

# مطالعه پارامترهای زلزله‌شناسی و اثر ساختگاهی با استفاده از نگاشتهای زلزله داهوئییه (زرنده)

محمدرضا قائم‌میان، دانشیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک/علیرضا نوجوان، فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی زلزله پژوهشگاه

## ۱- چکیده

۲۸۰۰ و ۱۹۹۷، UBC استفاده شده است. پس از دسته‌بندی ساختگاهها، طیف پاسخ شتاب برای مؤلفه‌های افقی و قائم نگاشت ثبت شده در هر طبقه‌بندی محاسبه شده است. پس از آن طیفهای پاسخ محاسبه شده برای مؤلفه افقی در ساختگاههای هر طبقه با طیفهای طراحی ارائه شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش اول (مصوب ۱۳۶۶)، ویرایش دوم (مصوب آذر ماه ۱۳۷۸) و ویرایش سوم (مصوب ۱۳۸۴) مقایسه شده است. این مقایسه می‌بیند آن است که طیفهای ارائه شده در ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ همخوانی خوبی با نتایج تجربی نشان می‌دهند. **کلیدواژه‌ها:** اثر ساختگاه، تابع بزرگنمایی، فرکانس غالب، طبقه‌بندی ساختگاه، طیف پاسخ شتاب، طیف طرح، آیین‌نامه ۲۸۰۰

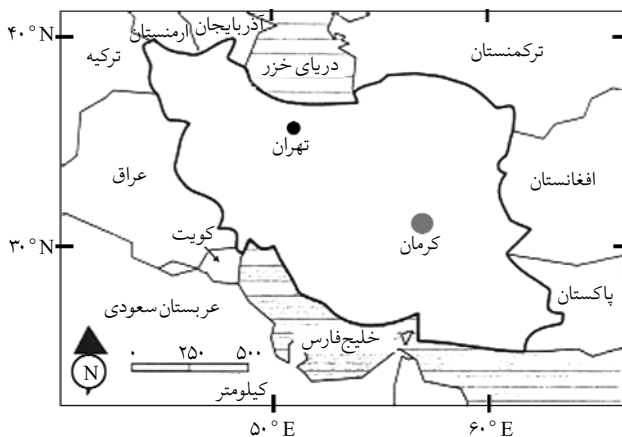
## ۲- مقدمه

پراکندگی خسارات زلزله به خوبی نشان می‌دهد که خصوصیات زلزله تا حدود زیادی به مشخصات دینامیکی ساختگاه بستگی دارد. خصوصیات یک زلزله با توجه به مشخصات فیزیکی خاک می‌تواند در فرکانس‌های مشخصی تشدید و یا تضعیف شود [۱]. در سالهای اخیر بررسی اثر

مطالعه پراکندگی خسارت در زلزله‌های مختلف می‌بیند اهمیت تأثیر ساختگاه بر مشخصات زمین لرزه می‌باشد. امواج زلزله در هنگام انتشار از سنگ بستر به سطح زمین تحت اثر خصوصیات دینامیکی آبرفت در فرکانس‌های خاصی تقویت و یا تضعیف می‌شوند. در صورت برابری این فرکانس با فرکانس طبیعی سازه، پدیده تشدید رخ می‌دهد که این پدیده سازه را تخریب می‌کند. در این تحقیق، اثر ساختگاه با استفاده از نگاشتهای ثبت شده در زمین لرزه داهوئییه در ۲۷ ایستگاه شتابنگاری واقع در محدوده ۵۴ تا ۵۹ درجه طول و ۲۹ تا ۳۲ درجه عرض جغرافیایی بررسی شده است. در این بررسی، ابتدا تابع بزرگنمایی ساختگاه با استفاده از نسبت طیفی مؤلفه افقی به قائم (HV/SR) در حوزه فرکانسی، محاسبه شده است. سپس با استفاده از تابع بزرگنمایی محاسبه شده در هر ساختگاه، فرکانس غالب ساختگاه تعیین و بر اساس فرکانس غالب به دست آمده، ساختگاههای مورد مطالعه طبقه‌بندی گردیده است. بر اساس این طبقه‌بندی از مجموع ۲۷ ایستگاه ثبت‌کننده زلزله اصلی زرنده، ۵ ساختگاه در طبقه خاکهای با سختی متوسط (گروه III) و ۲۲ ساختگاه در طبقه نرم (گروه IV) قرار گرفتند. به منظور مقایسه نتایج نیز از روشهای آیین‌نامه

## ۳- زلزله داهوئیه و مشخصات لرزه‌شناسی آن

در تاریخ ۴ اسفند ۱۳۸۳ در ساعت ۵ و ۵۶ دقیقه، زمین لرزه نیرومندی با بزرگای گشتاوری  $M_w = 6.4$  شهرستان زرنده و روستاهای اطراف آن را بشدت لرزاند. مشخصات کانونی این زمین لرزه توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ۳۰/۷۶ درجه عرض شمالی و ۵۶/۷۴ درجه طول شرقی گزارش شد. بر اثر این زمین لرزه ۶۱۲ نفر کشته و بیش از ۱۴۰۰ نفر زخمی شدند. بر اساس گزارشهای موجود، روستاهای داهوئیه، حتکن و مدبون ۱۰۰ درصد تخریب شد و به روستاهای دیگر در این ناحیه خسارات شدیدی وارد گردید [۳]. موقعیت کلی زلزله و منطقه آسیب دیده در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): نقشه منطقه آسیب دیده در زلزله زرنده

ژرفای کانونی این زلزله بین ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر و با توجه به عمق کانونی کم و شدت زیاد این زلزله در پهنه رو مرکزی، تخریب شدید در محدوده روستاها و شهرهای حتکن، داهوئیه، اسلام‌آباد، هجدک و عبدالآباد قابل توجه است. کاهندگی سریع عمق کم این زلزله به گونه‌ای است که در محدوده شهر زرنده در فاصله کانونی حدود ۱۶ کیلومتری میزان خسارت و خرابی بسیار کم بوده است. این مسأله در ناحیه شرق لوت سابقه داشته و به طور کلی زلزله‌های این ناحیه از ایران مرکزی (نظیر زلزله بم) کاهندگی سریع نشان می‌دهند؛ به گونه‌ای که با دور

ساختگاه یکی از موضوعات مورد توجه در مهندسی زلزله بوده و مطالعات گسترده‌ای در این خصوص صورت گرفته است. در این راستا، روشهای مختلفی از جمله روش نسبت طیفی ساختگاه رسوبی به ساختگاه ( $H_s/H_r$ ) و یاروش نسبت طیفی مؤلفه افقی به قائم ( $H/V$ ) به منظور تعیین اثر ساختگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲]. امروزه روش نسبت طیفی  $H/V$  بویژه برای تعیین فرکانس غالب ساختگاه در مناطق فاقد اطلاعات دقیق ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی، کاربرد فراوان دارد. بدین ترتیب فرکانس غالب تابع بزرگنمایی ساختگاه بر اساس مدل یک بعدی که با نسبت طیفی  $H/V$  همخوانی نشان می‌دهد، قابل محاسبه است. از آنجا که خاک به علت ماهیت مصالح و نوع رفتار آن در مناطق مختلف دارای خصوصیات متفاوتی است، به منظور اعمال اثر آن در طراحی و طیف طرح، لازم است طبقه‌بندی شود تا امکان تأثیر خاک با توجه به مشخصات دینامیکی هر طبقه در طیف طراحی میسر گردد. سپس بر اساس این طبقه‌بندی می‌توان میزان اثر ساختگاه در حرکات زمین را پیش‌بینی و در طراحی سازه‌ها لحاظ نمود.

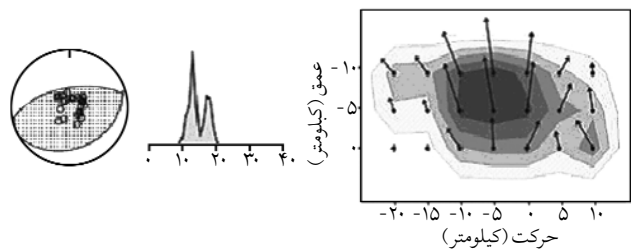
در این مقاله مشخصات حرکت توانمند زمین تشریح و رابطه فاصله کانونی با بیشینه شتاب حرکات توانمند زمین ( $PGA$ ) و مدت زمان مؤثر زلزله برای مؤلفه‌های افقی و قائم بیان و با استفاده از نسبت طیفی  $H/V$  تابع بزرگنمایی در هر ساختگاه محاسبه شده است. پس از آن فرکانس غالب ساختگاه از روی تابع بزرگنمایی حاصله استخراج و ساختگاههای مورد نظر بر اساس فرکانس غالب طبقه‌بندی شده است. در نهایت طیف پاسخ شتابنگاشتهای ثبت شده در هر طبقه محاسبه و پس از میانگین‌گیری با طیف طراحی ارائه شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ مربوط به همان طبقه مقایسه شده است.

جدول (۱): موقعیت ایستگاههای ثبت کننده زلزله اصلی داهوئییه (زرنده) [۵]

ردیف	ایستگاه	شماره نگاشت	مختصات جغرافیایی		بیشینه شتاب زمین (سانتیمتر بر مجذور ثانیه)			فاصله کانونی (کیلومتر)	ارتفاع (متر)
			عرض شرقی (درجه)	طول شمالی (درجه)	T	V	L		
۱	چترود	۳۶۶۰/۰۱	۵۶/۹۱	۳۰/۶	۵۶/۷۸	۵۳/۱۸	۱۰۰/۱۱	۲۴	۱۸۴۱
۲	راور	۳۶۶۱	۵۶/۷۹	۳۱/۲۶	۱۲۰/۹۴	۳۳/۵۹	۷۵/۰۲	۵۶	۱۲۴۴
۳	کرمان ۱	۳۶۶۲	۵۷/۰۴	۳۰/۲۹	۳۳/۱۱	۱۷/۸۴	۳۰/۷۶	۶۰	۱۷۶۷
۴	باغین	۳۶۶۳	۵۶/۸۱	۳۰/۱۹	۲۶/۴۷	۱۵/۷۴	۲۴/۳۲	۶۴	۱۷۱۸
۵	مهریز	۳۶۶۴	۵۴/۴۳	۳۱/۵۷	۷/۸۸	۴/۵	۱۱/۴۵	۲۳۸	۱۴۸۰
۶	ترز	۳۶۶۵	۵۶/۴۹	۳۱/۳۹	۲۴/۹۹	۱۶/۷۴	۳۵/۵۳	۷۴	۱۸۲۰
۷	بهداران	۳۶۶۶	۵۴/۹۵	۳۱/۳	۹/۵۴	۷/۰۶	۱۵/۴۴	۱۸۱	۱۴۶۰
۸	بردسیر	۳۶۶۷	۵۶/۵۷	۲۹/۹۲	۱۰/۹۴	۱۲/۱۶	۱۲/۳۶	۹۵	۲۱۱۳
۹	بافق	۳۶۶۸	۵۵/۴۲	۳۱/۶۲	۱۱/۰۸	۵/۶۷	۱۳/۷۹	۱۵۸	۹۵۱
۱۰	بهباد	۳۶۶۹	۵۶/۰۲	۳۱/۸۷	۱۲/۵۴	۷/۲۴	۱۴/۲۲	۱۴۱	۱۳۷۳
۱۱	بیاض	۳۶۷۰	۵۵/۴۴	۳۰/۷	۹/۰۹	۱۰/۰۴	۱۰/۸۶	۱۲۴	۱۴۵۳
۱۲	زرنده	۳۶۷۱/۰۱	۵۶/۵۷	۳۰/۸۱	۳۳/۱۴	۳۰/۱۳	۲۴۰/۵۴	۱۷	۱۶۷۸
۱۳	سیرج	۳۶۷۲	۵۷/۵۵	۳۰/۲	۱۳/۱۵	۵/۷	۸/۸۳	۱۰۰	۱۶۸۵
۱۴	رفسنجان	۳۶۷۳	۵۵/۹۹	۳۰/۴۱	۲۳/۵۹	۹/۷۶	۲۰/۸۲	۸۲	۱۵۲۰
۱۵	انار	۳۶۷۴	۵۵/۲۷	۳۰/۸۷	۱۸/۲۷	۸/۵۹	۱۵/۰۳	۱۴۱	۱۴۲۳
۱۶	چشمه سبز	۳۶۷۵	۵۶/۴۲	۲۹/۴۶	۱۰/۳۸	۴/۷۷	۱۲/۵۱	۱۴۸	۲۵۸۱
۱۷	کوهبنان	۳۶۷۷	۵۶/۲۷	۳۱/۴۲	۱۲/۲۸	۷/۴۸	۱۰/۱۳	۸۶	۲۰۰۸
۱۸	ملا اسماعیل	۳۶۷۸	۵۵/۹۵	۳۲/۰۴	۱۳/۳۸	۷/۰۴	۱۹/۷۶	۱۶۱	۱۳۴۶
۱۹	دهلولو	۳۶۷۹	۵۷/۲۹	۳۰/۵۲	۵۱/۷۵	۲۱/۵۸	۳۲/۸۲	۵۹	۲۰۶۹
۲۰	پاریز	۳۶۸۴	۵۵/۷۴	۲۹/۸۷	۱۲/۲	۶/۴۳	۱۲/۳۲	۱۳۸	۲۳۲۵
۲۱	شهر بابک	۳۶۸۵	۵۵/۱۲	۳۰/۱	۱۴/۰۱	۱۱/۷۳	۱۸/۵۵	۱۷۳	۱۸۴۰
۲۲	دشت خاک	۳۶۸۶	۵۶/۵۵	۳۱/۰۶	۵۰/۵۷	۴۲/۲۴	۶۲/۸۴	۳۸	۲۲۲۶
۲۳	کرمان ۲	۳۶۸۷	۵۷/۰۷	۳۰/۲۸	۲۴/۴۸	۲۲/۹۴	۲۶/۳۳	۶۲	۱۷۵۵
۲۴	هورجند	۳۶۸۸	۵۷/۱۵	۳۰/۶۷	۴۶/۸۶	۶۷/۶۹	۴۱/۴۳	۴۰	۲۳۲۰
۲۵	سد قارونی	۳۶۸۹/۰۱	۵۶/۸۲	۳۰/۹۶	۲۱۸/۸۷	۱۰۸/۰۹	۱۴۲/۱۱	۲۴	۱۶۶۵
۲۶	سد شیرین رود	۳۶۹۷/۰۱	۵۷/۰۳	۳۰/۸۱	۵۱۰/۰۹	۲۵۲/۱۳	۲۰۲/۵۵	۲۸	۱۷۸۸
۲۷	داوران	۳۷۰۲	۵۶/۱۹	۳۰/۵۸	۵۵/۸۴	۳۳/۱۷	۴۸/۳۲	۵۶	۱۸۶۰

مبنا، محاسبه نسبت سیگنال به نوفه و اصلاح اثرهای آن می باشد. به همراه کلیه نگاشتهای ثبت شده، امواج ناخواسته ای به نام نوفه نیز ثبت می گردد. برآورد میزان حضور این امواج بر روی نگاشت با استفاده از محاسبه نسبت سیگنال به نوفه انجام

شدن پهنه رو مرکزی، میزان خرابی و خسارت شدت کاهش می یابد. از نظر سابقه لرزه خیزی، منطقه زلزله زده در جنوب شرقی ایران در یک پهنه فعال زلزله خیز واقع است. از شهر بم هیچ زمین لرزه تاریخی تا پیش از ۱۳۸۲/۱۰/۵ گزارش نشده است. به سوی شمال غرب بم، چهار زمین لرزه بزرگ با بزرگای بیش از ۶/۵ بین سالهای ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۲ در ناحیه گلباف و سیرج رخ داده است [۳]. ساز و کار معکوس این زمین لرزه و نحوه حرکت روی سطح گسل در شکل (۲) نشان داده شده است. در این شکل مشخص است که حرکت به صورت تراستی بوده و باعث جابه جایی بلوک شمالی به سمت بالا شده است.



شکل (۲): نحوه حرکت بر روی سطح گسل زمین لرزه داهوئییه [۴]

#### ۴- داده های مورد استفاده و نحوه پردازش آنها

۲۷ ایستگاه شتابنگاری زلزله اصلی داهوئییه را ثبت نمودند. موقعیت این ایستگاهها و مشخصات نگاشت ثبت شده در هر یک از آنها در جدول (۱) ارائه شده است [۵]. رویداد اصلی در منطقه زرنده، بلافاصله با حدود ۴۵ پس لرزه آغاز شد. بزرگترین پس لرزه ها با بزرگای  $M_L=4.3$  در شبکه لرزه نگاری باندپهن پژوهشگاه ثبت شد. عمق این پس لرزه ها بین ۱۴ تا ۱۸ کیلومتر و بزرگای آنها بین ۲/۸ تا ۴/۳ می باشد.

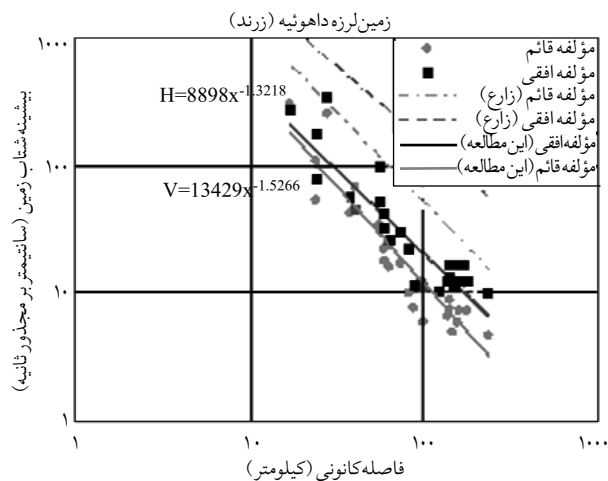
نگاشتهایی که توسط دستگاههای لرزه نگاری ثبت می گردد، به دلایل مختلفی با خطا همراه است و باید قبل از استفاده تصحیح گردد. تصحیح و پردازش استاندارد شامل تصحیح خط

## ۵- مشخصات حرکات توانمند زمین در زمین لرزه داهوئی (زرد)

در این بخش مشخصات حرکات توانمند زمین با استفاده از شتابنگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌های شبکه شتابنگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن بررسی شده است.

### ۵-۱- تغییرات بیشینه شتاب با فاصله کانونی

پس از تصحیح شتابنگاشت‌ها، مشخصات حرکات توانمند زمین در زمین لرزه داهوئی بررسی شده است. بدین منظور روند تغییرات بیشینه شتاب با فاصله کانونی در زلزله داهوئی برای مؤلفه‌های افقی و قائم مطابق شکل (۴) ارائه و نتایج با نمودارهای نظری کاهندگی برای مؤلفه‌های افقی و قائم مقایسه شده است [۶].



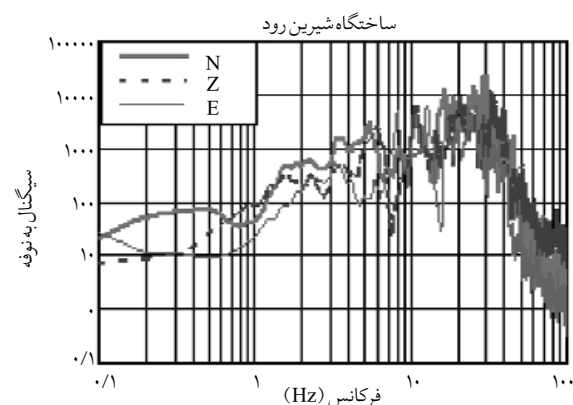
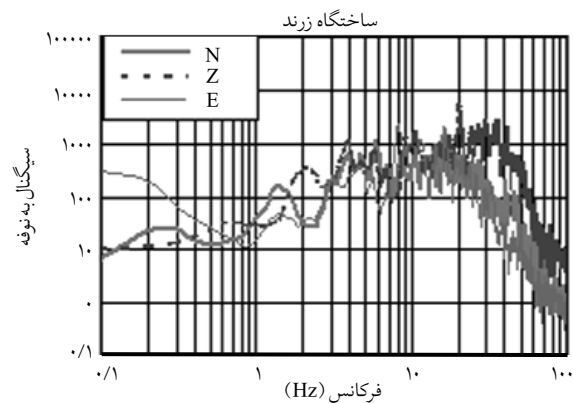
شکل (۴): توزیع شتاب بیشینه در برابر فاصله کانونی برای مؤلفه‌های افقی و قائم ایستگاه زرد و مقایسه با نمودارهای نظری

معادله خط رگرسیون آنها نیز مطابق رابطه (۱) تعیین شده است:

$$L_n(A) = a + bL_n(X) \quad (1)$$

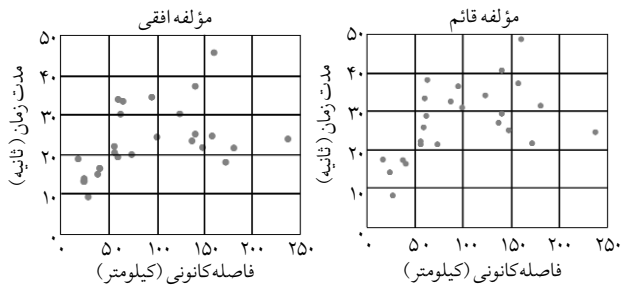
در رابطه (۱)،  $A$  بیشینه شتاب ثبت شده،  $X$  فاصله کانونی،  $a$  و  $b$  ضرایب ثابت رگرسیون هستند. بدین ترتیب ضرایب  $a$  و  $b$  ضریب همبستگی ( $R$ ) برای مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله داهوئی مطابق جدول (۲) محاسبه شده است. ضریب  $b$  برای مؤلفه قائم بزرگتر از مقدار متناظر برای مؤلفه افقی می‌باشد که

می‌گیرد. چنانچه دامنه این نسبت از حد آستانه مشخصی (به عنوان مثال، سه) بیشتر باشد، میزان نوفه موجود در نگاشت، تأثیر کمی بر روی نتایج مطالعات نسبت طیفی خواهد داشت. در غیر این صورت حد فرکانسی که از این مقدار کمتر باشد، به عنوان فرکانس حد پایین انتخاب و فیلتر می‌گردد. در این بررسی، محدوده فرکانسی غالباً بین ۰/۲۵ تا ۲۵ هرتز تعیین گردیده است. نمودار نسبت سیگنال به نوفه در مقابل فرکانس برای هر یک از سه مؤلفه نگاشت ایستگاه‌های زرد و شیرین رود در شکل (۳) نشان داده شده است. انحراف نسبت به خط مبنا نیز در نگاشت‌ها وجود دارد که تأثیر این نوع خطا، ایجاد اوج‌های غیر واقعی با دامنه بالا در طیف فوریه نگاشت می‌باشد؛ بنابراین قبل از استفاده از نگاشت هر ایستگاه شتابنگاری، تصحیحات مذکور بر روی آنها اعمال شده است.



شکل (۳): نمودار نسبت سیگنال به نوفه در مقابل فرکانس برای هر یک از سه مؤلفه نگاشت ایستگاه‌های زرد و شیرین رود

می یابد. علاوه بر آن، تا فاصله کانونی ۱۰۰ کیلومتر، مدت زمان مؤثر برای مؤلفه های افقی و قائم تقریباً یکسان است؛ اما در فواصل کانونی بیشتر، مؤلفه قائم مدت زمان مؤثر بیشتری از خود نشان می دهد.



شکل (۵): توزیع مدت زمان مؤثر زمین لرزه در برابر فاصله کانونی برای مؤلفه های افقی و قائم زلزله داهوئی (زرنده)

مبین کاهندگی سریع مؤلفه قائم نسبت به مؤلفه افقی می باشد. علاوه بر آن، ضریب همبستگی پایین برای مؤلفه افقی احتمالاً بیانگر اثر ساختگاه در ایستگاههای مورد مطالعه می باشد که باعث کاهش همبستگی بین داده ها شده است.

جدول (۲): ضرایب a, b و R برای مؤلفه های افقی و قائم زلزله داهوئی (زرنده)

مؤلفه		پارامتر	زمین لرزه داهوئی
قائم	افقی		
۹/۵۰۵	۹/۰۹۴	a	
-۱/۵۲۷	-۱/۳۲۲	b	
۰/۹۲۷	۰/۸۹۷	R	

## ۶- محاسبه تابع بزرگنمایی ساختگاه

از آنجایی که در زمین لرزه ها همواره مؤلفه های افقی و قائم در سطح ثبت شده و موجود می باشند، استفاده از روش H/V به عنوان یکی از روشهای مستقل از ساختگاه مرجع در تعیین اثرهای ساختگاهی کاربرد فراوان یافته است. در این تحقیق، با توجه به اینکه ایستگاههای شتابنگاری، سطحی و از نوع سه مؤلفه ای می باشند، از روش نسبت طیفی مؤلفه افقی به قائم برای تعیین اثر ساختگاه در زلزله زرنده استفاده شده است.

برای محاسبه طیف فوریه ابتدا از روی کل نگاشت تصحیح شده، امواج حجمی از نوع برشی انتخاب می گردد؛ زیرا این قسمت از تاریخچه زمانی زلزله حاوی عمده اطلاعات انرژی زمین لرزه می باشد و اغلب تخریبهای شدید توسط این امواج صورت می گیرد. علاوه بر بخش اصلی نگاشت (Main Part)، از بخش انتهایی آن (Coda Part) نیز استفاده شده است. برای بررسی دقیق تر از پنجره های زمانی با طولهای ۱۰، ۲۰ و ۴۰ ثانیه ای برای محاسبه طیف فوریه استفاده شده و نتایج آنها توأم مورد توجه قرار گرفته است. هر چه طول پنجره زمانی بزرگتر باشد، به

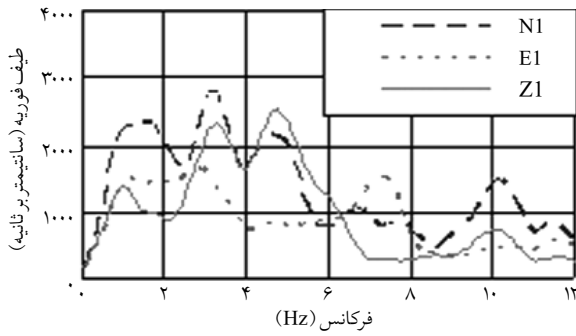
## ۵-۲- تغییرات مدت دوام حرکات توانمند زمین با فاصله کانونی

تعاریف مختلفی برای محاسبه مدت زمان مؤثر زمین لرزه ارائه شده است. بر اساس تعریف تریفونک و برادی (۱۹۷۵)، مدت زمان مؤثر زمین لرزه مدت زمانی است که طی آن ۹۵٪ کل انرژی زلزله به ایستگاه شتابنگاری می رسد [۷]. این انرژی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می شود:

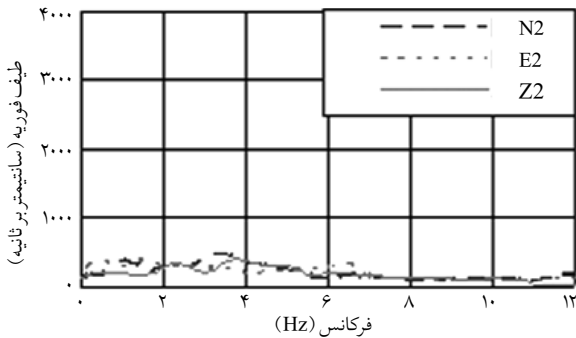
$$T = \int_{5\%}^{95\%} f(t)^2 dt \quad (2)$$

در رابطه (۲)، T مدت زمان مؤثر زمین لرزه و f(t) تابع شتاب زمین لرزه می باشد. روند تغییرات مدت زمان مؤثر زمین لرزه با فاصله کانونی برای مؤلفه های افقی و قائم زلزله زرنده در شکل (۵) نشان داده شده است. در این شکل افزایش مدت زمان مؤثر زمین لرزه تا فاصله کانونی ۱۰۰ کیلومتری قابل مشاهده است که این امر به دلیل پیچیدگی لایه بندیهای سطحی در پوسته و اندرکنش سازنده بین امواج می باشد؛ اما در فواصل کانونی بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر، به دلیل غالب شدن اثر کاهندگی امواج زمین لرزه، مدت زمان مؤثر کاهش

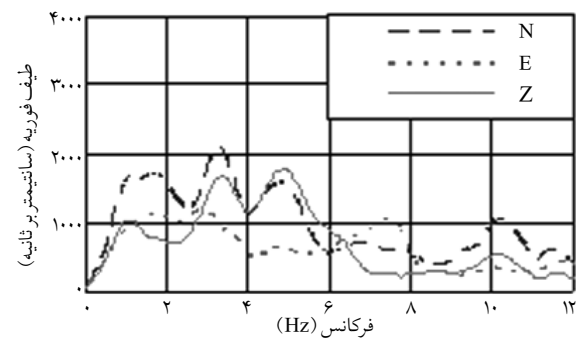
سد شیرین رود برای مؤلفه‌های N و E و میانگین آنها برای



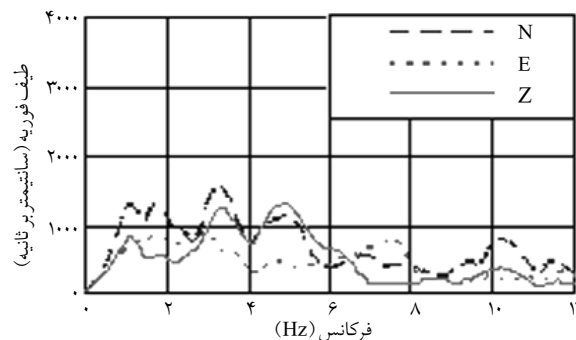
الف: پنجره ۲۰۴۸ نمونه‌ای موج S



ب: پنجره ۲۰۴۸ نمونه‌ای کودا



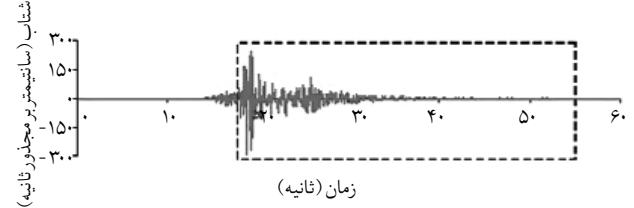
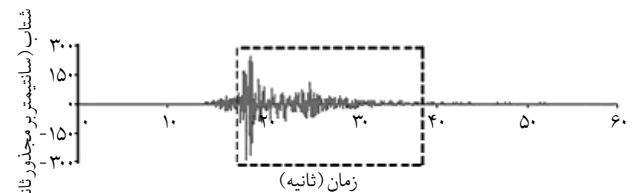
پ: پنجره ۴۰۹۶ نمونه‌ای موج S



ت: پنجره ۸۱۹۲ نمونه‌ای موج S

شکل (۷): طیف فوریه هموار شده مؤلفه‌های نکاشت ایستگاه سد شیرین رود

دلیل افزایش تفکیک پذیری فرکانسی، طیف ناهموارتر شده و تشخیص فرکانس غالب مشکل تر می‌گردد. از طرفی هرچه طول پنجره زمانی کوچکتر باشد، حضور فرکانس غالب در محتوای فرکانسی آن پنجره کمزنگ تر شده و ممکن است طیف به روشنی قادر به نمایش اوج فرکانس غالب نباشد. پس از انتخاب پنجره زمانی و محاسبه طیف فوریه، طیف حاصل هموار می‌گردد. نحوه انتخاب پنجره‌های زمانی ۲۰۴۸، ۴۰۹۶ و ۸۱۹۲ نقطه‌ای برای ایستگاه سد شیرین رود به عنوان نمونه در شکل (۶) نشان داده شده است.

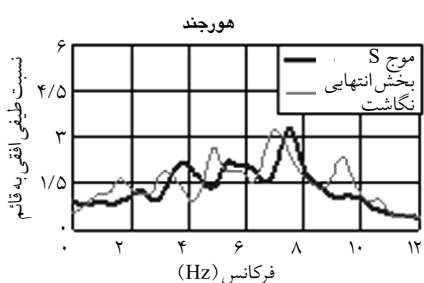
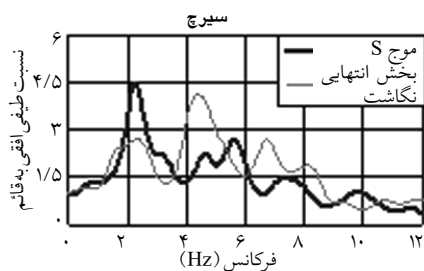
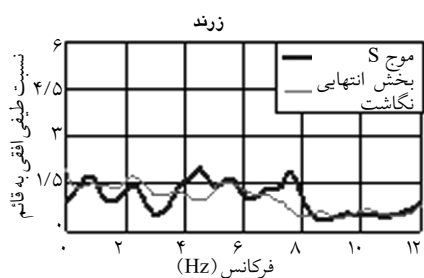
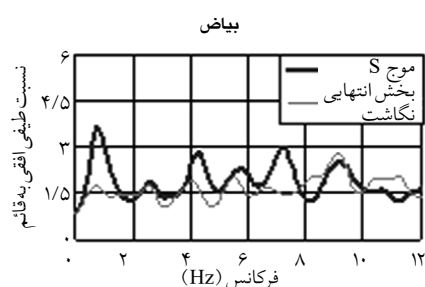
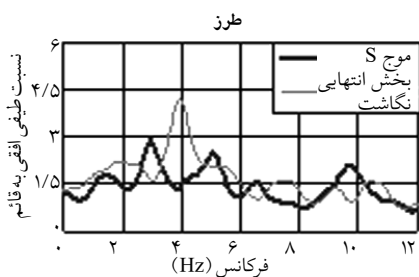


شکل (۶): نحوه انتخاب پنجره‌های زمانی ۲۰۴۸، ۴۰۹۶ و ۸۱۹۲ نقطه‌ای برای محاسبه نسبت طیفی H/V برای ایستگاه سد شیرین رود در زمین لرزه داهوئی

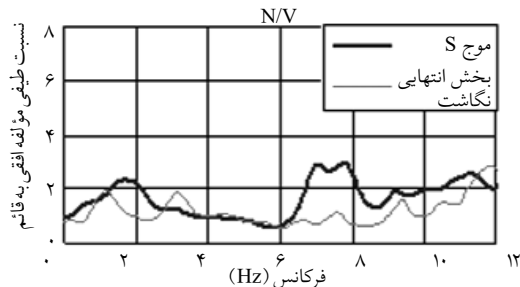
طیف فوریه هموار شده مؤلفه‌های نکاشت ایستگاه سد شیرین رود برای پنجره‌های زمانی ۱۰ و ۲۰ ثانیه‌ای نیز در شکل (۷) ارائه شده است.

پس از محاسبه طیف فوریه، نسبت طیفی مؤلفه‌های افقی در جهات مختلف به مؤلفه قائم  $(N/Z)$  و  $(E/Z)$  به صورت جداگانه محاسبه و میانگین نسبت‌های حاصل برای برآورد اثر ساختگاه تعیین شده است. تابع بزرگنمایی نکاشت ایستگاه

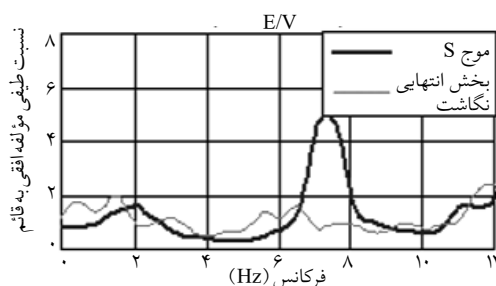
پنجره‌های زمانی ۱۰ ثانیه‌ای و میانگین نسبت‌های طیفی برای پنجره‌های زمانی ۲۰ و ۴۰ ثانیه‌ای در شکل (۸) نشان داده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که فرکانس غالب ساختگاه سد شیرین رود در محدوده ۲ هرتز قرار دارد. نسبت طیفی تعدادی از ساختگاه‌های مورد مطالعه نیز در شکل (۹) نشان داده شده است.



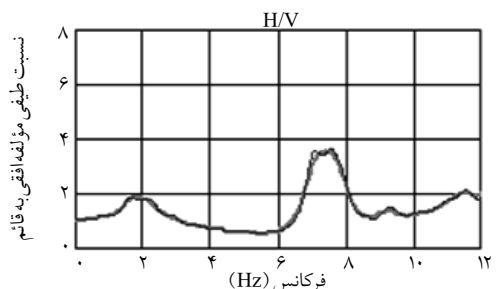
شکل (۹): نسبت طیفی ساختگاه‌های مورد مطالعه



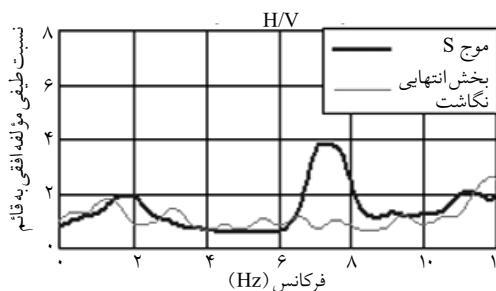
الف: نسبت‌های طیفی پنجره‌های زمانی ۲۰۴۸ نمونه‌ای



ب: نسبت‌های طیفی پنجره‌های زمانی ۲۰۴۸ نمونه‌ای



پ: میانگین نسبت‌های طیفی برای پنجره‌های ۴۰۹۶ و ۸۱۹۲ نمونه‌ای



ت: میانگین نسبت‌های طیفی برای پنجره‌های ۲۰۴۸ نمونه‌ای

شکل (۸): نسبت طیفی مؤلفه افقی به قائم در پنجره‌های زمانی متفاوت و برای مؤلفه‌ها و فازهای مختلف موج S

## ۷- طبقه‌بندی ساختگاه در محدوده مورد مطالعه

پس از تعیین فرکانس غالب برای هر یک از ساختگاه‌های مورد مطالعه، می‌توان طبقه خاک هر ساختگاه را که بیانگر مشخصات عمومی فیزیکی و دینامیکی لایه‌های آن می‌باشد، مشخص نمود. اساس طبقه‌بندی در اکثر روش‌های طبقه‌بندی، فرکانس غالب می‌باشد. در برخی روش‌ها نیز پارامترهای دیگری نظیر سرعت موج برشی که از فرکانس غالب حاصل می‌شوند، ملاک طبقه‌بندی قرار می‌گیرند. در این بررسی از روش کمک‌پناه و همکاران برای طبقه‌بندی ساختگاه استفاده [۸] و نتایج حاصل از این طبقه‌بندی باروشهای دیگر طبقه‌بندی از جمله روش‌های آیین‌نامه ۲۸۰۰ و UBC 1997 [۹ و ۱۰] مقایسه شده است. بر اساس روش کمک‌پناه و همکاران، ساختگاه‌ها را به چهار نوع می‌توان تقسیم‌بندی نمود (جدول ۳). این تقسیم‌بندی بر مبنای مطالعات این محققین و با استفاده از داده‌های مربوط به مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و ژئوتکنیک انجام یافته در مناطق شرق و جنوب شرق ایران ارائه شده است.

جدول (۳): طبقه‌بندی ساختگاه بر اساس فرکانس مینا [۸]

طبقه	نوع خاک	فرکانس مینا (هرتز)	$V_s^{30}$ (سانتیمتر بر ثانیه)
I	سخت - سنگ سست	$> 7/5$	$> 750$
II	سفت	$5 - 7/5$	$550 - 750$
III	نسبتاً سفت	$2/5 - 5$	$350 - 550$
IV	سست	$< 2/5$	$< 350$

با استفاده از فرکانس غالب تعیین شده برای هر ساختگاه و بر مبنای این طبقه‌بندی، ساختگاه‌ها در چهار گروه قابل دسته‌بندی می‌باشند. طبقه‌بندی ساختگاه‌های مورد مطالعه بر اساس این روش، در جدول (۴) ارائه شده است. به منظور مقایسه، طبقه‌بندی ساختگاه بر مبنای آیین‌نامه ۲۸۰۰ و UBC 1997 [۹ و ۱۰] نیز در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس طبقه‌بندی کمک‌پناه و

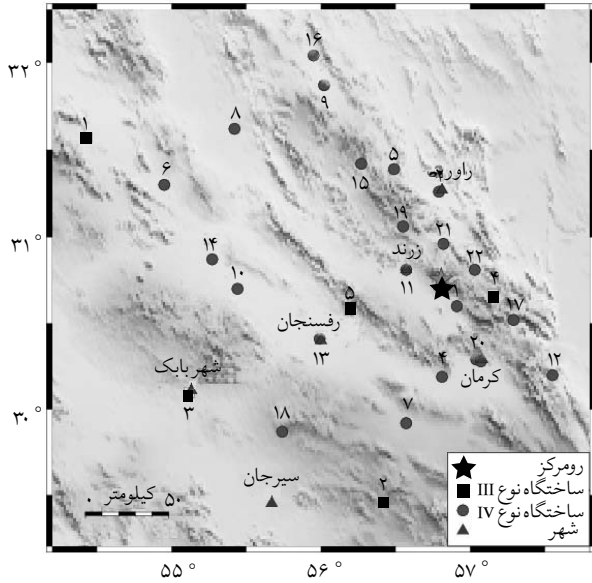
همکاران (۲۰۰۲) تمامی ساختگاه‌هایی که زلزله داهوئی (زرنده) را ثبت کرده‌اند، در طبقات III و IV دسته‌بندی می‌شوند.

جدول (۴): طبقه‌بندی ساختگاه‌های مورد مطالعه در زلزله داهوئی (زرنده) [۵]

ردیف	ایستگاه	شماره نگاشت	فاصله کانونی (کیلومتر)	ارتفاع (متر)	فرکانس غالب (Hz)	طبقه‌بندی		
						کمک‌پناه و همکاران [۲]	آیین‌نامه ۲۸۰۰ [۸]	UBC 1997 [۹]
۱	چترود	۳۶۶۰/۰۱	۲۴	۱۸۴۱	۵۶/۷۸	IV	III	III (SD)
۲	راور	۳۶۶۱	۵۶	۱۲۴۴	۱۲۰/۹۴	IV	III	III (SD)
۳	کرمان ۱	۳۶۶۲	۶۰	۱۷۶۷	۳۳/۱۱	IV	III	IV (SE)
۴	باغین	۳۶۶۳	۶۴	۱۷۱۸	۲۶/۴۷	IV	IV	IV (SE)
۵	مهریز	۳۶۶۴	۲۳۸	۱۴۸۰	۷/۸۸	III	III	III (SD)
۶	ترز	۳۶۶۵	۷۴	۱۸۲۰	۲۴/۹۹	IV	IV	IV (SE)
۷	بهداران	۳۶۶۶	۱۸۱	۱۴۶۰	۹/۵۴	IV	IV	IV (SE)
۸	بردسیر	۳۶۶۷	۹۵	۲۱۱۳	۱۰/۹۴	IV	IV	IV (SE)
۹	بافق	۳۶۶۸	۱۵۸	۹۵۱	۱۱/۰۸	IV	III	III (SD)
۱۰	بهباد	۳۶۶۹	۱۴۱	۱۳۷۳	۱۲/۵۴	IV	III	III (SD)
۱۱	بیاض	۳۶۷۰	۱۲۴	۱۴۵۳	۹/۰۹	IV	IV	IV (SE)
۱۲	زرنده	۳۶۷۱/۰۱	۱۷	۱۶۷۸	۳۲۳/۱۴	IV	IV	IV (SE)
۱۳	سیچ	۳۶۷۲	۱۰۰	۱۶۸۵	۱۳/۱۵	IV	III	III (SD)
۱۴	رفسنجان	۳۶۷۳	۸۲	۱۵۲۰	۲۳/۵۹	IV	III	III (SD)
۱۵	انار	۳۶۷۴	۱۴۱	۱۴۲۳	۱۸/۳۷	IV	III	III (SD)
۱۶	چشمه‌سبز	۳۶۷۵	۱۴۸	۲۵۸۱	۱۰/۳۸	III	III	III (SD)
۱۷	کوهینان	۳۶۷۷	۸۶	۲۰۰۸	۱۲/۲۸	IV	III	III (SD)
۱۸	ملا اسماعیل	۳۶۷۸	۱۶۱	۱۳۴۶	۱۳/۳۸	IV	IV	IV (SE)
۱۹	دهلولو	۳۶۷۹	۵۹	۲۰۶۹	۵۱/۷۵	IV	IV	IV (SE)
۲۰	پاریز	۳۶۸۴	۱۳۸	۲۳۲۵	۱۲/۲	IV	IV	IV (SE)
۲۱	شهر بابک	۳۶۸۵	۱۷۳	۱۸۴۰	۱۴/۰۱	III	IV	IV (SE)
۲۲	دشت خاک	۳۶۸۶	۳۸	۲۲۲۶	۵۰/۵۷	IV	IV	IV (SE)
۲۳	کرمان ۲	۳۶۸۷	۶۲	۱۷۵۵	۲۴/۴۸	IV	III	III (SD)
۲۴	هورجند	۳۶۸۸	۴۰	۲۳۲۰	۴۶/۸۶	III	II-I	II (SD)
۲۵	سد قارونی	۳۶۸۹/۰۱	۲۴	۱۶۶۵	۲۱۸/۸۷	IV	IV	IV (SE)
۲۶	سد شیرین رود	۳۶۹۷/۰۱	۲۸	۱۷۸۸	۵۱/۰۹	IV	III	III (SD)
۲۷	داوران	۳۷۰۲	۵۶	۱۸۶۰	۵۵/۸۴	III	IV	IV (SE)



می دهند. علاوه بر آن، پراکندگی مکانی ساختگاههای دسته بندی شده در منطقه در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



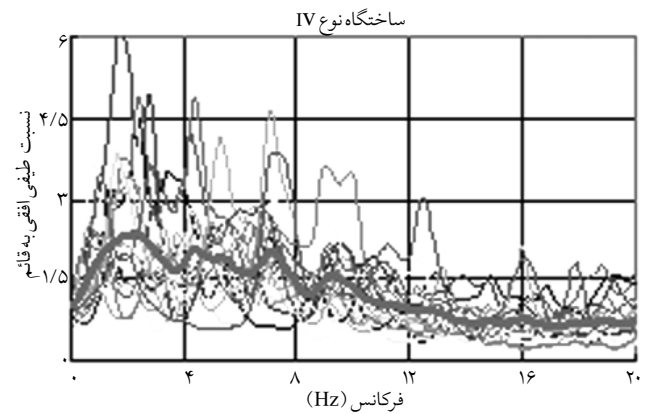
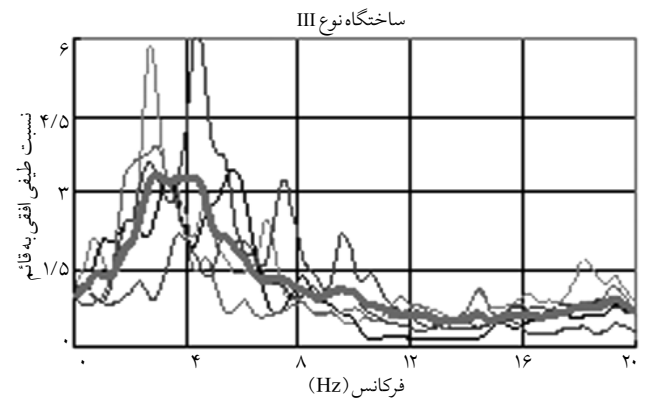
شکل (۱۲): موقعیت مکانی ساختگاههای نوع III و IV در زلزله داهوئیه (زرد)

## ۸- طیف پاسخ شتاب برای ساختگاههای مورد مطالعه در هر طبقه

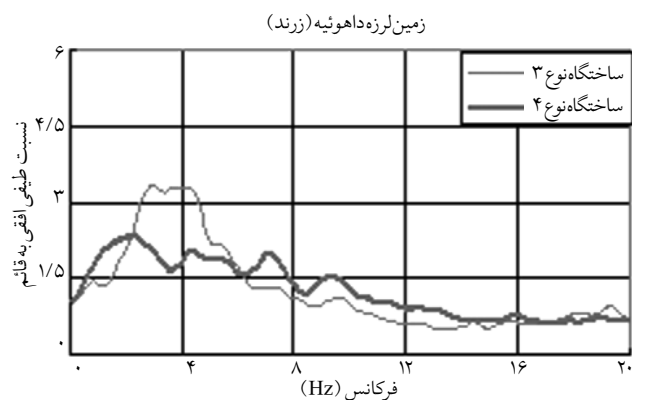
پس از طبقه بندی ساختگاههای مورد مطالعه، طیف پاسخ شتاب برای نگاشتهای ساختگاههای هر طبقه محاسبه گردیده است. قبل از محاسبه طیف پاسخ برای کلیه ساختگاهها، شتابنگاشتها با استفاده از شتاب اوج همپایه شده اند. در شکل (۱۳) طیف پاسخ شتاب برای مؤلفه های افقی و قائم ساختگاهها در هر طبقه نشان داده شده است.

به منظور مقایسه طیفهای پاسخ محاسبه شده برای مؤلفه افقی در ساختگاههای هر طبقه، از طیفهای طراحی ارائه شده در آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش اول، دوم و سوم (مصوب ۱۳۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۴)، استفاده شده است (اشکال ۱۴ و ۱۵). ملاحظه می شود که بجز طیف نوع III در پهنه با خطر نسبی کم و متوسط، طیفهای ارائه شده در ویرایش سوم آیین نامه ۲۸۰۰، همپوشانی مناسبی با نتایج محاسبه نشان می دهند.

میانگین نسبتهای طیفی ساختگاههای مورد مطالعه برای هر طبقه در شکل (۱۰) نشان داده شده است. علاوه بر آن، میانگین نسبتهای طیفی ارائه شده برای طبقه بندیهای III و IV در شکل (۱۱) با هم مقایسه شده اند.

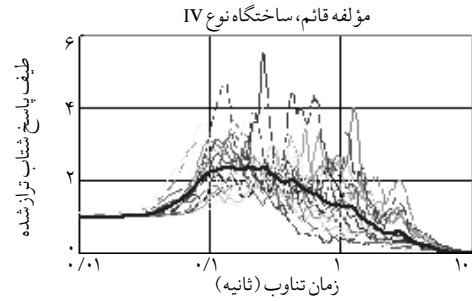
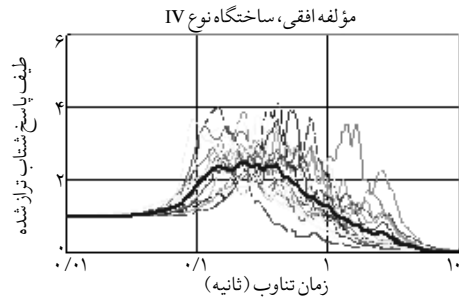
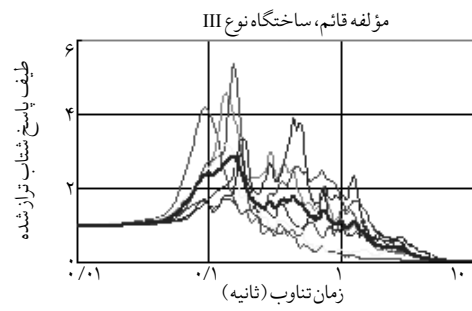
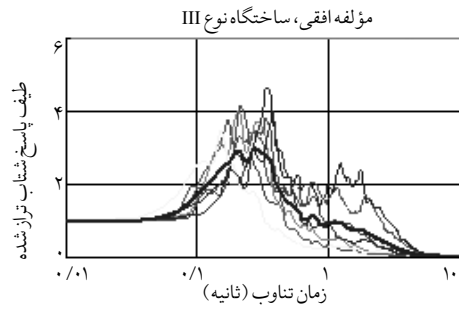


شکل (۱۰): نسبت طیفی جمعی ساختگاههای هر طبقه و میانگین آنها

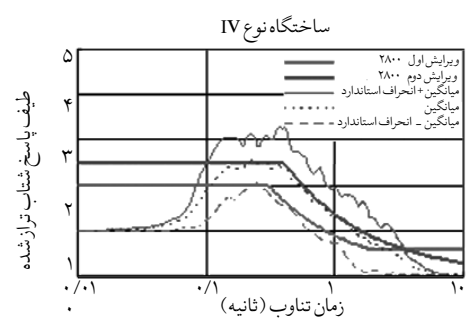
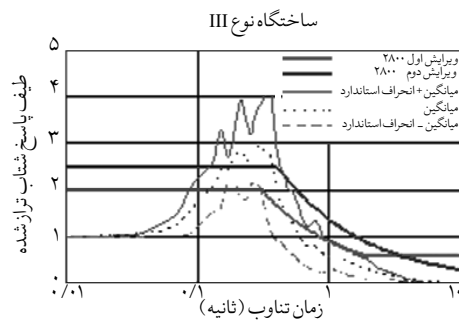


شکل (۱۱): میانگین نسبتهای طیفی ساختگاهها بر اساس طبقه بندی انجام شده

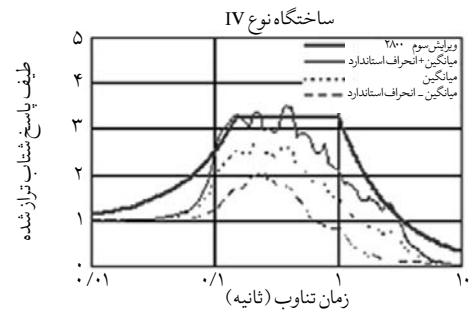
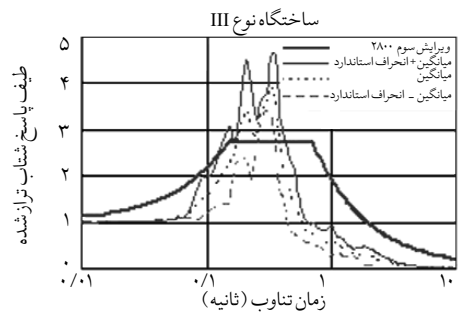
میانگین فرکانس غالب و ضریب بزرگنمایی ساختگاههای نوع IV مقدار کمتری نسبت به ساختگاههای نوع III نشان



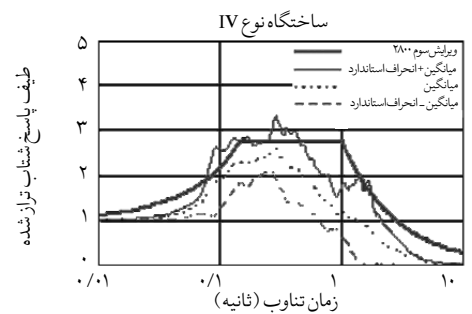
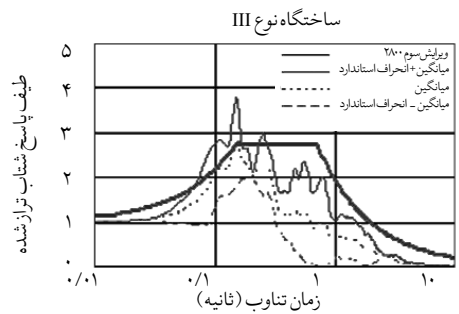
شکل (۱۳): طیفهای پاسخ شتاب برای مؤلفه های افقی و قائم و میانگین آنها در ساختمانهای مورد مطالعه



شکل (۱۴): مقایسه طیفهای پاسخ محاسبه شده و طیف طرح ارائه شده در ویرایش اول و دوم آیین نامه ۲۸۰۰ برای مؤلفه افقی در ساختمانهای مورد مطالعه



الف: پهنه با خطر نسبی کم و متوسط



ب: پهنه با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد

شکل (۱۵): مقایسه طیفهای پاسخ محاسبه شده و طیف طرح ویرایش سوم آیین نامه ۲۸۰۰ برای مؤلفه افقی در ساختمانهای مورد مطالعه

estimation using spectral ratio analysis. *Journal of Earthquake Engineering*, 9, No. 2, 247-261

3. IIEES Website:  
<http://www.iiees.ac.ir/bank/Zarand/zarand.html>.
4. Earthquake Research Institute, University of Tokyo:  
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>
5. BHRC Website:  
<http://www.bhrc.ac.ir/Bhrc/dstgrmo/shabakeh/accelerograms/earthquake/2005/zarand/zarand.htm>.
6. Zare, M., Ghafoory-Ashtiany, M., Bard, P.Y. (1999). Attenuation law for the strong ground motions in Iran. *Proc. of 3rd international conf. on earthquake engineering and seismology (SEE3)*. Tehran, Iran.
7. Trifunac, M.D., Brady, A. G. (1975). A study on the duration of strong earthquake ground motion. *BSSA*, 65, No.3, 581-626
8. KomakPanah, A., Hafezi Moghaddas A., Ghayamghamian, M.R., Motasaka, M., Jafari, M.K., Uromieh, A. (2002). Site effect classification in East-Central of Iran. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 4, No.1, PP.
9. Iranian Code Practice for seismic resistant design of building. (1999). Standard No. 2800 BHRC. 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> editions.
10. Uniform Building Code. (1997). International Council of Building officials, USA. ◀

در این مقاله با استفاده از روش نسبت طیفی  $H/V$ ، اثر ساختگاه در ۲۷ ایستگاه شتابنگاری تحت تأثیر زلزله داهوئیه (زرنند) بررسی شد. پارامترهای حرکات توانمند زمین از جمله رابطه بیشینه شتاب و مدت دوام حرکات توانمند زمین با فاصله کانونی بررسی و در خصوص نتایج حاصل بحث شده است.

با محاسبه تابع بزرگنمایی و تعیین فرکانس غالب، ساختگاههای مورد مطالعه بر اساس روش کمک پناه و همکاران طبقه بندی شدند. بدین ترتیب از مجموع ۲۷ ساختگاه، ۲۲ ساختگاه در طبقه خاک نرم و ۵ ساختگاه در طبقه با خاک نسبتاً سفت قرار گرفتند. همچنین میانگین بعلاوه انحراف معیار طیف پاسخ شتاب برای مؤلفه های افقی نگاهشتهای ساختگاههای هر طبقه با طیف طرح آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش اول، دوم و سوم مقایسه شده است. بر این اساس، طیفهای ارائه شده در ویرایش سوم آیین نامه ۲۸۰۰ عموماً همخوانی خوبی با نتایج تجربی نشان می دهد؛ اما برای ساختگاه نوع III در پهنه با خطر نسبی کم و متوسط، طیف ارائه شده در آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم به نظر مقادیر دست پایین نسبت به میانگین و میانگین بعلاوه انحراف استاندارد داده های تجربی ارائه می نماید.

## ۱۰- مراجع

1. Ghayamghamian, M.R., Kawakami, H. (1996). On the characteristics of non-linear soil response and dynamic soil properties using vertical array data in Japan. *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, No. 8, 857-870.
2. Ghayamghamian, M.R. (2005). Segmental cross-spectrum as a new technique in site response