

# بررسی و پردازش داده های شتابنگاری زمین لرزه دهم اسفند ۱۳۷۵ گلستان اردبیل ( $M_w=6.0$ )

مهدی زارع، استادیار پژوهشکده زلزله شناسی پژوهشگاه mazare@dena.iiees.ac.ir

## ۱- چکیده

حاصل از گسلش زمین لرزه ای مشاهده نشد؛ ولی، گسیختگی هایی در راستای شمال- شمال خاور و جنوب- جنوب باختر (احتمالاً در ادامه شمال خاوری گسل بزقوش) مشاهده گردید. زمین لرزه ۱۳۷۵ گلستان با ثبت ۱۵ شتابنگاشت مربوط به لرزه اصلی همراه بوده است. این شتابنگاشتها در هریس، نیر، نیارق، رضی، اردبیل (در دو محل استانداری و اداره مسکن و شهرسازی)، آستارا، بیله سوار، مشکین شهر، گرمی، هیر، میانه، نمین، سرعین، خلخال و کریق ثبت شده اند (شکل ۱). همچنین نگاشت پس لرزه ثبت شده در نیر نیز مطالعه گردید. بیشینه

در مقاله حاضر داده های شتابنگاری زمین لرزه دهم اسفند ۱۳۷۵ در گلستان اردبیل ( $M_w=6.0$ ) مطالعه شده است. در این مطالعه، ۱۵ شتابنگاشت از لرزه اصلی و یک نگاشت از پس لرزه های زلزله گلستان به صورت تصحیح نشده در اختیار بوده که ابتدا با محاسبه نسبت سیگنال به نوفه، فیلترهای گذر پایین و گذر بالا تصحیح شده اند. سپس با محاسبه طیفهای تشدید  $H/V$  و در نظر گرفتن پریود بنیادی ساختمانها، طبقه بندی ساختمانها (در رده های یک تا چهار) صورت گرفته است. در این تحقیق پایداری نسبت  $H/V$  در دو ایستگاه با تعداد زیاد نگاشت ثابت شده است. علاوه بر آن، با محاسبه فاصله کانونی برای کلیه نگاشتهای با کیفیت مناسب، بررسیهای حوزه نزدیک در مورد نگاشتهای با حداقل فاصله کانونی تا کانون زمین لرزه به عمل آمده است. بر اساس این مطالعه اثر جهت پذیری خاصی بر روی نگاشتهای موجود مشاهده نشده است. برای نگاشتهای با کیفیت مناسب، محاسبه  $M_w$  در نگاشتهای مختلف از  $5/7$  تا  $6/2$  (به طور متوسط  $6/0$ ) به دست آمده است. بیشینه شتاب روی مولفه افقی در نگاشت مربوط به ایستگاه کریق (پس از تصحیح) در جنوب کانون زمین لرزه در حد  $578$  سانتیمتر بر مجذور ثانیه می باشد.

**کلید واژه ها:** زمین لرزه گلستان اردبیل، داده های شتابنگاری، پردازش، نسبت سیگنال به نوفه، طیف تشدید، اثر ساختمانها، حوزه نزدیک، جهت پذیری.

## ۲- مقدمه

زمین لرزه  $1375/12/10$  با  $M_w=6.0$ ، در جنوب باختری اردبیل در حد فاصل بین اردبیل و نیر و در روستاهای گلستان، سرعین، ویلادره، شام اسبی، جوراب، شیران و آتشگاه با  $965$  کشته و حدود  $2600$  مجروح همراه بود [۱]. در این زلزله گسیختگی سطحی



① مرکز زمین لرزه ۱۳۷۵/۱۲/۱۰ گلستان اردبیل  
● مرکز مکانیابی شده بر اساس فاصله های کانونی محاسبه شده از شتابنگاشتها

شکل (۱): ایستگاههای ثبت داده های شتابنگاری لرزه اصلی و پس لرزه های زلزله ۱۳۷۵/۱۲/۱۰ گلستان اردبیل

$$R_{sn} = \frac{\frac{S(f)}{\sqrt{t_s}}}{\frac{N(f)}{\sqrt{t_n}}}$$

در رابطه (۱)،  $t_s$  زمان مربوط به پنجره سیگنال و  $t_n$  زمان مربوط به پنجره نوبه می‌باشد. این کار پس از صاف کردن طیفهای فوریه با استفاده از تابع صاف کردن کونو و اوماچی [۲] انجام شده است که در آن دامنه های صحیح را (هنگامی که نسبت سیگنال به نوبه از حد آستانه مشخصی، مثلاً ۳، بیشتر است) در تمام فرکانسها شامل شده و صاف می‌کنند. هنگامی که حد آستانه برای نسبت سیگنال به نوبه برابر ۳ در نظر گرفته شود، حد فرکانسی که دامنه طیف  $R_{sn}$  از این حد بالاتر رود، به عنوان فرکانس فیلتر گذر بالا و حدی که دامنه طیف یاد شده از این حد کمتر شود، به عنوان فرکانس فیلتر گذر پایین انتخاب می‌شود به نحوی که:

$$Vf \in [f_{HP}, f_{LP}], R_{sn}(f) \geq 3 \quad (2)$$

میزان صاف شدن در مطالعه حاضر ۰/۴ در نظر گرفته شده است. لازم به یادآوری است که گاهی در بررسیهای میکروترمورها، حد آستانه برای  $R_{sn}$  برابر ۵ در نظر گرفته می‌شود.

در این بررسی از طیفهای فوریه شتاب سرچشمه نیز برای نمایش باند فرکانسی دامنه های طیفهای سیگنال و نوبه ها بهره گیری شده است. از این نظر با توجه به طیف فوریه شتاب که به صورت دوزنقه‌ای شکل توسط براون [۳] معرفی شده است، به مقایسه شکل طیفها در پیش و پس از فیلتر کردن اقدام شده است. طیف فوریه شاخص شتاب سرچشمه، شامل یک بخش افزاینده در ابتدا تا حد فرکانس گوشه، یک قسمت مسطح ( $A_0$ ) تا حد فرکانس بیشینه ( $f_{max}$ ) و سپس یک قسمت کاهنده بعد از  $f_{max}$  با شیب کاپا ( $\kappa$ ) است. در شکلهای (۱،۲) تا (۱۶،۲)، ابتدا در قسمت "الف" هر شکل نگاشت اصلاح نشده، در "ب" نسبت سیگنال به نوبه، در "پ" نگاشت اصلاح شده (پس از تصحیح خط مبنا و اعمال فیلترهای  $HP$  و  $LP$ )، در "ت" طیف فوریه شتاب اصلاح نشده، در "ث" طیف فوریه شتاب اصلاح شده و در "ج" طیف تشدید  $H/V$  در هر مورد برای نگاشت مربوطه ارائه شده است. در ساختگاههایی که چندین نگاشت در دسترس بوده است، طیف  $H/V$  برای کلیه نگاشتها محاسبه شده و در شکلهای (۱،۲) تا (۱۶،۲)، طیف  $H/V$  میانگین و میانگین بعلاوه

شتاب این زلزله در کریق بیشترین مقدار ثبت شده در زلزله یاد شده (مؤلفه افقی، ۵۷۸ سانتیمتر بر مجذور ثانیه) بوده است. در فاصله های بیش از ۵۰ کیلومتر از کانون زمین لرزه نیز بعضی از نگاشتها با کیفیت پایین (نسبت سیگنال به نوبه کم) ثبت شده اند. در مقاله حاضر، داده های شتابنگاری (محاسبه نسبت سیگنال به نوبه، انتخاب فیلترهای گذر بالا و گذر پایین، تصحیح خط مبنا و اعمال فیلترها) پردازش گردیده است. همچنین به محاسبه نسبت تشدید  $H/V$  برای انتخاب رده ساختگاه در مورد هر ایستگاه شتابنگاری اقدام و با محاسبه فاصله های کانونی برای نگاشتهایی که با پیش رویداد ثبت شده و اولین رسید موج  $P$  در آنها مشخص بوده، کانون رویداد لرزه اصلی مکانیابی شده است. با بهره گیری از شکل طیف فوریه شتاب و در نظر گرفتن پارامترهای سرچشمه در نگاشتهایی که باند فرکانسی فیلتر گذر بالا ( $HP$ ) با فرکانس گوشه ( $f_c$ ) فاصله داشته و  $f_c$  به خوبی قابل اندازه گیری بوده، مقدار  $M_w$  برای هر نگاشت محاسبه شده است.

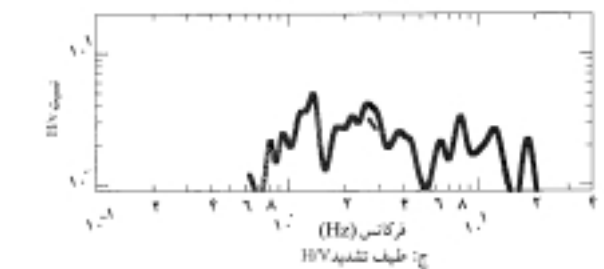
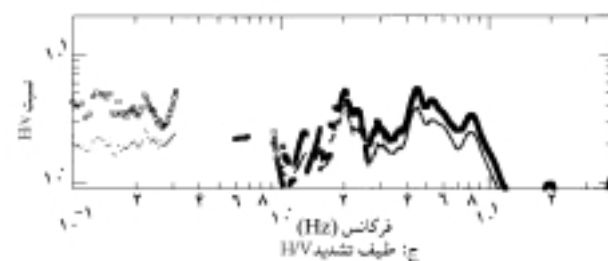
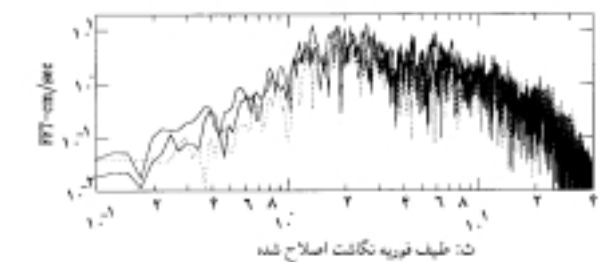
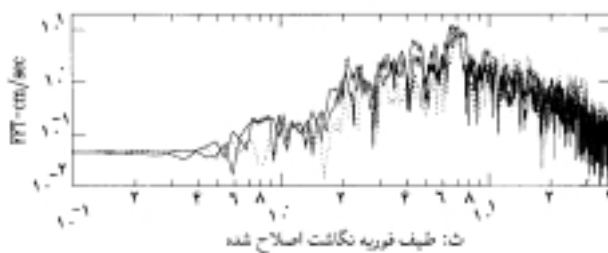
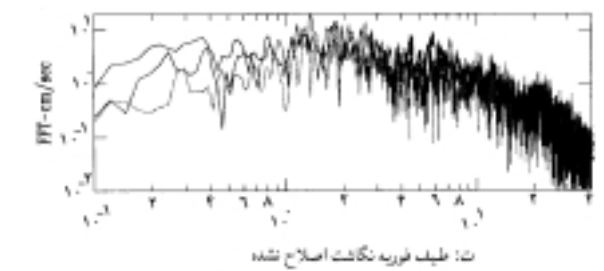
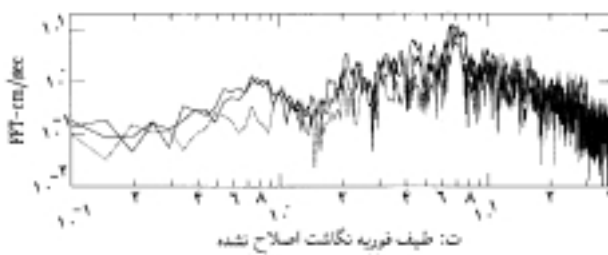
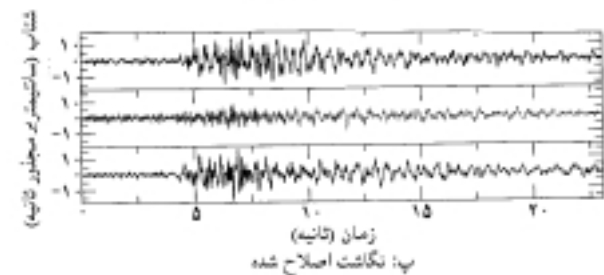
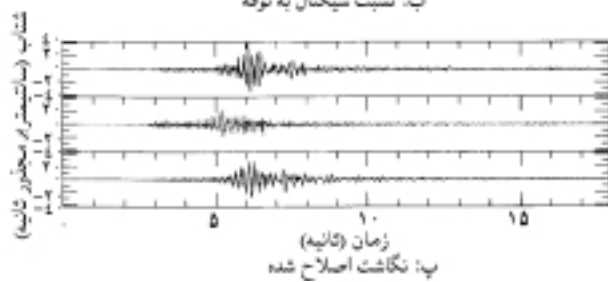
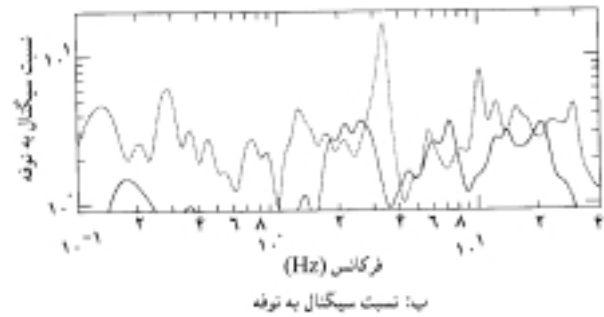
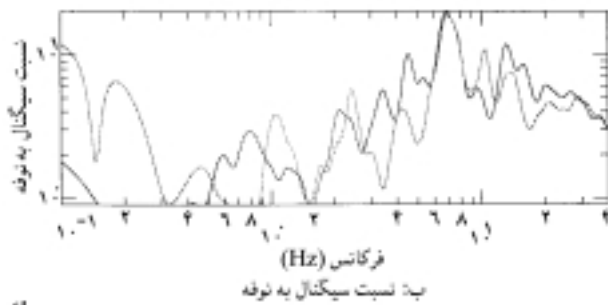
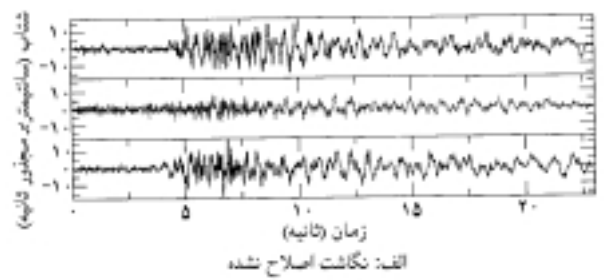
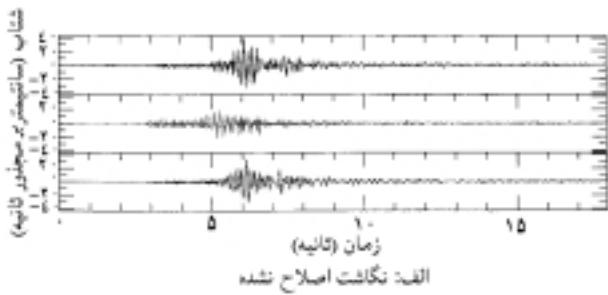
### ۳- پردازش داده های شتابنگاری

داده های شتابنگاری مربوط به لرزه اصلی زلزله ۱۳۷۵/۱۲/۱۰ گلستان اردبیل (حاصل از ۱۵ ایستگاه و یک داده مربوط به پس لرزه آن ثبت شده در نیر)، با محاسبه نسبت سیگنال به نوبه پردازش گردید. به این منظور، داده های تاریخچه زمانی شتاب بررسی شد تا پنجره زمانی سیگنال و پنجره زمانی نوبه انتخاب گردند. این کار در مورد تمام نگاشتهای مورد بررسی صورت گرفته و پنجره های انتخابی با نام و مشخصات مربوط به هر نگاشت در جدول (۱) آمده است.

در ابتدا، تصحیح خط مبنا در مورد هر نگاشت اعمال شده است. سپس به منظور محاسبه نسبت سیگنال به نوبه در مورد هر نگاشت، طیف فوریه شتاب مربوط به پنجره سیگنال  $S(f)$  و طیف فوریه پنجره نوبه  $N(f)$  پس از تقسیم شدن هر یک بر ریشه دوم زمان مربوط به هر پنجره انتخابی بر هم تقسیم شده اند. نسبت سیگنال به نوبه ( $R_{sn}$ ) را می توان با رابطه (۱) نشان داد:

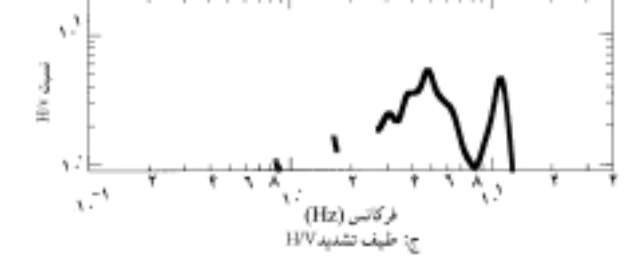
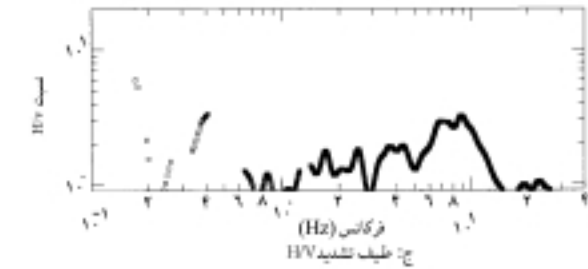
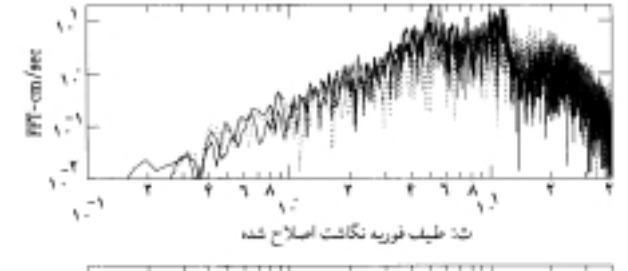
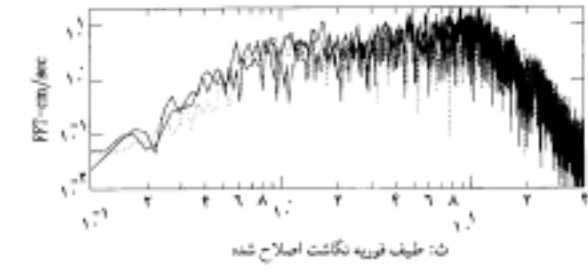
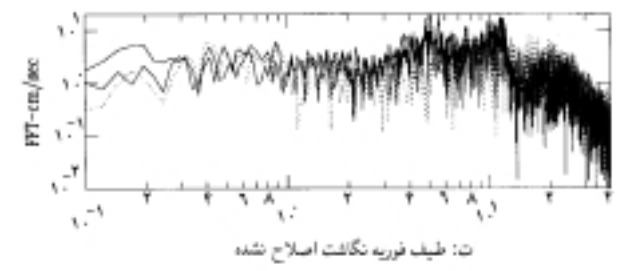
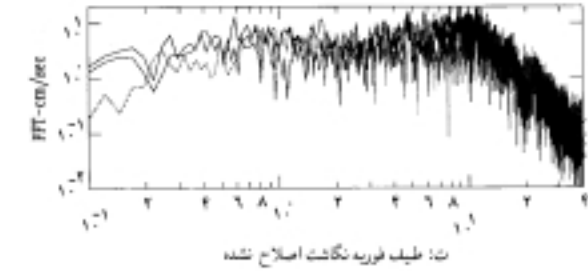
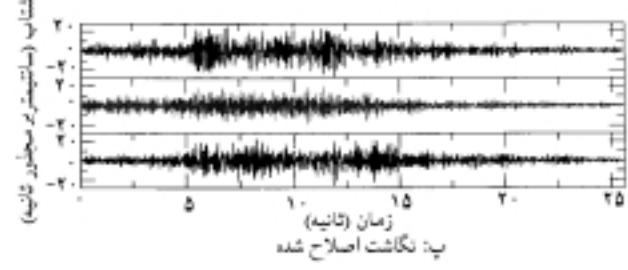
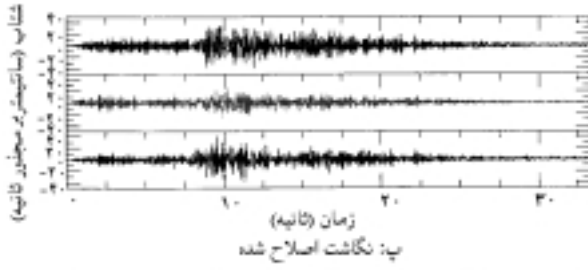
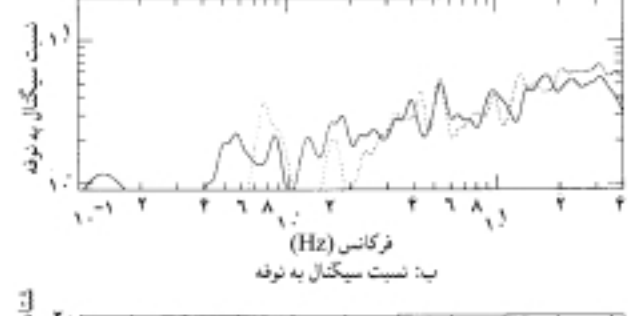
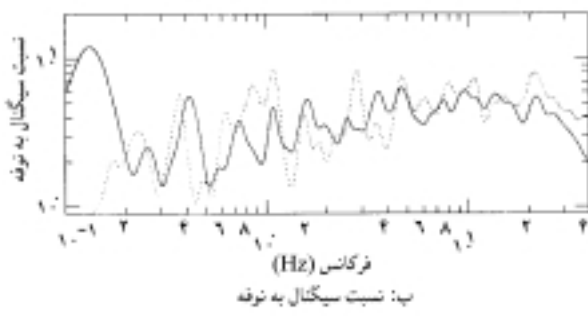
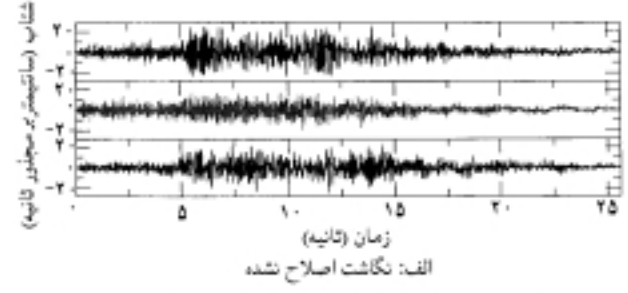
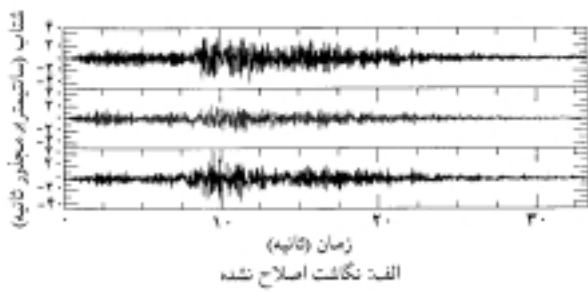
(۱)





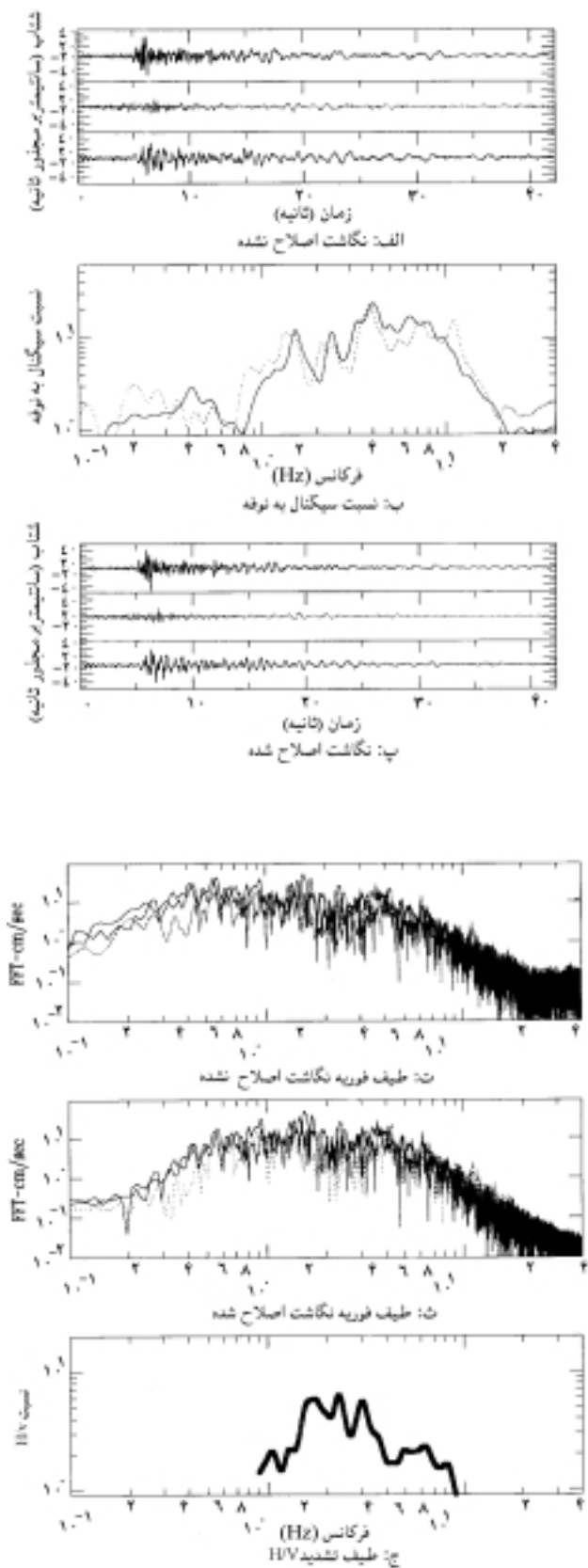
شکل (۲۰۲): نگاشت پس لرزه ثبت شده در نیر (بخشدار)

شکل (۱۰۲): نگاشت ثبت شده در هریس

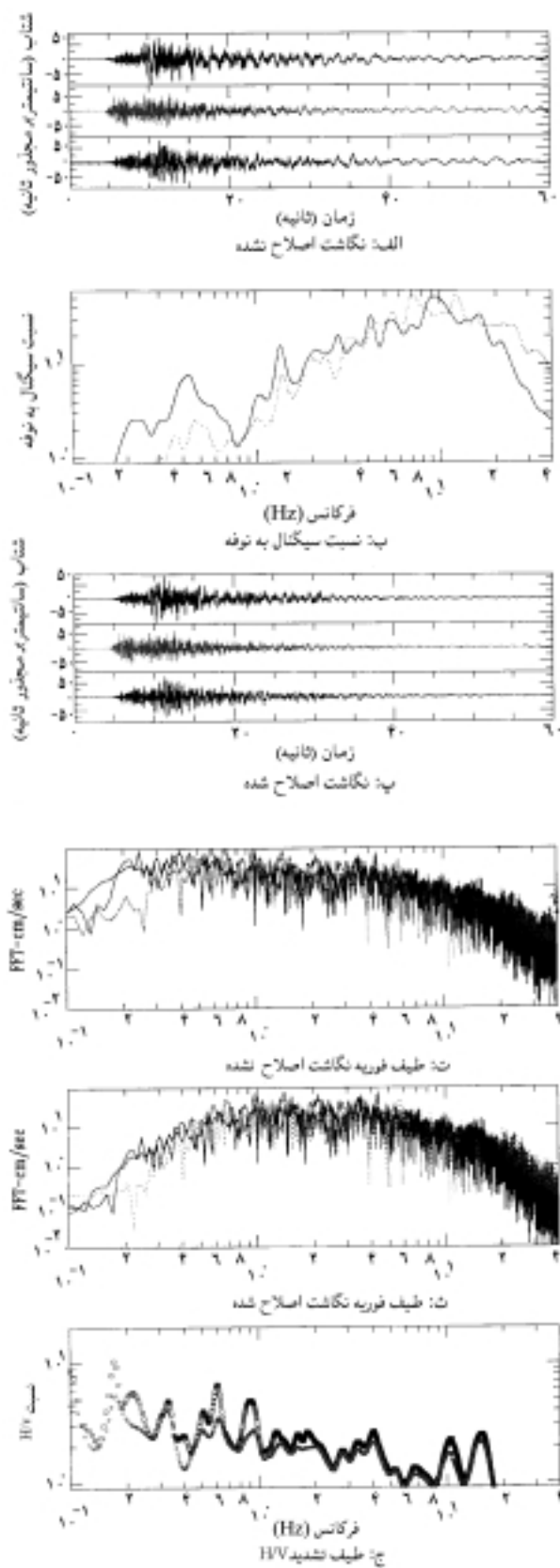


شکل (۴،۲): نگاشت ثبت شده در رضی

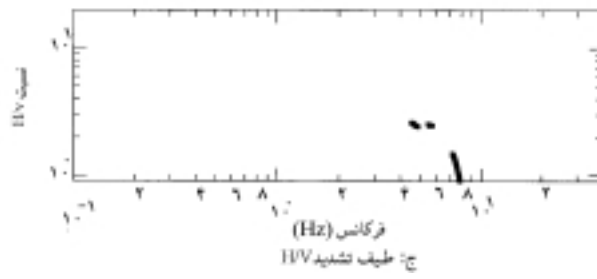
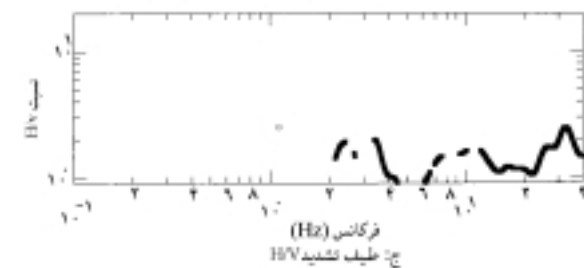
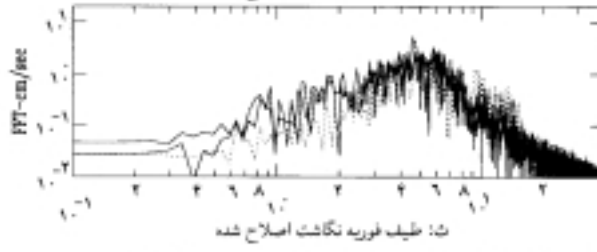
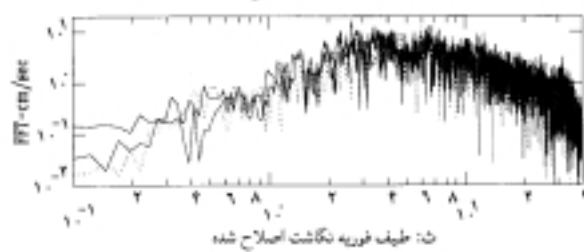
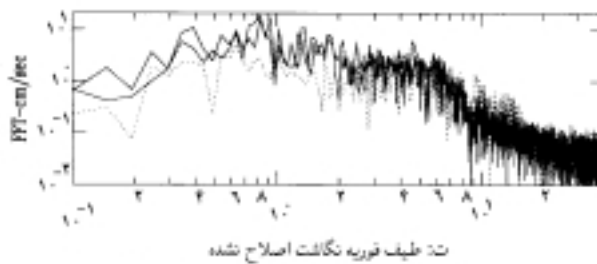
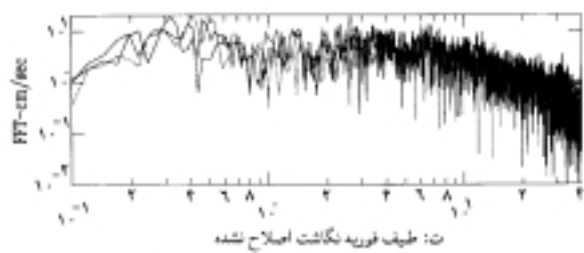
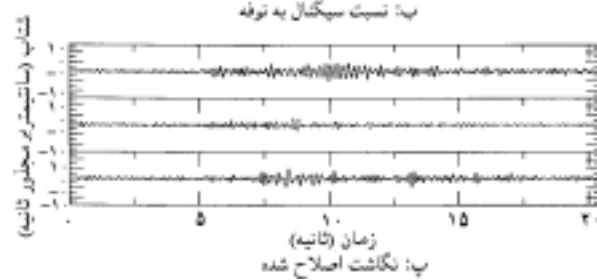
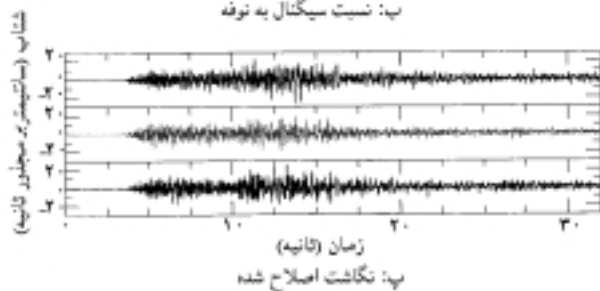
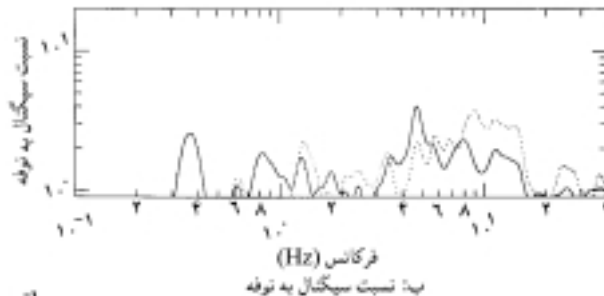
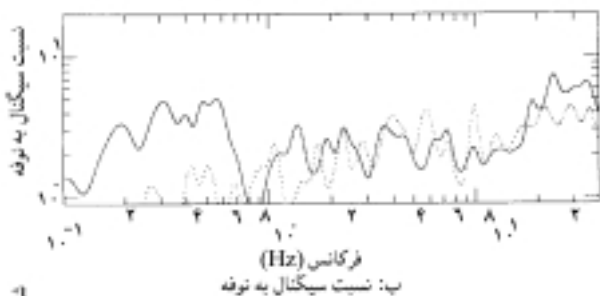
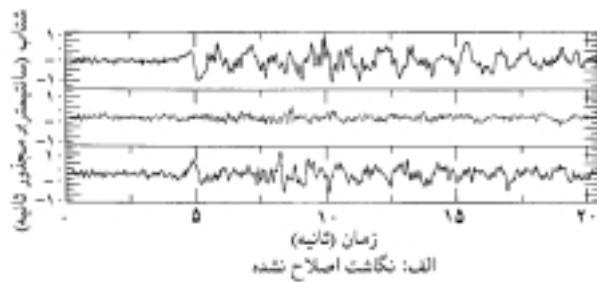
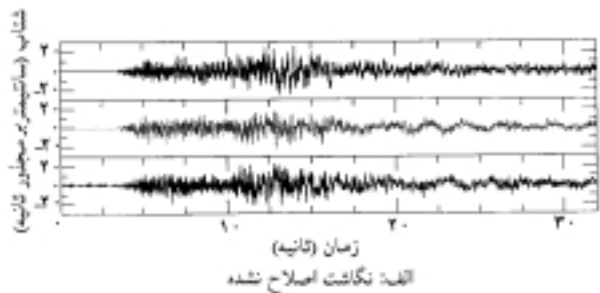
شکل (۳،۲): نگاشت ثبت شده در نیاریق



شکل (۶، ۲): نگاشت ثبت شده در آستارا

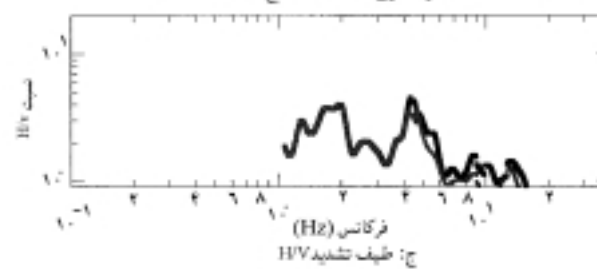
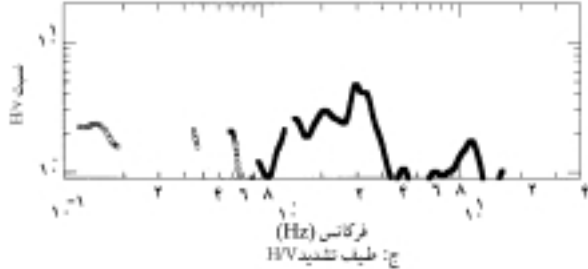
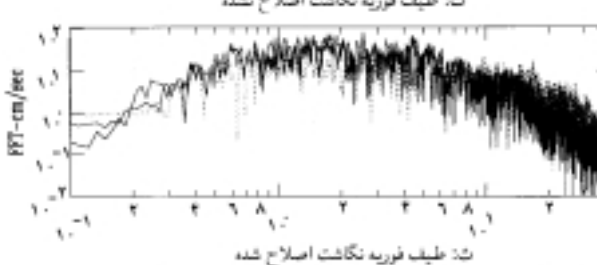
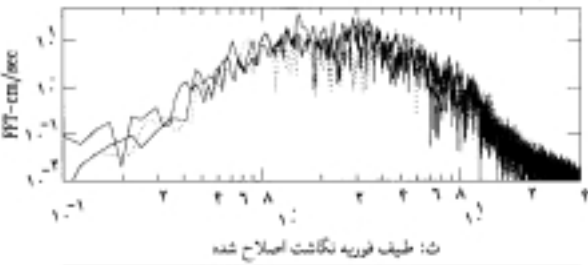
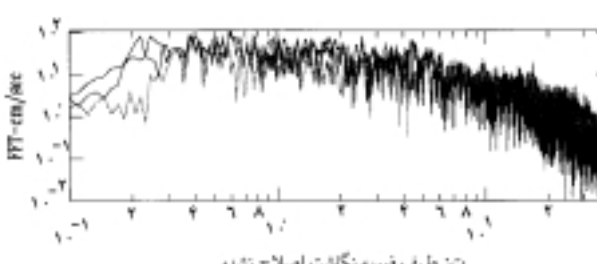
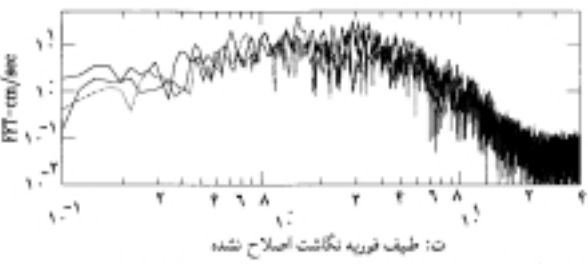
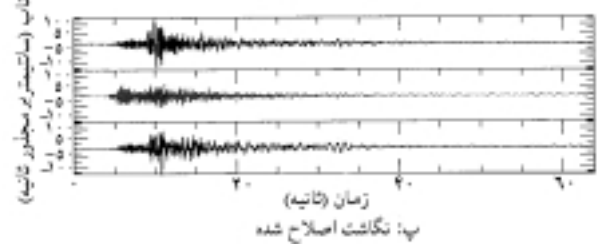
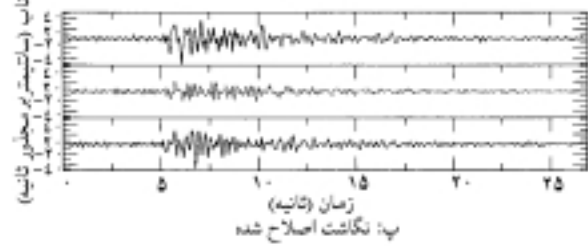
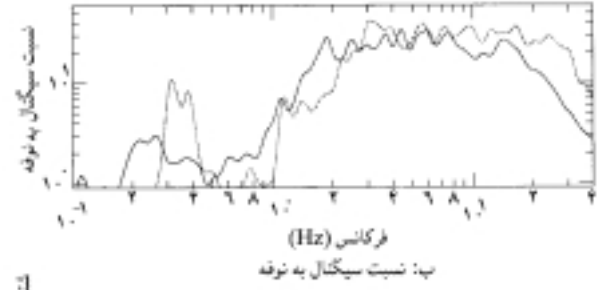
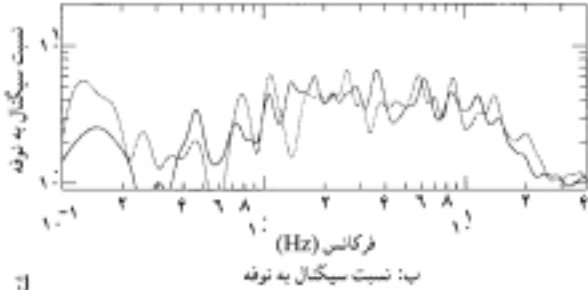
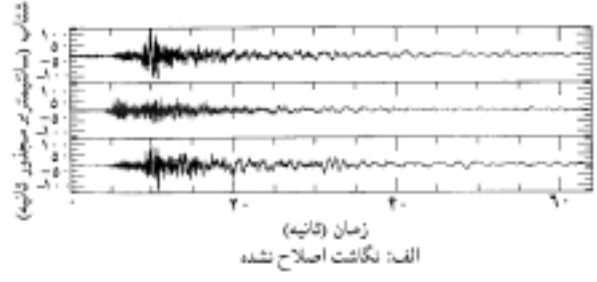
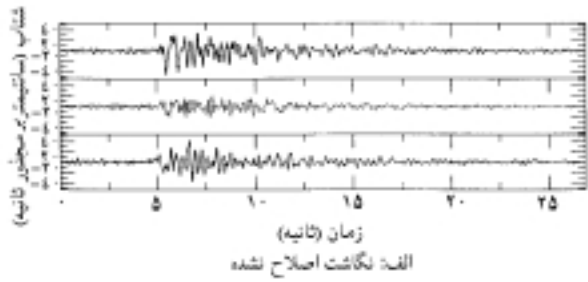


شکل (۵، ۲): نگاشت ثبت شده در اردبیل (استانداردی)



شکل (۸۰۲) نداشت ثبت شده در مشکین شهر

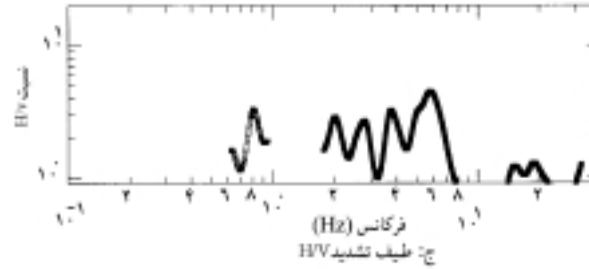
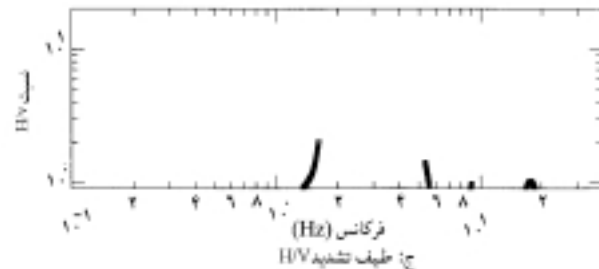
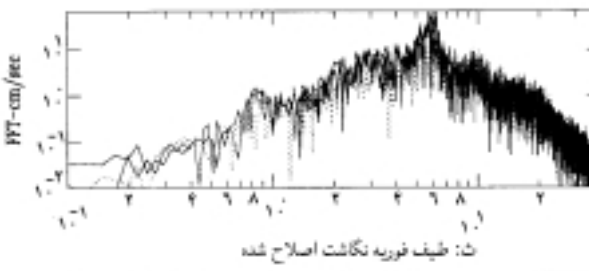
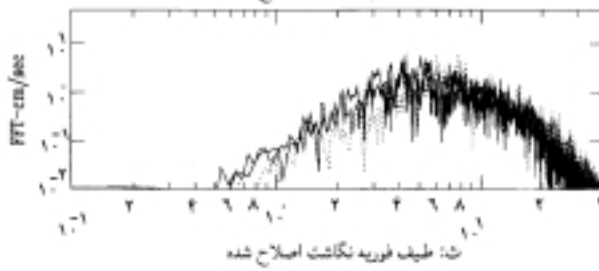
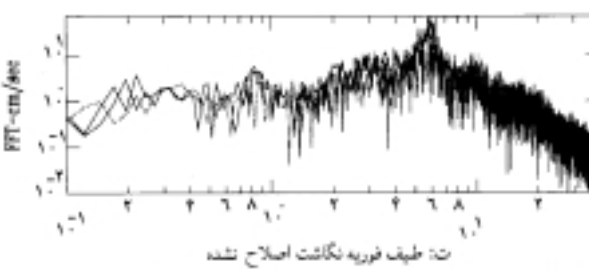
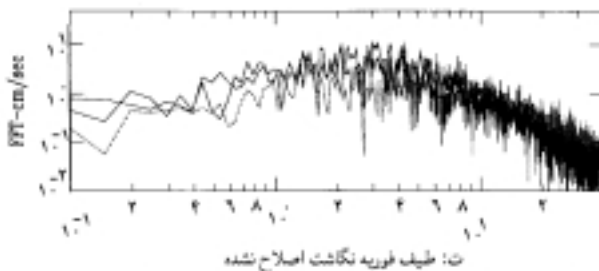
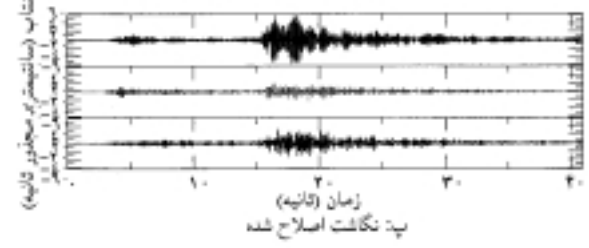
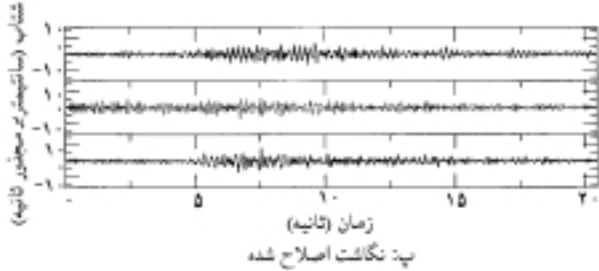
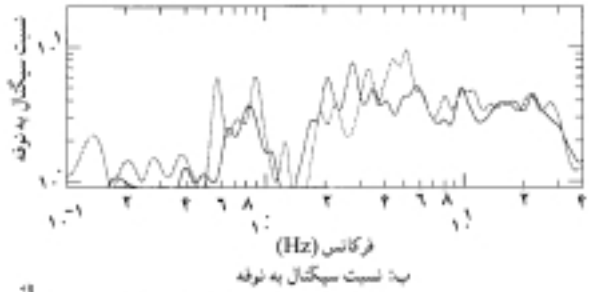
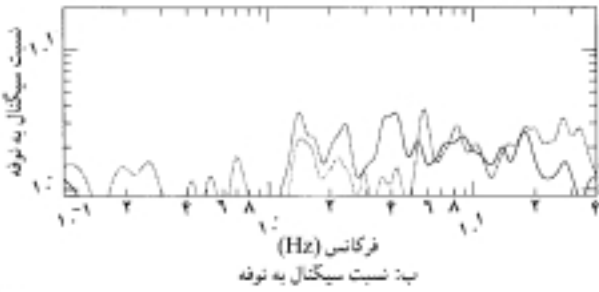
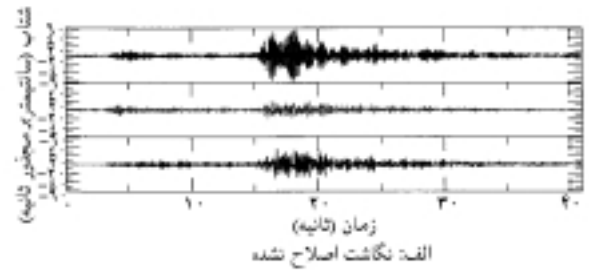
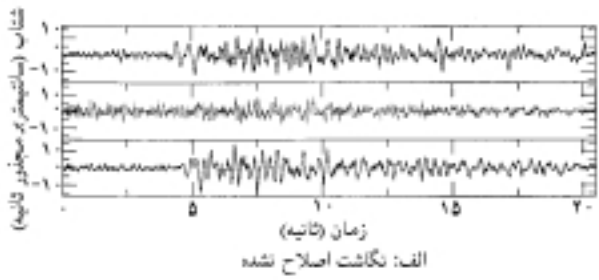
شکل (۷۰۲) نداشت ثبت شده در بیله سوار



شکل (۱۰،۲) نگاشت ثبت شده در گرمی

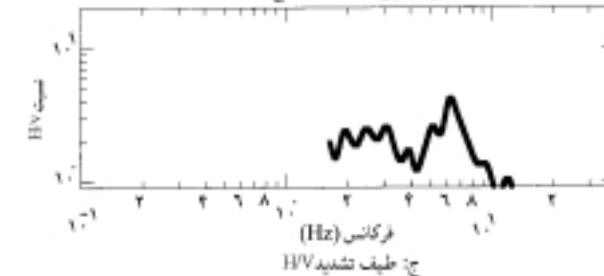
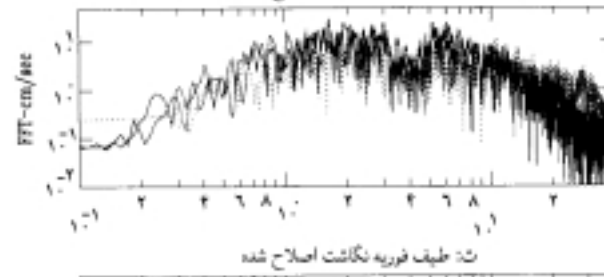
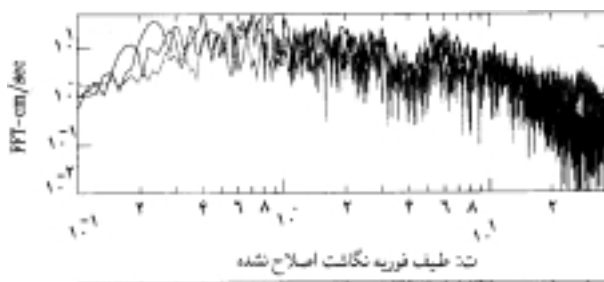
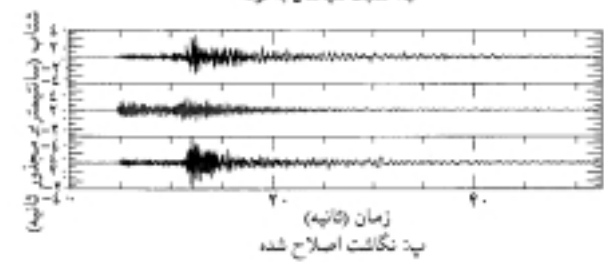
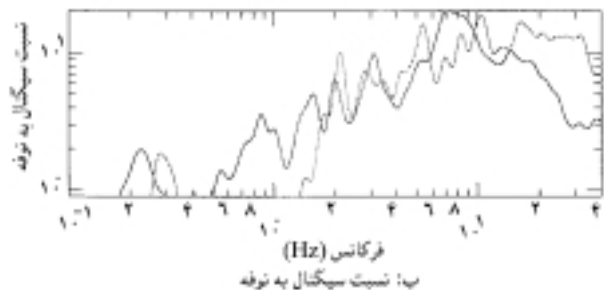
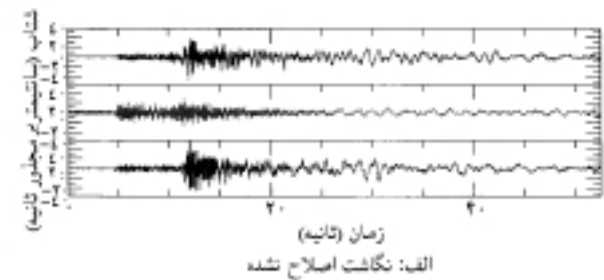
شکل (۹،۲) نگاشت ثبت شده در اردبیل (مسکن و شهرسازی)



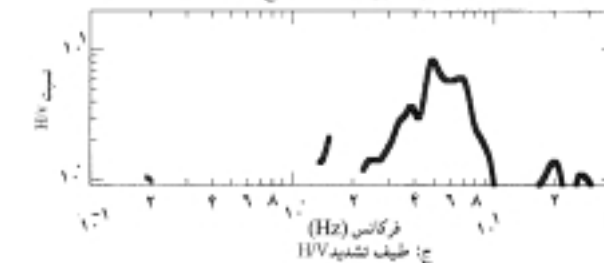
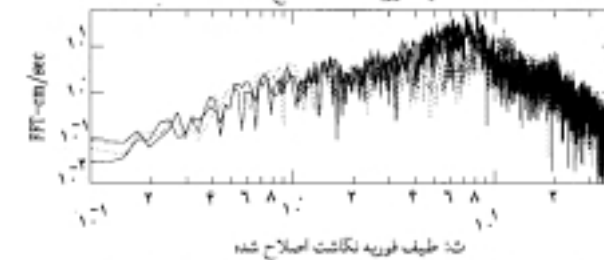
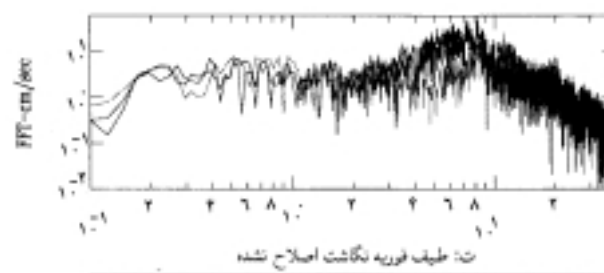
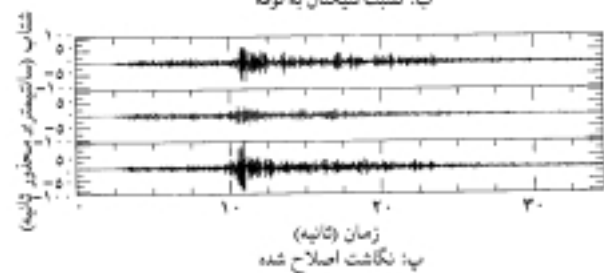
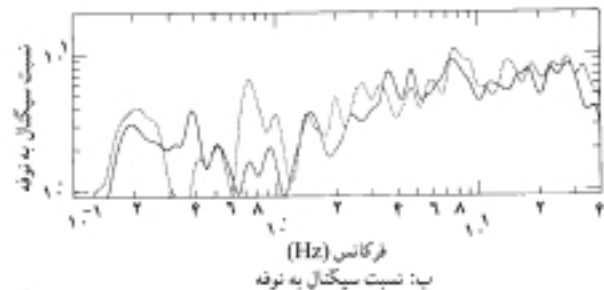
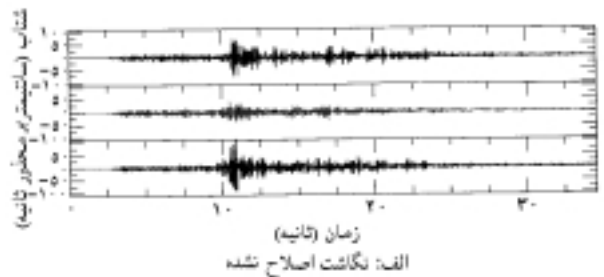


شکل (۱۲،۲) نگاشت ثبت شده در میانه

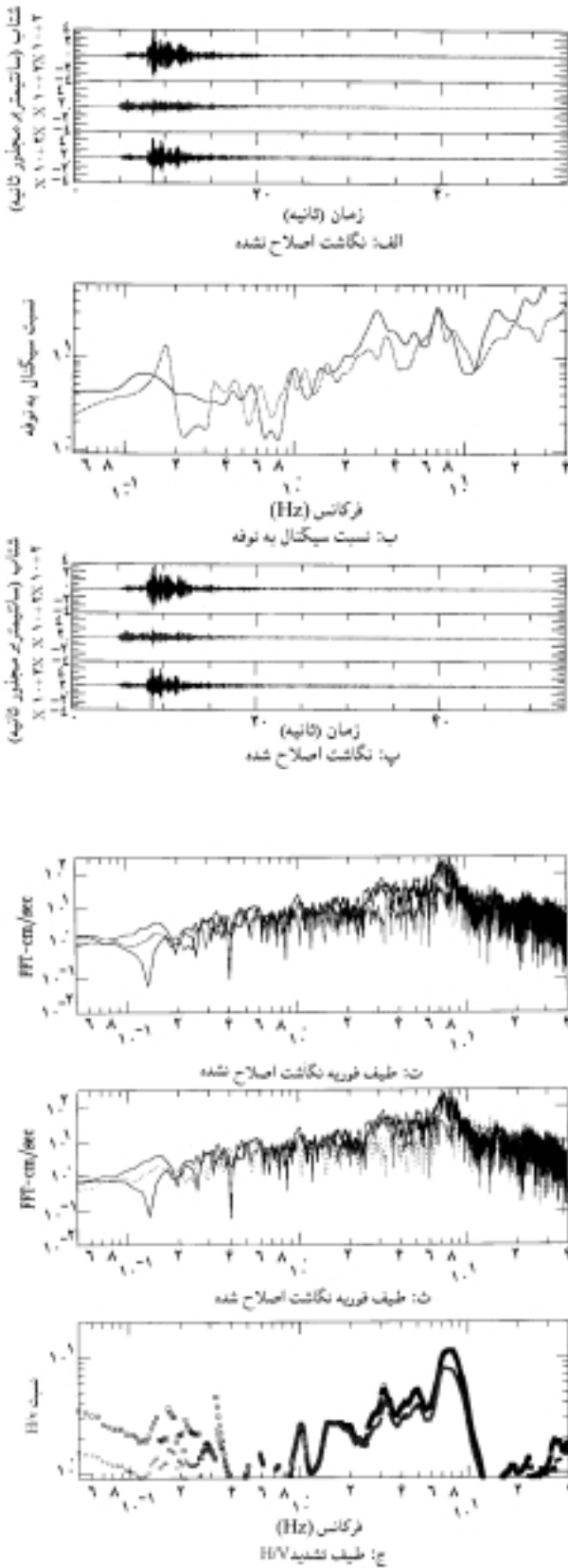
شکل (۱۱،۲) نگاشت ثبت شده در هیر



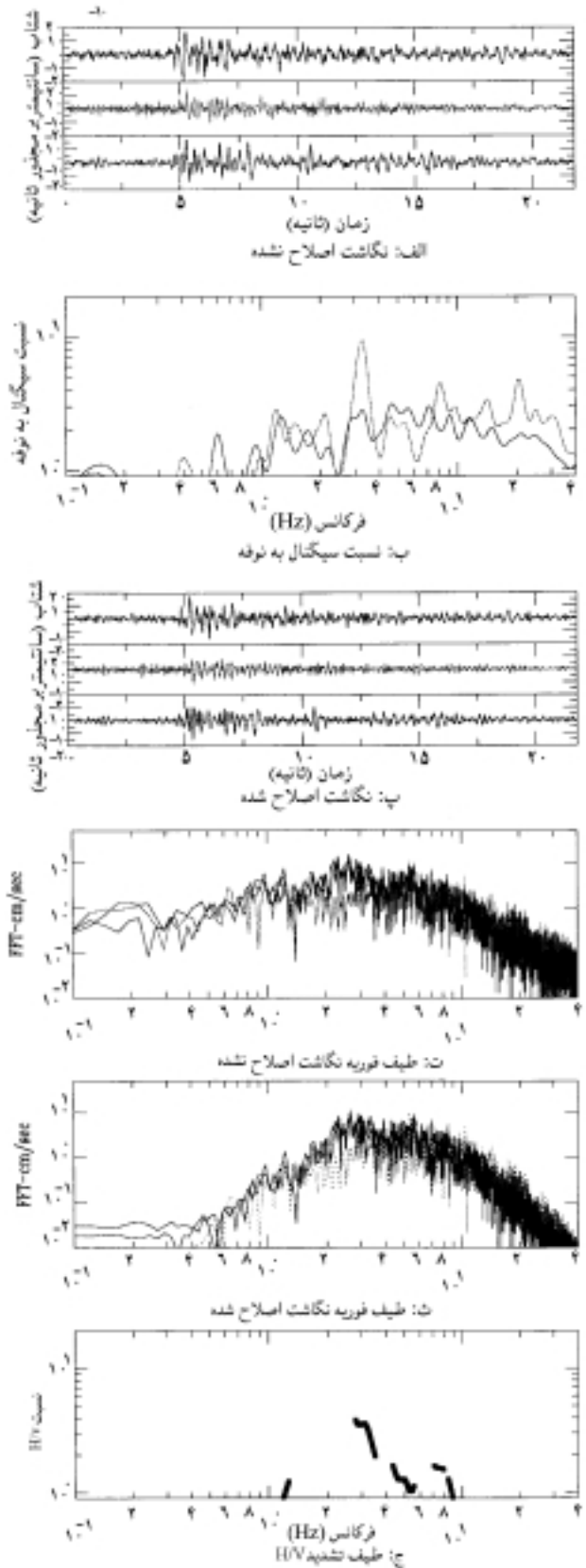
شکل (۱۴،۲) نگاشت ثبت شده در سریع



شکل (۱۳،۲) نگاشت ثبت شده در نمین



شکل (۱۶،۲) نگاشت ثبت شده در کریق



شکل (۱۵،۲) نگاشت ثبت شده در خلخال

انحراف معیار ارائه شده است. با توجه به نگاشتها مشخص می شود که فیلترهای  $LP$  و  $HP$  انتخابی براساس محاسبه نسبت سیگنال به نوفه اعمال و در جدول (۱) ارائه شده اند. به عنوان مثال، اگر در شکل (۲، ۱۶ الف) دقت شود بخشی از نگاشت که سیگنال های زلزله غلبه دارند، به عنوان سیگنال و بخشی که دامنه های سیگنال زلزله به حداقل می رسد، ولی همچنان نوسانهای کوچکی مشاهده می شود به عنوان نوفه انتخاب شده است. در این شکل، پنجره ۰ تا ۵۰ ثانیه به عنوان پنجره سیگنال و از ۵۰ تا ۶۰ ثانیه به عنوان پنجره نوفه قابل انتخاب است. این مقادارها در ستونهای هشتم و نهم جدول (۱) برای نگاشت کریق ارائه شده اند (سطر ۱۶ از جدول ۱). با محاسبه نسبت سیگنال به نوفه (شکل ۲، ۱۶ ب) مشخص است که باند فرکانسی بین ۰/۸ تا ۴۰ هرتز حدی بالاتر از نسبت سیگنال به نوفه برابر با ۳ نشان می دهد که این مقادارها به ترتیب به عنوان فیلترهای  $HP$  و  $LP$  انتخاب شده اند (ستونهای ۱۱ و ۱۲ در جدول ۱) و مقدار بیشترین نسبت سیگنال به نوفه در حد ۶۰ برابر بوده است، که در ستون ۱۰ این جدول آمده است. با فیلتر کردن این نگاشت، شکل (۲، ۱۶ پ) حاصل می شود. در شکل (۲، ۱۶ ت) طیف فوریه سه مؤلفه ای این نگاشت قبل از فیلتر کردن و در شکل (۲، ۱۶ ث) همین طیف پس از اعمال فیلتر مشاهده می شود. با ملاحظه این شکل، محل فرکانس گوشه در حد ۲/۵ هرتز مشخص می باشد (ستون ۱۳ جدول ۱). در نهایت نسبت  $H/V$  محاسبه و مشخصات مربوط به آن در ستونهای ۶ و ۷ جدول (۱) ارائه شده است. نتیجه محاسبه نسبت  $H/V$  در شکل (۲، ۱۶ ج) مشاهده می شود. ارائه نتایج این بررسی به صورت تصویری در تمام شکلهای (۲، ۱۶ تا (۲، ۱۶) آمده است.

۳-۱- محاسبه فاصله کانونی و بزرگای  $M_w$  برای هر نگاشت  
در نگاشتهایی که کیفیت مناسبی داشته اند (نسبت سیگنال به نوفه بالا بوده، فیلتر  $HP$  در محل فرکانس گوشه اعمال نشده باشد و اولین رسید موجهای  $P$  و  $S$  مشخص باشند)، فاصله کانونی و بزرگای گشتاوری محاسبه گردید. به این منظور با استفاده از رابطه ساده اختلاف زمان رسید فازهای  $S$  و  $P$  نسبت به محاسبه فاصله کانونی ( $R_h$  به کیلومتر) اقدام شده است:

$$R_h = 8 \times (t_s - t_p) \quad (3)$$

البته در هر مورد که کیفیت نگاشت نامناسب و یا نگاشت بدون پیش رویداد ارائه شده و زمان رسید فازهای  $S$  و  $P$  نامشخص بوده، این

$$M_o = \frac{A_o}{2\pi f_c^2} \cdot \frac{4\pi R_h \cdot \rho \cdot \beta^3}{R' \theta \phi \cdot F_s} \quad (4)$$

در رابطه (۴)،  $M_o$  بر حسب نیوتن-متر،  $A_o$  سطح بخش صاف طیف فوریه شتاب سرچشمه (متر بر ثانیه)،  $\rho$  سختی (که  $2/8 \times 10^{11}$  کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته می شود)،  $\beta$  سرعت موج برشی در پوسته (به طور متوسط  $3.0 \times 10^3$  متر بر ثانیه فرض می شود)،  $f_c$  فرکانس گوشه بر حسب  $Hz$ ،  $R' \theta \phi$  شکل انتشار زوج دوگانه برای موجهای  $SH$  و  $SV$  (به طور متوسط حدود  $0.6$  در نظر گرفته می شود) و  $F_s$  ضریب تشدید سطح آزاد (برابر با ۲) می باشند. به این ترتیب، برای نگاشتهایی که  $f_c$  در آنها در فرکانس بالاتر از فیلتر گذر بالا قابل تشخیص بوده، مقدار فرکانس گوشه محاسبه و در جدول (۱) ارائه شده است. با بهره گیری از رابطه (۴) برای نگاشتهایی که فرکانس گوشه و فاصله کانونی محاسبه شده، با استفاده از رابطه کاناموری [۵] برای محاسبه  $M_w$ :

$$M_w = 0.677 \times \log M_o - 6.0 \quad (5)$$

مقدارهای آن در حد  $5/2$  تا  $6/2$  حاصل و در جدول (۱) ارائه شده است. به طور متوسط مقدار  $M_w = 6.0$  برای زلزله  $1375$  گلستان اردبیل به دست آمد که با مقدار ارائه شده از سوی هاروارد همخوانی دارد.

#### ۴- بررسی اثرهای ساختگاه و تشدیدهای پرپود بلند

به منظور مطالعه اثرهای ساختگاه، نسبت طیفی ( $R_{HV}$ ) مؤلفه افقی به مؤلفه قائم محاسبه شده است. غلبه دامنه های موجهای برشی بر روی مؤلفه های افقی بیشتر از دامنه های موجهای فشاری ( $P$ ) است (که بیشتر روی مؤلفه قائم غلبه دارند). این موجها در صورت ورود به محیطی با مشخصات فیزیکی متفاوت با پی سنگ (با سرعت موج برشی متفاوت)، دچار بیشترین تغییر محتوای فرکانسی و دامنه می شوند؛ لذا، استفاده از نسبت طیفی می تواند نمایانگر تابع تشدید در محل ساختگاه مورد نظر باشد. برای محاسبه نسبت طیفی، میانگین طیف فوریه مؤلفه های افقی صاف شده شتاب بر طیف فوریه مؤلفه قائم صاف شده شتاب تقسیم می شود. اگر  $S_{HI}(f)$  و  $S_{H2}(f)$  طیفهای فوریه مربوط به مؤلفه های افقی شتاب و  $S_V(f)$  طیف فوریه مؤلفه قائم باشد و  $TH1$ ،  $TH2$  و  $T_V$  به ترتیب پنجره های زمانی برای

مؤلفه های افقی و قائم یاد شده در نظر گرفته شود، نسبت طیفی برابر است با:

$$R_{HV} = \frac{\sqrt{\frac{S_{H1}(f)^2}{2\sqrt{T_{H1}}} + \frac{S_{H2}(f)^2}{2\sqrt{T_{H2}}}}}{\frac{S_V(f)}{T_V}} \quad (6)$$

زارع و همکاران [۶] نشان دادند که بهره گیری از نسبت طیفی مذکور برای نگاشتهای جنبش شدید زمین در ایران، با مقایسه نتایج بررسیهای مقاطع سرعت موج و مطالعات میکروترمورها می تواند نشانه خوبی برای طبقه بندی جنس زمین (خاک) ساختگاه باشد. در صورتی که برای محاسبه نسبت مذکور، پنجره های زمانی سیگنال در مورد مؤلفه های افقی و قائم یکسان در نظر گرفته شود، رابطه (۶) را می توان به صورت رابطه (۷) خلاصه نمود:

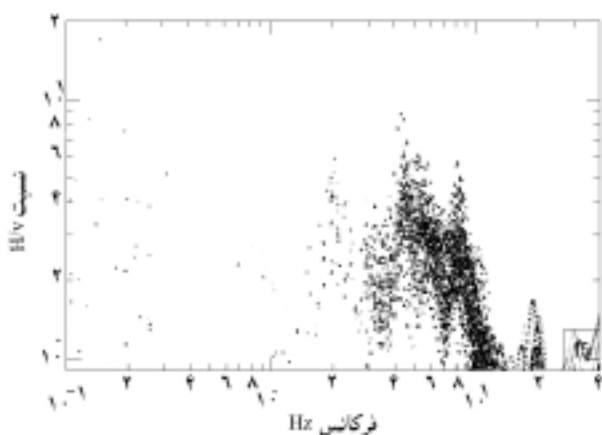
$$R_{HV} = \frac{1/2 [(S_{H1}(f) + S_{H2}(f))]}{S_V(f)} \quad (7)$$

البته در محاسبه نسبت مذکور، فقط بخشهایی از طیف فوریه مؤلفه های مختلف در نظر گرفته شده است که در آنها نسبت سیگنال به نوفه بیشتر از ۳ بوده است (سیگنال ها به وضوح بر نوفه ها غلبه داشته باشند). از سوی دیگر برای ساختگاههایی که چندین نگاشت (علاوه بر نگاشت لرزه اصلی زلزله ۱۳۷۵/۱۲/۱۰ گلستان اردبیل) در آنها ثبت شده اند، نتیجه نسبت طیفی به صورت میانگین و میانگین بعلاوه یک انحراف معیار نمایش داده شده است. برای نشان دادن پایداری این نسبت برای ساختگاههای مختلف، هنگام زلزله های مختلف (در فواصل و با بزرگای متفاوت) دو ساختگاه نیر (بخشدار) و کریق که به ترتیب ۶۱ و ۳۲ نگاشت در آنها ثبت شده، انتخاب و نسبتهای طیفی محاسبه شده برای نگاشتهای متفاوت به تفکیک (بدون محاسبه میانگین و میانگین بعلاوه یک انحراف معیار) در شکلهای (۳) و (۴) نمایش داده شده است. در صورت مقایسه شکل (۳) و شکل (۲، ج) برای ساختگاه نیر (بخشدار)، شباهت و پایداری مناسبی در طیف تشدید حاصل از نگاشتهای مختلف ثبت شده مشاهده می شود. همین شباهت در مقایسه شکل (۴) با شکل (۲، ج) در مورد ساختگاه کریق نیز قابل مشاهده است. نتایج حاصل از بررسیهای طیف تشدید با استفاده از معیار طبقه بندی پاسخ ساختگاههای مختلف جنبش شدید زمین در جدول (۱) در مورد باندهای فرکانسی فرکانس بنیادی ساختگاه (در حد بیش از آستانه ۳) ارائه شده است. بر اساس معیار ارائه شده برای ساختگاه های ایران توسط زارع و

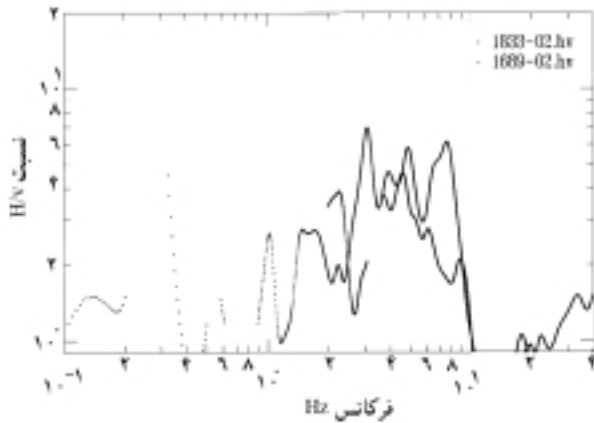
همکاران [۶] برای طبقه بندی ۱۳۸ ساختگاه شتابنگاری در ایران، اگر نسبت  $R_{HV}$  از حد آستانه ۳ در فرکانسهای مختلف کمتر باشد و یا  $R_{HV}$  بیش از ۳ در فرکانسهای بیش از ۱۵ هرتز مشاهده شود، نگاشت، مربوط به ساختگاه رده "۱" (ساختگاه سنگی) می باشد (معادل توسط سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول ضخامت خاک،  $V_s \geq 700$  متر بر ثانیه). هرگاه میزان  $R_{HV}$  بیش از ۳ در حد فرکانسهای ۵ تا ۱۵ هرتز مشاهده شود، ساختگاه رده "۲" (آبرفت سخت، سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول  $500 \leq V_s < 700$  متر بر ثانیه)،  $R_{HV} > 3$  در فرکانسهای ۲ تا ۵ هرتز ساختگاه رده "۳" (آبرفت نرم، سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول  $300 \leq V_s < 700$  متر بر ثانیه) و نسبت  $R_{HV} > 3$  در فرکانسهای کمتر از ۲ هرتز، ساختگاه رده "۴" (خاک نرم، سرعت موج برشی در ۳۰ متر اول  $V_s < 300$  متر بر ثانیه) تعیین می گردد.

بر این اساس، طبقه بندی نوع ساختگاه برای ایستگاههای مختلف، که نگاشت با کیفیت مناسب (نسبت بالای سیگنال به نوفه) در آنها در دسترس بوده است، انجام گردید (جدول ۱). در این جدول ایستگاههای رضی، مشکین شهر و سرعین در رده "۱"، ایستگاههای هیر و نمین در رده "۲"، ایستگاههای نیر، نیارق، گرمی و کریق در رده "۳" و ایستگاههای هریس، اردبیل (استانداری و مسکن و شهرسازی) و آستارا در رده "۴" طبقه بندی شده اند.

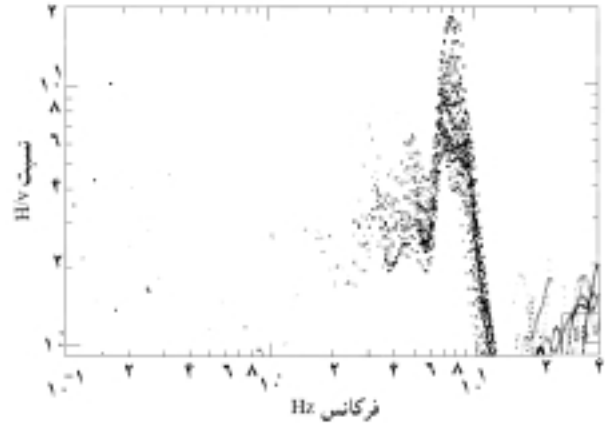
با توجه به محاسبه فاصله کانونی برای نگاشتهای مختلف، اثر احتمالی حوزه نزدیک نیز بررسی گردید (جدول ۱). نسبتهای طیفی برای نگاشتهای ثبت شده در نیر و کریق به ترتیب در فاصله های کانونی ۲۵ و ۲۰ کیلومتر (رده ساختگاه ۳ برای هر دو ایستگاه) و در اردبیل



شکل (۳): نسبتهای طیفی تشدید  $H/V$  ( $R_{HV}$ ) برای ۶۱ نگاشت ثبت شده در ایستگاه نیر (بخشدار)



شکل (۶): نسبت‌های  $R_{H/V}$  برای نگاشتهای ثبت شده در نیر و کریق (نزدیکترین نگاشتها به کانون زلزله در باختر و جنوب کانون)



شکل (۴): نسبت‌های طیفی تشدید  $H/V$  برای ۳۲ نگاشت ثبت شده در ایستگاه کریق

## ۵- نتیجه گیری و پیشنهاد

با بررسی نگاشتهای شتابنگاری در ۱۶ ایستگاه از شبکه ملی شتابنگاری کشور (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)، که در آنها لرزه اصلی زلزله ۱۳۷۵/۱۲/۱۰ گلستان اردیبهیل ثبت شده بود، نتایج زیر قابل ارائه می‌باشد:

- با محاسبه پارامترهای سرچشمه، بزرگای گشتاوری زمین لرزه بر اساس نگاشتهای شتابنگاری با کیفیت مناسب محاسبه گردید که با میانگین گیری از مقادیرهای محاسبه شده،  $M_w = 6.0$  برای لرزه اصلی زلزله گلستان حاصل شد که با مقدار ارائه شده از سوی *NEIC* همخوانی دارد.

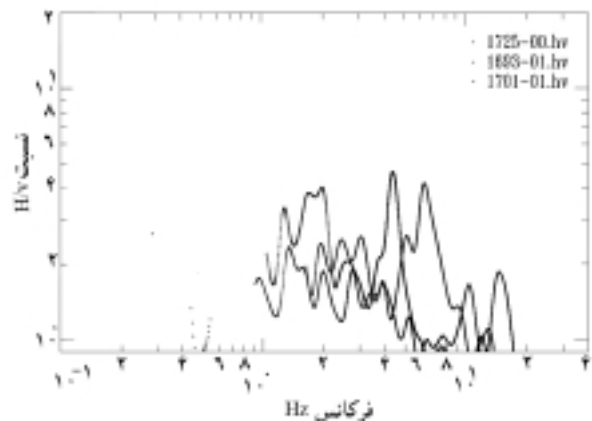
- بر اساس اندازه گیری فاصله های کانونی برای نگاشتهای مختلف (بویژه نگاشتهایی که در نزدیکترین فاصله ها نسبت به کانون به دست آمده اند)، موقعیت کانون زمین لرزه با توجه به ژرفای کانونی ۱۵ کیلومتری، مکانیابی مجدد و ارائه گردید.

- با مطالعه نزدیکترین نگاشتها نسبت به کانون زمین لرزه، اثر پیوند بلند حاصل از جهت پذیری در این نگاشتهای موجود از لرزه اصلی قابل مشاهده نبوده است. به هر حال، بیشینه شتاب حاصل در فاصله کانونی ۲۵/۵ کیلومتری در کریق (۵۷۸ سانتیمتر بر مجذور ثانیه) جالب توجه می باشد. دلیل چنین امری نیازمند بررسیهای بیشتر بر روی این نگاشتها می باشد.

با ملحوظ نمودن این نتایج، پیشنهادهای زیر برای مطالعات بعدی ارائه می شود:

- بررسیهای دقیق ساختگاه با برداشت نیمرخهای سرعت موج (برداشتهای لرزه ای شکست مرزی) و اندازه گیری میکروترموورها

و سرعین در فاصله های کانونی ۳۸/۵ و ۴۴ کیلومتر (رده های ساختگاه ۴ برای ایستگاههای اردیبهیل و سرعین) به طور جداگانه در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده اند. با توجه به اینکه نزدیکترین نگاشت به کانون لرزه اصلی در فاصله ۲۵ کیلومتری و بر روی ساختگاه آبرفت نرم ثبت شده است و از طرفی دیگر اثرهای تشدید پیوند مؤلفه افقی در محدوده های فرکانسهای کمتر از ۲ هرتز در شکل‌های (۵) و (۶) مشهود نمی‌باشد، به نظر می‌رسد که این نگاشتهای موجود از زلزله گلستان اردیبهیل نمایانگر اثر جهت پذیری نمی‌باشند. در صورتی که ژرفای کانونی (مطابق گزارش هاروارد) ۱۵ کیلومتر در نظر گرفته شود، با محاسبه فاصله های کانونی برای نگاشتهایی که با کیفیت مناسب ثبت شده و اولین رسید موجهای *P* و *S* در آنها واضح بوده است، پیشنهاد می‌شود که مختصات کانون زمین لرزه به جای محل ارائه شده توسط *NEIC* با مختصات  $38/057N$  و  $47/050E$  در مختصات  $38/060N$  و  $47/110E$  واقع بوده است.



شکل (۵): نسبت‌های  $R_{H/V}$  برای نگاشتهای ثبت شده در اردیبهیل (دو ایستگاه) و سرعین (نزدیکترین نگاشتها به کانون زلزله در شمال کانون)

داده های شتابنگاری اصلاح نشده مورد استفاده در این مطالعه از سوی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در اختیار پژوهشگاه قرار گرفته است که بدینوسیله از این مرکز سپاسگزار می‌شود. آقای مهندس میرزایی علویجه (کارشناس مرکز یاد شده) نیز در مورد محل نگاشت زلزله های یاد شده با ارائه مختصات محل هر ایستگاه راهنماییهای سودمندی نمودند که از ایشان نیز قدردانی می‌گردد.

## ۷- مراجع

- ۱- زارع، مهدی. "بررسی مقدماتی لرزه خیزی، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه- گسلش در پهنه استان اردبیل"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال سوم، شماره دوم، صفحه ۵۰-۵۶، ۱۳۷۹.
2. Konno K., and Ohmachi, T. (1998), "Ground Motion Characteristics Estimated From Spectral Ratio Between Horizontal and Vertical Components of Microtremors", Bull. of Seis. Soc. of America (BSSA), Vol. 88, No. 1, pp. 228-241.
3. Brune, J. N. (1970), "Tectonic Stresses and the Spectra of Seismic Shear Waves", J. Geoph. Res., Vol. 75, pp. 4997-5009.
4. Hanks, T.C. (1979), "b Value and  $\omega^Y$  Seismic Source Models: Implications for Tectonic Stress Variations Along Active Crustal Fault Zones", J. Geoph. Res., Vol. 84, pp. 2235-2242.
5. Kanamori, H. (1977), "The Energy Release in Great Earthquakes", J. Geoph. Res., Vol. 82, pp. 2981-2987.
6. Zare, M., Bard, P.y., Ghafory-Ashtiany, M. (1999), "Site Characterizations for the Iranian Strong Motion Network" Journal of Strong Motion Network, Soil Dynamics and Earthquake Eng. (SDEE), Vol. 18, No. 2, pp. 101-123. ◀

در ساختگاههای شتابنگاری که زلزله گلستان در آنها ثبت شده- است، پیشنهاد می‌شود. نتایج چنین بررسیهایی قابل مقایسه با نتایج رده بندی ساختگاه بر اساس نسبت طیفی برای جنبش شدید زمین می‌باشد.

- بررسیهای دقیق میکروترمورها در هر محل می‌تواند به مقایسه نتایج حاصل از جنبش ضعیف و جنبش شدید زمین کمک نماید.
- نصب تعدادی ایستگاههای شتابنگاری در نزدیکی گسلهای بنیادی و فعال و مرزهای بین کوه و دشت که مشکوک به عبور گسلهای فعال و کوآترنری می‌باشند، ضروری به نظر می‌رسد. این ایستگاهها در ثبت نگاشتهای حوزه نزدیک در زلزله های آینده کمک فراوانی خواهد نمود.
- تولید و مطالعه نگاشتهای مصنوعی با استفاده از سیگنال های فرضی و تابع تجربی گرین برای ساختگاه های مختلف در حوزه نزدیک به کانون زلزله گلستان پیشنهاد می‌شود. در چنین محلهایی با توجه به ثبت پس لرزه های فراوان امکان انجام مدلسازیهای تجربی بر اساس جنبش ضعیف برای تولید نگاشت لرزه اصلی وجود دارد.
- مطالعه جنبش ذره ای بر روی نگاشت کریک احتمالاً به یافتن دلیل ثبت بیشینه شتاب با مقداری بسیار زیاد (بیش از  $0.5g$ ) در این محل کمک خواهد نمود. این مطالعات انشالنه در آینده بر اساس داده های موجود ادامه خواهد یافت.

## ۶- تشکر و قدردانی