



سنسورهای IIEES-HAT

آزمایش تعیین سطح نوفه سنسورهای IIEES-HAT



پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

دی ماه ۱۳۹۴

فهرست مطالب

۱-۱	مقدمه	۱
۲-۱	شرح آزمایشات انجام شده در پژوهشگاه بین المللی زلزله	۲
۳-۱	شرح آزمایشات انجام شده در ایستگاه دماوند شبکه لرزه نگاری پژوهشگاه بین المللی زلزله	۷
۴-۱	جمع بندی و نتیجه گیری	۱۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: میزان ارتعاش اندازه گیری شده توسط سنسور گورالپ در طبقه پنجم و پی ساختمان پژوهشگاه زلزله..... ۳
- شکل ۲-۱: میزان ارتعاش اندازه گیری شده توسط سنسور HAT در طبقه پنجم و پی ساختمان پژوهشگاه زلزله..... ۳
- شکل ۳-۱: میزان جذر مجموع مربعات ارتعاش اندازه گیری شده توسط سنسور گورالپ و HAT در طبقه پنجم ساختمان پژوهشگاه زلزله..... ۴
- شکل ۴-۱: میزان جذر مجموع مربعات ارتعاش اندازه گیری شده توسط سنسور گورالپ و HAT در پی ساختمان پژوهشگاه زلزله..... ۵
- شکل ۵-۱: میزان جذر مجموع مربعات ارتعاش اندازه گیری شده توسط ۴ سنسور HAT در پی ساختمان پژوهشگاه زلزله..... ۵
- شکل ۶-۱: میزان تابع چگالی احتمالی دامنه نوفه دستگاهی سنسورهای HAT..... ۶
- شکل ۷-۱: ایستگاه لرزهنگاری دماوند پژوهشگاه بینالمللی زلزله..... ۸
- شکل ۸-۱: نحوه‌ی نصب سنسورهای شتابنگاری HAT-IIIES در ایستگاه دماوند..... ۹
- شکل ۹-۱: میزان جذر مجموع مربعات ارتعاش اندازه گیری شده توسط سنسور ۲۴۰ در ایستگاه دماوند پژوهشگاه زلزله..... ۱۰
- شکل ۱۰-۱: میزان تابع چگالی احتمالی دامنه نوفه سه مولفه سنسور ۲۴۰ در ایستگاه دماوند پژوهشگاه زلزله..... ۱۱

(۱) آزمایش تعیین سطح نوفه سنسورهای IIEES-HAT

(۱-۱) مقدمه

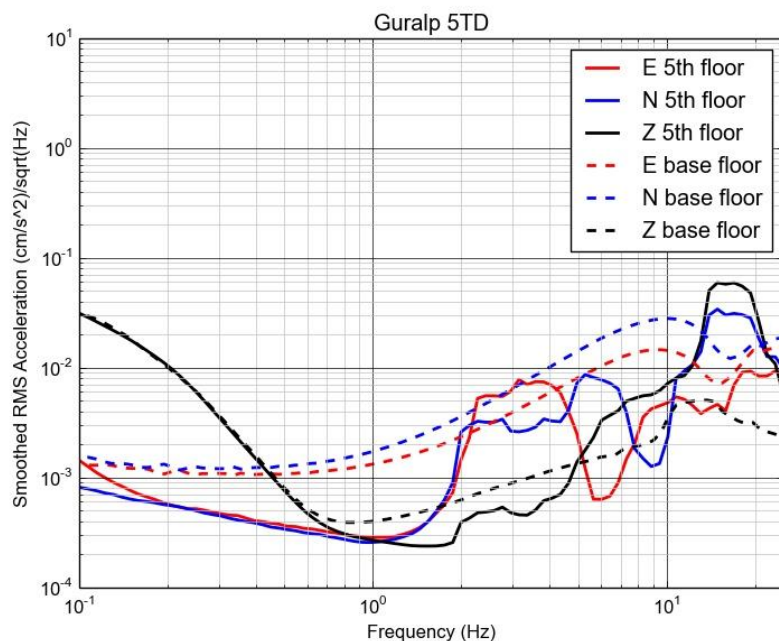
یکی از موارد بسیار مهم در تعیین مشخصات یک سنسور، اندازه سطح نوفه دستگاه یا self-noise سنسور می‌باشد. این موضوع از آن جهت حائز اهمیت است که میزان سطح نوفه دستگاه تعیین کننده میزان قابلیت سنسور در تشخیص ریزلرزه‌ها و فازهای لرزه‌ای کوچک می‌باشد. از آنجا که میزان دامنه و انرژی فاز P زمین لرزه در مقایسه با سایر فازهای زلزله بسیار کوچکتر می‌باشد، میزان سطح نوفه دستگاه در واقع مشخص کننده میزان قابلیت شناسایی فاز P نیز هست. در طراحی سنسورهای شتابنگاری IIEES-HAT برای کاهش میزان نویز از دو تکنیک oversampling و dual sensor استفاده شده است. به عبارت دیگر، به منظور کاهش سطح نوفه پس زمینه، میزان نمونه برداری 3×26 برابر مقدار لازم انجام می‌پذیرد و همچنین برای هر جهت نیز دو عدد سنسور اقدام به ثبت ارتعاشات می‌کنند. در این گزارش سعی شده است سطح نوفه سنسورهای HAT با آزمایش‌هایی مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور آزمایش‌هایی در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله و ایستگاه شبکه لرزه‌نگاری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله در دماوند انجام شده است. در ادامه نحوه‌ی انجام آزمایش و نتایج آن ارائه شده است.

۲-۱) شرح آزمایشات انجام شده در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله

به منظور اندازه‌گیری سطح نوفه دستگاه لازم است تا اندازه‌گیری لرزش‌های دستگاه در یک محیط آرام و برای مدت طولانی (چندین ساعت) انجام پذیرد. یکی از روش‌های مرسوم در این راستا اندازه‌گیری لرزش سنسور در چند محل و مقایسه نتایج با یکدیگر می‌باشد. چنانچه سطح لرزش در نقاط مختلف تقریباً یکسان باشد، سطح لرزش اندازه‌گیری شده معرف سطح نوفه دستگاه خواهد بود. روش دیگر، اندازه‌گیری همزمان سطح لرزش توسط یک دستگاه کمکی با دقتی بیش از دقت سنسور مورد نظر می‌باشد. به این ترتیب چنانچه سطح لرزش اندازه‌گیری شده توسط سنسور مورد نظر بیشتر از سنسور با دقت بالاتر باشد، این سطح لرزش را می‌توان بعنوان سطح نوفه دستگاه معرفی نمود.

جهت اندازه‌گیری سطح نوفه سنسورهای HAT، از هر دو روش ذکر شده استفاده گردیده است. در روش اول، سطح ارتعاشات دستگاه برای حداقل ۱۲ ساعت در ساعات تعطیلی در دو محل طبقه پنجم پژوهشگاه و همچنین سطح میز لرزان اندازه‌گیری شده است. سطح میز لرزان به دلیل قرارگرفتن بر روی شالوده پژوهشگاه و همچنین وجود ایزولاسیون حرکتی دارای سطح نوفه بسیار پایینی می‌باشد. از سوی دیگر طبقه پنجم پژوهشگاه به دلیل ارتفاع میزان حرکات محیطی را بزرگنمایی می‌کند. لذا به نظر می‌رسد سطح نوفه محیطی در طبقه پنجم پژوهشگاه بیشتر از نوفه اندازه‌گیری شده در سطح میز لرزان باشد.

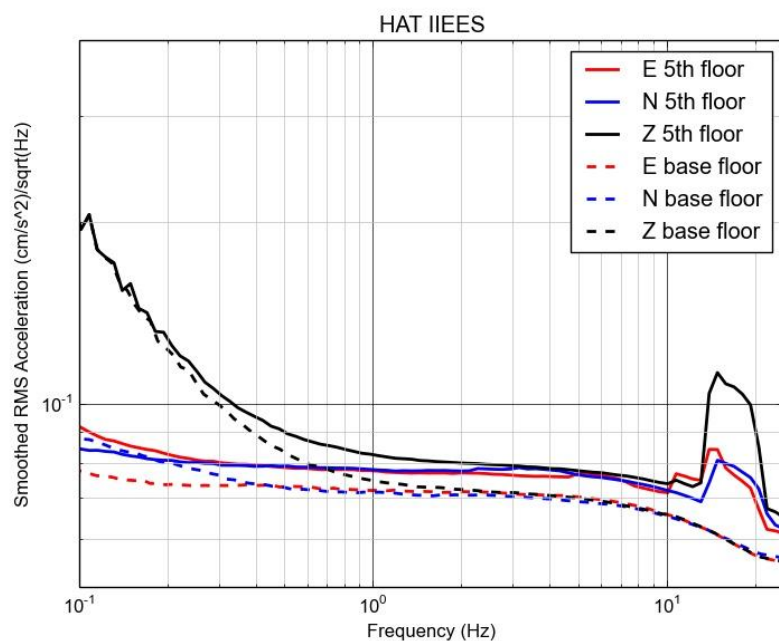
در شکل ۱-۱ مقایسه سطح طیف جذر مجموع مربعات نوفه برای لرزش‌های اندازه‌گیری شده در طبقه پنجم و پی پژوهشگاه نشان داده شده است. در این شکل لرزش‌های اندازه‌گیری شده توسط دستگاه گورالپ ارائه گردیده است. همانطور که از این شکل مشخص است نمی‌توان ادعا نمود که سطح نوفه پی پژوهشگاه پایین‌تر از طبقه پنجم می‌باشد. علت این موضوع به دلیل عملکرد تاسیسات مختلف در طبقات زیرین پژوهشگاه است. اما شکل مودهای ارتعاشی سازه پژوهشگاه در روی نمودارهای مربوط به طبقه پنجم به خوبی قابل تشخیص می‌باشد. البته با توجه به فرکانس نسبتاً بالای قله‌های قابل مشاهده، ممکن است این مقادیر مربوط به ارتعاش اجباری تاسیسات مختلف نیز باشد.



شکل ۱-۱: میزان ارتعاش اندازه گیری شده توسط سنسور گورالپ در طبقه پنجم و پی ساختمان

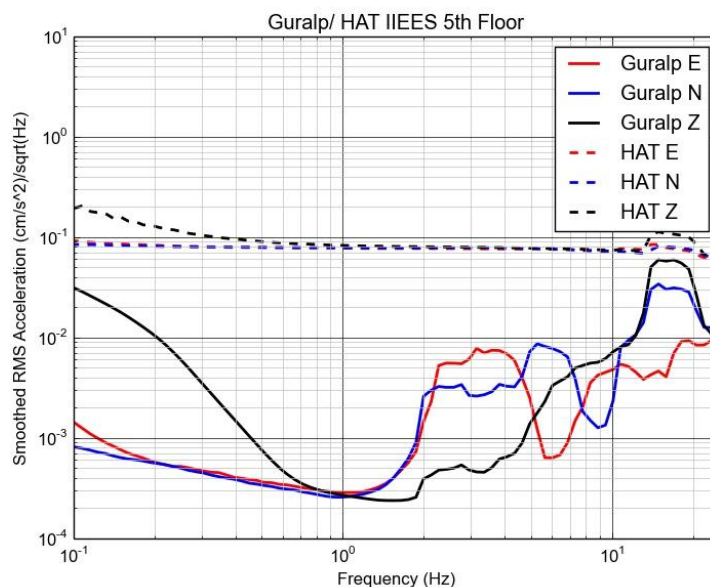
پژوهشگاه زلزله

در شکل ۲-۱ بطور مشابه اندازه گیری های سطح نوفه در طبقه پنجم و پی پژوهشگاه توسط سنسورهای HAT نشان داده شده است. در این شکل نیز تفاوت معناداری بین سطح نوفه طبقه پنجم و پی پژوهشگاه مشاهده نمی گردد.

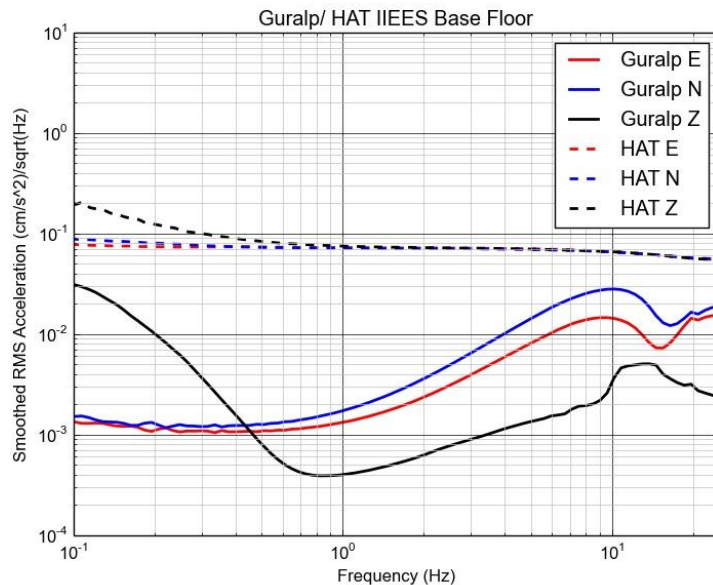


شکل ۲-۱: میزان ارتعاش اندازه گیری شده توسط سنسور HAT در طبقه پنجم و پی ساختمان پژوهشگاه زلزله

در شکل ۳-۱ مقایسه بین سطح نوبه اندازه‌گیری شده توسط سنسور گورالپ و HAT در طبقه پنجم پژوهشگاه نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشخص می‌باشد، سطح ارتعاشات اندازه‌گیری شده توسط سنسور گورالپ بازای کلیه فرکانس‌های مورد بررسی کمتر از سنسورهای HAT است. بنابراین سطح ارتعاشات اندازه‌گیری شده توسط سنسورهای HAT می‌تواند معرف سطح نوبه دستگاهی باشد. این موضوع در شکل ۴-۱ و در نوبه‌های اندازه‌گیری شده در پی پژوهشگاه زلزله نیز قابل تشخیص می‌باشد.

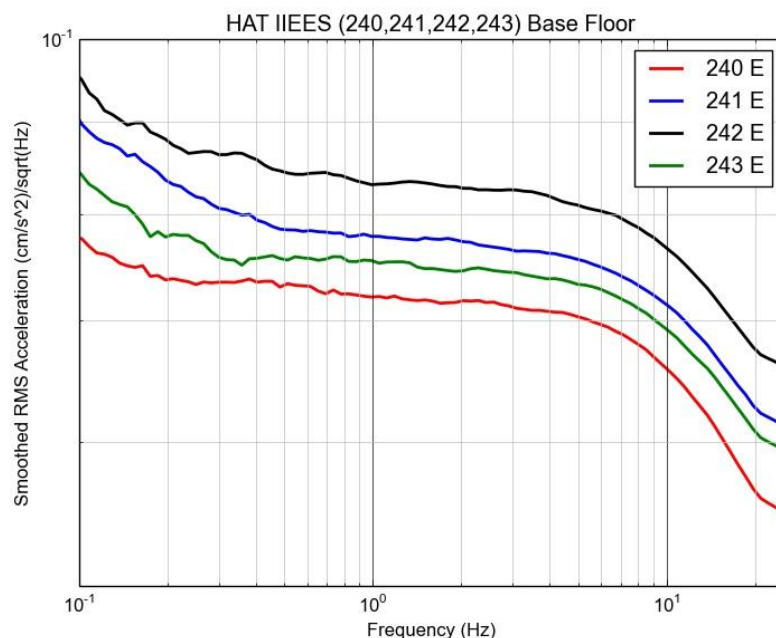


شکل ۳-۱: میزان جذر مجموع مربعات ارتعاش اندازه‌گیری شده توسط سنسور گورالپ و HAT در طبقه پنجم ساختمان پژوهشگاه زلزله



شکل ۱-۴: میزان جذر مجموع مربعات ارتعاش اندازه گیری شده توسط سنسور گورالپ و HAT در پی ساختمان پژوهشگاه زلزله

در شکل ۱-۵ میزان طیف جذر مجموع مربعات برای ۴ عدد سنسور HAT که بصورت همزمان اقدام به ثبت نوفه کرده‌اند، نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشخص است انطباق خوبی بین نتایج ۴ سنسور مشاهده می‌گردد. میزان اختلاف این سنسورها از یکدیگر کمتر از ۲٪ می‌باشد.



شکل ۱-۵: میزان جذر مجموع مربعات ارتعاش اندازه گیری شده توسط ۴ سنسور HAT در پی ساختمان پژوهشگاه زلزله

با توجه به شکل‌های ارائه شده، میزان RMS سطح نوفه دستگاهی سنسورهای HAT در بازه فرکانسی ۱/۰ الی ۱۰ هرتز در حدود ۰/۰۸ سانتیمتر بر مجذور ثانیه یا 0.08 mg می‌باشد. مطابق مشخصات سنسورهای ADXL203، میزان RMS نوفه دستگاهی این سنسورها برابر است با:

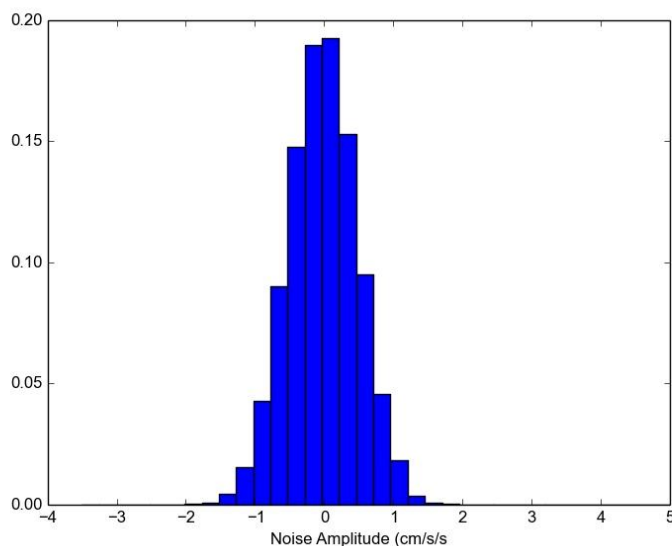
$$\begin{aligned} rmsNoise &= (110\text{ }\mu\text{g} / \sqrt{\text{Hz}}) \times (\sqrt{BW} \times 1.6) \\ &= 110 \times \sqrt{25 \times 1.6} = 696\text{ }\mu\text{g} = 0.7\text{ mg} \end{aligned} \quad (1-1)$$

به منظور کاهش سطح نوفه پس زمینه، میزان نمونه برداری 3×26 برابر مقدار لازم انجام می‌پذیرد. برای هر جهت نیز دو عدد سنسور اقدام به ثبت ارتعاشات می‌کنند. بنابراین میزان سطح نوفه به میزان زیر تقلیل خواهد یافت. که با مقادیر مشاهده شده همخوانی بسیار خوبی دارد.

$$RF = 1 / \sqrt{26 \times 2 \times 3} = 0.08 \quad (2-1)$$

$$rmsNoise = 0.08 \times 0.7 = 0.056 \approx 0.06\text{ mg}$$

در شکل ۶-۱ مقادیر توزیع احتمالی دامنه نوفه دستگاه نشان داده شده است. همانطور که از این شکل به خوبی مشخص است، توزیع احتمالی نوفه از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. همچنین مقادیر حداقل تا حداکثر دامنه بازای میزان احتمال ۹۰ درصد برابر 1.0 mg می‌باشد.



شکل ۶-۱: میزان تابع چگالی احتمالی دامنه نوفه دستگاهی سنسورهای HAT

۳-۱) شرح آزمایشات انجام شده در ایستگاه دماوند شبکه لرزه نگاری پژوهشگاه بین المللی

زلزله

همانطور که اشاره گردید یکی از روش های تعیین سطح نوفه سنسور انجام آزمایش در چند محل و مقایسه نتایج با یکدیگر می باشد. به همین منظور سنسورهای شتابنگاری IIEES-HAT به مدت یک هفته در ایستگاه لرزه نگاری دماوند پژوهشگاه بین المللی زلزله برای اندازه گیری سطح نوفه نصب گردیدند. این ایستگاه در محلی به دور از نوفه محیطی ناشی از رفت آمد شهری قرار گرفته است (این ایستگاه در گیلانوند، در فاصله ۵۰۰ متر بعد از روستای کاجان قرار دارد). در شکل ۷-۱ و شکل ۸-۱ مختصات ایستگاه و نحوه ی قرارگیری سنسورهای شتابنگاری در ایستگاه نمایش داده شده است.



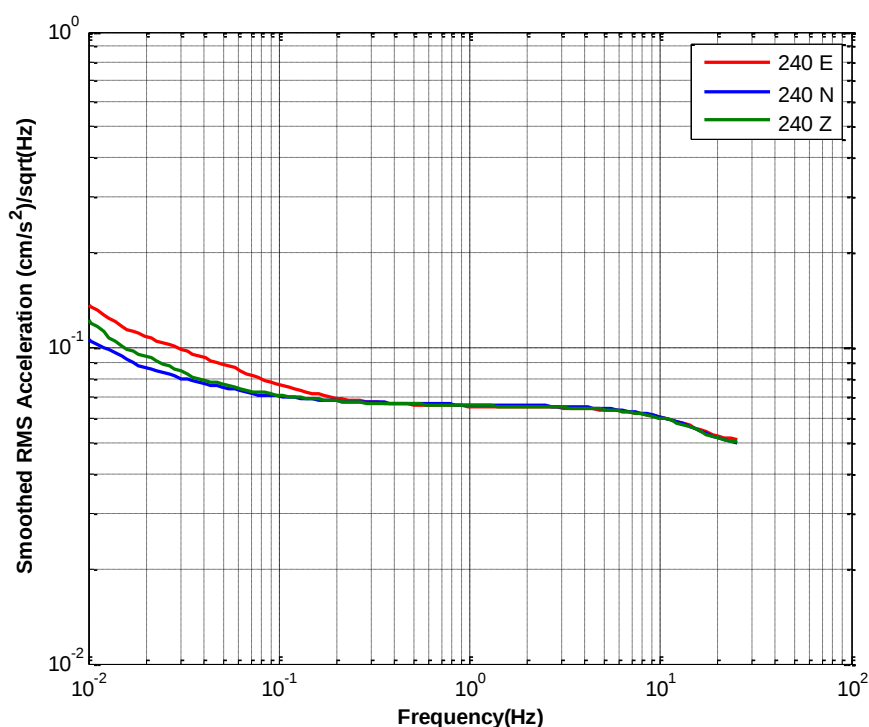
شکل ۷-۱: ایستگاه لرزه‌نگاری دماوند پژوهشگاه بین‌المللی زلزله



شکل ۸-۱: نحوه‌ی نصب سنسورهای شتاب‌نگاری HAT-IIIES در ایستگاه دماوند

در شکل ۹-۱ میزان طیف جذر مجموع مربعات برای سه مولفه سنسور ۲۴۰ نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشخص است تقریباً در هر سه مولفه انطباق خوبی بین نتایج مشاهده می‌گردد. با توجه به شکل ارائه شده، میزان RMS سطح نوفه دستگاهی سنسور HAT در بازه فرکانسی ۱/۰ الی ۱۰ هرتز

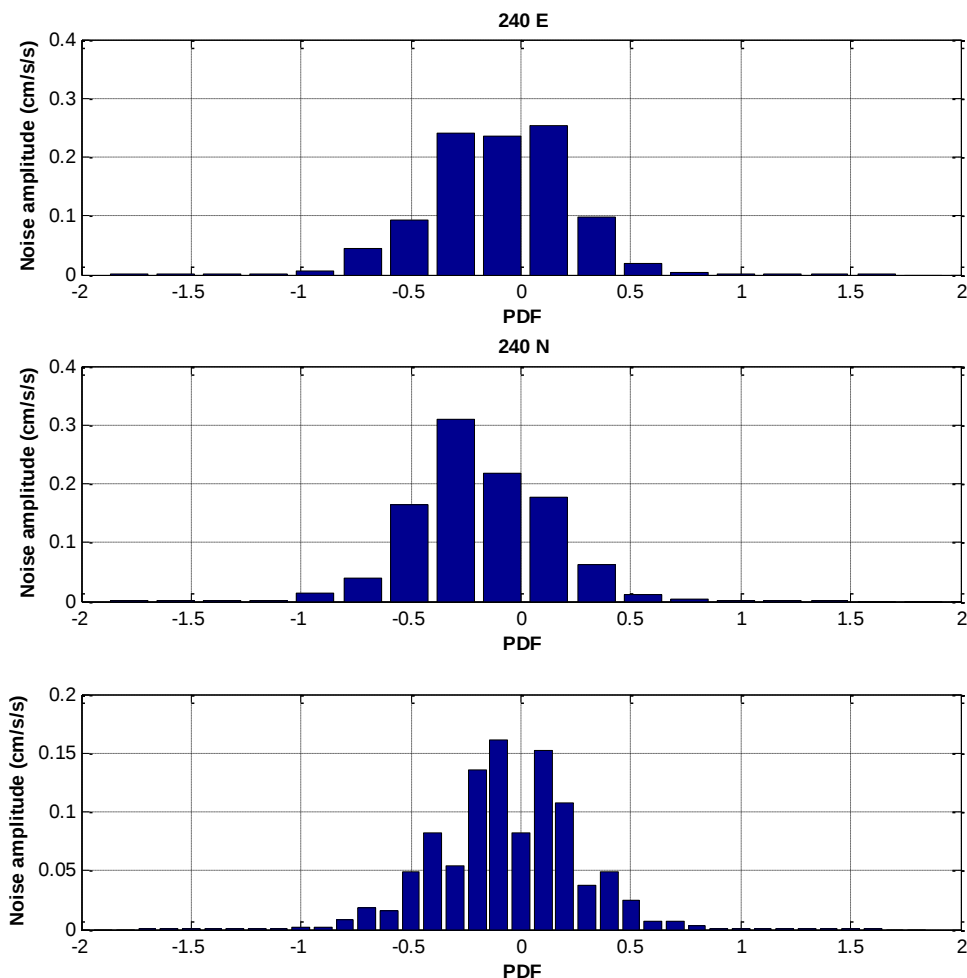
در حدود ۰/۰۶۵ سانتیمتر بر مجذور ثانیه یا 0.065 mg می باشد که این سطح نوفه با سطح نوفه مورد انتظار رابطه (۲-۱) انطباق دارد.



شکل ۹-۱: میزان جذر مجموع مربعات ارتعاش اندازه گیری شده توسط سنسور ۲۴۰ در ایستگاه دماوند

پژوهشگاه زلزله

در شکل ۶-۱ مقادیر توزیع احتمالی دامنه نوفه سه موافه سنسور ۲۴۰ نشان داده شده است. همانطور که از این شکل به خوبی مشخص است، توزیع احتمالی نوفه هر مولفه از توزیع نرمال تبعیت می کند. همچنین مقادیر حداقل تا حداکثر دامنه بازای میزان احتمال ۹۰ درصد برابر 1.0 mg می باشد.



شکل ۱-۱: میزان تابع چگالی احتمالی دامنه نوفه سه مولفه سنسور ۲۴۰ در ایستگاه دماوند پژوهشگاه زلزله

۴-۱) جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل از گزارش سطح نوفه سنسورهای HAT مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا آزمایش‌هایی در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله و ایستگاه دماوند لرزه‌نگاری پژوهشگاه زلزله با سطح نوفه مختلف انجام گردید.

در پژوهشگاه زلزله از دو روش متفاوت برای تعیین سطح نوفه سنسور استفاده گردید. در روش اول، لرزش ثبت شده توسط سنسور HAT در طبقه پنجم پژوهشگاه و پی پژوهشگاه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. در شکل ۲-۱ نتایج مربوط به این آزمایش برای سنسورهای HAT ارائه شده است. همانطور که مشخص می‌باشد، در این شکل تفاوت معناداری بین سطح نوفه طبقه پنجم و پی پژوهشگاه مشاهده نمی‌گردد. که به این معنا می‌باشد که شتاب‌های ثبت شده توسط سنسور در هر دو محیط بیانگر

سطح نوفه سنسورهای HAT می‌باشد. در روش دوم، سطح لرزش محیطی ثبت شده توسط سنسورهای HAT با سنسورهای Guralp CMG-5TD که سطح نوفه کمتر و دقت بیشتری نسبت به سنسورهای HAT دارند، مقایسه شده است. این آزمایش در پی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله انجام شده است که نتیجه آن در شکل ۱-۴ ارائه شده است. همانطور که مشخص می‌باشد، در این آزمایش سطح شتاب‌های ثبت شده توسط سنسورهای HAT بیشتر از شتاب‌های ثبت شده توسط سنسور Guralp CMG-5TD می‌باشد که این موضوع به این معنا می‌باشد که شتاب‌های ثبت شده توسط سنسورهای HAT در واقع همان سطح نوفه سنسورهای HAT می‌باشد که مقدار آن برای بازه فرکانسی ۱/۰ الی ۱۰ ثانیه برابر 0.08 mg می‌باشد.

دسته دوم آزمایش‌ها در ایستگاه دماوند پژوهشگاه بین‌المللی زلزله که در محیطی به دور از نوفه محیطی می‌باشد انجام گردید. در شکل ۱-۹ نتایج این آزمایش ارائه شده است، بر اساس نتایج این آزمایش سطح نوفه ثبت شده توسط سنسورها در بازه فرکانسی ۱/۰ الی ۱۰ ثانیه برابر 0.06 mg می‌باشد. این سطح نوفه کمترین میزان سطح نوفه ثبت شده توسط سنسور می‌باشد که این موضوع می‌تواند بیانگر سطح نوفه سنسور باشد.

در انتها باید اشاره نمود که در آزمایش‌های فوق که در محیط‌های متفاوت صورت گرفته است سطح نوفه گزارش شده توسط سنسور بین 0.06 mg الی 0.08 mg می‌باشد که این مقادیر با سطح نوفه مورد انتظار در طراحی سنسور (رابطه ۱-۲) انطباق دارد.