فصلنامه‌ی زمین شناسی کاربردی
سال ۴ (۱۳۸۷)، شماره‌ی ۱: ۲۹ ـ ۲۰
www.appliedgeology.ir

تعیین محدوده‌ی فرکانس تشدید ساختمان‌ها در زلزله‌های گلباف و سیرچ

محمّدرضا خسروی مشیزی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد بردسیر - mrkh56@yahoo.com

چکیده

نظر به اهمیّت پدیده‌ی تشدید در ساختمان و با توجّه به مشاهده‌ی مواردی چند از این پدیده در سراسر ایران و جهان و با توجّه به عدم برّرسی این پدیده‌ی مخرب در استان کرمان، در این مقاله با استفاده از ۲۳ رکورد زلزله‌ی رخ داده ما بین سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ میلادی در مناطق گلباف و سیرچ، محدوده‌ی فرکانس تشدید تعیین و با توجّه به یکسان بودن خصوصیات لایه‌های زمین در کلّ پهنه‌ی استان کرمان نتایج آن به کلّ استان تعمیم داده شد.

پس از تهیّه‌ی شتاب‌نگاشت‌های مناطق مذکور برنامه‌ای برای محاسبه‌ی چگالی طیفی توان و معادل آن براساس مدل کانایی-تاجیمی به زبان فرترن نوشته و صحت عملکرد آن از طریق مقایسه با منحنی‌های چگالی طیفی توان موجود در سایر تحقیقات کنترل گردید. برنامه، رکوردها را به ترتیب خوانده و با فرض خطی بودن شتاب بین دو نقطه‌ی مجاور شتاب‌نگاشت و حل مستقیم معادلات حرکت، ابتدا انرژی و توان کلّ زلزله در پایان مدت تداوم حرکت در هر فرکانس ما بین صفر تا ۲۵ هرتز و در نهایت مدل صاف شده‌ی چگالی طیفی توان را محاسبه و ارائه کرد. از بین کل شتاب‌نگاشت‌ها ۱۸ رکورد مربوط به گلباف و پنج رکورد مربوط به سیرچ و همگی دارای شتاب حداکثری بیش از ۰/۰۵ g بودند. با به دست آوردن پارامترهای فرکانس مرکزی و ضریب شکل، محدوده‌ی فرکانس تشدید در همه‌ی زلزله‌ها مشخص شد. پس از میانگین‌گیری این محدوده بین ۳/۴۳ الی ۸/۷۶ هرتز به دست آمد. با تعمیم نتیجه‌ی حاصل از زلزله‌های گلباف و سیرچ به کلّ استان می‌توان اظهار نمود، ساختمان‌هایی که فرکانس اصلی آن‌ها در بازه‌ی ۳/۴۳ و ۸/۷۶ هرتز قرار می‌گیرند با خطر ایجاد تشدید زلزله مواجه هستند. بنابراین باید حین طراحی سازه با تغییردادن جرم یا سختی ساختمان فرکانس اصلی ساختمان را از محدوده‌ی مذکور خارج کرد.

واژه‌های کلیدی: چگالی طیفی توان، ضریب شکل، فرکانس تشدید، فرکانس مرکزی، کانایی- تاجیمی

Determination of the resonance frequency range of buildings in Golbaf and Sirch earthquakes

M. R. Khosravi Mashizi
Department of Geology, Islamic Azad University, Bardsir Branch, Bardsir, I. R. Iran

Abstract

Considering the importance of the resonance phenomenon in buildings and the numbers in the world of this phenomenon and the fact that this phenomenon isn't considered yet in Kerman province, in this paper the earthquake resonance frequency range is calculated for the regions of Golbaf and Sirch, located in Kerman province, using 23 records of earthquakes that happened between 1981 and 2000. The results have been generalized for the whole province.

After providing above accelerograms, a program has been written for the calculating power spectra and its smoothed curve, based on Canai-Tajimi model and its correctness checked by comparing available power spectra. The program read records respectively, and at first it calculated and exhibited total energy and power of earthquake at the end of ground motion in any frequency between zero and 25 hertz, and finally exhibited smoothed power spectra model assuming linear relationship with two neighbor points of accelerograms and direct solving of movement equations. Through all accelerograms 18 records were related to Golbaf and 5 records were related to Sirch and all of them had maximum acceleration of more than 0.05g.Resonance frequency range has been specified by earning the amount of central frequency and shape factor parameters for all the records. This range was calculated between 3.43 and 8.76 hertz. By generalization of the calculated result, to the whole province, one can say that the structures which have a main frequency range of 3.43 to 8.76 hertz increase the damage of the earthquakes. Therefore, in structural designing, the main frequency of that range should be avoided by changing the structural mass or rigidity.

Key words: central frequency, Kanai-Tajimi, Power spectral density, resonance frequency, shape factor

۱- مقدّمه

یکی از پدیده‌های مهم رفتار دینامیکی سیستم، پدیده‌ی رزنانس یا تشدید می‌باشد. حالت رزنانس زمانی ایجاد می‌گردد که پریود طبیعی سیستم با پریود بار دینامیکی وارده بسیار نزدیک باشد. در این حالت اثر بارهای وارده تشدید شده و تأثیرات شدیدی در سیستم برجای می‌گذارد (محرز ۱۳۷۹). تا به حال موارد بسیاری از وقوع پدیده‌ی تشدید در سازه‌ها در ایران گزارش شده است که می‌توان به مورد خاص زیر اشاره کرد. در روز اوّل فروردین سال ۱۳۵۶ زلزله‌ای با بزرگی تقریباً هفت ریشتر در ۴۰ کیلومتری شمال بندرعباس رخ داد که در آن ۱۵۲ نفر کشته شدند. در بندرعباس، هتل گامرون که یک ساختمان بتنی است تغییر شکل زیادی در محل اتصالات و عناصر سازه‌ای داد. این هتل از دو قسمت قدیمی (چهار طبقه) و جدید (شش طبقه) تشکیل شده است که عمده خسارت در ساختمان شش طبقه، به‌دلیل نزدیکی پریود اصلی این ساختمان با پریود غالب زلزله، رخ داد. به ساختمان مجاور خسارت چندانی وارد نگردید (عادلی ۱۳۷۵). بنابراین تعیین محدوده‌ی فرکانس یا پریود تشدید زلزله در مناطق گلباف و سیرچ و تعمیم نتایج آن به کلّ استان کرمان، اوّلین اقدامی است که می‌توان در جهت پیشگیری از وقوع پدیده‌ی تشدید درسازه‌های جدیدالاحداث این استان انجام داد. در صورتی که محدوده‌ی فرکانس تشدید در یک منطقه معلوم نباشد و در طراحی سازه‌ها لحاظ نشود، ممکن است ساختمان‌های زیادی با فرکانسی نزدیک به فرکانس تشدید زلزله‌های این منطقه، طراحی و ساخته شوند. در زلزله‌های بزرگ این پدیده باعث ورود انرژی بسیار زیادی به سازه‌ها و حتی ساختمان‌های با طراحی مناسب شده، تخریب شدید و صدمات جانی و مالی جبران‌ناپذیر را ایجاد می‌کند (محرز ۱۳۷۹). برای پیشگیری از وقوع این پدیده در سازه‌ها باید فهرست کل رکوردهای زلزله‌ی رخ داده در گلباف و سیرچ، که از لرزه‌خیزترین نقاط استان کرمان به شمار می‌روند، از مرجع داده‌های پایه شتاب‌نگاشت‌های شبکه شتاب‌نگاری کشور (رمضی ۱۳۷۶) استخراج شوند. سپس فایل‌های شتاب‌نگاشت زلزله‌های این دو منطقه تهیه و برنامه‌ی محاسبه چگالی طیفی توان و مدل کانایی-تاجیمی نوشته، اجرا و مقادیر پارامترهای به دست آمده از روش گشتاورهای طیفی و نیز پارامترهای فرکانس مرکزی و ضریب شکل محاسبه شوند. با یک تحلیل آماری براساس این دو پارامتر محدوده‌ی فرکانس تشدید به دست می‌آید (محرز ۱۳۷۹). تا به حال مقدار پریود غالب حرکت برای چندین زلزله‌ی بزرگ ایران مثل طبس، ناغان و منجیل محاسبه شده است (برگی ۱۳۷۷). این پارامترها صرفا با تحلیل یک رکورد زلزله حاصل شده و زیاد قابل اطمینان نیستند. اگر نتیجه‌ی

مذکور قابل اعتماد باشد، مختص آن منطقه‌ی خاص بوده و قابل تعمیم به کل ایران نیست، زیرا پهنه‌بندی لرزه‌ای ایران در همه‌ی نقاط یکسان نیست و محتوای فرکانسی حرکت در هر پهنه منحصر به فرد می‌باشد. بنابراین این مسئله مناطقی مثل استان کرمان را شامل نمی‌شود (بربریان ۱۳۵۶و مهندسین مشاور تهران پادیر ۱۳۷۶). تا به حال در زمینه‌ی تعیین فرکانس تشدید زلزله در استان کرمان بررّسی انجام نشده است. در این تحقیق با استفاده از ۲۳ رکورد ثبت شده‌ی بین سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ میلادی و چگالی طیفی توان و مدل کانایی- تاجیمی، پریود غالب حرکت و فرکانس تشدید در مراکز گلباف و سیرچ تعیین گردید.

۲- مواد و روشها

ابتدا کلّیه‌ی شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده در مناطق گلباف و سیرچ تهیه و از میان آنها شتاب‌نگاشت‌هایی که شتاب حداکثر آنها کمتر از ۰/۰۵g بود حذف گردید. ۲۳ رکورد زلزله باقی ماند که از این میان ۱۸ رکورد مربوط به گلباف و پنج رکورد مربوط به سیرچ بود. در جدول ۱ مشخصات این رکوردها ارائه شد.

برای به دست آوردن فرکانس تشدید، از چگالی طیفی توان و مدل کانایی- تاجیمی استفاده شد. توان در واقع مقدار انرژی بر واحد زمان می‌باشد. در مهندسی زلزله، طیف توان مقدار انرژی ورودی زلزله بر واحد زمان به سیستم را نشان می‌دهد. پدیده‌های طبیعی اکثراً تصادفی بوده و از نظم خاصی پیروی نمی‌کنند. در مهندسی سازه و مهندسی زلزله نیز باد، موج، انفجار، زلزله و ضربه، پدیده‌های تصادفی هستند.

از مهم‌ترین راه‌هایی که می‌توان رفتار تصادفی پدیده‌ای را به رفتار قابل پیش‌بینی تبدیل نمود، استفاده از چگالی طیفی توان می‌باشد که در واقع نشانگر بسیاری از خصوصیات و مشخصات آماری فرآیند می‌باشد. کلّ انرژی جذب شده توسّط یک سیستم تحت اثر زلزله‌ی $(E(\omega))$ برابر مجموع انرژی‌های پتانسیل $(V(\omega))$ و جنبشی $(I(\omega))$ سیستم در پایان مدّت تداوم زلزله می‌باشد (برگی ۱۳۷۶، Elghadamsi et al. 1988):

$$E(\omega)= I(\omega)+V(\omega) \qquad -۱$$

انرژی پتانسیل و جنبشی سیستم تک درجه‌ی آزادی با فرکانس طبیعی ω در پایان مدت تداوم زلزله (T) به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

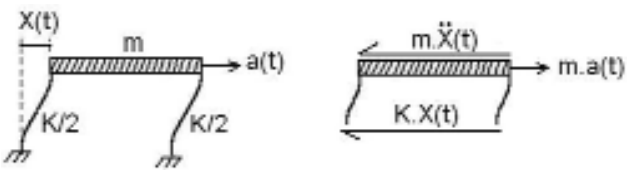
$$I(\omega)= m\int_0^T \ddot{X}(t)dt = \frac{1}{2}m[\dot{X}(T)]^2 \qquad -۲$$

$$V(\omega)= \frac{1}{2}k[X(T)]^2 \qquad -۳$$

که در آن m جرم، k سختی، $\ddot{X}(t)$ شتاب مطلق سیستم تک درجه‌ی آزادی در لحظه‌ی t و $\dot{X}(T)$ و به ترتیب تغییر مکان و سرعت نسبی سیستم در پایان مدت تداوم زلزله می‌باشند. با جایگزینی دو رابطه‌ی ۲ و ۳ در رابطه‌ی ۱ به ازای جرم واحد خواهیم داشت:

$$E(\omega)= \frac{1}{2}([\dot{X}(T)]^2 + \omega^2[X(T)]^2) \qquad -۴$$

مطابق تصویر ۱ سازه‌ی تک درجه‌ی آزادی بدون میرایی تحت اثر شتاب زمین a(t) در نظر گرفته می‌شود:



تصویر ۱- حرکت سیستم تک درجه‌ی آزادی بدون میرایی تحت اثر شتاب پایه
(Chopra 1995)

حل معادله‌ی حرکت سیستم با استفاده از انتگرال دوهامل و به دست آوردن معادله‌ی سرعت و تغییر مکان نسبی سیستم و جایگزینی در رابطه‌ی ۴، ارتباط بین انرژی کل و توان کل سیستم تک درجه‌ی آزادی را مشخص می‌کند (برگی ۱۳۷۶):

$$G(\omega)= \frac{2}{\pi T}.E(\omega) \qquad -۵$$

برای محاسبه‌ی چگالی طیفی توان، از روش حل مستقیم معادلات حرکت استفاده می‌گردد. تنها فرض موجود در این روش خطّی بودن شتاب بین دو نقطه‌ی متوالی در شتاب‌نگاشت بوده و بقیه‌ی محاسبات کاملاً دقیق می‌باشند. تصویر۲ ارتباط خطی بین دو نقطه‌ی مجاور شتاب‌نگاشت را نشان می‌دهد.

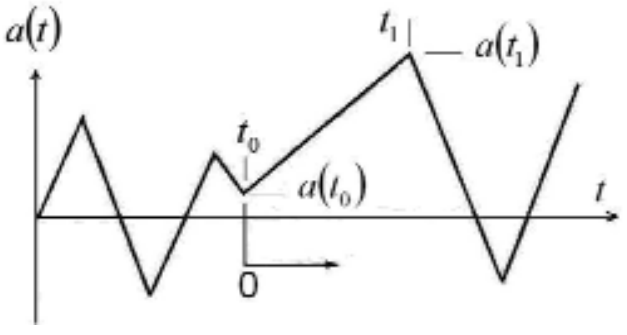
برای محاسبه‌ی چگالی طیفی توان، بایستی در گام‌های متوالی به ازای هر فرکانس مقادیر زیر را در تمام مدّت تداوم زلزله حساب نموده و بر اساس آن‌ها سرعت و تغییر مکان را محاسبه نمود (برگی ۱۳۷۶).

$$a(t) = b+c.t \qquad -۶$$

$$b=a(t_0) \quad , \quad C = \frac{a(t_1)-a(t_0)}{t_1-t_0} \qquad -۷$$

جدول ۱ - اطلاعات مربوط به شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده‌ی گلباف و سیرچ، سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ میلادی با حداکثر شتاب بیش از ۰/۰۵g

ردیف	نام ایستگاه	شماره‌ی رکورد	مختصات جغرافیایی E	مختصات جغرافیایی N	تاریخ وقوع d-m-y	زمان وقوع h:m:s	مرکز مهلرزه N	مرکز مهلرزه E	بزرگی MN	بزرگی MS	بزرگی mb	منبع گزارش	زمان ثانیه	جنس زمین
۱	گلباف	۱۱۷۲-۶	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۱/۰۶/۲۱	۱۳:۰۸:۴۸	۲۹/۸۶	۵۷/۸۵		۴/۳	۴/۹	ISC	۱۴/۵۲	III-A
۲	گلباف	۱۱۷۶-۵	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۱/۰۷/۲۸	۱۷:۲۲:۲۳	۲۹/۹۹	۵۷/۷۷		۷/۰	۵/۹	ISC	۵۹/۰۶	III-A
۳	گلباف	۱۱۷۶-۱۷	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۱/۰۷/۲۸								۱۰/۴۲	III-A
۴	گلباف	۱۱۷۶-۲۱	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۱/۰۸/۳۰	۰۵:۲۰:۱۹	۳۰/۱۰	۵۷/۶۰			۳/۹	ISC	۱۳/۷۴	
۵	گلباف	۱۱۷۶-۲۳	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۱/۰۶/۳۱	۰۰:۳۷:۴۹	۳۰/۰۰	۵۷/۵۵			۴/۵	ISC	۷	III-A
۶	گلباف	۱۱۷۶-۲۹	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۱/۰۸/۰۳	۰۲:۵۵:۴۴	۲۹/۹۶	۵۷/۸۸		۳/۹	۴/۶	ISC	۱۲/۸۶	III-A
۷	گلباف	۱۱۸۳-۱	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۱/۰۸/۰۸	۰۴:۱۷:۴۷	۳۰/۰۳	۵۷/۷۱		۴/۰	۴/۸	ISC	۱۳/۸۶	III-A
۸	گلباف	۱۱۸۳-۸	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۱/۰۹/۲۶	۰۷:۳۳:۳۰	۳۰/۴۲	۵۷/۶۸			۴/۶	ISC	۶	III-A
۹	گلباف	۱۱۸۳-۱۰	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۱/۱۰/۱۴	۰۹:۱۲:۴۰	۲۹/۹۰	۵۷/۷۸		۴/۶	۵/۲	ISC	۱۷/۰۶	III-A
۱۰	گلباف	۱۱۹۱-۳	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۲/۰۲/۲۵	۲۳:۳۰:۲۴	۲۹/۸۳	۵۷/۷۸			۴/۷	ISC	۶/۵	III-A
۱۱	گلباف	۱۱۲۰۰	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۳/۰۲/۲۸	۰۱:۳۷:۳۵	۲۹/۹۹	۵۷/۸۱			۴/۵	ISC	۱۷/۷۸	III-A
۱۲	سیرچ	۱۲۶۸	۵۷/۵۶	۳۰/۱۹	۱۹۸۵/۰۶/۲۸	۱۳:۳۵:۳۱	۳۰/۶۳	۵۷/۵۱			۴/۷	ISC	۹/۰۲	III-B
۱۳	سیرچ	۱۳۰۷-۱	۵۷/۵۶	۳۰/۱۹	۱۹۸۷/۰۸/۱	۱۳:۴۳:۲۳	۲۹/۹۹	۵۷/۶۷			۴/۶	ISC	۶	III-B
۱۴	گلباف	۱۳۳۶	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۸/۱۲/۰۳	۰۱:۲۳:۳۳	۳۰/۲۷	۵۷/۵۴			۴/۹	ISC	۱۱	III-A
۱۵	گلباف	۱۳۴۶-۱	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۸۹/۱۱/۲۰	۰۴:۱۹:۰۵	۲۹/۸۸	۵۷/۷۲		۵/۷	۵/۵	ISC	۲۲/۲۶	III-A
۱۶	سیرچ	۱۳۴۷-۴	۵۷/۵۶	۳۰/۱۹	۱۹۸۹/۱۱/۲۰	۰۴:۱۹:۰۵	۲۹/۸۸	۵۷/۷۲		۵/۷	۵/۵	ISC	۱۸/۵۸	III-B
۱۷	سیرچ	۱۴۲۵	۵۷/۵۶	۳۰/۱۹	۱۹۹۲/۰۲/۱۰	۱۶:۳۸:۳۸	۳۰/۱۹	۵۷/۴۸			۴/۶	NEIC	۷/۶۶	III-B
۱۸	گلباف	۱۸۷۲-۸	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۹۸/۰۳/۱۴	۲۲:۱۴:۲۵							۲۳/۰۴	III-A
۱۹	گلباف	۱۸۷۴-۷	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۹۸/۰۳/۲۸	۰۷:۵۸:۴۸	۲۹/۷۸	۵۷/۵۳			۴/۴	NEIC	۲۵/۶	III-A
۲۰	گلباف	۱۸۷۴-۹	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۹۸/۰۴/۰۳	۰۵:۱۴:۴۲							۲۴/۳۲	III-A
۲۱	گلباف	۲۱۵۶-۱	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۹۸/۰۵/۲۸	۱۸:۰۵:۴۷							۲۴/۳۲	III-A
۲۲	گلباف	۲۱۵۶-۲	۵۲/۷۲	۲۹/۸۸	۱۹۹۸/۰۵/۳۱	۱۱:۵۸:۱۹							۲۳/۰۴	III-A
۲۳	گلباف	۲۵۰۳-۲	۵۷/۵۶	۳۰/۱۹	۲۰۰۰/۱۱/۰۲	۱۵:۲۶:۲۶							۲۳/۰۴	



تصویر ۲- شتاب‌نگاشت زلزله با تغییرات خطی شتاب بین نقاط متوالی (برگی (۱۳۷۶)

تغییر مکان نسبی سیستم عبارت خواهد بود از:

$$x(t)= A_0 + A_1.t + A_2.\cos\omega t + A_3.\sin\omega t \qquad -۸$$

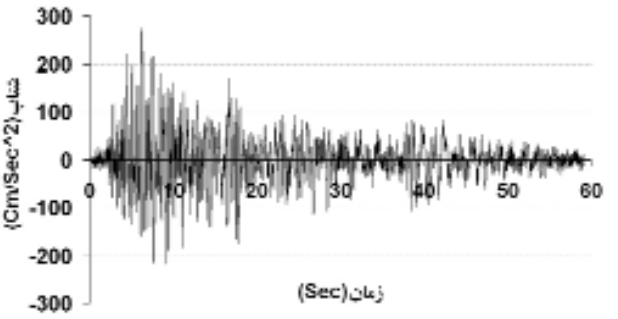
$$A_1 = \frac{c}{\omega^2} \text{ و } A_0 = \frac{b}{\omega^2} \qquad -۹$$

$A_2 = x(t_0) - A_0$ -۱۰ و $A_3 = \frac{1}{\omega}[\dot{x}(t_0) - A_1]$ سرعت نسبی سیستم در هر لحظه عبارت است از:

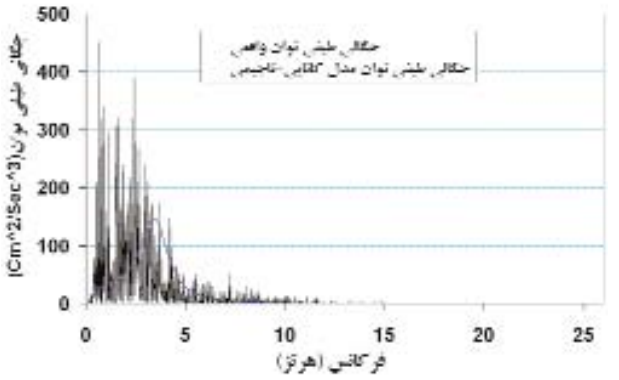
$$\dot{x}(t)= A_1 + A_3.\omega\cos\omega t - A_2.\omega.\sin\omega t \qquad -۱۱$$

با محاسبات متوالی سرعت و تغییر مکان سیستم در پایان مدّت تداوم زلزله تعیین می‌شود. رابطه‌ی ۴ انرژی کلّ و رابطه‌ی ۵ توان کل سیستم تک درجه‌ی آزادی بدون میرایی را محاسبه می‌کنند. در تصویر ۳، شتاب‌نگاشت مربوط به زلزله‌ی سال ۱۳۶۰ گلباف و در تصویر ۴ چگالی طیفی توان این زلزله، نشان داده شده‌اند.

چگالی‌های طیفی توان حتی در محدوده‌های فرکانسی کوچک



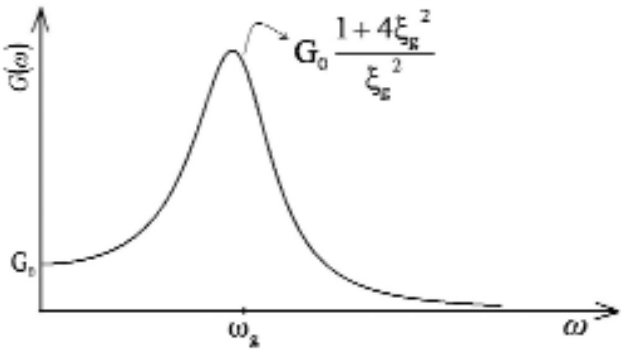
تصویر ۳- شتاب‌نگاشت ردیف ۲ از جدول ۱ با بیشینه‌ی شتاب $2748\ cm/s_2$



تصویر ۴- چگالی طیفی توان مربوط به شتاب‌نگاشت ردیف ۲ از جدول ۱

دارای نوسانات زیادی هستند و مقدار دقیقی نشان نمی‌دهند. بنابراین با استفاده از مدل‌های مختلف ازچگالی طیفی توان میانگین‌گیری کرده و چگالی طیفی توان صاف شده حاصل می‌شود. برای صاف کردن چگالی طیفی توان از یک تابع ریاضی هماهنگ با اصول ارتعاشات تصادفی استفاده می‌شود. پژوهشگران مدل‌های مختلف ریاضی را برای به دست‌آوردن چگالی طیفی توان صاف شده ارائه نموده‌اند. بولتین (Bolotin 1960)، بارشین (Barstein 1960) و اینگار و اینگار (Iyengar Iyengar ۱۹۶۹) دو مدل مختلف برای چگالی طیفی توان ارائه نمودند. مدل نویز سفید و کانایی- تاجیمی نیز دو مدل دیگر هستند (Tajimi 1960). به دلیل قابلیت بالای مدل کانایی- تاجیمی در آنالیز احتمالاتی سازه‌ها، تولید شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی و وجود سه پارامتری که از آنالیز رکوردهای زلزله به دست می‌آیند، این مدل مهم‌ترین و پرکاربردترین مدل تابع چگالی طیفی توان به شمار می‌رود. در این تحقیق از این مدل برای تعیین پارامترهای لرزه‌ای خاک‌های مناطق سیرچ و گلباف استفاده شد (برگی ۱۳۷۷). شکل کلّی این مدل در تصویر ۵ نشان داده شده است:

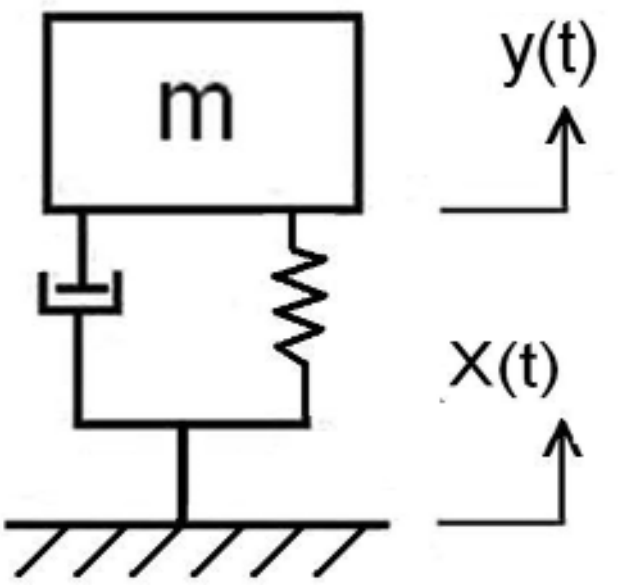
در این مدل فرض بر این است که موج زلزله از بالاترین لایه‌ی



تصویر ۵- تصویر کلی مدل کانایی- تاجیمی (برگی ۱۳۷۷)

خاک در سطح زمین عبور می‌کند و به این لایه که همانند یک سیستم تک درجه‌ی آزادی در نظر گرفته می‌شود تغییرمکان تکیه‌گاهی وارد می‌کند. در تصویر ۶ لایه‌ی سطحی خاک مدل‌سازی شده است:

در صورتی که لایه‌ی خاک مطابق تصویر ۶ به صورت یک سیستم تک درجه‌ی آزادی در نظر گرفته شود، پاسخ آن را با استفاده از ضربه به دست آورده و رابطه‌ی این مدل از تئوری ارتعاشات تصادفی به صورت زیر به دست می‌آید (برگی ۱۳۷۷ و محرز ۱۳۷۹):



تصویر ۶- سیستم تک درجه آزادی، لایه سطحی خاک (برگی ۱۳۷۷)

$$G(\omega)=\frac{1+4\xi_g^{\,2}(\omega/\omega_g)^2}{\left[1-(\omega/\omega_g)^2\right]^2+4\xi_g^{\,2}(\omega/\omega_g)^2}G_0 \qquad -۱۲$$

رابطه‌ی فوق تابع چگالی طیفی توان کانایی- تاجیمی می‌باشد. در این مدل اگر خاکی که موج زلزله از آن عبور می‌کند تنها یک لایه فرض شود که روی بستر سنگی قرار دارد، ω_g بیانگر فرکانس

طبیعی لایه‌ی خاک، پارامتر ξ_g نشانگر نسبت میرایی و بیانگر پهنای محتوای فرکانسی حرکت خاک و پارامتر G_0 نشانگر شدّت القاء در بستر سنگی می‌باشد. روش مناسب برای به دست آوردن پارامترهای واریانس القاء، فرکانس مرکزی و ضریب شکل، روش گشتاورهای طیفی است که بر اساس چگالی طیفی توان واقعی و روابط ارائه شده توسّط پولگرانو (Pulgrano 1969) و آبلوتیز (Ablowtiz 1969) محاسبه و مساوی قرار داده می شوند. از تساوی آن‌ها پارامترهای مدل کانایی تاجیمی به دست خواهند آمد. واریانس القاء حرکت براساس چگالی طیفی توان به صورت زیر به دست می آید:

$$\sigma^2 = \lambda_0 = \int_0^\infty G(\omega)d\omega \qquad -۱۳$$

با توجّه به رابطه‌ی فوق واریانس القاء برای مدل کانایی تاجیمی عبارت است از:

$$\sigma^2 = \int_0^\infty G(\omega)d\omega = \frac{\pi G_0 \omega_g}{4\xi_g}\left(1+4\xi_g{}^2\right)^{1/2} \qquad -۱۴$$

دوّمین گشتاور طیفی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\lambda_2 = \int_0^\infty \omega^2 G(\omega)d\omega \qquad -۱۵$$

براین اساس فرکانس مرکزی به صورت زیر به دست می آید :

$$\omega_c = \left[\lambda_2 / \lambda_0\right]^{1/2} \qquad -۱۶$$

این پارامتر بیانگر محلّ تمرکز جرم طیفی در طول محور فرکانس می‌باشد. اوّلین گشتاور طیفی نیز از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

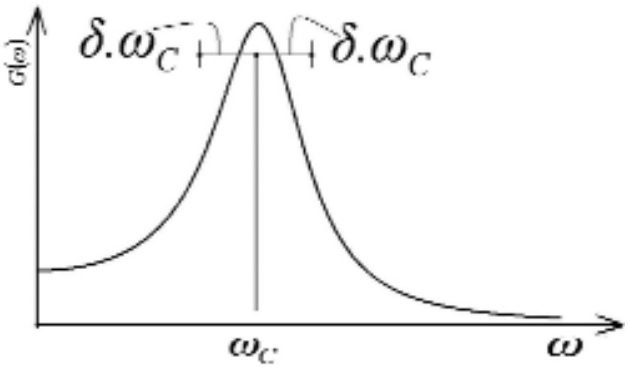
$$\lambda_1 = \int_0^\infty \omega G(\omega)d\omega \qquad -۱۷$$

چنین ضریب شکل (δ) از رابطه‌ی زیر محاسبه می شود:

$$\delta = \left[1-\frac{\lambda_1{}^2}{\lambda_0\lambda_2}\right]^{1/2} \qquad -۱۸$$

مطابق تصویر ۷ پارامتر (δ) پهنای تابع چگالی طیفی توان حول فرکانس مرکزی و نوع محتوای فرکانسی حرکت و ساختار زمین را نشان می دهد.

روابط زیر را برای محاسبه‌ی گشتاورهای طیفی توان کانایی-تاجیمی توسّط پولگرانو (Pulgrano 1969) و آبلوتیز (Ablowtiz 1969)، برگرفته از لای (Lai 1982) ارائه گردید:



تصویر۷- فرکانس مرکزی و ضریب شکل در مدل کانایی-تاجیمی (خسروی ۱۳۸۳)

$$\lambda_0 = \frac{\pi G_0 \omega_g}{4\xi_g} J_0(\Omega^*)\left(1+4\xi_g{}^2\right) = \frac{\pi G_0}{4\xi_g}\omega_g A \qquad -۱۹$$

$$\lambda_1 = \frac{\pi G_0}{4\xi_g}\omega_g{}^2 B \qquad -۲۰$$

$$\lambda_2 = \frac{\pi G_0 \omega_g{}^3}{4\xi_g} C \qquad -۲۱$$

که در آن:

$$A = \left(1+4\xi_g{}^2\right)^{1/2} \qquad -۲۲$$

$$B = \left[\begin{array}{l} J_1(\Omega^*)+4\xi_g{}^2 J_3(\Omega^*)- \\ \frac{1+4\xi_g{}^2-8\xi_g{}^4}{\pi\left(1-\xi_g{}^2\right)^2}\tan^{-1}\left(\frac{2\xi_g\left(1-\xi_g{}^2\right)^{1/2}}{1-2\xi_g{}^2}\right) \end{array}\right] \qquad -۲۳$$

$$C = J_2(\Omega^*)+4\xi_g{}^2 J_4(\Omega^*) \qquad -۲۴$$

$$J_i(\Omega^*) = \frac{4\xi_g}{\pi}\int_0^{\Omega^*}\frac{\Omega^i\, d\Omega}{\left(1-\Omega^2\right)^2+4\xi_g{}^2\Omega^2} \qquad -۲۵$$

$$\Omega^* = \frac{\omega^*}{\omega_g} = \frac{25\pi}{\omega_g} \qquad -۲۶$$

برای محاسبه‌ی پارامترهای مدل کانایی- تاجیمی و طیف توان صاف شده، پارامترهای روش گشتاورهای طیفی $(\lambda_3, \lambda_2, \lambda_1)$ با استفاده از فرمول‌های ۱۳، ۱۵، و ۱۷ و همچنین ۱۹، ۲۰ و ۲۱ جداگانه محاسبه و مساوی قرار داده می‌شوند. پهنای معرّفی شده توسّط پارامتر ضریب شکل در منحنی چگالی طیفی توان به عنوان پهنای باند فرکانسی تشدید منظور می‌شود. حاصل ضرب پارامتر ضریب شکل در پارامتر فرکانس مرکزی بازه‌ی فرکانسی را در قبل و بعد از فرکانس مرکزی مشخّص می‌کند. این بازه‌ی فرکانسی با حاشیه‌ی اطمینان مناسبی محدوده‌ی فرکانس تشدید در سازه را نشان می دهد. بنابراین دامنه‌ی

پائین و بالای این محدوده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

۲۷- دامنه‌ی پایین: $\omega_c - \delta.\omega_c = \omega_c(1-\delta)$

۲۸- دامنه‌ی بالا: $\omega_c + \delta.\omega_c = \omega_c(1+\delta)$

براساس تحقیقات لای (Lai 1982)، ارتباط بین فرکانس مرکزی (ω_c) با پریود غالب حرکت (T_P) به صورت ذیل ارائه شده است (خسروی ۱۳۸۳):

۲۹- $T_P = \frac{2\pi}{\omega_c}$ بنابراین می‌توان دامنه‌ی بالا و پائین پریود غالب حرکت $[T_{p1}, Tp_2]$ و همچنین دامنه‌ی بالا و پائین فرکانس تشدید سازه $[F_1, F_2]$ را به صورت ذیل محاسبه نمود:

۳۰- $$T_{P1} = \frac{2\pi}{\omega_c(1+\delta)}$$

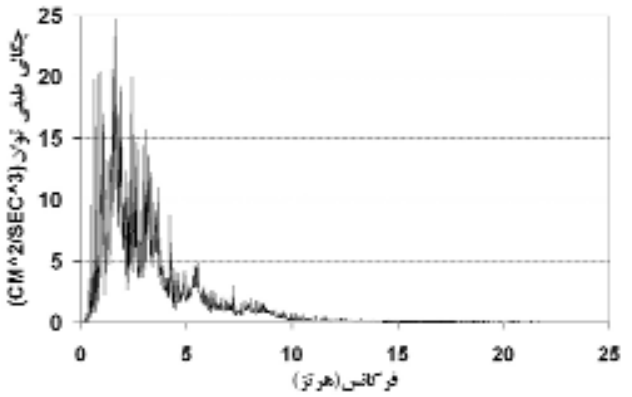
۳۱- $$T_{P2} = \frac{2\pi}{\omega_c(1-\delta)}$$

۳۲- $$f_1 = \frac{1}{T_{P1}}$$

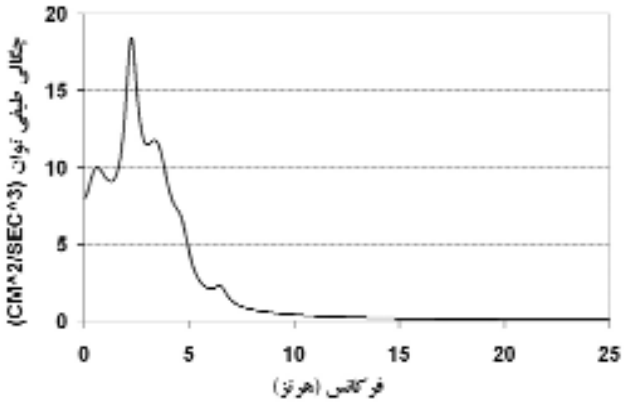
۳۳- $$f_2 = \frac{1}{T_{P2}}$$

۳- یافته‌ها

به منظور محاسبه‌ی چگالی طیفی توان هر شتاب‌نگاشت و صاف شده‌ی آن برنامه‌ای توسّط مولّف به زبان فرترن نوشته شد. این برنامه شتاب‌نگاشت مورد نظر و مدّت تداوم آن را از فایل معرّفی شده می‌خواند. سپس برنامه با تغییر دادن فرکانس سازه در یک حلقه، از ۰/۰۰۵ هرتز تا ۲۵ هرتز با گام‌های ۰/۰۰۵ هرتز به ازای هر فرکانس در تمام مدّت شتاب‌نگاشت با استفاده از معادلات ۸ و ۱۱ سرعت و تغییر مکان سازه‌ی تک درجه‌ی آزادی را محاسبه می‌کند و انرژی و توان ورودی به این سازه را در پایان مدّت شتاب‌نگاشت از معادله‌ی ۴ و ۵ محاسبه می‌نماید. پس از پایان این حلقه به ازای هر فرکانس در بازه‌ی فرکانسی صفر تا ۲۵ هرتز که محدوده‌ی فرکانس طبیعی سازه‌ها نیز هست، مقادیر توان ورودی به سازه به دست می‌آید که با ترسیم این دو مقدار نسبت به هم، چگالی طیفی توان شتاب‌نگاشت مزبور حاصل می‌شود. برنامه برای صاف کردن چگالی طیفی توان بر اساس مدل کانایی- تاجیمی از روش گشتاورهای طیفی استفاده می‌کند و در هر فرکانس مقادیر چگالی طیفی توان صاف شده را محاسبه و ارائه می‌کند. باتوجّه به اینکه ارائه‌ی کلّیه‌ی اشکال چگالی طیفی توان در این مقاله مقدور نمی‌باشد، میانگین طیف‌های مذکور درتصاویر ۸ و ۹ نشان داده شده است.



تصویر ۸- میانگین چگالی های طیفی توان ۲۳ رکورد ثبت شده در گلباف و سیرچ



تصویر ۹- میانگین چگالی‌های طیفی توان صاف شده ۲۳ رکورد ثبت شده در گلباف و سیرچ با استفاده از مدل کانایی- تاجیمی

در جدول ۲ مقادیر محاسبه شده توسّط برنامه‌ای شامل مقادیر پارامترهای مدل کانایی- تاجیمی یعنی شدّت حرکت زمین(G_0)، فرکانس غالب زمین (ω_g)، میرایی غالب زمین (ξ_g) و نیز مقادیر پارامترهای‌روش گشتاورهای طیفی یعنی فرکانس مرکزی، (ω_C) ضریب شکل (δ) و واریانس القا σ^2 برای‌کلیه‌ی رکوردهای ثبت شده‌ی گلباف و سیرچ ارائه شده است. چنانچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود برای شش رکورد از رکوردهای مورد برّرسی، انطباق بین چگالی طیفی توان و مدل کانایی- تاجیمی صورت نگرفته است، امّا پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه‌ی دامنه‌ی فرکانس تشدید یعنی فرکانس مرکزی و ضریب شکل برای کلّیه‌ی رکوردها به دست آمده‌اند. همان‌طور که در فرمول‌های ۳۲ و ۳۳ نشان داده شد، بازه‌ی فرکانس تشدید را می‌توان بازه‌ی $[F_1,F_2]$ در نظر گرفت، بنابراین به منظور محاسبه‌ی این بازه در جدول ۳، بازه‌ی فرکانسی $[\omega_c(1-\delta), \omega_c(1+\delta)]$ برای تک تک رکوردها محاسبه شده و در نهایت از حدّ پایین و بالای این محدوده میانگین گیری شده است.

جدول۲- مقادیر پارامترهای روش گشتاورهای طیفی و مدل کانایی- تاجیمی برای ۲۳ رکورد زلزله‌ی گلباف و سیرچ

ردیف	شماره‌ی رکورد	محلّ وقوع زلزله	ω_g Red/Sec	δ	$\sigma^2(cm^2/sec^4)$	ξ_g	ω_g Red/Sec	$G0(cm^2/sec^4)$
۱	۱۱۷۲-۶	گلباف	۳۳/۶۴	۰/۵	۳۳/۴۰	۰/۹۶	۸/۶۶	۲/۱۸
۲	۱۱۷۶-۵	گلباف	۲۴/۳۵	۰/۶۳	۲۱۶۶/۶	۰/۲۴	۲۲/۵۶	۲۶/۴۶
۳	۱۱۷۶-۱۷	گلباف	۲۹/۵۶	۰/۵۳	۳۴/۸۵	۰/۹۷	۶/۱۴	۳/۲۱
۴	۱۱۷۶-۲۱	گلباف	۴۴/۳۵	۰/۵۴	۴۴/۲۳	۰/۹۰	۲۴/۸۲	۰/۹۹
۵	۱۱۷۶-۲۳	گلباف	۵۱/۶۸	۰/۴۷	۹۱/۶۳	-	-	-
۶	۱۱۷۶-۲۹	گلباف	۴۰/۸۷	۰/۴۰	۱۲۱/۴۷	۰/۸۹	۱۸/۰۸	۳/۷۳
۷	۱۱۸۳-۱	گلباف	۳۱/۵۵	۰/۴۵	۹۲/۵۲	۰/۹۲	۸/۰۸	۶/۴
۸	۱۱۸۳-۸	گلباف	۴۰/۲	۰/۳۱	۱۶۸/۸۵	۰/۸۷	۱۷/۹۲	۵/۲
۹	۱۱۸۳-۱۰	گلباف	۲۵/۴۹	۰/۵۳	۶۲۳/۳۱	۰/۹۳	۴/۷۸	۷۳/۱۲
۱۰	۱۱۹۱-۳	گلباف	۲۸/۵۵	۰/۴۴	۳۳۹/۸	۰/۱۰	۲۸/۸۸	۱/۴۷
۱۱	۱۱۲۰۰	گلباف	۱۷	۰/۴۹	۱۱۴/۲۲	۰/۱۲	۱۶/۷۶	۱/۰۱
۱۲	۱۲۶۸	سیرچ	۴۷/۹	۰/۵۰	۳۳/۶۵	۰/۹۹	۳۲/۹۴	۰/۵۸
۱۳	۱۳۰۷-۱	سیرچ	۶۴/۰۱	۰/۴۸	۵۴/۳۵	-	-	-
۱۴	۱۳۳۶	گلباف	۲۹/۸	۰/۳۹	۸۲/۱۹	۰/۰۸	۳۰/۲	۰/۲۷
۱۵	۱۳۴۶-۱	گلباف	۱۴/۹۷	۰/۵۴	۱۲۹۹/۶	۰/۱۵	۱۴/۳۶	۱۶/۵۶
۱۶	۱۳۴۷-۴	سیرچ	۲۳/۸۲	۰/۵۵	۱۴۴/۳۹	۰/۱۷	۲۳/۳	۱/۲۷
۱۷	۱۴۲۵	سیرچ	۴۰/۱۱	۰/۳۵	۱۳۹/۸۳	۰/۰۶	۴۰/۹۶	۰/۲۶
۱۸	۱۸۷۲-۸	گلباف	۵۱/۵۵	۰/۴۰	۴/۵۷	-	-	-
۱۹	۱۸۷۴-۷	گلباف	۵۰/۷۲	۰/۴۳	۴۲/۶۳	-	-	۰/۰۶
۲۰	۱۸۷۴-۹	گلباف	۲۹/۶	۰/۳۹	۱۹/۹۲	۰/۰۷	۲۹/۹۸	۰/۰۳
۲۱	۲۱۵۶-۱	گلباف	۳۵/۸۹	۰/۴۳	۹/۴۷	۰/۱۰	۳۶/۷۲	-
۲۲	۲۱۵۶-۲	گلباف	۶۰/۴۹	۰/۲۸	۲۲/۴۶	-	-	-
۲۳	۲۵۰۳-۲	گلباف	۶۴/۹۱	۰/۳۷	۳/۶۷	-	-	

۴- بحث

القادمسی و همکاران (Elghadamsi et al., 1988) پس از مطالعات زیاد بر روی فرکانس مرکزی زمین، مقدار این پارامتر را برای خاک‌های آبرفتی ۲۵/۷۶ رادیان بر ثانیه به دست آوردند. با سخت‌تر شدن خاک مقدار این پارامتر افزایش می‌یابد، به طوری که میانگین آن برای لایه‌ی سنگی حدود ۳۴ رادیان بر ثانیه به دست آمد. جنس لایه‌ی سطحی خاک در مناطق گلباف و سیرچ از لایه‌های سنگی تشکیل شده است، چرا که میانگین مقادیر این پارامتر ۳۸/۳ رادیان بر ثانیه می‌باشد (جدول ۲).

از مطالعه‌ی مقادیر پارامتر δ در جدول ۲ که پهنای باند فرکانسی مدل کانایی- تاجیمی را نشان می‌دهد دیده می‌شود که عریض‌ترین باند فرکانسی را رکورد گلباف (۵-۱۱۷۶) و باریکترین باند فرکانسی را رکورد گلباف (۲-۲۱۵۶) دارا می‌باشند. این بدین معنی است که در زلزله با شماره‌ی رکورد (۵-۱۱۷۶)، طیف وسیع‌تری از انواع سازه‌ها با تعداد طبقات و سختی‌های مختلف، به دلیل جذب انرژی زیاد، زودتر از سایر سازه‌ها آسیب دیده‌اند، ولی در مورد زلزله با شماره‌ی رکورد (۲-۲۱۵۶) به دلیل باند فرکانسی باریک دامنه‌ی محدودتری ازسازه‌ها دچار آسیب شده‌اند. مطابق فرمول ۱۳ پارامتر σ^2 برابر با سطح زیرمنحنی چگالی طیفی توان و در واقع برابر با توان کل حرکت می‌باشد. بیشترین توان کل را زلزله‌ی گلباف با شماره‌ی رکورد (۵-۱۱۷۶) دارد و به این معنی است که این زلزله بیشترین میزان انرژی آزاد شده در واحد زمان را داشته و به همین دلیل سرعت

جدول ۳- محاسبه‌ی بازه‌ی فرکانسی تشدید برای سازه‌های واقع در گلباف و سیرچ

ردیف	شماره‌ی رکورد	محلّ وقوع زلزله	ω_g	δ	$1-\delta$	$1+\delta$	$\omega_g/(1-\delta)$	$\omega_g/(1+\delta)$
۱	۱۱۷۲-۶	گلباف	۳۳/۶۴	۰/۵۰	۰/۵	۱/۵	۸/۶۶	۲/۱۸
۲	۱۱۷۶-۵	گلباف	۳۵/۲۴	۶۳	۳۷	۶۳/۱	۲۲/۵۶	۲۶/۴۶
۳	۱۱۷۶-۱۷	گلباف	۲۹/۵۶	۰/۵۳	۰/۴۷	۱/۵۳	۶/۱۴	۳/۲۱
۴	۱۱۷۶-۲۱	گلباف	۳۵/۴۴	۵۴	۴۶	۵۴/۱	۲۴/۸۲	۰/۹۹
۵	۱۱۷۶-۲۳	گلباف	۵۱/۶۸	۰/۴۷	۰/۵۳	۱/۴۷	-	-
۶	۱۱۷۶-۲۹	گلباف	۸۷/۴۰	۴۰	۶	۴/۱	۱۸/۰۸	۳/۷۳
۷	۱۱۸۳-۱	گلباف	۳۱/۵۵	۰/۴۵	۰/۵۵	۱/۴۵	۸/۰۸	۶/۴
۸	۱۱۸۳-۸	گلباف	۲/۴۰	۳۱	۶۹	۳۱/۱	۱۷/۹۲	۵/۲
۹	۱۱۸۳-۱۰	گلباف	۲۵/۴۹	۰/۵۳	۰/۴۷	۱/۵۳	۴/۷۸	۷۳/۱۲
۱۰	۱۱۹۱-۳	گلباف	۲۸/۵۵	۰/۴۴	۰/۵۶	۱/۴۴	۲۸/۸۸	۱/۴۷
۱۱	۱۱۲۰۰	گلباف	۱۷	۰/۴۹	۰/۵۱	۱/۴۹	۱۶/۷۶	۱/۰۱
۱۲	۱۲۶۸	سیرچ	۴۷/۹	۰/۵۰	۰/۵	۱/۵	۳۲/۹۴	۰/۵۸
۱۳	۱۳۰۷-۱	سیرچ	۶۴/۰۱	۰/۴۸	۰/۵۲	۱/۴۸	-	-
۱۴	۱۳۳۶	گلباف	۲۹/۸	۰/۳۹	۰/۶۱	۱/۳۹	۳۰/۲	۰/۲۷
۱۵	۱۳۴۶-۱	گلباف	۱۴/۹۷	۰/۵۴	۰/۴۶	۱/۵۴	۱۴/۳۶	۱۶/۵۶
۱۶	۱۳۴۷-۴	سیرچ	۲۳/۸۲	۰/۵۵	۰/۴۵	۱/۵۵	۲۳/۳	۱/۲۷
۱۷	۱۴۲۵	سیرچ	۴۰/۱۱	۰/۳۵	۰/۶۵	۱/۳۵	۴۰/۹۶	۰/۲۶
۱۸	۱۸۷۲-۸	گلباف	۵۱/۵۵	۰/۴۰	۰/۶	۱/۴	-	-
۱۹	۱۸۷۴-۷	گلباف	۵۰/۷۲	۰/۴۳	۰/۵۷	۱/۴۳	-	۰/۰۶
۲۰	۱۸۷۴-۹	گلباف	۲۹/۶	۰/۳۹	۰/۶۱	۱/۳۹	۲۹/۹۸	۰/۰۳
۲۱	۲۱۵۶-۱	گلباف	۳۵/۸۹	۰/۴۳	۰/۵۷	۱/۴۳	۳۶/۷۲	-
۲۲	۲۱۵۶-۲	گلباف	۶۰/۴۹	۰/۲۸	۰/۷۲	۱/۲۸	-	-
۲۳	۲۵۰۳-۲	گلباف	۶۴/۹۱	۰/۳۷	۰/۶۳	۱/۳۷	-	

آسیب‌دیدگی سازه‌ها در این منطقه به دلیل جذب انرژی بیشتر توسّط سازه‌ها در واحد زمان، نسبت به سایر زلزله‌های مورد برّرسی بیشتر بوده است.

پارامترهای میرایی و فرکانس غالب زمین (ω_g, ξ_g) و نیز پارامتر (G_0) پارامترهای مدل کانایی- تاجیمی هستند، که برّرسی و مقایسه‌ی مقادیر هر یک از آن‌ها با هم نتایجی را در بر خواهد داشت که کاربرد خاصّ خود را داشته و نیاز به تئوری، بحث و برّرسی بیشتر دارد.

۵- نتیجه‌گیری

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۳ و با استفاده از فرمول‌های ۳۰ تا ۳۳ می‌توان محدوده‌ی فرکانس تشدید و پریود غالب حرکت سازه‌های واقع در گلباف و سیرچ را به صورت زیر محاسبه نمود:

حدّ بالای پریود غالب حرکت $T_{p1} = \frac{2\pi}{21.55} = 0.29\,Sec$

حدّ پائین پریود غالب حرکت $T_{p2} = \frac{2\pi}{55.06} = 0.11\,Sec$

حدّ پائین فرکانس تشدید $f_1 = \frac{1}{T_{p1}} = 3.43\,Hz$

حدّ بالای فرکانس تشدید $f_2 = \frac{1}{T_{p2}} = 8.76\,Hz$

مطابق محاسبات فوق با در نظر گرفتن حاشیه‌ی اطمینان مناسبی، شاید بتوان گفت ساختمان‌های ساخته شده در گلباف یا سیرچ که دارای فرکانس اصلی در محدوده‌ی ۳/۳۴ الی ۸/۷۶ هرتز یا پریود اصلی در محدوده‌ی ۰/۱۱ الی ۰/۲۹ ثانیه باشند، در معرض خطر ایجاد پدیده‌ی تشدید هستند. شدیدترین خطر برای ساختمان‌هایی با پریود اصلی ۰/۱۶ ثانیه یا فرکانس اصلی ۶/۱ هرتز که مرکز بازه‌های مذکور هستند وجود دارد. در مورد ساختمان‌هایی با ارتفاع یک تا ده طبقه پریود اصلی ساختمان تقریباً برابر ۰/۱ تعداد طبقات است و با توجّه به محدوده‌ی پریود به دست آمده برای تشدید شاید بتوان گفت خطر تشدید برای ساختمان‌های یک تا سه طبقه زیاد و برای ساختمان‌های دو طبقه حدّاکثر است.

با توجّه به پهنه‌بندی لرزه‌ای ایران، استان کرمان واقع در ناحیه‌ی ایران مرکزی، از نظر محتوای فرکانسی حرکت و شباهت لایه‌های زمین در تمامی نقاط دارای شرایط تقریباً یکسان می‌باشد و نتایج به دست آمده برای مناطق گلباف و سیرچ را می‌توان حدّاقل به کلّ استان کرمان تعمیم داد (بربریان ۱۳۵۶ و مهندسین مشاور تهران پادیر ۱۳۷۶).

نظر به اینکه فرکانس ارتعاش هر ساختمان ارتباط مستقیم با جرم و سختی سازه دارد به عنوان یک نتیجه‌ی عملی از این مقاله شاید بتوان چنین توصیه کرد که در صورتی که در این استان سازه‌ای در حال طرّاحی باشد باید دقّت کرد که فرکانس یا پریود اصلی سازه در محدوده‌ی خطر ایجاد پدیده‌ی تشدید (۰/۱۱ الی ۰/۲۹ ثانیه یا ۳/۴۳ الی ۸/۷۶ هرتز) قرار نگیرد و چنانچه به اقتضای وضعیت سازه چنین اتفّاقی افتاد باید با تغییردادن جرم یا سختی سازه فرکانس اصلی سازه راتغییر داد.

۶- تشکّر و قدردانی

این مقاله طرح تحقیقاتی انجام شده توسّط مولّف با عنوان "تعیین فرکانس ساختمان‌های در معرض خطر ایجاد پدیده‌ی تشدید یا

جذب حداّکثر میزان انرژی در زلزله‌های گلباف و سیرچ با استفاده از طیف توان و مدل کانایی-تاجیمی" دانشگاه آزاد اسلامی واحد بردسیر بوده و با حمایت مالی این واحد دانشگاهی انجام شده است. بنابراین لازم می دانم از همکاری و مساعدت کلّیه‌ی افرادی که بنده را در تهیّه و تدوین این طرح تحقیقاتی یاری کرده‌اند، تشکّر و قدردانی نمایم.

مراجع

بربریان، م.، ۱۳۵۶، "پژوهش و برّرسی لرزه-زمین ساخت (سایزموتکتونیک) ایران"، وزارت صنایع و معادن، سازمان تحقیقات زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش شماره‌ی ۲۱۰:۴-۲۰۴.

برگی، خ.، ۱۳۷۶، "برّرسی طیف توان در مهندسی زلزله و تهیّه‌ی طیف توان زلزله‌های ایران"، فصلنامه‌ی انجمن مهندسین ایران (اساس)، تک شماره: ۳۲-۴۳.

برگی، خ.، ۱۳۷۷، "توابع چگالی طیفی توان، طرح و کاربرد آن‌ها در مهندسی زلزله"، فصلنامه‌ی انجمن مهندسی ایران (اساس): ۱۰-۲۰.

خسروی، م. ر.، ۱۳۸۳، "برّرسی روش‌های ایجاد شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی جهت تحلیل تاریخچه‌ی زمانی و ارائه‌ی شتاب‌نگاشت مصنوعی برای ناحیه‌ی ایران مرکزی" ، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، دانشکده‌ی فنی، گروه مهندسی عمران، ۲۱۶ص.

رمضی، ح. ر.، ۱۳۷۶، "داده‌های پایه‌ی شتاب‌نگاشت‌های شبکه‌ی شتاب‌نگاری کشور"، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۱۸ص.

عادلی، ح.، ۱۳۷۵، "مهندسی زلزله"، انتشارات کتابفروشی دهخدا، چاپ ششم: ۴۵-۳۶.

محرز، ب، القادمسی، ف.، ۱۳۷۹، "زلزله و طیف‌های پاسخ: فصل دوّم، هندبوک طرّاحی لرزه‌ای"، مترجم: اوشک سرایی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی: ۷۰-۱۷۰.

مهندسین مشاور تهران پادیر، ۱۳۷۶، "تقسیم‌بندی پهنه‌های لرزه‌ی زمین ساختی و برآورد پارامترهای خطر زمین‌لرزه"، گزارش پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای ایران برای کاربرد در آیین نامه‌ی زلزله (۲۸۰۰)؛ ۱۲۶-۱۴۳.

Barstein, M. F., 1960, "Application of probability methods for designing the effects of seismic forces on engineering structures", *Proc. Second World Conf. Earthquake Eng., Japan: 1467-1482.*

Bolotin, V. V., 1960, "Statistical theory of a seismic design of structures", *Proc. Second World Conf. Earthquake Eng., Japan: 1365-1374.*

Chopra, A. K., 1995, "Dynamics of structures, theory and applications to earthquake engineering", *Prentice-Hall International, 729p.*

Elghadamsi, F. E., Mohraz, B., Lee, C. T. & Moayyad, P., 1988, "Time-dependent power spectral density of earthquake ground motion", *Int. J. Soil Dynamics and Earthquake Eng., Vol. 7(1): 15-21.*

Iyengar, R. N. & Iyengar, K. T. S., 1969, "A nonstationary random process model for earthquake accelerograms", *Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 59: 1163-1188.*

Pulgrano & Ablowtiz 1969, In: Lai, S. P., 1982, "Statistical characterization of strong motion using power spectral density function", *Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 72: 259-274.*

Tajimi, H., 1960, "A statistical method of determining the maximum response of a building structure during an earthquake", *Proc. World Conf. Earthquake Eng., Japan: 781-797.*