فصلنامه زمین، سال ششم، شماره ۱۹، بهار ۱۳۹۰

محاسبه پاسخ بسامدی شبکه لرزه نگاری تهران

محمد اشتری جعفری[۱]

چکیده

اگر به سیگنالهای نگاشته از یک چشمه لرزه‌ایی در ایستگاهی با سامانه‌های مختلف بنگریم میبینیم که شکل موجهای ثبت شده میتوانند کاملا متفاوت باشند. یکی از موجبهای اصلی این تفاوت پاسخ بسامدی یا به بیانی دیگر تابع انتقال سامانه لرزه نگاری است. دانستن پاسخ بسامدی ایستگاهها شبکه‌های لرزه نگاری از نیازهای اولیه پردازش و تفسیر لرزه نگاشتها است. ولی نباید فراموش کرد که جنبش زمین نگاشته شده در سامانه لرزه نگاری با سیگنالی که در چشمه تولید می‌شود بسیار متفاوت است. مطالعه پاسخ بسامدی یکی از ابزارهایی است که به زلزله شناسان امکان جدا سازی تاثیر دستگاهی و نزدیکتر شدن به شناخت سیگنال واقعی تولید شده در چشمه را می‌دهد. لذا در این مقاله به محاسبه پاسخ بسامدی شبکه لرزه نگاری دورسنجی تهران در حوزهای جابجایی، سرعت و شتاب پرداخته شده است.

کلید واژه‌ها: پاسخ بسامدی، تابع انتقال، سامانه لرزه نگاری، شبکه لرزه نگاری، شبکه لرزه نگاری دورسنجی تهران

Computing the frequency response of the Tehran Seismographic Network

Mohammad Ashtari Jafari

Abstract

The observed signal at the seismic stations is under the influence of the recording system. One of the basic reasons is the recording system transfer function or frequency response. Meanwhile knowledge of one of these items is inevitable for the processing and interpretation of the digital seismograms. On the other hand one should never forget that the recorded ground motion is considerably different from the generated signal by seismic sources. Studying the frequency response will help seismologist to separate the path and instrument effects in order to approach the real source signals. So in this paper we have studied frequency response of the Tehran Telemetric seismographic network in displacement, velocity and acceleration domains.1

Keywords: frequency response, transfer function, seismographic system, seismographic network, Tehran telemetric seismographic network

۱ـ عضو هیات علمی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

یکی از روشهای مرسوم برای مطالعه زلزله‌ها و ساختمان زمین نگاشت جنبش آن بشکل تابعی از زمان توسط شبکه‌های لرزه نگاری است. آگاهی از تابع انتقال بکار رفته در شبکه‌ها و ایستگاههای لرزه نگاری نیازی اساسی برای پردازش و تفسیر داده‌های رقمی لرزه‌ای است. اما نباید فراموش کرد سیگنالی که توسط سامانه لرزه نگاری بعنوان جنبش زمین نگاشته می‌شود با سیگنالی که در چشمه تولید می‌شود بسیار متفاوت است. مطالعه تابع انتقال یکی از ابزارهایی است که به زلزله شناسان امکان جدا سازی تاثیر دستگاهی و نزدیکتر شدن به شناخت سیگنال واقعی تولید شده در چشمه را می‌دهد. ساده‌ترین مثال مشاهده سیگنال ثبت شده از یک چشمه در یک محل با سامانه‌های متفاوت است. با اعمال روشهای پردازش سیگنال به دادههای نگاشته شده معمولا بدنبال بدست آوردن تقریبی از جنبش واقعی زمین یا حداقل شبیه سازی نگاشتها بر روی سامانه‌های استاندارد هستیم. یکی از ابزارهای توانمند در این راستا تابع انتقال و یا تابع پاسخ بسامدی است (Scherbaum, 1996). تنها پس از تصحیح دستگاهی است که میتوان پارامترهای چشمه (گشتاور لرزه‌ایی، افت تنش، جابجا شدگی چشمه و ویژگیهای جذب در طول میسر پرتو) را استخراج کرد. اگر تابع انتقال سیستم بطور دقیق توسط سازنده ارائه نشده باشد یا تضمینی بر پایداری بلند مدت سامانه و ویژگیهای انتقال آن وجود نداشته باشد در آن صورت باید تابع انتقال بصورت منظم بررسی شود. پیجوئیهای لرزه‌ای و تعیین ساختار سرعتی زمین از کاربردهای اساسی ایستگاهها و شبکه‌های لرزه نگاری است. طراحی شبکه‌های لرزه نگاری جدید باید هدفهای مشخصی داشته و در پی راه حلی بهینه از دیدگاه سخت افزاری و نرم افزاری باشند، پس آنها نمیتوانند به یک اندازه نیازهای گوناگون را برآورده سازند. مثلا شبکه ای ممکن است مناسب برای کاوشهای ساختاری و پیمایشهای لرزه‌ای باشد، اما امکان اعلام هشدارهای سریع زلزله را نداشته باشد. راه اندازی شبکه را به مراحلی مانند طراحی، انتخاب سامانه و انتخاب ساختگاه ایستگاهها میتوان تفکیک کرد. بهر حال مکانیابی درست و دقیق رویدادهای نگاشته شده از وظیفه‌های اساسی هر شبکه لرزه نگاری است. اولین ایستگاه لرزه نگاری در شهر تهران در سال ۱۹۶۵ میلادی و اولین شبکه (بشکل آرایه مدور) در سال ۱۹۷۵ میلادی و شبکه لرزه نگاری دورسنجی تهران (خوشه ای شکل) در سال ۱۹۹۵ براه افتادند. شبکه لرزه نگاری تهران که مورد مطالعه این مقاله است شامل ایستگاههای سه مولفه کوتاه دوره‌ای است که نگاشته‌های آن پس از دریافت به ایستگاه مرکزی مخابره می‌شود. در ایستگاه مرکزی دادهها پیش پردازش و سپس بر اساس پارامترهای سیستم رویدادها از رشته پیوسته دادهها جدا و پردازشهای پایانی برای استخراج زلزله‌های درخواستی انجام می‌شود. هدف این مقاله محاسبه پاسخ دامنه این شبکه به جابجایی، سرعت و شتاب رویدادهای دریافتی بر مبنای دادههای ارائه شده

Archive of SID

www.SID.ir

توسط شرکت سازنده است (Nanometrics, 1994). لازم به ذکر است که تاکنون هیچ کالیبراسیونی بر روی این شبکه صورت نگرفته است، بنابراین تنها دادههای ارائه شده توسط شرکت سازنده در دسترس قرار دارد.

ساختار شبکه لرزه نگاری تهران

در اواخر سال ۱۹۹۵ میلادی شبکه لرزه نگاری تهران با ۱۲ ایستگاه و با فناوری دورسنجی در حاشیه‌های جنوبی البرز مرکزی راه اندازی شد. از میان ۱۲ ایستگاه دادههای ۷ ایستگاه بطور مستقیم و دادههای ۵ ایستگاه با تکرار کننده به مرکز شبکه ارسال می‌شود. فاصله بین ایستگاهها بین ۳۰ تا ۱۳۰ کیلومتر و مکان آنها با توجه با پارامترهای گوناگون مانند دید مستقیم مخابراتی، دسترس پذیری، توپوگرافی و زمینشناسی تعیین شده اند. با توجه به اطلاعات ارائه شده از سوی شرکت سازنده برای محاسبه تابع انتقال شبکه لرزه نگاری تهران باید دو بخش کلیدی شامل: لرزه سنج و رقمی کننده (شامل مجموعه فیلترهای پائینگذر FIRو فیلتر IIR) را در نظر گرفت.

۱. لرزه سنج

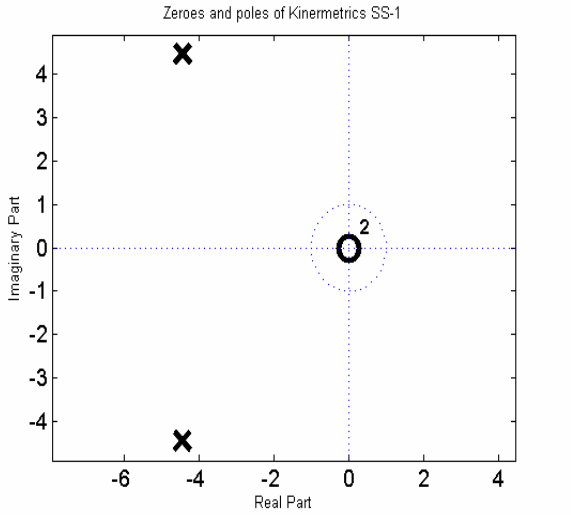
اندازه‌گیری جنبش زمین با دستگاهی که بر روی آن قرار دارد مسئله‌ای است که را ه حل فیزیکی مرسوم آن، بکارگیری ابزارهای‌های پاندولی یا مبتنی بر واماندی بنحوی است که جنبش خود ابزار با جنبش زمین هم فاز نباشد. عنصر کلیدی چنین سامانه ایی ترکیب جرم، فنر و میراگر است که لرزه سنج نامیده می‌شود. لرزه سنج جنبش زمین را بشکل تابعی از زمان دریافت و آن را بر رسانه‌ایی ثبت یا ارسال میکند. میدانیم که در حالت کلی میتوان معادله حرکت زمین در یک لرزه سنج را بشکل زیر نوشت:

$$\ddot{\psi} + 2\varepsilon\dot{\psi} + \omega_0^2\psi = -\ddot{u}_g \qquad (۱)$$

که در آن ψ جابجایی فنر، ε ثابت میرایی و ω_0 بسامد طبیعی زاویه ایی و u_g جنبش زمین است. با توجه به معادله ۱ و حل آن میتوان نتیجه گرفت که در بسامدهای بسیار بزرگتر از بسامد طبیعی، لرزه سنج به جابجایی و در بسامدهای بسیار پائینتر از بسامد طبیعی، به شتاب زمین پاسخ می‌دهد. اما بهترین پاسخ دستگاه به جنبش زمین در نزدیکی پریود طبیعی آن است که عرض منحنی پاسخ در این حالت به میرایی لرزه سنج بستگی پیدا میکند. بدینترتیب میتوان لرزه سنجهایی برای نگاشت محدوده مشخص فرکانسی تولید کرد(Stein and Wysession 2002, Scherbaum, 1996). لرزه سنجهای شبکه تهران از نوع Kinemetrics-SS1 کوتاه دوره، سرعت نگار با بسامد طبیعی یک هرتز است. این لرزه سنجها در سه راستای تقریبی خاوری-باختری، شمالی-جنوبی و قائم مستقر شده اند که دارای دو صفر و دو قطب(Kinemetrics, 2001) است(شکل ۱). با توجه به معادله ۱ و نیز دادههای ارائه شده از سوی شرکت سازنده پاسخ دامنه و فاز لرزه سنج بر حسب بسامد زاویه ایی در شکل ۲ و پاسخ دامنه آن بر حسب بسامد در شکل ۳ محاسبه و ترسیم شده است.

Archive of SID

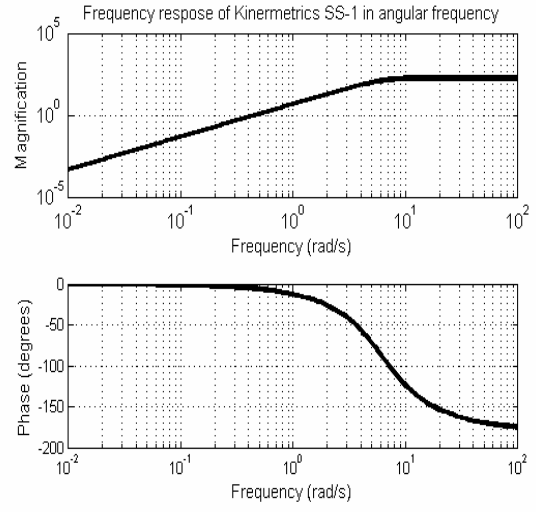
www.SID.ir



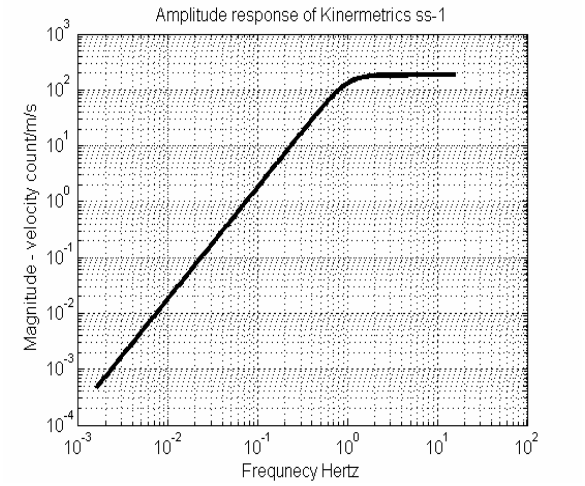
شکل ۱ـ صفرها و قطبهای لرزه سنج SS-1

۲. رقمی کننده

برای آنکه بتوان دادههای خروجی یک لرزه سنج را ارسال و در مرکز دریافت و آنگاه با رایانههای امروزی تحلیل کرد نیاز به دستگاهی است که خروجیها را در قالب مناسب اینکار در آورد، این دستگاه دیجیتایزر یا رقمی کننده نام دارد. در عمل ولتاژ پیوسته لرزه سنج از طریق فیلتری پائینگذر (ضد اختلاط بسامدی) به تبدیل کننده قیاسی به رقمی



شکل ۲ـ پاسخ بسامد زاویه ایی دامنه و فاز لرزه سنج



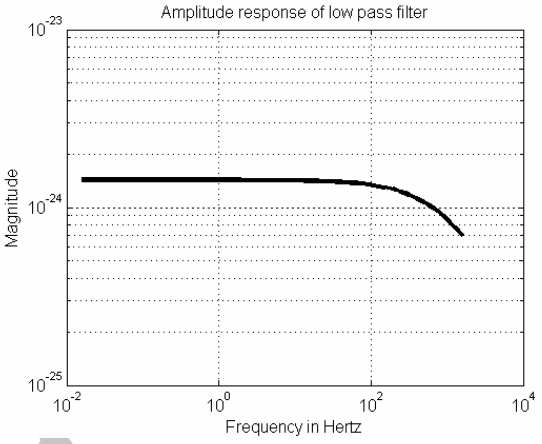
شکل ۳ـ پاسخ دامنه لرزه سنج SS-1

رقمی فرستاده میشود تا تبدیل به ارقام شود. رقمی کننده بکار رفته در این شبکه HRD24نام دارد که توانایی رقمی سازی از یک تا هفت کانال با سرعت ۴۰ تا ۱۰۰۰ نمونه بر ثانیه را دارد. دادههای دریافتی توسط HRD24 در بلوکهای یک ثانیه ایی همراه با علامتی برای یافتن خطا (checksum for error detection) و سایر پارامترهای سیستم جمع آوری و از طریق درگاه سریال توسط فرستنده(transmitter) به مرکز شبکه مخابره و در آنجا ذخیره میشوند. زمان داخلی با شمارش روزها، ساعتها، دقیقهها، ثانیهها، و تیکها در آن نگهداری میشود.HRD24 دارای دو فیلتر FIR(Finite Impluse Response) و IIR(Infinite Impulse Response) است. از فیلتر FIR بعنوان فیلتر پائینگذر و از فیلتر IIR بعنوان فیلتر بالاگذر استفاده میشود. ویژگیهای پاسخ رقمی کننده بکار رفته در شبکه تهران چنان است که(Nanometrics, 1995; Nanometrics, 1994) ویژگیهای فیلترهای FIR و IIR بکار رفته در آن را

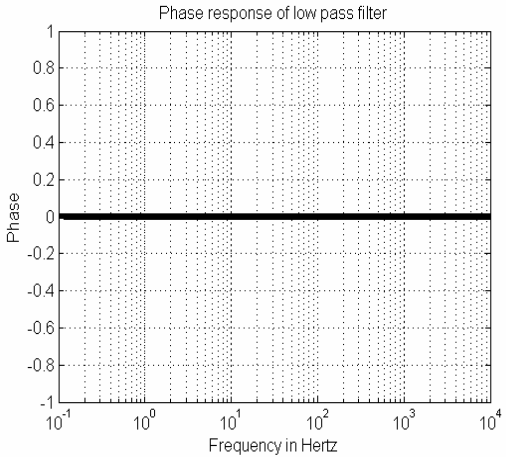
Archive of SID

www.SID.ir

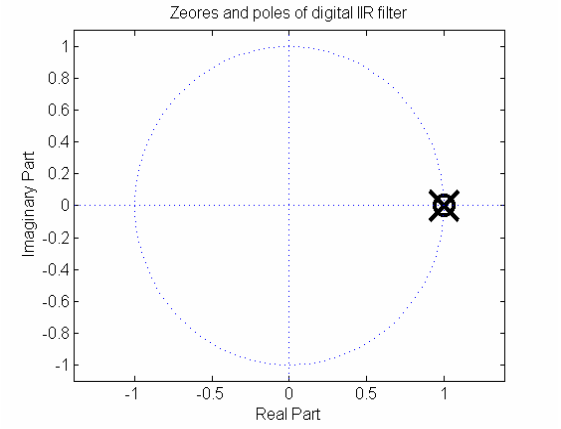
باید هنگام محاسبه پاسخ سامانه لرزه نگاری در نظر گرفت. شکلهای ۴ تا ۸ پاسخ این بخشهای رقمی کننده HRD24 را در حوزه دامنه و فاز نشان می‌دهد.



شکل ۴ـ پاسخ دامنه فیلتر FIR



شکل ۵ـ پاسخ فاز فیلتر FIR



شکل ۶ـ قطبها و صفرهای فیلتر IIR

۳. پاسخ کامل شبکه تهران

اکنون که پاسخ بخشهای گوناگون سامانه را بدست آورده ایم میتوانیم پاسخ کامل شبکه را با همامیخت آنها تولید کنیم. همامیخت یا کانولوشن عملگری ریاضی است که دو تابع f و g را دریافت و تابع سومی تولید میکند که:

$$y(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau)g(t-\tau)d\tau \qquad (۲)$$

خروجی (y) میانگین وزنی تابع g در لحظه t است که در آن f(τ) وزن اعمال شده به تابع g درست T ثانیه قبل از لحظه t است. تحلیل عملی رابطه ۲ آن است که اگر f پاسخ سامانه به ضربه یکه (unite impulse response) g و ورودی سیستم باشد y خروجی آن است(بشرط آنکه سامانه خطی و زمان- ناوردا باشد). همامیخت کاربردهای فراوانی از جمله محاسبه پاسخ فرکانسی دارد. بطوریکه با همامیخت پیاپی پاسخهای بدست آمده در حوزه زمان (یا ضرب در حوزه بسامد) پاسخ کل سیستم بدست می آید. نکته جالب توجه در زلزله شناسی آگاهی از رفتار شبکه در هر سه حوزه جابجایی،

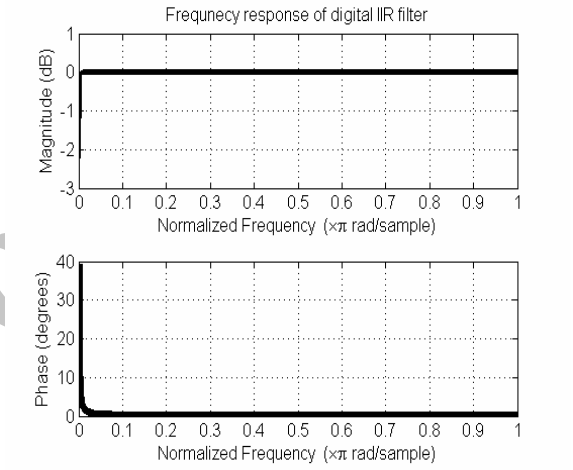
Archive of SID

www.SID.ir

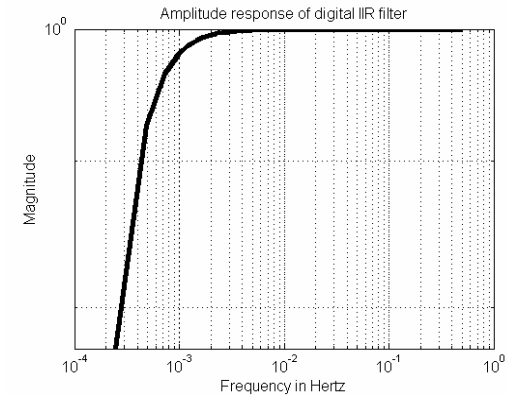
سرعت و شتاب است. بنابر این پاسخ شبکه را نه تنها در حوزه سرعت بلکه در دو حوزه جابجایی و شتاب محاسبه و در شکلهای ۹ تا ۱۱ آورده ایم.

نتیجه گیری

رویداد زلزله ای بزرگ اجتناب ناپذیر اما کاستن از زیانهای آن امکانپذیر است. پایش زمینلرزه‌ایی یکی از ابزارهای لازم برای طراحی برنامه‌های کاستن از خطر زلزله است.

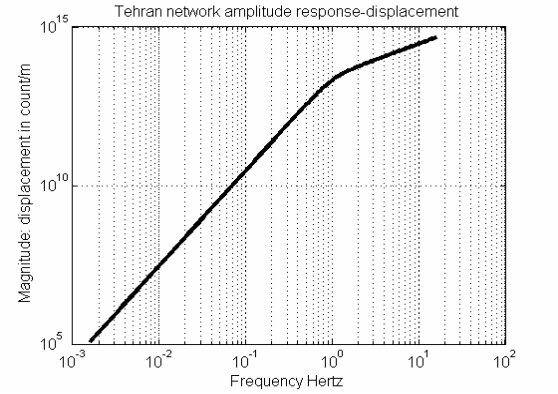


شکل ۷ـ پاسخ دامنه و فاز فیلتر IIR بر حسب بسامد نرمالیزه شده



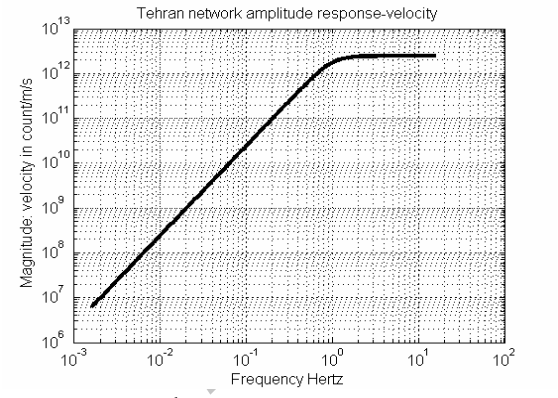
شکل ۸ـ پاسخ دامنه فیلتر IIR بر حسب بسامد

ویژگیهایی، از جمله تابع انتقال و پاسخ فرکانسی، سامانه لرزه نگاری انتخاب شده نقش مهمی در بکارگیری هدفمند پایش زمین‌لرزه‌ایی دارد.



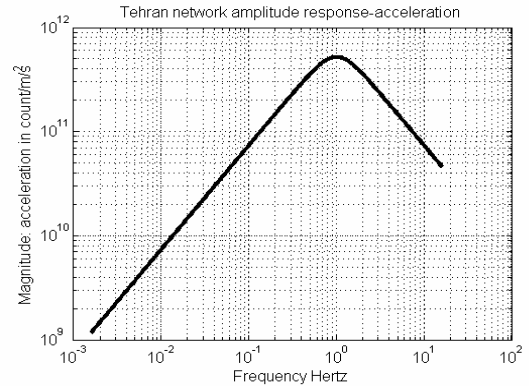
شکل ۹ـ پاسخ جابجایی شبکه لرزه نگاری تهران

دو گونه مرسوم سامانه‌های پایش از نوع جنبش ضعیف و جنبش قوی هستند. پایشگرهای جنبش ضعیف حسگرهای حساسی دارند که قادر بنگاشت نوسانهای کوچک در باند فرکانسی محدودی از زلزله ای دور و نزدیک هستند. حسگرهای پایشگرهای جنبش قوی حساسیت کمتری داشته اما قادر بنگاشت جنبشهای توانمند زمین هستند.



شکل ۱۰ـ پاسخ سرعت شبکه لرزه نگاری تهران

www.SID.ir



شکل ۱۱ـ پاسخ شتاب شبکه لرزه نگاری تهران

نوع اول بیشتر برای پایش پیوسته و تعیین ویژگیهای زمین و زمینلرزهها و نوع دوم برای طراحی لرزهایی سازههای دست ساز بشر بکار میرود. شبکه لرزه نگاری دورسنجی تهران از نوع اول است. با توجه به اهمیت دانستن تابع انتقال و در نتیجه پاسخ شبکه لرزه نگاری برای تفسیر و تحلیل لرزه نگاشتهای رقمی و انجام پردازشهای ثانویه نیاز، مبرمی به محاسبه آن برای شبکه لرزه نگاری تهران حس میشد. از اینرو با استفاده از دادههای ارائه شده توسط شرکت سازنده و با توجه به آنکه این شبکه تاکنون کالیبره نشده است پاسخ آن در سه حوزه جابجایی، سرعت و شتاب محاسبه شد. چنانکه در شکل ۹ ملاحظه میشود این شبکه جابجایی زمین را بشکل خطی اما با دو شیب متفاوت قبل و بعد از یک هرتز (بسامد طبیعی لرزه سنج)تقویت میکند. مطابق شکل ۱۰ تقویت سرعت نگاشته شده توسط این شبکه برای بسامدهای پس از یک هرتز یکسان است و پاسخ شتاب شبکه (شکل ۱۱) برای بسامدهای زیر یک هرتز تقویت و بالای آن تضعیف است.

References

- Kinemetrics, 2001, Operating instructions, Model SS-1 ranger seismometer.
- Nanometrics, 1994, Custom configuration Guide for Tehran Network.
- Nanometrics, 1995, HRD24 user guide.
- Scherbaum, F., 1996, Of poles and zeroes, fundamentals of digital seismology, Kluwer Academic Publications, pp. 257.
- Stein, S. Wysession, M., 2002, An introduction to seismology, earthquakes and earth structure, Blackwell Publishing, pp. 512.

Archive of SID

www.SID.ir