بهبود پاسخ ساختگاه با استفاده از روش CEEMD و مقایسه آن با تحلیل فوریه و EMD

مهرداد انصاری پور
دانشجوی دکتری، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران،ایران
ansaripor@ut.ac.ir

حبیب رحیمی
استادیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران،ایران
rahimih@ut.ac.ir

کلید واژه‌ها: *تبدیل هیلبرت-هوانگ، تبدیل فوریه، نسبت* H/V *، توابع مود ذاتی*

چکیده

تجزیه و تحلیل فرکانس و زمان نقش مهمی در پردازش داده های لرزه نگاری و تفسیر بازی می کند. تبدیل فوریه عملا " نمی تواند بخشهای یک سیگنال گذرا را که زمان دوام بسیار کوتاه دارد، به طور موثر نمایش دهد؛ علت آن وجود توابع نمایی مختلط در تبدیل هستند که هیچ تمرکزی در زمان ندارند. تبدیل هیلبرت هوانگ (HHT) روشی قدرتمند برای آنالیز ارتعاشات غیرخطی و نامانا می باشد. این روش شامل دو قسمت اصلی تجزیه‌ی تجربی مودی (EMD) و آنالیز طیفی هیلبرت (HSA) می باشد. روش های تجزیه حالت تجربی از EMD به EEMD پیشرفت کرده است و به تازگی یک روش تجربی تجزیه کلی به اجزای اولیه سیگنال ارائه گردیده است که اگرچه روش EMD بسیاری از ویژگی های نویدبخش برای تجزیه و تحلیل و پردازش داده های ژئوفیزیکی را ارائه می دهد، اما در بعضی مواقع امکان دارد، به میزان کافی سیگنال تفکیک نشده باشد. روش CEEMD[1] سیگنال لرزه ای را به مجموع اجزای نوسانی آن تجزیه می کند. CEEMD، یک بسط قدرتمند از روش EMDاست و روشی بسیار امیدوار کننده برای پردازش و تفسیر داده ها می باشد. در این تحقیق ما از زلزله ی کجور که توسط یکی از ایستگاه های شتابنگاشتی در تهران به ثبت رسیده به تجزیه و تحلیل نسبت H/V برای بهبود تحلیل پاسخ ساختگاه توسط روش فوریه ساده و EMD و روش CEEMD می پردازیم ودقت تجزیه و تحلیل داده هارا بااز بین بردن جزءگذرای ناخواسته افزایش می دهیم و در نهایت مقایسه ای به دقت این سه روش داریم.

مقدمه

استفاده از تبدیل‌های متفاوت در تحلیل طیف سیگنال و بررسی ویژگیهای منحصربفرد آن تفسیرهای گوناگونی را در پی خواهد داشت. به طور متداول در مطالعات از سری فوریه به منظور تحلیل محتوای فرکانسی سیگنال‌های تناوبی استفاده می‌شود. اما کرنل‌های تبدیلی به کار گرفته شده برای این تبدیل که از جنس نمایی می‌باشند قابلیت به تصویر کشیدن ویژگی‌هایی با ماهیتی گذرا و مدت دوام محدود را نخواهند داشت و از همین روی استفاده از این روش در این موارد چندان کارآمد نخواهد بود.

دلیل اصلی این ناکارآمدی ریشه در این حقیقت دارد که توابع کرنل نمایی در حوزه زمان از $(-\infty,\infty)$ گسترده شد. این نقیصه توسط تجزیه سیگنال به مودهای ذاتی و به کارگیری تبدیل هیلبرت برطرف می‌گردد. در ادامه سعی خواهد شد تا مزیت استفاده از این روش را در تحلیل مطالعات ساختگاهی و به ویژه تعیین فرکانس تشدید خاک به روش H/V بررسی کرده و خروجی کار را با روش‌های متداولی که عمدتا بر پایه تبدیل فوریه صورت می‌گیرد ارزیابی نماییم.

1- complete ensemble empirical mode decomposition

تجزیه‌ی تجربی مودی

تبدیل هیلبرت به عنوان یک عملگری خطی شناخته می‌شود که بر تابعی همچون f(t) عمل کرده و H[f(t)] را نتیجه می‌دهد. این تبدیل به افتخار دیوید هیلبرت تبدیل هیلبرت نامیده شد. هیلبرت برای اولین از این تبدیل برای حل حالت خاصی از مسأله ریمن–هیلبرت استفاده کرد. در پردازش سیگنال از تبدیل هیلبرت برای یافتن سیگنال تحلیلی یک سیگنال استفاده می‌شود. این تبدیل از رابطه (۱) پیروی می‌کند

$$Hi[f(t)]=1/\Pi\int f(t')dt'/t'-t \qquad (۱)$$

زمانیکه $t' = t$ باشد انتگرال نامعین خواهد شد که برای اجتناب از این حالت خاص مطابق رابطه (۲) از مسیر پربند C برای انتگرالگیری استفاده می‌شود.

$$\int f(t)dt/t-t_0 =-i2\Pi f(t_0) \qquad (۲)$$

به عبارت بهتر تبدیل هیلبرت برابر با کانولوشن $f(t)$ و $\frac{-1}{\pi t}$ خواهد بود :

$$H[f(t)]=-1/\Pi t*f(t) \qquad (۳)$$

تبدیل هیلبرت اولین‌بار در تفسیر داده‌های مغناطیسی بی‌هنجاری‌های دوبعدی مورد استفاده قرار گرفت (Rao et al., 1982). روش تجزیه به مودهای تجربی اولین بار توسط محققان ناسا (Huang et al.,1998; Huang et al.,1999) با یک هدف فضایی و برای آنالیز کردن داده‌های غیرخطی و ناپایا ابداع شد. در این روش ابتدا بر اساس فرآیندی مرسوم به الک کردن، سیگنال را به توابع مد ذاتی (IMFs)، یا یک سری موج های نوسانی با میانگین صفر تجزیه می‌کند.

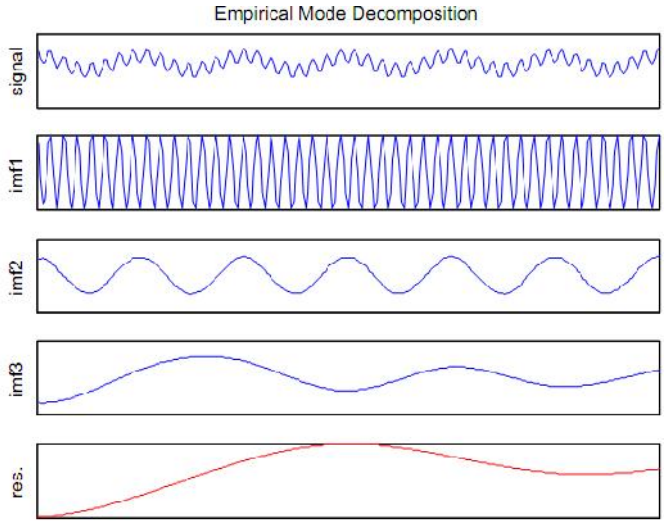
تجزیه تجربی مودی به عنوان قسمتی کلیدی شرط لازم برای استفاده از تحلیل طیفی هیلبرت را فراهم می‌کند سپس به وسیله تحلیل طیفی هیلبرت توزیع فرکانس و دامنه سیگنال به صورت متغیر با زمان به دست می‌آید. تجزیه تجربی مودی روشی برای تجزیه یک سیگنال به تعداد متناهی از توابع نوسانی دارای تبدیل هیلبرت خوشرفتار است که به آن‌ها توابع مودی ذاتی گفته می‌شود.

هدف تجزیه تجربی مودی تجزیه سیگنال به تعداد متناهی از توابع مودی ذاتی است به گونه‌ای که شرط لازم برای اعمال تحلیل طیفی هیلبرت فراهم شود. هدف از تحلیل طیفی هیلبرت به دست آوردن توزیع دامنه–زمان– فرکانس هر یک از توابع مودی ذاتی از طریق تبدیل هیلبرت و ارائه طیف هیلبرت سیگنال است.

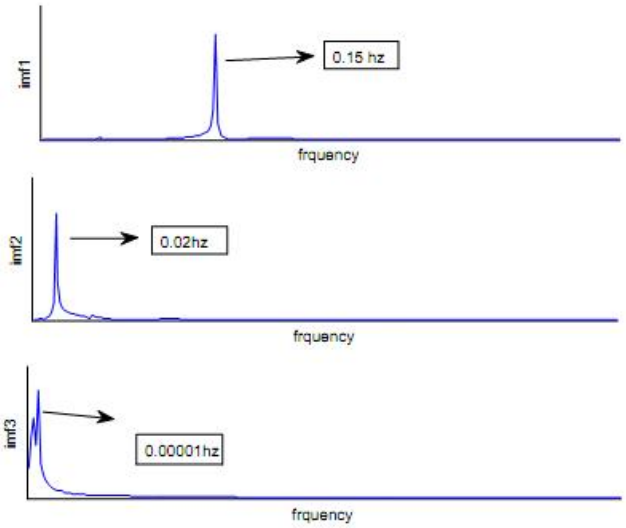
در ادامه کاربرد این روش را برای سری های عددی شناخته شده‌ای ارزیابی می‌کنیم تا کارایی این روش به نحو بهتری آشکار شود. برای این منظور تابعی را به صورت زیر در نظر بگیرید

$$X(t)=\cos(2\Pi/10000)+\cos(2\Pi/50)+\cos(3\Pi/10) \qquad (۴)$$

که این تابع شامل سه موج کسینوسی متمایز با فرکانس های ۰/۳، ۰/۰۴ و ۰/۰۰۰۲ هرتز می‌باشد که با استفاده از روش EMD به سه IMF تبدیل شده است(شکل۱). همانطور مشاهده می‌گردد مقدار باقیمانده (res) بسیار کوچکتر از imf ها بوده و علاوه بر این تغییرات یکنواختی را نیز نشان می‌دهد . تبدیل فوریه آن نیز فرکانسهای فوق را به خوبی نمایش داد شکل (۲).



شکل ۱. نتایج حاصل از EMDی سه تابع کسینوسی با فرکانس های ۰/۳ و۰/۰۴و۰/۰۰۰۲هرتز، که سه imf به همراه یک باقیمانده را نشان می‌دهد



شکل(۲): تبدیل فوریه حاصل از imfها که به خوبی فرکانس‌های غالب را متمایز کرده است.

می‌توان ادعا کرد که سیگنال اولیه با استفاده از رابطه زیر بازسازی می‌شود

$$X(t)=Re\sum a_j(t)\exp(i\int w_j(t)) \quad (۵)$$

طیف Marginal هیلبرت نیز توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$H(w)=\int H(w,t)dt \quad (۶)$$

گروه مکمل تجزیه‌ی تجربی مودی

در روش CEEMD در هر مرحله به داده درصدی از نویز گوسی اضافه می شود و تجزیه به کمک EMD انجام میگیرد. در واقع هدف این توسعه ها برای حل حالت های پیچیده است (Huang et al., 1999 ; Huang et al., 2003). در حالی که قابلیت بازسازی کامل را دارند. هان و وندر بان تفاوت بین روش های EMD، را بررسی کردند (Han and Van der Baan., 2013). آنان نتیجه گرفتند که CEEMD نه تنها حالت های پیچیده را حل می کند، همچنین بازسازی دقیق از سیگنال اصلی را فراهم می کند. از لحاظ قدرت تفکیک طیفی، روش های بر پایه EMD بهتراز تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT) و روش تبدیل موجک (WT) عمل می کند.

بحث

انجام مطالعات بر روی نقش اثر ساختگاه از دیدگاه علوم زمین و مهندسی بسیار مهم و کاربردی می‌باشد (Konno and Ohmachi., (1998)). در این میان روش H/V به طور گسترده‌ای برای ارزیابی فرکانس غالب خاک و ضریب تقویت ساختگاه در انجام مطالعات ساختگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Parolai et al.,(2002); Chen et al., (2008); Okada, H. (2003)). این روش برای نخستین بار توسط ناکامورا (۱۹۸۹) پایه‌گذاری شد، شیوه های مهندسی در بسیاری از نقاط جهان نیرومندی و عملی بودن آن را نشان دادند (Nakamura ., (1989); Atakan et al., (2004)). اگر بپذیریم که مولفه قائم‌شتابنگاشت از اثرات محلی ساختگاه تاثیر نمی پذیرد، آنگاه نسبت طیفی افقی به قائم می‌تواند اطلاعاتی از اثرات ساختگاه را دارا باشد. اساساً این رویکرد اگرچه از پشتوانه تئوری روشنی برخوردار نیست ولی‌استفاده از آن در پیش‌بینی اثرات خاک منجر به نتایج قابل قبولی شده است.

بر پایه نظریه ناکامورا مولفه عمودی جنبش توسط لایه خاک نرم از تقویت کمتری برخوردار است

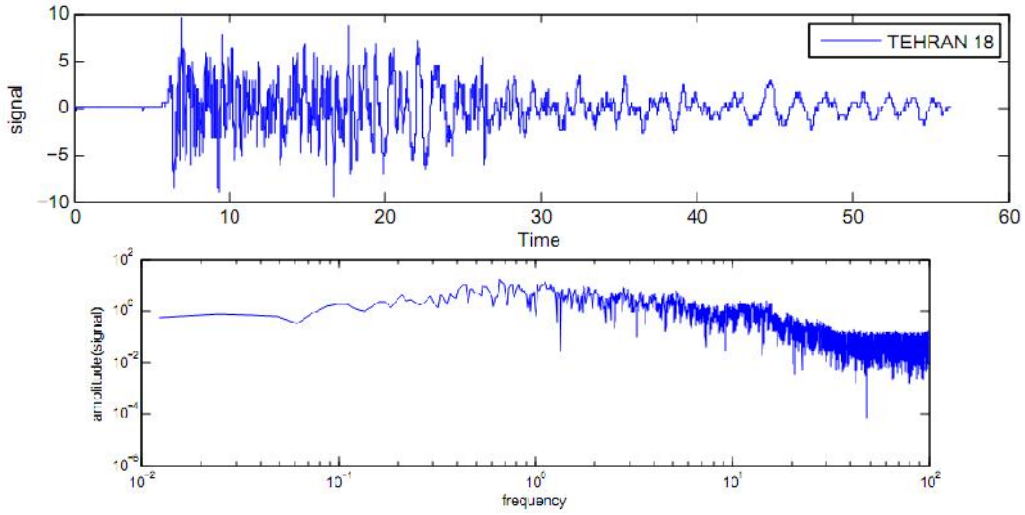
$$H_B(w)/V_B(w)=1 \quad (۷)$$

در نتیجه پاسخ ساختگاه از رابطه زیر پیروی خواهد کرد

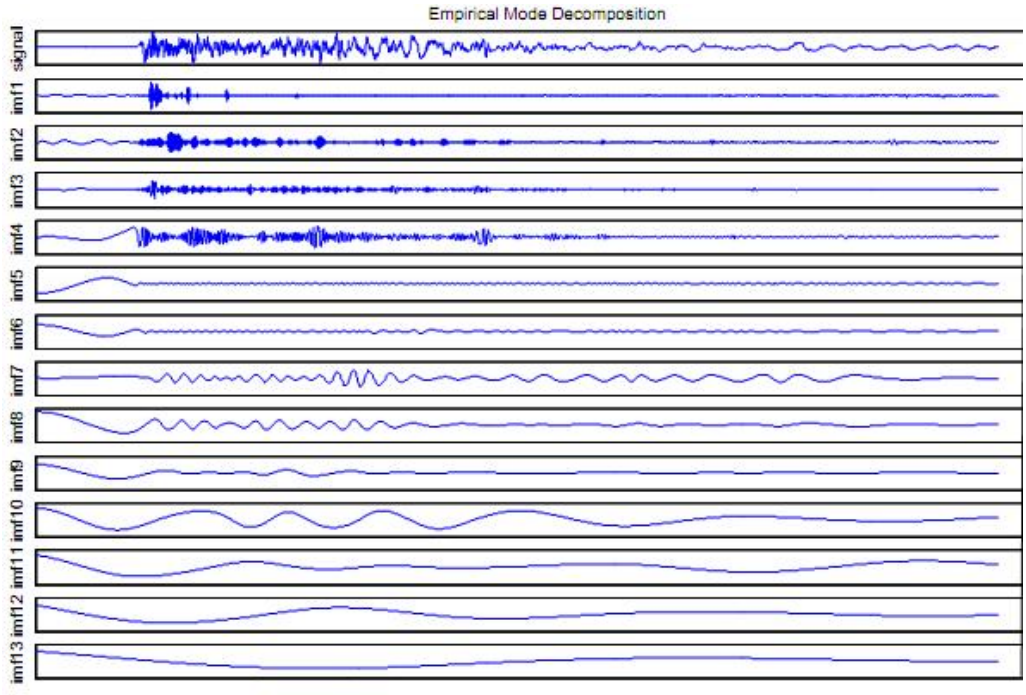
$$S_M(w)=S_E(w)/A_S(w)=H_S(w)/V_S(w)\div H_B(w)/V_B(w) \longrightarrow S_M(w)=H_S(w)/V_S(w) \quad (۸)$$

بنابراین تخمینی از اثر ساختگاهی با نسبت طیفی بین مولفه های افقی و عمودی حرکت درسطح به دست می‌آید.

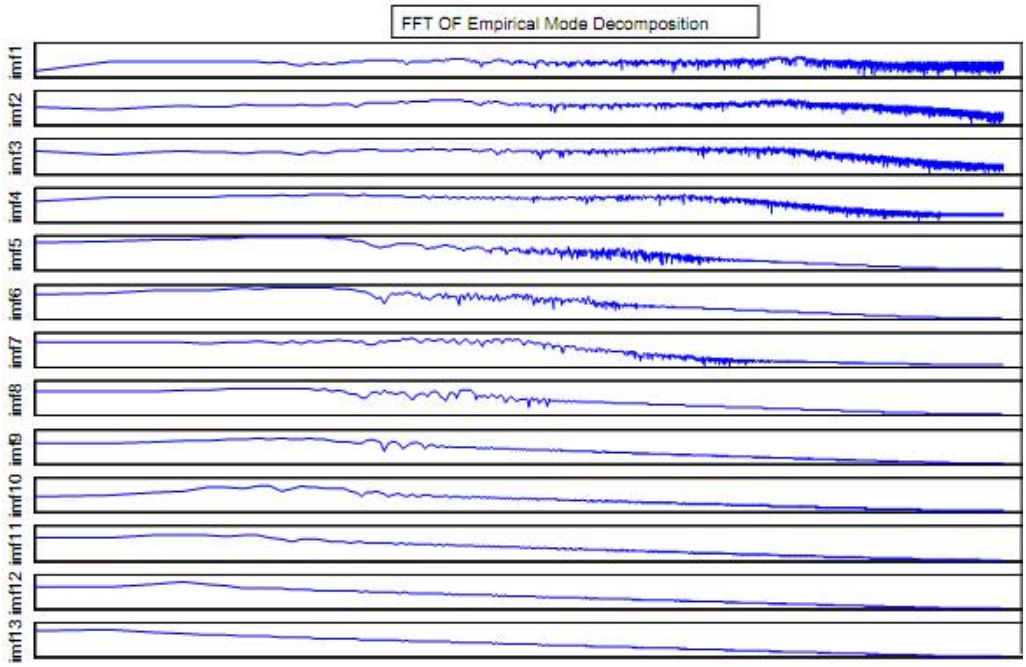
در این مطالعه کارایی روش های مختلف را بر روی رکورد ناشی از زمین‌لرزه کجور و بلده که در یکی از ایستگاه‌های تهران ثبت شده مورد ارزیابی قرار می‌دهیم شکل(۵). ابتدا imf های اول مود های ذاتی متوسط مولفه‌های قائم و نیز مولفه افقی توسط تجزیه مودی (EMD) بدست می‌آید شکل (۷و۶). پس از گرفتن طیف فوریه از هر دو مولفه رکورد ثبت شده در ایستگاه تهران و تقسیم مولفه افقی به مولفه عمودی مطابق شکل(۹) فرکانس غالب و اندازه آن محاسبه می شود. چون IMF1 بیشتر در فرکانس‌های بالا غالب است شکل(۸) می‌توان نتیجه گرفت که IMF1 سرچشمه محلی دارد. اجزای تشکیل دهنده فرکانس بالا در رکورد عمدتا محلی و ناشی از نوفه گذرا است. بنابراین به نظر می رسد با حذف IMF1 نقطه بیشینه کمی جابجا شده و علاوه بر این مقدار کمتری را نیز اختیار می‌کند شکل(۱۰).



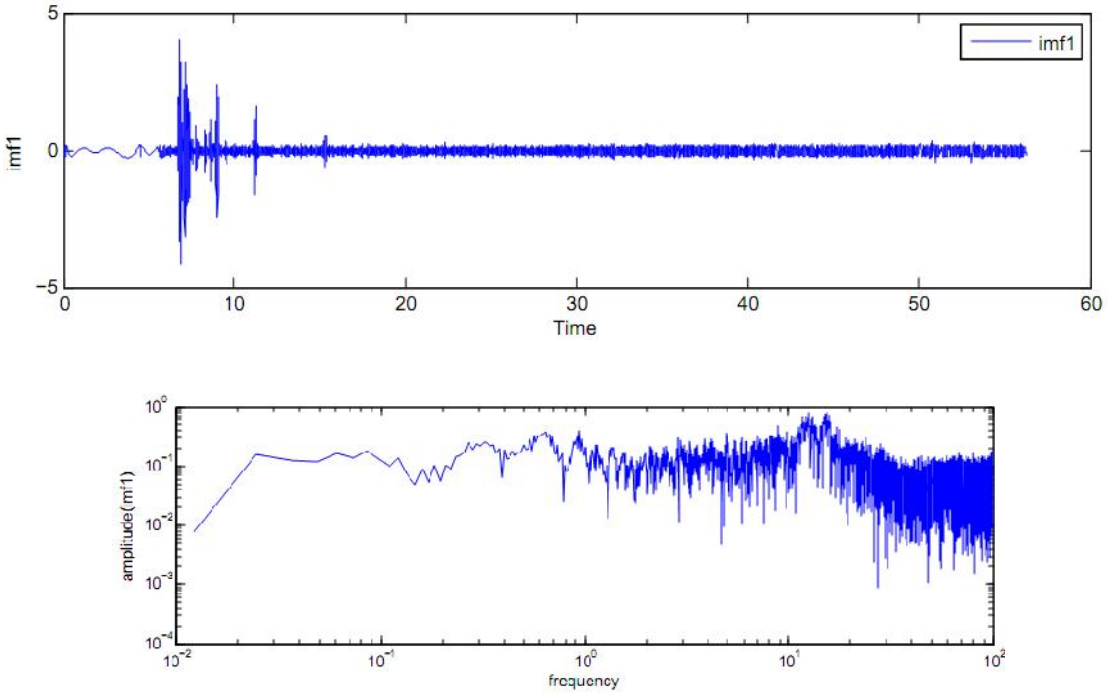
شکل۵: رکورد ثبت شده در ایستگاه تهران در حالت عمودی (بالا) و طیف فوریه آن (پایین)



شکل۶: تبدیل رکورد حاصل از زلزله کجور در ایستگاه تهران به مودهای سازنده آن با روشEMD



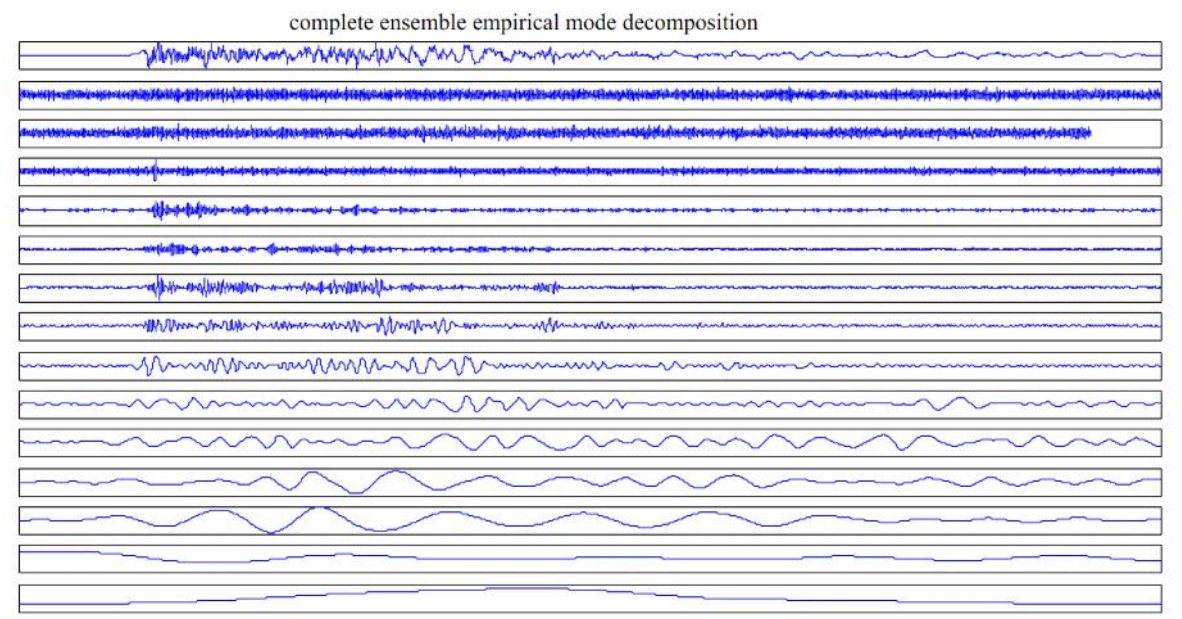
شکل۷: تبدیل فوریه سیگنال و مودهای ذلتی در حوزه ی فرکانس.



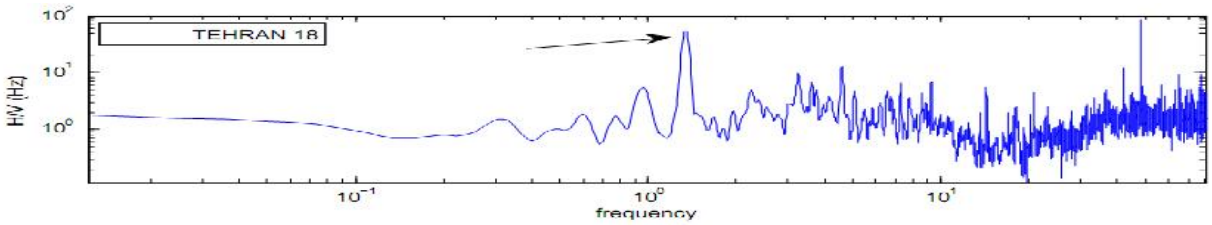
شکل(۸): imf_1 حاصل از رکود ثبتی و طیف فوریه آن در حوزه ی فرکانس.

این امکان وجود دارد که با حذف اولین تابع مود ذاتی، قسمتی از سیگنال اصلی را از دست داده باشیم، در ادامه از روش CEEMD برای بدست آوردن فرکانس غالب استفاده خواهد شد. همانطور در شکل(۹) مشاهده می شود قدرت تفکیک سیگنال بیشتر از روش EMD شده است که با حذف imf1 به عنوان نویز و سپس استفاده از روش H/V در بدست آوردن فرکانس غالب (شکل ۱۰) شاهد تغیراتی در پیک و شیفت در محدوده فرکانسی آن هستیم .

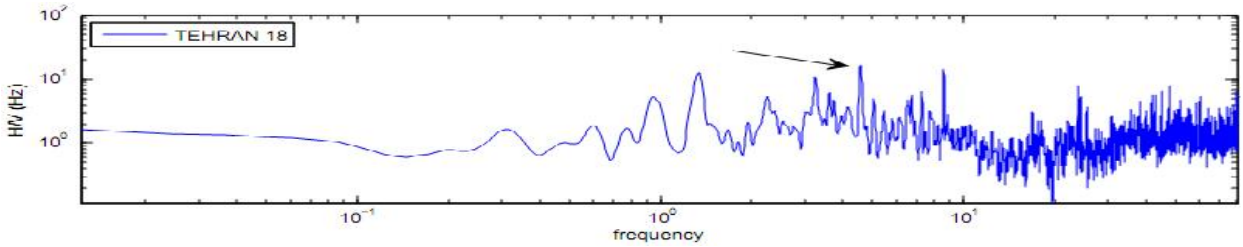
با مقایسه فرکانس های غالب و محدوده های فرکانسی در طیف های H/V شاهد تفاوت هایی در استفاده از هر یک از روشها می باشیم (اشکال ۱۰،۱۱و۱۲).



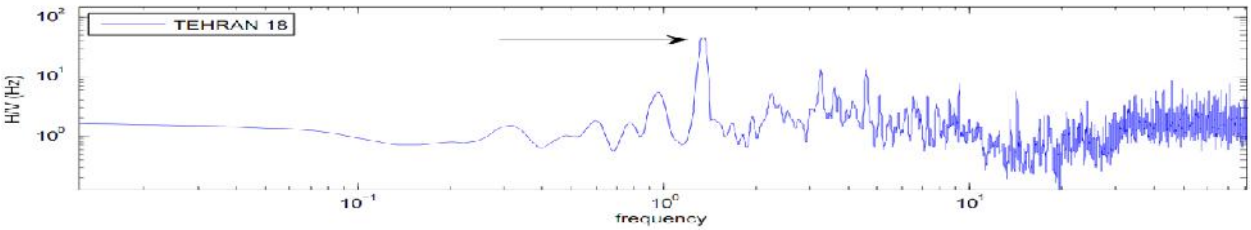
شکل۹. تبدیل رکورد حاصل از زلزله کجور در ایستگاه تهران به مودهای سازنده آن با روش CEEMD .



شکل۱۰: نسبت H/V گرفته شده از سیگنال ثبت شده در ایستگاه.



شکل۱۱: نسبت H/V گرفته شده از سیگنال ثبت شده در ایستگاه بعد از حذف imf1 با استفاده از روش EMD.



شکل۱۲: نسبت H/V گرفته شده از سیگنال ثبت شده در ایستگاه بعد از حذف imf1 با استفاده از روش CEEMD .

نتیجه‌گیری

یک تفکیک پذیری و رزولوشن بالاتر در تعیین فرکانس اساسی تشدید که یکی از اهداف عمده برای زلزله مهندسی می‌باشد، ما را ملزم به استفاده از توابع مد ذاتی به جای استفاده به تنهایی از تبدیل فوریه می کند، تبدیل فوریه قادر به تشخیص پدیده‌های گذرا نیست و این کمبود عمدتا ناشی از توابع پیچیده نمایی است که برای بسط سری‌ها استفاده می‌شود. این توابع در هر دو حوزه زمان و فرکانس غیر متمرکز هستند و از

این روی استفاده از EMD یک روش مناسب برای بررسی تغییرات محلی می‌باشد. با توجه به این که خود روش در حل بعضی مسائل به دلیل قدرت تفکیک پایینتر نسبت به روش CEEMD از روش دوم برای تفکیک بهتر مورد استفاده قرار می گیرد. امروزه نسبت طیفی مولفه افقی به قائم H/V به منظور تعیین اثر ساختگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد بدین ترتیب فرکانس غالب تابع بزرگنمایی ساختگاه براساس مدل یک بعدی که با نسبت طیفی H/V همخوانی دارد محاسبه می‌گردد. براساس فرکانس غالب شناسایی شده در هر ساختگاه، می توان ساختگاههای مورد مطالعه را طبقه بندی و اثر ساختگاه را در آن بررسی نمود. در روش EMD به دلیل آنکه امکان دارد در imf اول قسمتهایی از سیگنال اصلی نیز موجود باشد به همین دلیل امکان دارد تا خود سیگنال نیز با حذف نویز، حذف گردد. با بسط این روش و افزایش قدرت تفکیک با استفاده از روش CEEMD و حذف اولین تابع مود ذاتی، گامی در بهبود پاسخ ساختگاه نسبت به حالت استفاده از روش فوریه بر می داریم.

مراجع

Atakan K, Duval AM, Theodulidis N, Guillier B, Chatelain J-L, Bard PY and the SESAME-Team, (2004) The H/V spectral ratio technique: experimental conditions, data processing and empirical reliability assessment, in the proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 2268

Bodin P and Horton S (1999) Broadband microtremor observation of basin resonance in the Mississippi embayment, Central US, Geophys. Res. Lett.26:7,903-906

Chen Q-F, Liu L, Wang W and Rohrbach E (2008) Site effects on earthquake ground motion based on microtremor measurements for metropolitan Beijing, Chinese Science Bulletin, in press

Han J and M Van der Baan (2013) Empirical mode decomposition for seismic time-frequency analysis: Geophysics, 78, no. 2, O9–O19

Huang NE, Shen Z, Long SR, Wu ML, Shih HH, Zheng Q, Yen NC, Tung CC and Liu HH (1998) The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis. Proc. Roy. Soc. London A, 454, 903–995

Huang NE, Wu M-LC, Long SR, Shen SS, Qu W, Gloersen P, and Fan KL (2003) A confidence limit for the empirical mode decomposition and Hilbert spectral analysis: Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 459,2317–2345

Huang NE, Shen Z and Long SR (1999) A new view of nonlinear water waves: The Hilbert spectrum: Annual Review of Fluid Mechanics, 31,417–457

Konno K and Ohmachi T (1998) Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor, Bull. Seism. Soc. Am. 88, 228-241

Nakamura Y (1989) A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst.30,25–33

Okada H (2003) The Microtremor Survey Method,Geophysical Monograph Series No. 12, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, USA

Parolai S, Bormann P and Milkereit C (2002) New relationships between Vs, thickness of sediments, and resonance frequency calculated by the H/V ratio of seismic noise for the Cologne area (Germany), Bull. Seism. Soc. Am.92,2521–2527

Rao AD, Babu RHV and Sivakumar SGD (1982) A Fourier transform method for the interpretation of self-potential anomalies due to two-dimensional inclined sheet of finite depth extent: Pure Appl. Geophys, 120, 365–74