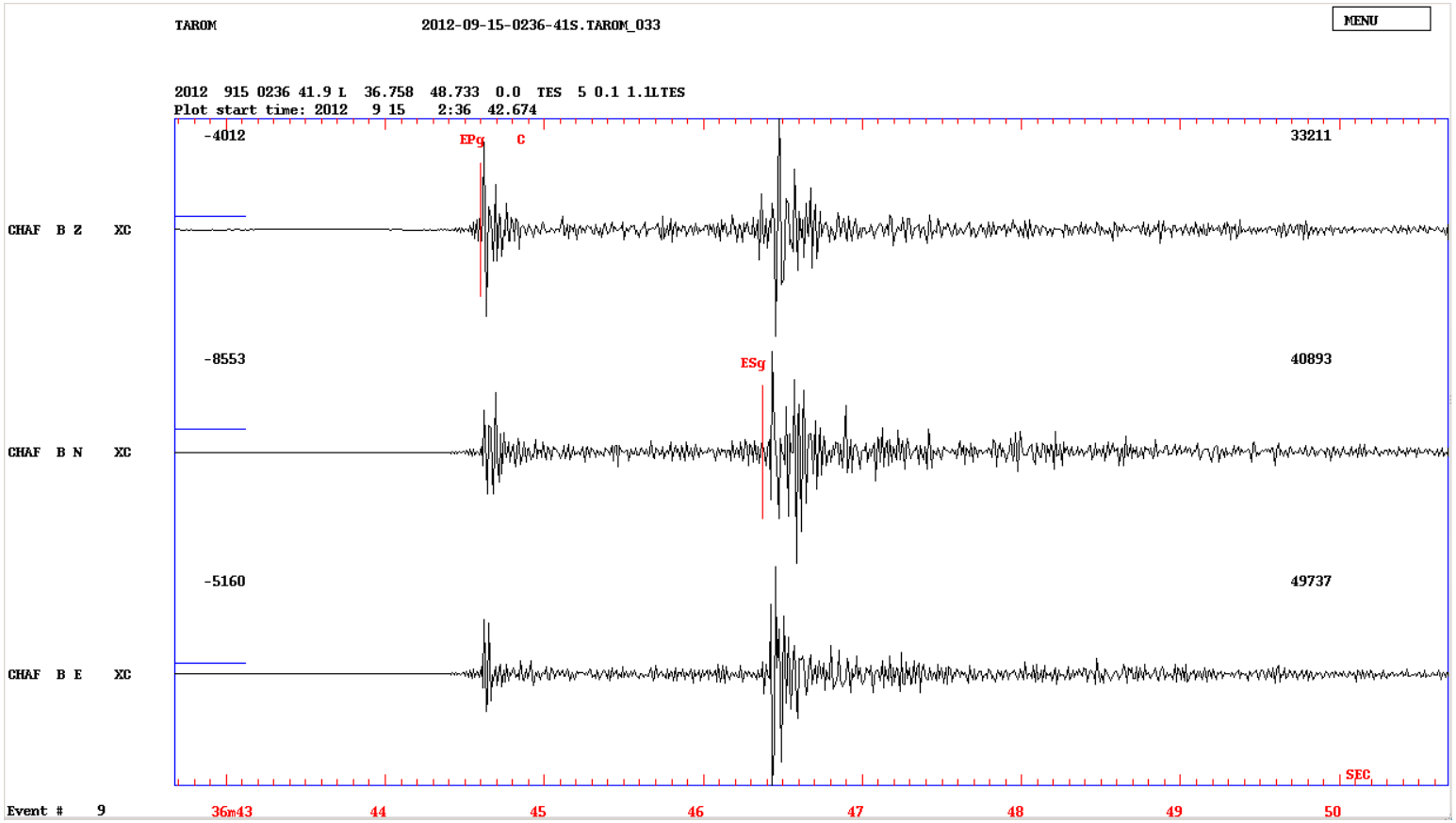
نحوه محاسبه سازوکار زلزله در سایزن

نمونه‌ی زیر نتیجه سازوکار کانونی را برای زلزله‌ی ۲۰۱۲/۰۱/۱۱ در مازندران نشان می‌دهد.



aghods@iasbs.ac.ir

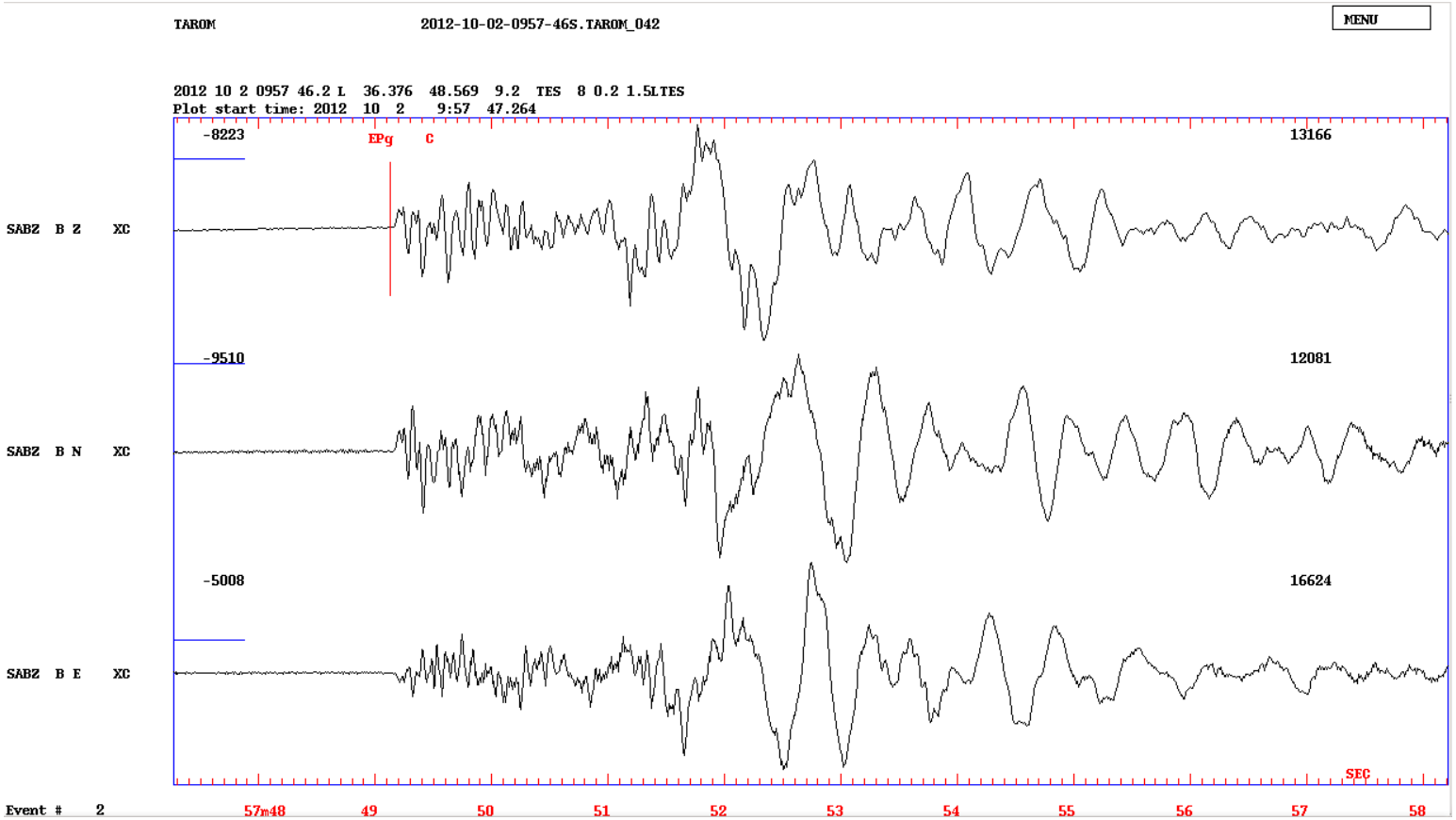
تشخیص زلزله از انفجار (شکل موج زلزله)



زلزله

aghods@iasbs.ac.ir

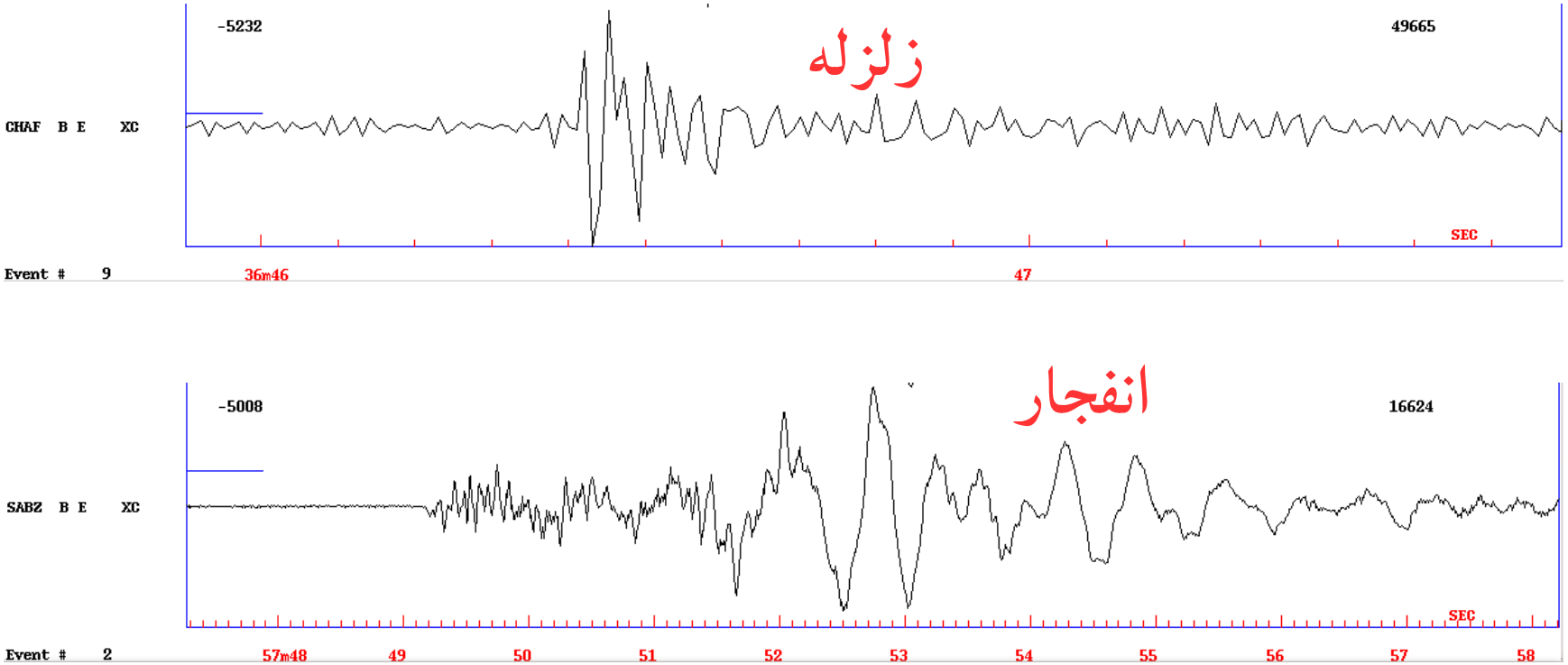
تشخیص زلزله از انفجار (شکل موج انفجار)



انفجار

aghods@iasbs.ac.ir

تشخیص زلزله از انفجار (مقایسه مولفه‌ای افقی)



- رویداد انفجار برخلاف رویداد زلزله دارای تفاوت بارزی در مقدار بزرگای محلی و ممان است.

aghods@iasbs.ac.ir

نمودار جی ام‌تی شکل موج‌ها

- اگر بخواهیم نگاشت‌های لرزه‌ای که برحسب فاصله ردیف شده‌اند (به مانند اسلاید ۳۹) ببینیم تنها راه استفاده از دستور `trace_plot` است. برای استفاده از این دستور ابتدا باید یک نسخه از S-file زلزله موردنظر را در اختیار داشته باشید. برای اینکار با استفاده از eev زلزله موردنظر خود را پیدا کنید و سپس با زدن کلید c یک نسخه از s-file را تهیه کنید. برنامه eev یک کپی از s-file را درون فایل eev.out کپی می‌کند.
- در قدم بعدی در محیط DOS یا در خط فرمان لینوکس دستور `trace_plot` را اجرا کنید. نام s-file زلزله موردنظرتان را به برنامه بدهید. با اجرای برنامه یک فایل اجرایی جی‌ام‌تی به نام trace_plot.bat تولید و بطور اتوماتیک اجرا می‌شود که فایل گرافیکی trace_plot.ps را تولید می‌کند.
- شما با تغییر فایل جی‌ام‌تی می‌توانید تغییرات لازمه را به شکل‌تان بدهید.
- برنامه به طور پیش‌فرض فقط مولفه عمودی لرزه‌نگاشت‌هایی که بر روی آن‌ها فاز زده شده را رسم می‌کند. با تغییر فایل trace_plot.par در پوشه DAT سایزن می‌توانید پیش‌فرض‌های این برنامه را تغییر دهید.

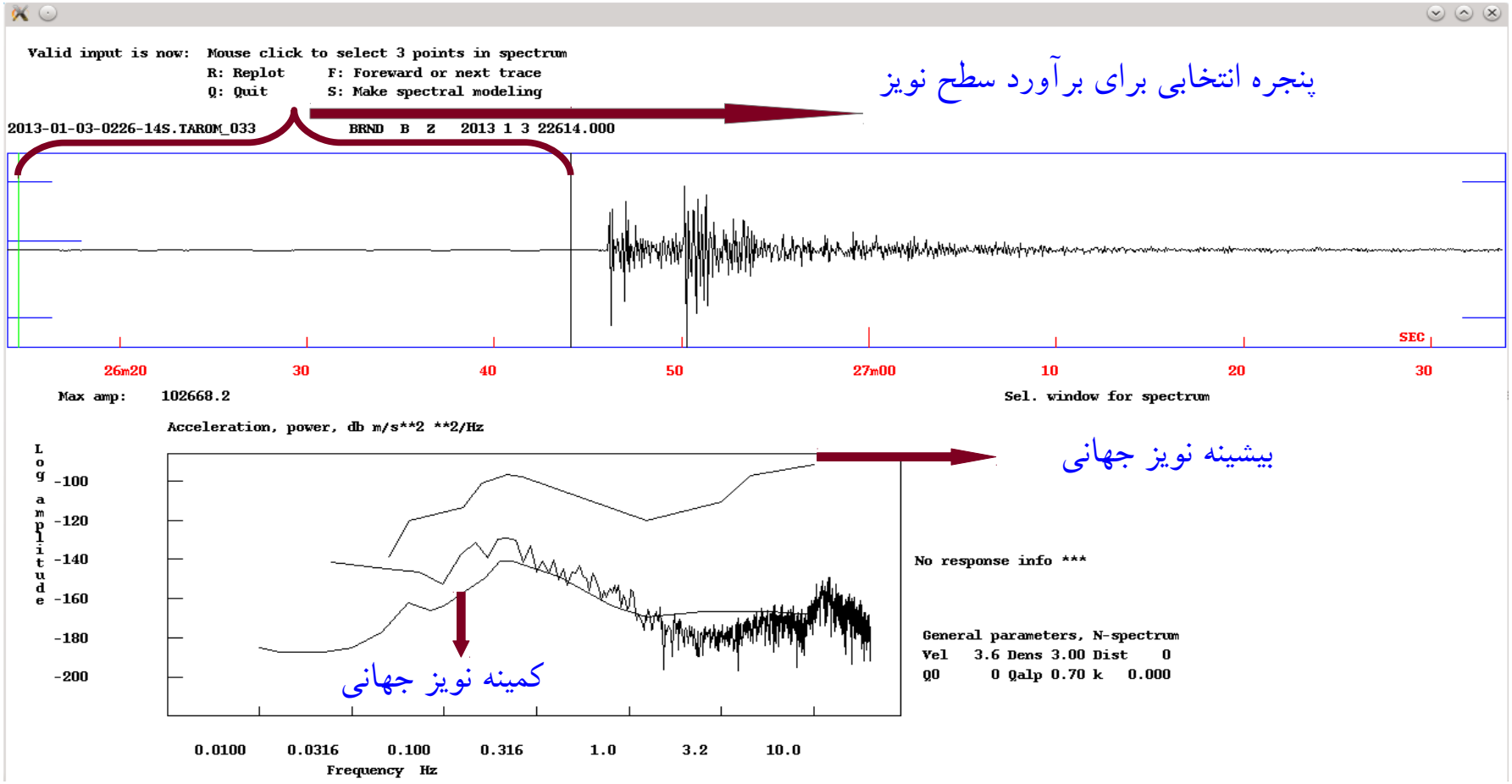
aghods@iasbs.ac.ir

برآورد سطح نویز در یک ایستگاه زلزله‌شناسی

- برای برآورد سطح نویز در یک ایستگاه یکی از مولفه های ایستگاه را انتخاب می کنیم و به حالت single trace mode می‌رویم. کلید s را میزنیم و پنجره ای که در آن امواج زلزله وجود ندارند را انتخاب می‌کنیم. سپس دکمه n را برای رسم طیف توان نویز می‌زنیم. همانطور که در شکل می‌بینیم غیر از طیف توان، دو منحنی دیگر مشاهده می‌شوند که کمینه و بیشینه نویز در ایستگاه های جهان را نشان می‌دهند. در صورتی که طیف توان کمتر از منحنی کمینه نویز باشد، سطح نویز در این ایستگاه بسیار پایین و مناسب است.
- در شکل صفحه بعد سطح نویز برای مولفه z ایستگاه BRND نشان داده شده است. می‌بینیم که برای فرکانس های بالا سطح نویز بسیار پایین است و حتی از کمینه جهانی هم پایین‌تر است اما در فرکانس‌های پایین نویز زیادتر از کمینه جهانی است.

aghods@iasbs.ac.ir

برآورد سطح نویز در یک ایستگاه زلزله‌شناسی



aghods@iasbs.ac.ir

تشکر و قدردانی

- از دانشجویانم خانم‌ها فرزانه عزیززنجانی، اعظم جوزی، مریم اکبرزاده و نیوشا فریبرزی و آقای جمال‌ریحانی برای کمکی که در تهیه بعضی از اسلایدهای این کارگاه نموده‌اند بسیار ممنون هستم.
- از آقای سعید ناصریه از مرکز لرزه‌نگاری کشوری و دکتر انصاری و همکارانشان از پژوهشگاه بین‌المللی زلزله برای در اختیار گذاشتن اطلاعات مربوط به فایل‌های پاسخ ایستگاه‌های زلزله‌شناسی بسیار ممنون هستم.
- از دکتر امین عباسی مدیر اجرایی انجمن ژئوفیزیک ایران و همچنین خانم هداوند برای زحماتی که در اجرای این کارگاه آموزشی متقبل شده‌اند تشکر می‌کنم.

aghods@iasbs.ac.ir