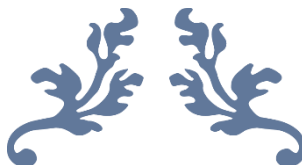




وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



چهاردهه شتابنگاری در ایران



نویسندگان:

اسماعیل فرزائنگان
محمد پورمحمد شاهوار
حسین میرزایی علویجه

سرشناسه	فرزانگان، اسماعیل . Farzanegan,E
عنوان و نام پدید آور	چهار دهه شتابنگاری در ایران/ نویسندگان اسماعیل فرزانگان، محمد پورمحمد شاهوار، حسین میرزایی علویجه.
مشخصات نشر	تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۱۷۹ ص. : مصور(بخشی رنگی)، نمودار، جدول.
فروست	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی؛ ک - ۷۳۱
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۴۱-۷
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	کتابنامه: ۱۷۱-۱۴۱.
موضوع	شتابنگارها -- ایران
موضوع	Accelerograms -- Iran
موضوع	شتابنگارها
موضوع	Accelerograms
موضوع	لرزه نگاری
موضوع	Seismometry
موضوع	زلزله شناسی -- ایران
موضوع	Seismology -- Iran
موضوع	شتابنگارها -- ایران -- جدول ها و نمودارها
موضوع	Accelerograms -- Iran -- Charts, diagrams, etc.
موضوع	پورمحمد شاهوار، محمد، ۱۳۵۸.
موضوع	میرزایی علویجه، حسین، ۱۳۳۴.
شناسه افزوده	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
شناسه افزوده	Road, Housing and Urban Development Research Center
رده بندی کنگره	QE۵۳۷/۲/الف۹۳۳ ۱۳۹۵
رده بندی دیویی	۵۵۱/۲۲۰۹۵۵
شماره کتابشناسی ملی	۴۴۳۰۶۶۹



نام کتاب: چهار دهه شتابنگاری در ایران
مؤلفان: اسماعیل فرزانگان، محمد پورمحمد شاهوار، حسین میرزایی علویجه
شماره نشر: ک - ۷۳۱
ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
نوبت چاپ: اول-۱۳۹۵
تیراژ: ۱۰۰۰ جلد
قطع: وزیری
لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
قیمت: ۲۲۰۰۰۰ ریال
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۴۱-۷

ISBN: 978-600-113-141-7

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر برای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محفوظ است

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ... نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی،
خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶ تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶۰۶ دورنگار: ۸۸۳۸۴۱۳۲
پست الکترونیکی: pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http:// pub.bhrc.ac.ir

پیشگفتار

قرارگیری سرزمین ایران در میانه‌های کمربند لرزه‌خیز آلپ - هیمالیا، باعث رویداد زمین‌لرزه‌های مخرب سهمگینی در طول تاریخ این سرزمین کهن شده است که متأسفانه همواره با تلفات انسانی و خسارات مالی فراوانی توأم بوده است. از طرفی دیگر تغییر الگوی سکونت از روستانشینی به شهرنشینی در دهه‌های اخیر باعث رشد نامتوازن مناطق شهری و توسعه ساخت و ساز ناموزون در پهنه‌های گسلی و لرزه‌زا گردیده است و تهدید زمین‌لرزه‌های بزرگ برای شهرهای پرجمعیت نسبت به روستاهای این سرزمین از گذشته فزون‌تر شده است. وضعیت شهر تهران و سایر شهرهای مهم کشور نظیر تبریز، مشهد، شیراز، قزوین، کرج و ...، گویای آسیب‌پذیری این مناطق در برابر زمین‌لرزه‌های احتمالی آتی می‌باشد. در این میان نقش مراکز تحقیقاتی مرتبط با مطالعه زمین‌لرزه‌ها، تدوین آیین‌نامه‌ها و طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر زمین‌لرزه، غیر قابل انکار است. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی به عنوان متولی شبکه ملی شتابنگاری، اصلی‌ترین جایگاه را در این زمینه در کشور داراست. شبکه شتابنگاری ایران با دارا بودن بیش از ۱۰۰،۱۰۰ شتابنگار فعال و مجموعه ای بالغ بر ۱۱،۰۰۰ رکورد از زمین‌لرزه‌های رویداده از سال ۱۳۵۲ تاکنون، منبع عظیمی از اطلاعات پایه برای علم مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی مهندسی در کشور محسوب می‌گردد. محتوای این کتاب نگارشی از عملکرد شبکه شتابنگاری در ۴۰ سال گذشته را به صورت اجمالی بیان می‌کند. امید است این مجموعه بتواند ضمن ارائه تاریخچه‌ای از شبکه ملی شتابنگاری، بخشی از توانمندی‌های این شبکه را برای کارشناسان و صاحب‌نظران بازگو نماید.

محمد شکرچی‌زاده

رییس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

پیشگفتار موسس شبکه ملی شتابنگاری

شبکه ملی شتابنگاری که مسئولیت ثبت داده‌های جنبش نیرومند زمین ناشی از رویداد زمین‌لرزه‌ها را دارا می‌باشد، مهمترین ابزار دست دانشمندان و محققین برای مطالعه جنبه‌های مهندسی زمین‌لرزه‌ها می‌باشد. علم زلزله‌شناسی مهندسی و مهندسی زلزله از اوایل سده بیستم و با پیشرفت‌های صورت گرفته در علوم که منجر به ساخت دستگاه‌های شتاب‌نگار شد، وارد عصر تازه‌ای از حیات خود گردید که ابتدا در کشورهایی مانند آمریکا و ژاپن و به تدریج در سایر کشورهای لرزه‌خیز، شبکه‌های شتابنگاری راه‌اندازی شدند و اقدام به ثبت داده‌های زمین‌لرزه‌ها نمودند. این داده‌ها اساس و پایه علم مهندسی زلزله و طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زمین‌لرزه می‌باشند. در کشور لرزه‌خیز ما ایران نیز از ابتدای دهه پنجاه خورشیدی پس از زمین‌لرزه مخرب قیر کارزین در استان فارس با کوشش‌های بی‌شائبه همکارانم در دفتر فنی سازمان برنامه و بودجه آن‌زمان، شبکه شتابنگاری ایران پی‌ریزی و در طول زمان گسترش یافت. حاصل کوشش‌های مداوم افراد مختلف در این سال‌ها مجموعه‌ای ارزشمند از دستگاه‌های شتاب‌نگار که بالغ بر ۱۱۰۰ دستگاه بوده و بیش از ۱۱۰۰۰ رکورد زمین‌لرزه است که مطمئناً منبع ارزشمندی از داده‌های حرکات زمین محسوب می‌شوند. همکارانم در مجموعه شبکه ملی شتابنگاری در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی پس از برگزاری چهلمین سالگرد تاسیس آن و همزمان با سی و ششمین سالگرد زمین لرزه طبرس در شهریور ۱۳۹۳، اقدام به تهیه کتابی با عنوان ۴۰ سال شتابنگاری در ایران نموده‌اند که می‌تواند مورد استفاده محققین و دانشجویان علاقمند قرار گیرد. امیدوارم که شبکه ملی شتابنگاری ایران بتواند با بازسازی و نوسازی خود و بکارگیری دستگاه‌های جدید و فناوری‌های نوین در حیطه ارتباطات، انتقال و پردازش داده‌ها، همچنان جایگاه خود را در کشور و منطقه حفظ نماید. در این مسیر و با توجه به تجربه کشورهای دیگر راه‌اندازی سامانه‌های هشدار و پاسخ سریع زمین‌لرزه در شهرهای بزرگ و مناطق لرزه‌خیز می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارات جانی و مالی زمین‌لرزه‌ها داشته باشد.

علی اکبر معین فر
اسفندماه ۱۳۹۴ خورشیدی

تشکر و قدردانی

بی‌تردید فعالیت سامانه‌های شتابنگاری در سراسر دنیا علاوه بر وجود سخت افزارهای مناسب، مرهون تلاش نیروی انسانی کنترل‌کننده مجموعه‌های شتابنگاری است. شبکه شتابنگاری ایران نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. این مجموعه، چه در ابتدای تشکیل در سازمان برنامه و بودجه، چه پس از انتقال به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شاهد تلاش‌های افراد بیشماری اعم از مدیر، کارشناس، تکنسین و کارمندان دفتری بوده که در مسیر رشد و بالندگی این مجموعه در طول ۴۰ سال گذشته نقش داشته‌اند. بی‌تردید این کتاب بیانگر زحمات و مرهون فعالیت‌های خالصانه این افراد در طول فعالیت شبکه شتابنگاری ایران بوده است که جا دارد در اینجا بطور ویژه از زحمات این عزیزان قدردانی گردد. نام این افراد به تفصیل در پیوست اول در انتهای کتاب آمده است.

۱- مقدمه	۱
۱-۱- زلزله‌شناسی جنبش نیرومند و رابطه شدت و شتاب زمین‌لرزه	۲
۱-۱-۱- بزرگای محلی M_L	۳
۱-۱-۲- بزرگای امواج سطحی M_S	۴
۱-۱-۳- بزرگای گشتاوری M_W	۴
۱-۱-۴- مقیاس بزرگای امواج L_g	۴
۱-۱-۵- مقیاس بزرگای امواجی حجمی m_b	۵
۱-۱-۶- شدت زمین‌لرزه	۵
۱-۱-۷- شتاب زمین‌لرزه	۶
۱-۱-۸- رابطه بین بزرگا، شتاب و سرعت	۶
۱-۱-۹- رابطه بین شدت و شتاب	۹
۲-۱- شتابنگارها و اهمیت آن	۱۲
۲- تاریخچه شتابنگاری در دنیا	۱۵
۲-۱- تاریخچه ساخت شتابنگار	۱۵
۲-۲- سابقه استقرار شتابنگارها در منطقه و جهان	۲۷
۲-۲-۱- شبکه شتابنگاری آمریکا	۲۷
۲-۲-۲- شبکه شتابنگاری ترکیه	۲۹
۲-۲-۳- شبکه شتابنگاری ژاپن	۳۰
۲-۲-۴- شبکه شتابنگاری چین	۳۱
۲-۲-۵- شبکه شتابنگاری تایوان	۳۲
۲-۲-۶- شبکه‌های شتابنگاری در اروپا	۳۲
۳- تاریخچه شتابنگاری در ایران	۳۵
۳-۱- مرحله اول فعالیت - شبکه آنالوک (۱۳۵۲-۱۳۷۲)	۳۵
۳-۱-۱- ایستگاه‌های شبکه	۴۰
۳-۱-۲- تجهیزات دستگاهی	۴۵
۳-۱-۳- مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های ثبت شده توسط شبکه ملی شتابنگاری در دوره اول فعالیت	۴۸
۳-۲- مرحله دوم فعالیت - شبکه دیجیتال (۱۳۷۳ تا ۱۳۹۴)	۶۰
۳-۲-۱- دستگاه شتابنگار SSA-2	۶۱
۳-۲-۲- دستگاه شتابنگار گورالپ، مدل CMG-5TD	۶۳
۳-۲-۳- معیارهای انتخاب ایستگاه‌های جدید در مرحله دوم توسعه شبکه شتابنگاری	۶۵
۳-۲-۴- مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های ثبت شده در دوره دوم فعالیت شبکه شتابنگاری	۶۹
۴- فعالیت‌های شبکه	۸۱
۴-۱- رفتارنگاری سدهای بزرگ	۸۱
۴-۱-۱- دستگاه‌های مورد نیاز جهت پایش لرزه‌ای یک سد	۸۲

- ۸۳-۱-۴- آرایش مکانی دستگاه‌ها ۸۳
- ۸۴-۱-۴- شرایط ویژه نگهداری آرایه‌های شتابنگاری در سدها ۸۴
- ۸۵-۱-۴- آرایه سد شهید عباسپور ۸۵
- ۸۸-۲- طراحی و اجرای آرایه شتابنگاری لرزه‌ای برای ساختمان‌های بلند ۸۸
- ۸۹-۱-۲-۴- آزمایشگاه طبیعی زمین ۸۹
- ۹۰-۲-۲-۴- تجربیات جهانی ۹۰
- ۹۰-۳-۲-۴- وضعیت موجود در کشور ۹۰
- ۹۰-۳-۴- آرایه‌های ساختمانی اجرا شده ۹۰
- ۹۰-۱-۳-۴- ساختمان وزارت مسکن و شهر سازی ۹۰
- ۹۱-۲-۳-۴- ساختمان مرکزی شرکت آب و نیروی ایران ۹۱
- ۹۲-۳-۳-۴- دستاوردهای کاربردی ۹۲
- ۹۳-۴-۴- طراحی و اجرای آرایه شتابنگاری درون چاهی ۹۳
- ۹۷-۱-۴-۴- دستاوردهای کاربردی ۹۷
- ۹۸-۵-۴- برآورد میزان کاهندگی شتاب در اثر انفجار ۹۸
- ۱۰۰-۶-۴- مطالعات زمین‌شناسی ساختمان‌های ایستگاه‌ها باروش لرزه‌نگاری ۱۰۰
- ۱۰۴-۷-۴- ارزیابی ارتعاشات محیطی ۱۰۴
- ۱۰۶-۸-۴- طراحی و اجرای سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه ۱۰۶
- ۱۰۸-۱-۸-۴- سیستم پاسخ سریع ۱۰۸
- ۱۰۹-۲-۸-۴- نقشه‌های لرزش ۱۰۹
- ۵- وضعیت فعلی شبکه شتابنگاری و چشم انداز نزدیک ۱۱۱**
- ۱۱۴-۱-۵- انتقال داده‌ها ۱۱۴
- ۱۱۵-۲-۵- پردازش داده‌ها ۱۱۵
- ۱۲۰-۱-۲-۵- نحوه اطلاع‌رسانی ۱۲۰
- ۱۲۱-۳-۵- بانک داده‌ها ۱۲۱
- ۱۲۲-۱-۳-۵- بانک داده‌های ایستگاه‌ها ۱۲۲
- ۱۲۲-۲-۳-۵- بانک داده‌های شتابنگاری ۱۲۲
- ۱۲۵-۴-۵- پورتال اینترنتی و دسترسی به داده‌ها ۱۲۵
- ۱۲۵-۵-۵- کاربرد داده‌های شتابنگاری ایران ۱۲۵
- ۱۲۶-۱-۵-۵- کاربرد داده‌های شتابنگاری در آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای ایران، استاندارد ۲۸۰۰ ۱۲۶
- ۱۲۶-۲-۵-۵- کاربرد داده‌های شتابنگاری ایران در مطالعات بین‌المللی ۱۲۶
- ۱۲۷-۳-۵-۵- کاربرد داده‌های شتابنگاری در مطالعات ریزه‌پهنه‌بندی لرزه‌ای ۱۲۷
- ۱۲۹-۴-۵-۵- کاربرد داده‌های شتابنگاری در طراحی سازه‌ای ۱۲۹
- ۱۲۹-۶-۵- توانایی‌های فنی شبکه شتابنگاری ۱۲۹
- ۱۲۹-۱-۶-۵- اتاق تست و کالیبراسیون دستگاه‌های شتابنگار ۱۲۹
- ۱۳۱-۲-۶-۵- تهیه نقشه‌های واکنش سریع ۱۳۱
- ۱۳۳-۳-۶-۵- سیستم هشدار سریع (زود هنگام) ۱۳۳
- ۱۳۴-۴-۶-۵- طراحی و اجرای آرایه‌های پایش لرزه‌ای برای ساختمان‌های سد ۱۳۴
- ۱۳۵-۵-۶-۵- ارزیابی نویز (نوفه) محیطی در ساختمان‌های خاص ۱۳۵

فهرست (ادامه)

۱۳۵	۶-۶-۵- مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای
۱۳۶	۷-۶-۵- پایش لرزه‌ای و سنجش سلامت لرزه‌ای برای سازه‌های مهم
۱۳۶	۷-۵- چشم‌انداز آینده شبکه شتابنگاری
۱۳۸	۱-۷-۵- نوسازی شبکه
۱۳۹	۲-۷-۵- دستگاه‌های نسل جدید شتابنگاری
۱۴۱	منابع
۱۴۹	پیوست ۱
۱۶۷	پیوست ۲
۱۷۱	پیوست ۳

فصل یکم

مقدمه

نگاهی به گذشته پر فراز و نشیب سرزمین ایران نشان‌دهنده رویداد زمین‌لرزه‌های متعدد و ویرانگر در طول تاریخ آن بوده که متأسفانه تلفات انسانی فراوان و خسارات مالی گسترده، از ویژگی‌های اصلی آن‌ها بوده است. نظری به زمین‌لرزه‌های رویداده در ۶۰ سال اخیر همچون زمین‌لرزه بوبین زهرا (۱۰ شهریور ۱۳۴۱ با بزرگای $7/2$ و تلفات ۲۵ هزار نفر)، زمین‌لرزه‌های دشت بیاض و فردوس (۹ و ۱۰ شهریور ۱۳۴۷ با بزرگای $7/3$ و $6/4$ و تلفات ۱۲۰۰۰ نفر)، زمین‌لرزه طبس (۲۵ شهریور ۱۳۵۷ با بزرگای $7/4$ و تلفات انسانی ۱۸۰۰۰ نفر)، زمین‌لرزه منجیل (۳۱ خرداد ۱۳۶۹ با بزرگای $7/4$ و تلفات ۳۵۰۰۰ نفر)، زمین‌لرزه بم (۵ دی ماه ۱۳۸۲ با بزرگای $6/4$ و تلفات بیش از ۲۵۰۰۰ نفر) نشان‌دهنده عمق فاجعه انسانی و اقتصادی گسترده‌ای است که رویداد زمین‌لرزه‌ها می‌تواند در این سرزمین بر جای گذارد. بدیهی است گسترش شهرنشینی مدرن در سالیان اخیر و توسعه شهرهای بزرگ در راستای گسل‌های لرزه‌زا و فعال، آسیب‌پذیری مناطق پر تراکم شهری را در مقابل اینگونه زمین‌لرزه‌ها بیش از پیش آشکار می‌سازد. جای خوشوقتی است که در تاریخ زمین‌لرزه‌های معاصر ایران، رویدادهای با بزرگای بیش از ۷ همگی در مناطق روستایی و شهری با جمعیت کمتر از یکصد هزار نفر بوده است که در غیر اینصورت با تلفات بیشتری همراه بود. در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه در ایران آورده شده است که طبق آن حدود ۸۷ درصد از مراکز جمعیتی کشور در محدوده خطر نسبی وقوع زمین‌لرزه با احتمال زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند.

آنچه مسلم است، راهکارهای اندیشیده شده در راستای کاهش خسارات ناشی از رویداد زمین‌لرزه‌ها

می‌تواند در کوتاه مدت و بلند مدت منجر به کاهش تلفات و خسارات ناشی از رویداد این پدیده طبیعی گردد. در این میان نقش مراکز تحقیقاتی به عنوان متولی و پرچمدار توسعه دانش در کشور جهت تهیه دستورالعمل‌های طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر زمین‌لرزه، از جایگاه والایی برخوردار می‌باشد. یکی از مهم‌ترین ابزارهای دانشمندان در مسیر شناسایی و مقابله با اثرات زمین‌لرزه‌ها، نصب شبکه‌های ثبت جنبش نیرومند زمین در مناطق لرزه‌خیز است که می‌تواند حرکات شدید زمین را که اصولاً آسیب‌پذیر نیز می‌باشند را ثبت نموده و با دقت بالایی، اطلاعات مورد نیاز دانشمندان علوم مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی مهندسی را فراهم نماید. این مهم اکنون در کشورهای پیشرفته و لرزه‌خیز کاملاً شناخته شده است و از دهه‌های قبل با راه‌اندازی شبکه‌های مختلف شتابنگاری خود را نشان داده است. در ایران نیز از ابتدای دهه پنجاه خورشیدی این مهم به همت افرادی مانند مهندس معین‌فر راه‌اندازی شده و هم‌اکنون با گذشت بیش از چهار دهه با دارا بودن بیش از ۱۱۰۰ دستگاه شتابنگار دیجیتال یکی از مهم‌ترین شبکه‌های ثبت جنبش نیرومند زمین در دنیا است. این نوشتار با هدف شناسایی و معرفی این شبکه ارزشمند، گردآوری شده است و هدف آن شناساندن شبکه ثبت جنبش نیرومند زمین (شبکه ملی شتابنگاری) می‌باشد. در ادامه معرفی زلزله‌شناسی جنبش نیرومند^۱، تاریخچه شتابنگاری، معرفی شبکه، دستگاه‌ها، مجموعه داده‌های مهم، پروژه‌های مهم انجام شده و توانایی‌های شبکه آورده شده است.

۱-۱- زلزله‌شناسی جنبش نیرومند و رابطه شدت و شتاب زمین‌لرزه

زلزله‌شناسی جنبش نیرومند زمین، علمی است که در مورد اندازه‌گیری، تفسیر و برآورد اثرات ناشی از جنبش نیرومند زمین ایجاد شده توسط زمین‌لرزه‌های مخرب بحث می‌کند. در واقع این اندازه‌گیری‌ها، ابزار اساسی جهت توسعه تعاریف جهانی ویژگی‌های لرزش نیرومند هستند. اهداف اصلی علم زلزله‌شناسی جنبش نیرومند، بهبود فهم علمی فرآیندهای فیزیکی ناشی از لرزش‌های شدید زمین، توسعه مدل‌های لرزه‌ای قابل اعتماد و طراحی مقاوم لرزه‌ای برای کاهش خسارات جانی و مالی طی زمین-لرزه‌های مخرب است. زمین‌لرزه‌ها توسط مقیاس‌های مختلفی همچون بزرگا، شدت و شتاب معرفی و

^۱ Strong Motion Seismology

اندازه‌گیری می‌شوند. هر کدام از این مقیاس‌ها مشخصات خاصی از یک زمین‌لرزه را برای مقاصد متفاوت بیان می‌کنند. مثلاً بزرگای یک زمین‌لرزه مقدار انرژی آزاد شده در چشمه و کانون زمین‌لرزه را بیان می‌کند که برای یک زمین‌لرزه همواره ثابت می‌باشد و مقدار آن بر اساس امواج ثبت شده در لرزه‌نگارها قابل اندازه‌گیری می‌باشد. بزرگای یک زمین‌لرزه، خود بصورت انواع مختلفی و براساس معیارهای مختلفی برآورد می‌شوند که عبارتند از بزرگای محلی (M_L)، بزرگای امواج حجمی (m_b)، بزرگای امواج سطحی (M_S) و بزرگای گشتاوری (M_W). مقیاس دیگر شدت زمین‌لرزه می‌باشد که از زمان‌های گذشته به دلیل عدم وجود دستگاه‌های ثبت زمین‌لرزه، اقدام مرسوم بوده است. از پارامتر شتاب نیز در بیان میزان قدرت یک زمین‌لرزه استفاده می‌شود که در ادامه تعاریف این مقیاس‌ها به اختصار آمده است.

۱-۱-۱- بزرگای محلی M_L

در سال ۱۹۵۳ میلادی، پروفیسور چارلز ریشتر، یک مقیاس بزرگا برای زمین‌لرزه‌های کم عمق و محلی برای کالیفرنیا جنوبی ارائه کرد. این مقیاس همچنین به عنوان مقیاس ریشتر نیز شناخته می‌شود. بدلیل اینکه این مقیاس برای زمین‌لرزه‌های محلی و کم عمق ارائه شده بود، به مقیاس بزرگای محلی معروف گشته است. این بزرگا بوسیله رابطه زیر ارائه گردید:

$$M_L = \log A - \log A_0 = \log A / A_0 \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

که در این معادله M_L به عنوان بزرگای محلی و A بیانگر حداکثر دامنه عمودی ثبت شده است که توسط دستگاه لرزه‌نگار وود- اندرسون^۱ با زمان تناوب طبیعی ۰/۸ ثانیه، ضریب میرایی ۸۰٪ و بزرگ‌نمایی ۲۸۰۰ اندازه‌گیری شده و بر حسب میلی‌متر می‌باشد. همچنین A_0 نیز برابر با ۰/۰۰۱ میلی‌متر است که بیانگر حداقل دامنه قابل ثبت توسط لرزه‌نگار می‌باشد. با تصحیح این بزرگا برای فواصل دورتر میتوان بزرگای محلی را به دست آورد. در ایران پژوهشگاه زلزله‌شناسی توسط این مقیاس، بزرگای رویدادهای زمین‌لرزه را گزارش می‌کند.

^۱ Wood-Anderson

۲-۱-۱- بزرگای امواج سطحی M_S

این بزرگا بر مبنای مقدار دامنه امواج سطحی بدست می‌آید. برای فاصله‌های بزرگتر از ۲۰۰ کیلومتر، بزرگترین نسبت $(A/T)_{max}$ در یک لرزه‌نگار باند پهن و برای فاصله‌های زیاد (۶۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر) برای لرزه‌نگارهای پرپود بلند، در امواج سطحی حاکم می‌باشد که حدود ۲۰ ثانیه می‌باشد. اولین بزرگای امواج سطحی توسط گوتنبرگ و ریشر (۱۹۵۶) به شکل ذیل بیان شده است:

$$M_S = \log A' + 1.66 \log \Delta + 2.0 \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

که در این معادله، M_S مقیاس بزرگای امواج سطحی، A' بیانگر حداکثر تغییرمکان زمین برحسب μm و Δ بیانگر فاصله رومرکز لرزه‌نگار به درجه می‌باشد. این مقیاس به نسبت مقیاس محلی بدلیل اینکه توسط مقدار تغییرمکان محاسبه می‌شود مزیت دارد. این مقیاس معمولاً برای زمین‌لرزه‌های متوسط و بزرگ که دارای عمق زیاد (تا ۶۰ کیلومتر) می‌باشند، مناسب است و حداقل فاصله لرزه‌نگار باید حدود ۱۰۰۰ کیلومتر با رومرکز زمین لرزه فاصله داشته باشد.

۳-۱-۱- بزرگای گشتاوری M_W

بزرگای گشتاوری توسط کاناموری (۱۹۷۷) توسعه داده شد که برابر با معادله ذیل است.

$$M_W = 2/3 \log M_0 - 6.07 \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

که در این معادله M_0 مقدار گشتاور اندازه‌گیری شده بر حسب Nm می‌باشد که بر اساس ابعاد صفحه گسل بدست می‌آید. دقیقترین بزرگا که می‌تواند در همه دنیا مورد استفاده قرار گیرد همین بزرگا است که بر اساس انرژی آزاد شده توسط زمین‌لرزه اندازه‌گیری می‌شود و برخلاف دیگر مقیاس‌های بزرگا اشباع نمی‌شود. هم اکنون مراکز جهانی GCMT، GFZ و NEIC این بزرگا را براساس حل صفحه زمین‌لرزه ارائه می‌کنند.

۴-۱-۱- مقیاس بزرگای امواج L_g

این مقیاس با استفاده از امواج L_g در محدوده فاصله محلی و ناحیه‌ای ($\Delta < 30^\circ$) کاربرد دارد. این مقیاس بزرگا تقریباً شبیه بزرگای محلی M_L می‌باشد که بیشتر در آمریکای شمالی استفاده می‌شود. مرکز

لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از این مقیاس که به صورت M_N نامیده می‌شود، جهت گزارش رویدادهای لرزه‌ای استفاده می‌نماید.

۱-۱-۵- مقیاس بزرگای امواجی حجمی m_b

مقیاس m_b یکی از مقیاس‌هایی است که بصورت گسترده برای گزارش بزرگی رویدادهای لرزه‌ای ثبت شده در فاصله ناحیه‌ای ($\Delta > 30^\circ$)، مورد استفاده قرار گرفته است. این بزرگا بر اساس حداکثر دامنه موج اولیه^۱ که در لرزه‌نگارهای پریود کوتاه (SP) ثبت شده‌اند، بدست می‌آید.

$$m_b = \log(A/T) + Q(\Delta, h) \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

که در این رابطه A حداکثر دامنه بر حسب nm یا μm (براساس نوع تابع Q مورد استفاده) می‌باشد. T بیانگر زمان تناوب طبیعی و Q تابع تخمین جنبش زمین که خود تابعی از فاصله رومرکزی Δ و عمق کانونی h می‌باشد. همچنین فاصله رومرکزی بایستی بین ۲۰ تا ۱۰۰ درجه باشد. تابع تخمین جنبش زمین نیز بر مبنای استاندارد IASPEI، همان تابع اصلی که توسط گوتنبرگ و ریشتر (۱۹۵۶) برای امواج p ثبت شده بر روی لرزه‌نگار عمودی معرفی شده را پیشنهاد داده است. این بزرگا هم اکنون توسط USGS و ISC مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۱-۶- شدت زمین‌لرزه

شدت زمین‌لرزه یک پارامتر کیفی برای بیان قدرت زمین‌لرزه است و بدلیل اینکه بدون نیاز به دستگاه خاصی، توسط افراد قابل اندازه‌گیری می‌باشد، همچنان کاربرد دارد. البته دلایل دیگری نیز را می‌توان جهت ضرورت استفاده از مقیاس شدت در دنیای امروزی ذکر کرد که از جمله برآورد بزرگای زمین‌لرزه-های تاریخی می‌باشد. شدت زمین‌لرزه بیانگر میزان لرزش تولید شده توسط زمین‌لرزه در یک نقطه مشخص می‌باشد که برای نقاط با فواصل مختلف از چشمه زمین‌لرزه، متغیر است. برآورد شدت بر اساس روابط ریاضی نمی‌باشد، بلکه برای یک نقطه بر اساس میزان احساس مردم و تاثیر بر سازه‌های همان نقطه مورد نظر برآورد میشود. در واقع برای یک زمین‌لرزه با بزرگای مشخص، شدت‌های مختلفی در

^۱ P-wave

فواصل متفاوت قابل انتظار است. شدت بصورت عدد یونانی بیان میشود و مقیاس‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری آن وجود دارد که معروف‌ترین آن‌ها مقیاس مرکالی اصلاح شده MMI^1 و مقیاس اروپایی^۲ $EMS-98$ می‌باشد که به دوازده رده مختلف تقسیم‌بندی می‌گردد.

۱-۱-۷- شتاب زمین لرزه

مقیاس دیگر اندازه‌گیری زمین لرزه، شتاب ناشی از زمین لرزه می‌باشد که همچون شدت برای هر نقطه متفاوت بوده و برابر با حداکثر شتاب ثبت شده در هر نقطه می‌باشد. در واقع شتاب برابر با میزان تغییر سرعت در واحد زمان می‌باشد و شتاب هر نقطه را صرفاً می‌توان با نصب سنسور شتابنگار در همان نقطه اندازه‌گیری کرد. واحد اندازه‌گیری شتاب g بوده که برابر با 9.80 سانتیمتر بر مجذور ثانیه می‌باشد. شدیدترین جنبش‌های زمین، دارای شتابی بین 1 تا 3 برابر شتاب ثقل زمین (g) می‌باشند. لازم به ذکر است که شتاب زمین لرزه با مقادیر فوق به ندرت و در زمین لرزه‌های بزرگ روی می‌دهد. در شکل ۱-۱ پارامترهای حداکثر شتاب، سرعت و تغییر مکان زمین لرزه کوه‌زر (استان سمنان) نشان داده شده است.

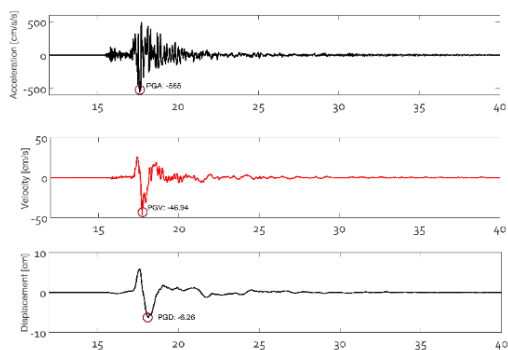
۱-۱-۸- رابطه بین بزرگا، شتاب و سرعت

بین بزرگا و شتاب و یا سرعت یک زمین لرزه یک رابطه مستقیم وجود دارد که هرچقدر بزرگا بیشتر باشد، شتاب و یا سرعت زمین در یک فاصله ثابت از مرکز زمین لرزه، بیشتر خواهد بود. البته در یک رویداد زمین لرزه، هر چقدر فاصله از چشمه زمین لرزه دورتر باشد انتظار داریم تا سرعت و شتاب زمین لرزه کمتر شود. از اینرو می‌توان توابعی تجربی تهیه نمود تا بیانگر میزان شتاب بر حسب بزرگا و فاصله تا چشمه زمین لرزه باشد که این توابع به روابط کاهندگی معروف هستند. اخیراً این توابع با نام روابط تخمین جنبش زمین^۳ نامیده می‌شوند.

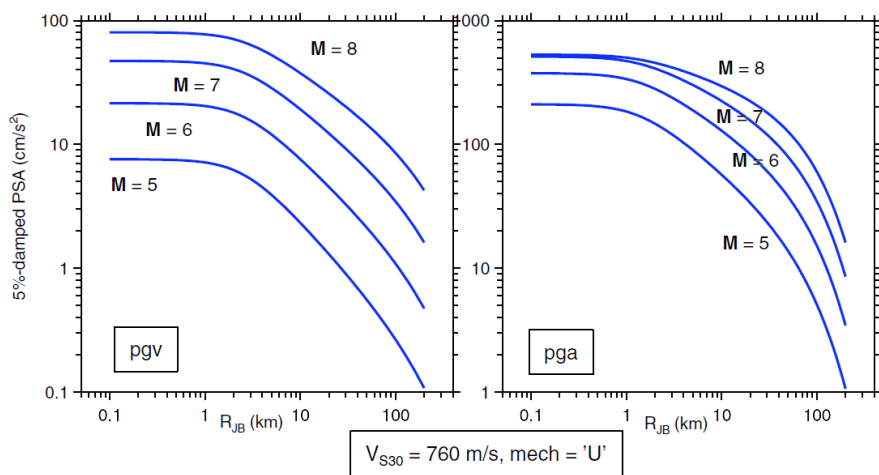
^۱ Modified Mercalli Intensity Scale

^۲ European macroseismic scale

^۳ Ground Motion Prediction Equation (GMPE)

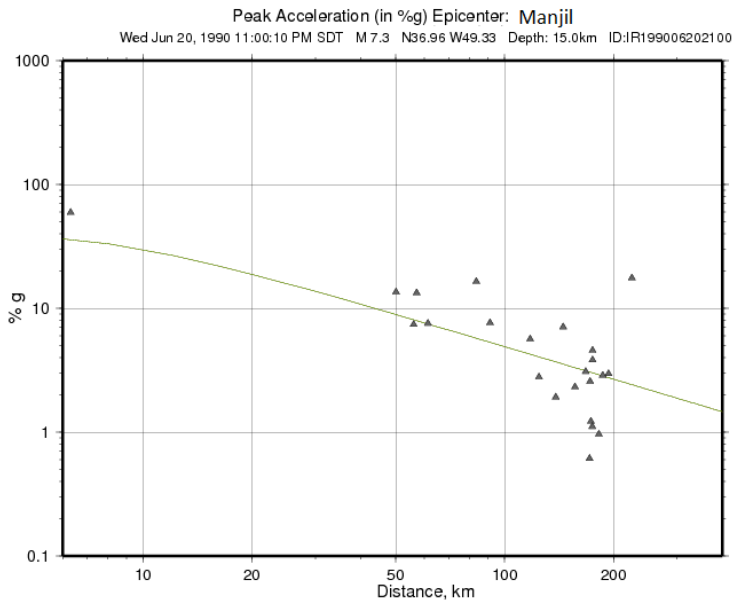


شکل ۱-۱ پارامترهای حداکثر شتاب، سرعت و تغییر مکان زمین برای زمین لرزه کوه-زر ۱۳۸۹ (استان سمنان)

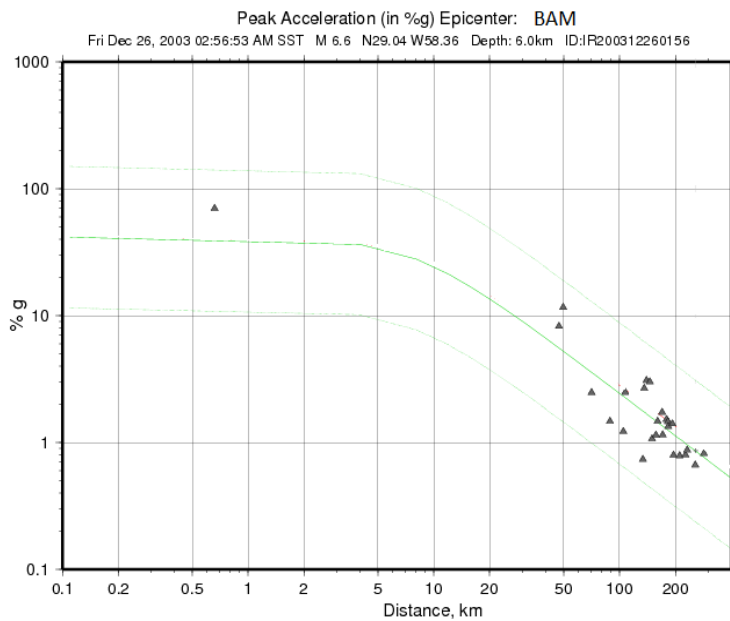


شکل ۱-۲ نسبت حداکثر شتاب زمین (راست) و حداکثر سرعت زمین (چپ) برای رویدادهای با بزرگای مختلف بر حسب فاصله تا صفحه گسیختگی برای سرعت موج برشی ۷۶۰ کیلومتر بر ثانیه، گسلش نامشخص بر اساس رابطه بور و اتکینسون (۲۰۰۸) هدف از ارائه روابط تخمین جنبش زمین، تخمین پارامترهای زمین در یک ساختمان مشخص می‌باشد، که تابعی است از بزرگا، فاصله تا محل زمین لرزه، مسیر و مشخصات خاک ساختمان. همچنین معمولی‌ترین و پرکاربردترین پارامتر مهندسی زمین لرزه‌ها عبارتند از: حداکثر شتاب زمین، حداکثر سرعت زمین و شتاب طیفی برای میرایی ۵٪. فرم تابع روابط تخمین جنبش زمین به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\ln \hat{Y} = f(M; R; \Sigma Source; \Sigma Site) \quad \text{رابطه (۱-۵)}$$



شکل ۳-۱ نسبت شتاب و فاصله برای زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل، ایستگاه‌ها توسط مثلث نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۱ نسبت شتاب و فاصله برای زمین‌لرزه ۱۳۸۵ بم، ایستگاه‌ها توسط مثلث نشان داده شده‌اند.

که در معادله $(5-1) \ln \hat{Y}$ ، بیانگر تخمین لگاریتم طبیعی از پارامتر جنبش زمین است. M مقدار بزرگای زمین‌لرزه و R میزان فاصله رسیدن امواج در مسیر چشمه تا ساختگاه می‌باشد. عبارت $\sum source_i$ نیز بیانگر دیگر پارامترهای مختلف مربوط به چشمه زمین‌لرزه (مانند نوع گسلش، ابعاد گسیختگی، صفحه گسل و شیب گسل) و عبارت $\sum site_i$ بیانگر متغیرهای وابسته به ساختگاه (مانند متوسط سرعت موج برشی، مشخصات زمین‌شناسی یا عمق سنگ بستر) می‌باشد.

تغییرات حداکثر شتاب زمین و حداکثر سرعت زمین بر اساس رابطه تخمین جنبش بور و اتکینسون (۲۰۰۸) در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱-۳ و شکل ۱-۴ نسبت فاصله و شتاب برای زمین‌لرزه‌های منجیل و بم نشان داده شده است.

۱-۹-۱- رابطه بین شدت و شتاب

سه مقیاس فوق‌الذکر با یکدیگر متناسب بوده بدین شکل که معمولاً هر چقدر بزرگای زمین‌لرزه بیشتر باشد، شدت و شتاب بیشتری را در نزدیکی کانون زمین‌لرزه انتظار خواهیم داشت و با افزایش فاصله نسبت به کانون زمین‌لرزه، شدت و شتاب زمین‌لرزه کاهش خواهند یافت. البته تأثیرات توپوگرافی و نوع خاک ساختگاه مورد نظر می‌تواند میزان شدت و شتاب را بطور غیرمعمول افزایش دهد. همچنین بین شتاب و شدت نیز رابطه مستقیمی وجود دارد که هر چقدر شدت زمین‌لرزه بیشتر باشد، شتاب مورد انتظار نیز بیشتر است و بالعکس. در جدول ۱-۱ میزان تناسب و حدود شدت و شتاب برای زمین‌لرزه‌های ایران ذکر شده است (شاهوار، ۱۳۹۲). در رابطه ۱-۶ و ۱-۷ نیز روابط بین شدت و شتاب برای ایران (شاهوار، ۱۳۹۲) و جهان (والد و همکاران، ۱۹۹۹) آورده شده است.

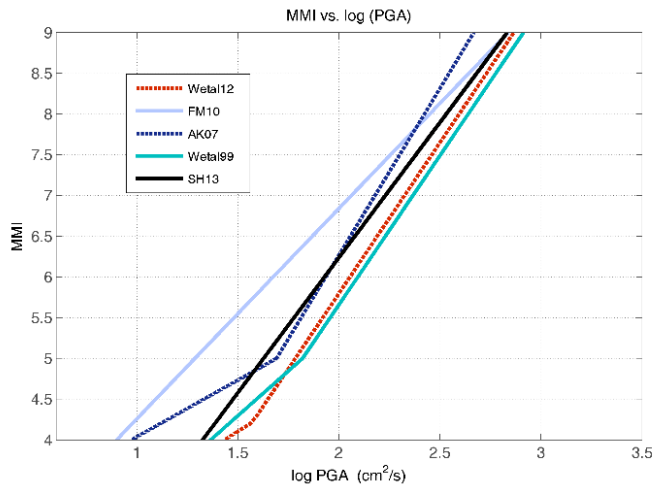
$$MMI = 3.32 \text{ Log } (PGA) - 0.399 \quad \text{رابطه (۱-۶)}$$

$$MMI = 3.66 \text{ Log } (PGA) - 1.66 \quad \text{رابطه (۱-۷)}$$

که در این روابط MMI شدت مرکالی اصلاح شده و PGA حداکثر شتاب زمین می‌باشد. از این روابط می‌توان جهت تخمین میزان شدت دستگاهی برای یک ساختگاه دارای ایستگاه شتابنگار استفاده نمود. مهم‌ترین کاربرد این روابط برای تولید نقشه‌های واکنش سریع می‌باشد که در فصل‌های چهارم و پنجم

به آن‌ها پرداخته شده است. رابطه تخمین شدت ارائه شده برای ایران و دیگر کشورها در شکل ۵-۱ ترسیم شده‌اند. در این شکل رابطه وردن و همکاران (۲۰۱۲) با نام اختصاری Wetal12، رابطه فائز و میچلبینی (۲۰۱۰) با نام اختصاری FM10، رابطه اتکینسون و کاکا (۲۰۰۷) با نام AK07، رابطه والد و همکاران (۱۹۹۹) با نام اختصاری Wetal99 و رابطه شاهوار (۱۳۹۲) با نام اختصاری SH13 نامگذاری شده‌اند.

آستانه تعریف جنبش نیرومند از منظر میزان شتاب متغیر بوده و عددی در حدود 10 cm/s/s را می‌توان عددی منطقی در نظر گرفت. دستگاه‌های شتابنگار قدیمی که در نیمه‌های قرن بیستم میلادی تولید می‌شدند، قادر به ثبت شتاب‌های کمتر از این عدد نبودند و از اینرو قرار دادن این عدد برای معیار جنبش نیرومند زمین منطقی به نظر می‌رسید. در مقام مقایسه باید گفت مردمی که در حال استراحت هستند قادر به احساس جنبش‌هایی در حد شتاب 1 سانتی متر بر مجذور ثانیه می‌باشند. در زمین‌لرزه‌های بزرگای متوسط خسارات به ساختمان‌هایی که مقاوم در برابر زمین‌لرزه طراحی نشده‌اند، در شتاب‌هایی بیش از 100 سانتی متر بر مجذور ثانیه روی می‌دهد. اصولاً زمین‌لرزه‌های با بزرگای کمتر از 5 ، در زلزله‌شناسی جنبش نیرومند اهمیت کمتری دارند. این زمین‌لرزه‌ها قاعدتاً نمی‌توانند به ساختمان‌های مقاوم خساراتی وارد نمایند.



شکل ۵-۱ روابط مختلف تبدیلی شتاب و شدت به یکدیگر

جدول ۱-۱ نسبت شدت دستگاهی و شتاب با توجه رابطه شدت-شتاب (شاهوار ۱۳۹۲)

شدت دستگاهی	شتاب (g)	لرزش احساس شده	خسارت محتمل
I	کوچکتر از ۰/۰۰۵۳	بدون احساس	بدون خسارت
II-III	۰/۰۱۵- ۰/۰۰۵۳	ضعیف	بدون خسارت
IV	۰/۰۴۳ - ۰/۰۱۵	کم	بدون خسارت
V	۰/۰۸۶ - ۰/۰۴۳	متوسط	خیلی کم
VI	۰/۱۷ - ۰/۰۸۶	زیاد	کم
VII	۰/۳۴ - ۰/۱۷	خیلی زیاد	متوسط
VIII	۰/۶۹ - ۰/۳۴	شدید	متوسط تا زیاد
IX	۱/۳۷۴ - ۰/۶۹	بسیار شدید	زیاد
X+	بزرگتر از ۱/۳۷۴	وحشتناک	خیلی زیاد

تنها درصد کمی از این زمین‌لرزه‌ها می‌توانند باعث تلفات شوند، آن هم اگر در مناطق با ساخت و ساز ضعیف روی دهند. از آنجا که هر چقدر بزرگای زمین‌لرزه افزایش پیدا کند، توانایی تخریب و همچنین ایجاد تلفات انسانی رشد خواهد کرد، رویدادهای لرزه‌ای با بزرگای بین ۶ تا ۸ غالباً بیشترین مسئولیت را در برابر خسارات مهم بر عهده دارند. رویدادهای با بزرگای بیش از ۸، البته پتانسیل تخریبی بی اندازه‌ای را دارا بوده اما خوشبختانه میانگین وقوع آن‌ها تنها یک رویداد در سال در کل جهان بوده که اغلب در مرزهای برخوردی و فرورانشی ورقه‌های زمین‌ساختی، بخصوص در مناطق اقیانوسی و مرز قاره‌ها روی می‌دهند.

ثبت داده‌های جنبش نیرومند سخت‌تر از اندازه‌گیری و ثبت داده در سایر حوزه‌های مربوط به زلزله‌شناسی است که علت این مسئله به دلیل اتفاقی بودن رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ و مشکلات ناشی از جنبش نیرومند برای ابزارگذاری و نصب تجهیزات در مناطق با پتانسیل لرزه‌خیزی بالا است.

در مباحث مربوط به لرزه‌نگاری، با توجه به مشخصات دستگاه‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری، حساسیت و دامنه امواج ثبت شده متفاوت می‌باشد. به عنوان نمونه یک رویداد با بزرگای ۶ در تمام نقاط دنیا با دستگاه‌های لرزه‌نگار قابل شناسایی و ثبت می‌باشد، همچنین جهت پایش زمین‌لرزه‌های خرد و کوچک، نیازمند به دستگاه‌های لرزه‌نگاری است که امواج ثبت شده توسط این نوع دستگاه‌ها کاربردهای مختلفی

در علم زلزله شناسی همچون مطالعه ساختار پوسته زمین و یا لرزه زمین ساخت دارد. اما از آنجا که در زمین لرزه های شدید، این نوع دستگاه ها با توجه به دامنه بالای امواج، اشباع شده و نمی توانند میزان حداکثر دامنه امواج را ثبت کنند، دستگاه های شتابنگار با ویژگی های متفاوت، می توانند رکوردهای مناسبی از جنبش نیرومند زمین را ثبت کنند. قبل از ورود به بحث در مورد تاریخچه شتابنگاری در دنیا، به تعریف مختصری از شتابنگارها^۱ و اهمیت آن در ادامه پرداخت شده است.

۱-۲- شتابنگارها و اهمیت آن

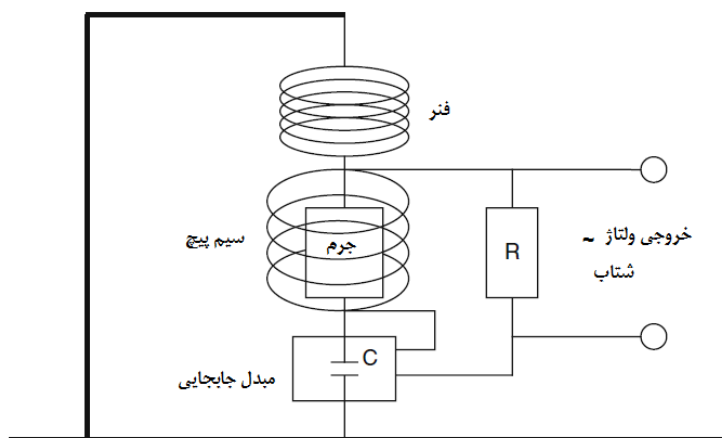
مهم ترین ابزار تشخیص و ارزیابی پارامترهای جنبش نیرومند زمین در زمین لرزه ها دستگاه هایی هستند که می توانند این حرکات را به خوبی ثبت نمایند. اندازه گیری دقیق این حرکات هم برای کاربردهای مهندسی زلزله و هم برای زلزله شناسی به شدت مورد نیاز است. بدون این اطلاعات امکان دستیابی منطقی به خطرات و تدوین روشهای مناسب طراحی مقاوم در برابر زمین لرزه وجود نخواهد داشت. سیستم های اندازه گیری لرزه ای به دو گروه عمده شتابنگارها و لرزه نگارها^۲ تقسیم می شوند. لرزه نگارها به وسیله ژئوفیزیکدان ها و زلزله شناسان به منظور ثبت حرکات جزئی زمین در مقیاس بسیار کوچک که به طور طبیعی ممکن است قابل احساس نباشند، ساخته شده اند در حالی که شتابنگارها جهت ثبت حرکات نیرومند زمین در زمین لرزه های مخرب، توسط مهندسی زلزله طراحی شده اند. لرزه نگارها در نزدیکی کانون زمین لرزه ها اصطلاحاً اشباع می شوند، در حالی که شتابنگارها قادر به ثبت شتاب های بسیار بالا در نزدیکی کانون زمین لرزه ها هستند.

سنسورهای لرزه ای، حرکات ناشی از زمین لرزه را اندازه گیری کرده و به ولتاژ تبدیل می کند. این حرکات می تواند بصورت شتاب، سرعت و تغییر مکان نشان داده شوند. از آنجا که امواج زمین لرزه دارای دامنه های متفاوت فرکانسی هستند، سنسورهای مختلفی نیز جهت ثبت و اندازه گیری های آن ها جهت مقاصد مختلف ساخته شده است که می توان به دستگاه های شتابنگار و لرزه نگار اشاره کرد که از ساختار تقریباً

^۱ Accelerometer or Accelerograph

^۲ Seismometer or Seismograph

یکسانی برخوردار هستند. هر دستگاه شتابنگار یا لرزه‌نگار از دو بخش اصلی تشکیل شده‌اند که عبارتند از سنسور^۱ (سنجنده) و دیجیتایزر^۲ (رقومی‌ساز). اصلی‌ترین تفاوت دستگاه‌های شتابنگار با لرزه‌نگار در این است که لرزه‌نگارها جابجایی یا سرعت زمین را ثبت می‌کنند در حالی که شتابنگارها شتاب حرکت زمین را ثبت می‌نمایند. مبنای تمامی سنسورها بدین‌گونه است که یک جرم در پاسخ به حرکت زمین بایستی بطور نسبی نسبت به مرجع (سطح زمین) حرکت کند، بدین جهت یک جرم معلق را در تمامی سنسورها در نظر می‌گیرند.



شکل ۱-۶ نمایی ساده شده از ساختار یک شتابنگار

ساده‌ترین شکل ممکن برای شتابنگارها را می‌توان به صورت یک سیستم یک درجه آزادی^۳ دارای جرم، فنر و میراکننده نمایش داد (شکل ۱-۶). بطور خلاصه می‌توان گفت که لرزه‌نگارها (با زمان تناوب کوتاه و یا باند پهن) جهت ثبت و مشاهده حرکات ناشی از زمین‌لرزه بصورت سراسری و جهانی، و در فواصل نزدیک تا بسیار دور کاربرد دارند، اما شتابنگارها جهت ثبت امواج حرکت زمین در زمین‌لرزه‌های بزرگ و در محدوده نزدیک به محل زمین‌لرزه (ثبت امواج غیر اشباع) کاربرد دارند. حتی در برخی موارد می‌توان از شتابنگارها بجای لرزه‌نگارهای با دوره تناوب کوتاه جهت ثبت و پایش زمین‌لرزه‌های محلی نیز استفاده

^۱ Sensor

^۲ Digitizer

^۳ SDOF (Single Degree of Freedom)

کرد (هاوسکف ۲۰۰۶). همانگونه که ذکر شد طراحی لرزه‌نگارها به طور کلی به گونه‌ای است که می‌توان با طراحی خاص خصوصیات مختلف زمین را اندازه‌گیری کرد. به مباحث ریاضی مربوط به پاسخ یک سیستم یک درجه آزادی در برابر لرزش زمین لرزه در اینجا پرداخته نمی‌شود ولی باید گفت برای فرکانس‌های حرکات زمین که بیش از فرکانس طبیعی لرزه‌نگار باشند، دامنه ثبت شده توسط دستگاه برابر دامنه جابجایی زمین است، در حالی که در فرکانس‌های کمتر از فرکانس طبیعی لرزه‌نگار، دامنه ثبت شده با دامنه شتاب زمین متناسب است.

پس یک سیستم لرزه‌نگار می‌تواند جابجایی‌ها را در فرکانس‌های بالا و شتاب‌ها را در فرکانس‌های پایین‌تر از فرکانس طبیعی خود اندازه‌گیری نماید که این وجه تمایز دستگاه‌های لرزه‌نگار و شتابنگار است.

کاربرد دستگاه‌های شتابنگار بیشتر در مباحث مربوط به زلزله‌شناسی مهندسی و مهندسی زلزله می‌باشد، اما کاربرد لرزه‌نگارها در زلزله‌شناسی و مطالعات اکتشافی می‌باشد. شتابنگارها حرکات نیرومند زمین را در سه مؤلفه عمود بر هم (دو جهت افقی و یک جهت عمودی) ثبت می‌نمایند. به نگاشت‌های ثبت شده توسط سنسورهای شتابنگاری، شتابنگاشت گفته می‌شود.

فصل دوم

تاریخچه شتابنگاری در دنیا

بی‌تردید کوشش‌های بشر در مسیر شناسایی پدیده زمین‌لرزه به هزاران سال پیش بر می‌گردد. رویداد زمین‌لرزه در کشورهایی مانند چین و ژاپن که در برهه‌ای از زمان، مهد تمدن و شکوفایی علوم باستانی بوده‌اند، باعث گردید که پادشاهان و امپراتوران این سرزمین کوشش‌های قابل توجهی را در راستای شناخت این پدیده انجام دهند. معروفترین سند در این زمینه دستگاه لرزه‌نمایی^۱ بوده است که در چین باستان برای مشخص نمودن رویداد و جهت حادث شدن یک زمین‌لرزه ساخته شده بود و نمونه‌های آن هم اکنون در موزه‌های تاریخ علم و تصویر آن در اکثر کتاب‌های مرجع لرزه‌شناسی ارائه گردیده است. این نمونه جالب توجه توسط دانشمندی چینی به نام چانگ هنگ^۲ در سال ۱۳۲ میلادی ساخته شد که در آن از پاندول‌های عمودی استفاده شده بود، که در هنگام زمین‌لرزه و در اثر افتادن گوی‌های فلزی می‌توانستند به جهت رویداد زمین‌لرزه پی ببرند. در این دستگاه گوی فلزی در دهان ۶ (یا بیشتر) اژدهایی قرار داشت که در زیر آن‌ها قورباغه‌های فلزی با دهان باز قرار داشتند، فرض بر این بود که جهت زمین‌لرزه در راستای اژدهایی بود که توپ از دهانش خارج می‌شد (شکل ۲-۱).

۲-۱- تاریخچه ساخت شتابنگار

از اوایل سال‌های ۱۷۰۰ میلادی به این سو تلاش بشر برای ثبت زمین‌لرزه‌ها وارد مرحله تازه‌ای شد. اولین تلاش‌ها برای استفاده از پاندول‌ها در ساختار لرزه‌نما به سلسله زمین‌لرزه‌هایی بر می‌گردد که در سال ۱۷۳۱ میلادی در ناپل ایتالیا روی دادند. در سال ۱۷۸۳ پس از زمین‌لرزه مخرب کالابریا، اولین کمیسیون زمین‌لرزه تشکیل و موظف به مطالعه اثرات زمین‌لرزه‌ها گردید. زمین‌لرزه کالابریا منجر به

^۱ Seismo Scope

^۲ Chang Heng

تلاش‌های بسیاری در ساخت نمونه‌های مختلف لرزه‌نما برای پیدا کردن جهت زمین‌لرزه‌ها گردید. با کوشش‌های فراوان و در سالیان بعد، نمونه‌های پیشرفته‌تری از لرزه‌نماها ساخته شد که در آن از پاندول‌ها، جوهر و نوارهای کاغذی برای مشخص نمودن جهت زمین‌لرزه‌ها استفاده می‌شد.



شکل ۱-۲ نمایی از یک دستگاه لرزه‌نما در سال ۱۳۳ میلادی

روند ساخت لرزه‌نماها منجر به ساخت اولین لرزه‌نگار در سال ۱۸۷۵ میلادی در ایتالیا گردید. اولین لرزه‌نگار ساخته شده دارای سه پاندول برای ثبت حرکت زمین در سه جهت بوده و بزرگنمایی آن حدود ۳ بود. این دستگاه یک زمین‌لرزه بزرگ در مرز فرانسه- ایتالیا را ثبت نمود. در همین زمان تعدادی از دانشمندان انگلیسی در ژاپن بر روی توسعه لرزه‌نگارها کار نمودند. اولین لرزه‌نگار محصول این همکاری دارای یک پاندول ۲۱ فوتی (۶۴۰ سانتی‌متر) و پرپود طبیعی ۵ ثانیه و بزرگنمایی ۶ برابری بود. در این لرزه‌نگار برای اولین بار از یک پاندول افقی استفاده شد و اولین لرزه‌نگاشت دارای زمان در سال ۱۸۸۰ ثبت گردید.

روند توسعه و ساخت لرزه‌نگارها در اواخر قرن نوزدهم همچنان به رشد خود ادامه می‌داد. یکی از اولین لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده از یک زمین‌لرزه دوردست در سال ۱۸۸۹ ثبت گردید. در سال ۱۸۹۸ ویچرت^۱، میرایی چسبنده^۲ پاندول را با استفاده از مقاومت هوا در یک پیستون و سیلندر به منظور تامین میرایی

^۱ Wiechert

^۲ Viscous Damping

مورد نیاز لرزه‌نگار به وجود آورد. در لرزه‌نگار اولیه ویجرت از یک پاندول افقی و سیستم ثبت بر روی فیلم استفاده می‌شد و لرزه‌نگار دوم وی دارای جرمی به وزن ۱۰۰۰ کیلوگرم و بزرگنمایی ۲۰۰ و سیستم ثبت بر روی کاغذ دود اندود بود. در ابتدای سده بیستم بود که تلاش‌ها و کوشش‌ها برای ساخت دستگاه‌های شتابنگار زمین‌لرزه آغاز گردید.

بی‌تردید بحث شتابنگاری و مطالعات جنبش نیرومند زمین در جهان مرهون تلاش‌های دو تن از دانشمندان بزرگ می‌باشد که یکی از قاره آسیا و دیگری از قاره آمریکا می‌باشند (شکل ۲-۲).

کیوجی سایه هیرو^۱ (۱۸۷۷-۱۹۳۳) عضو آکادمی سلطنتی ژاپن و پروفیسور در رشته مکانیک کاربردی در دانشگاه سلطنتی توکیو بود. پس از زمین‌لرزه ۱۹۲۳ توکیو، زمانی که دولت ژاپن موسسه تحقیقات زمین‌لرزه را راه‌اندازی کرد، وی به عنوان اولین مدیر این موسسه انتخاب گردید. او مطالعات فراوانی در خصوص رفتار ساختمان‌ها در هنگام رویداد زمین‌لرزه انجام داد و به نوعی می‌توان او را پدر علم مهندسی زلزله نامید. او در سال ۱۹۳۱ به دعوت پروفیسور جان فریمن^۲ به آمریکا رفت و سخنرانی‌هایی در مورد زلزله‌شناسی مهندسی بر اساس تحقیقات خویش در ژاپن ارائه داد. سخنرانی‌های بسیار مفید وی باعث ایجاد شور و هیجان زیادی در فراگیری زلزله‌شناسی مهندسی در دانشگاه‌های معروف آمریکا گردید. پروفیسور سایه هیرو در این سخنرانی‌ها به اهمیت اندازه‌گیری‌های جنبش‌های نیرومند زمین (به صورت مستقیم) تاکید فراوان داشت و آن را جهت پیشرفت علم زلزله‌شناسی مهم می‌دانست. برای این مهم پیشنهاد تغییر لرزه‌نگار وود - آندرسون^۳ را نمود که در آن زمان در آمریکا طراحی شده بود. بی‌تردید تلاش‌های سایه هیرو بدون کمک‌های فریمن راه به جایی نمی‌برد. وی یک مهندس عمران با گرایش هیدرولیک بود که از انستیتو تکنولوژی ماساچوست^۴ فارغ‌التحصیل شده بود. او در سن ۷۰ سالگی به زمین‌لرزه‌ها علاقمند گردید. وی با علم به اینکه کمبود فراوانی در زمینه کتاب‌های مربوط به زمین‌لرزه وجود دارد، اقدام به نوشتن کتابی در مورد زمین‌لرزه تحت عنوان خسارات زمین‌لرزه و بیمه زمین‌لرزه نمود که در سال ۱۹۳۲ منتشر شد. در این کتاب او به طراحی و ساخت دستگاه برای ثبت جنبش‌های

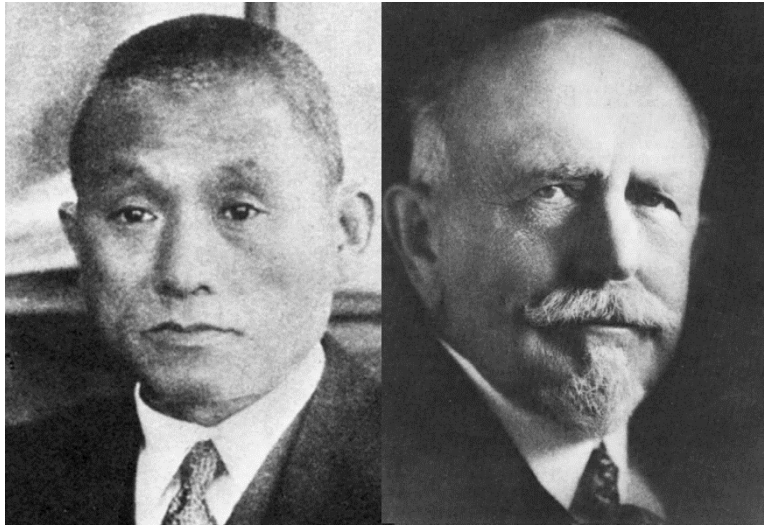
^۱ Kyoji Suyehiro

^۲ John R. Freeman

^۳ Wood Anderson

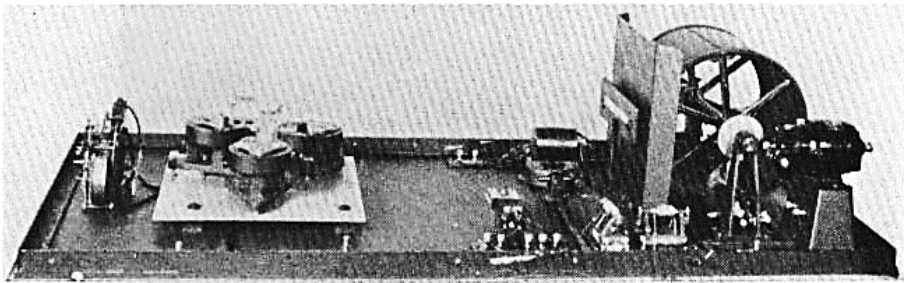
^۴ MIT

نیرومند زمین یا همان شتابنگار تاکید و ویژگی‌های این دستگاه را توصیف نمود (تریفوناک ۲۰۰۶).



شکل ۲-۲ جان فریمین (سمت راست) و سایه هیرو (سمت چپ) تریفوناک (۲۰۰۹)

تلاش‌های فریمین و سایه هیرو منجر به ساخت دستگاهی بر اساس لرزه‌نگار استاندارد وود اندرسون شد. در این سال‌ها تلاش‌های فراوانی در جهت ساخت دستگاه شتابنگار در ارگان‌های مختلف آغاز شد که نهایتاً منجر به ساخت دستگاه شتابنگار USC&GS گردید (شکل ۲-۳). اولین شتابنگاشت دنیا در زمین‌لرزه ۱۹۳۳ لانگ بیچ توسط این دستگاه ثبت شده است (شکل ۲-۴). مشخصات این دستگاه عبارت بود از: استفاده از کاغذ ۱۲ اینچ عکاسی، دارا بودن ۳ کانال، ۶/۵ دقیقه ظرفیت ثبت و پاسخ دینامیکی DC - 18 HZ.



شکل ۲-۳ نسخه اصلی از شتابنگار USC&GS که شتابنگاشت زمین‌لرزه لانگ‌بیچ را در سال ۱۹۳۳ میلادی ثبت نمود.

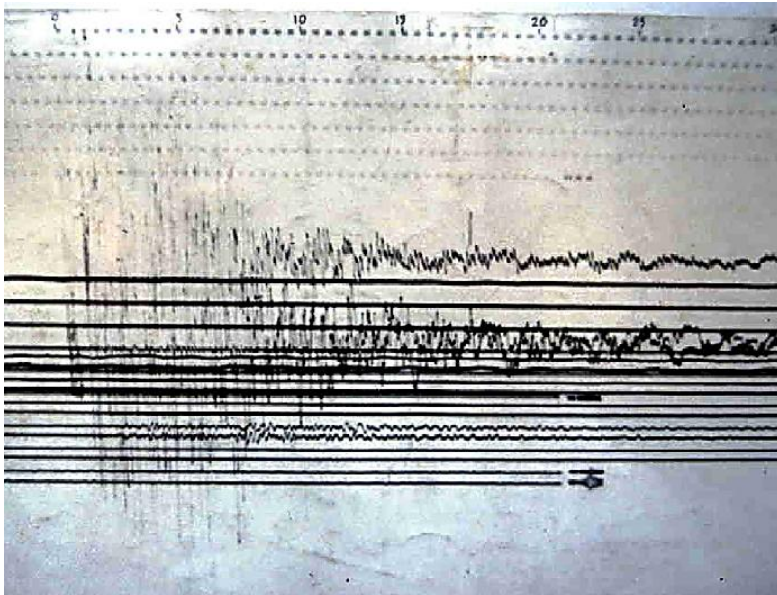
نصب اولین دستگاه‌های شتابنگار در تابستان سال ۱۹۳۲ در آمریکا آغاز گردید. اولین دستگاه‌ها در لانگ‌بیچ، ورنون، ال سترو و سن‌دیه‌گو نصب گردیدند. در ۲۰ دسامبر ۱۹۳۲ زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۷/۳ در نوادای غربی اتفاق افتاد. این زمین‌لرزه شتابنگار لانگ‌بیچ را فعال کرد و لیکن به دلیل اینکه زمین‌لرزه حدود ۵۶۰ کیلومتر دورتر اتفاق افتاده بود، بیشینه شتاب رکورد بسیار کوچک بود. این اولین رکورد شتابنگاشت ثبت شده به وسیله دستگاه شتابنگار USC&GS بود.

اما اولین شتابنگاشت جنبش نیرومند به معنای واقعی در اثر زمین‌لرزه ۱۰ مارس ۱۹۳۳ ثبت گردید، زمین‌لرزه اصلی لانگ‌بیچ، به وسیله ۳ ایستگاه شتابنگاری با حداکثر شتاب حدود ۲۷۹ سانتی متر بر مجذور ثانیه در ایستگاه لانگ‌بیچ به ثبت رسید. اهمیت این شتابنگاشت به این دلیل بود که این رکورد در واقع اولین شتابنگاشت جنبش نیرومند زمین در تاریخ زلزله‌شناسی مهندسی می‌باشد (شکل ۲-۴). پس از زمین‌لرزه لانگ‌بیچ، توسعه دستگاه‌های شتابنگار به آهستگی آغاز و روند تکاملی ساخت دستگاه‌های شتابنگار به کندی ادامه پیدا کرد (هادسون ۱۹۸۳). در سال ۱۹۶۳ دستگاه شتابنگار AR-240 به عنوان اولین شتابنگار تجاری ساخته شد (شکل ۲-۵). این دستگاه دارای سه کانال با ۲۰ دقیقه ظرفیت ثبت و پاسخ فرکانسی DC-18HZ بود. در این دستگاه از کاغذ ۱۲ اینچ عکاسی استفاده شده بود. از دستگاه‌های AR-240 در حدود ۲۰۰ عدد ساخته شد. برخی از مشهورترین شتابنگاشت‌های دنیا نظیر زمین‌لرزه پارک‌فیلد کالیفرنیا ۱۹۶۶، سد کوینا در هند ۱۹۶۷ و سدپاکویما کالیفرنیا ۱۹۷۱ توسط این نوع از دستگاه ثبت گردیدند.

در همان زمان کارشناسان سازمان زمین‌شناسی آمریکا مشغول طراحی نسل جدیدی از دستگاه‌های شتابنگار قدیمی آن سازمان بودند که این کوشش‌ها منجر به ساخت شتابنگار Mark II گردید. ۶ عدد از این نوع شتابنگار ساخته شد، ولی از آنجایی که عملاً در مقابل شتابنگار AR-240 توان رقابت نداشت، تولید آن متوقف گردید (شکل ۲-۶).

همچنین در این سال‌ها شتابنگار MO2 نیز توسط یک گروه از دانشمندان نیوزیلند، طراحی و ساخته شد که در این دستگاه نداشت زمین‌لرزه بر روی فیلم ۳۵ میلیمتری ضبط می‌گردید. تولید این دستگاه که دارای استارتر الکترونیکی بود با حدود یک سوم هزینه دستگاه AR-240 صورت گرفت (شکل ۲-۷).

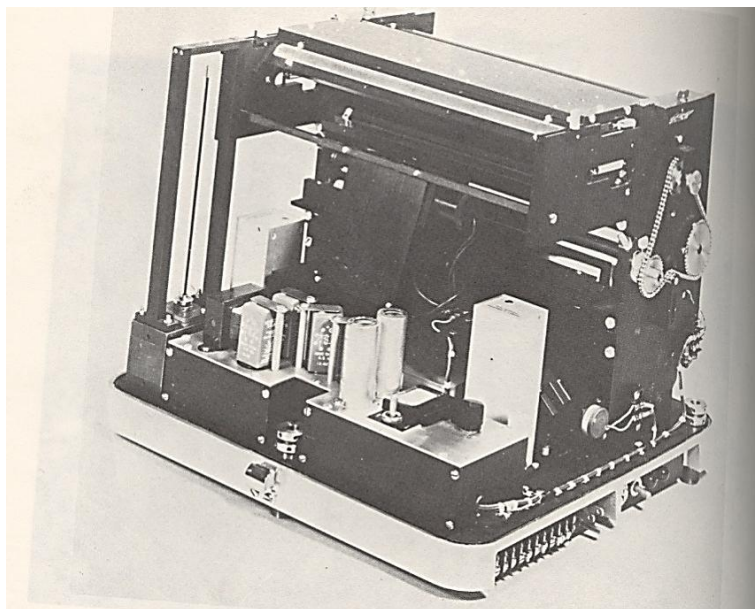
توسعه دستگاه شتابنگار در این سال‌ها در نهایت به تولید مدل RFT250 توسط شرکت تلداین^۱ با نصف هزینه AR240 ختم شد (شکل ۲-۸). در این دستگاه از یک مبدل ساده استفاده و نگاهشت زمین‌لرزه بر روی فیلم ۷۰ میلیمتری ضبط می‌گردید. محصول بعدی این شرکت دستگاه شتابنگار RMT280 بود (شکل ۲-۹) این شتابنگار اولین دستگاه آنالوگ بود که جنبش‌های زمین را بر روی نوار ضبط نمود. در سال ۱۹۶۹ گروهی از کارشناسان دست‌اندرکار تولید دستگاه‌های شتابنگار، کمپانی کینمتریکس^۲ را پایه‌گذاری نمودند که تولیدات این شرکت انقلابی در تولید دستگاه‌های شتابنگار ایجاد نمود.



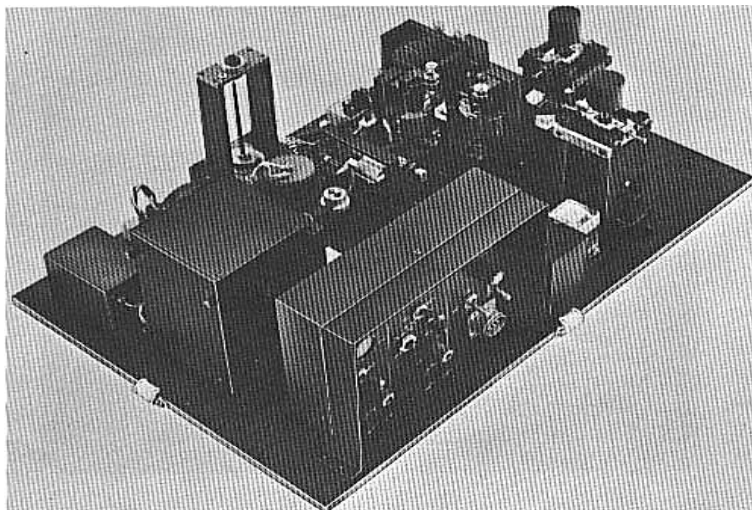
شکل ۲-۸ اولین شتابنگاشت ثبت شده در زمین‌لرزه لانگ‌بیچ ۱۹۳۳ آمریکا (نسخه اصلی) تریفوناک (۲۰۰۹)

^۱ Teledyne Earth Science

^۲ Kinometrics



شکل ۵-۲ نمایی از شنابنگار AR 240



شکل ۶-۲ نمایی از شنابنگار USC&GS MARK II

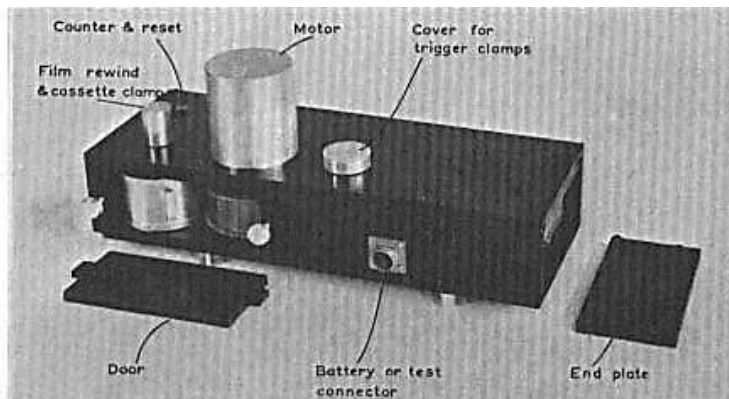
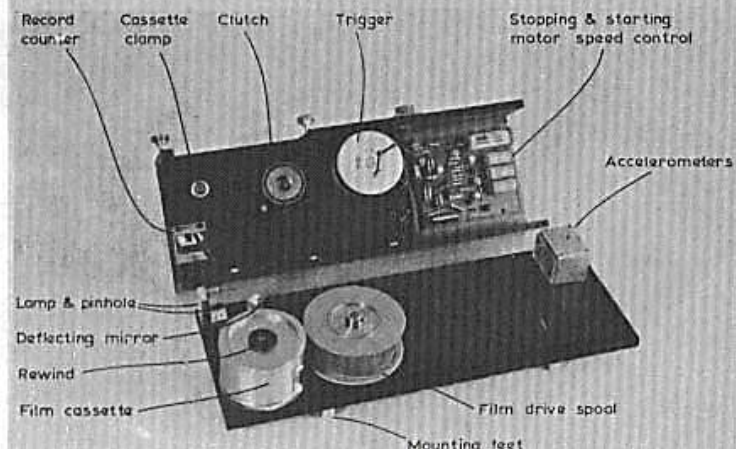
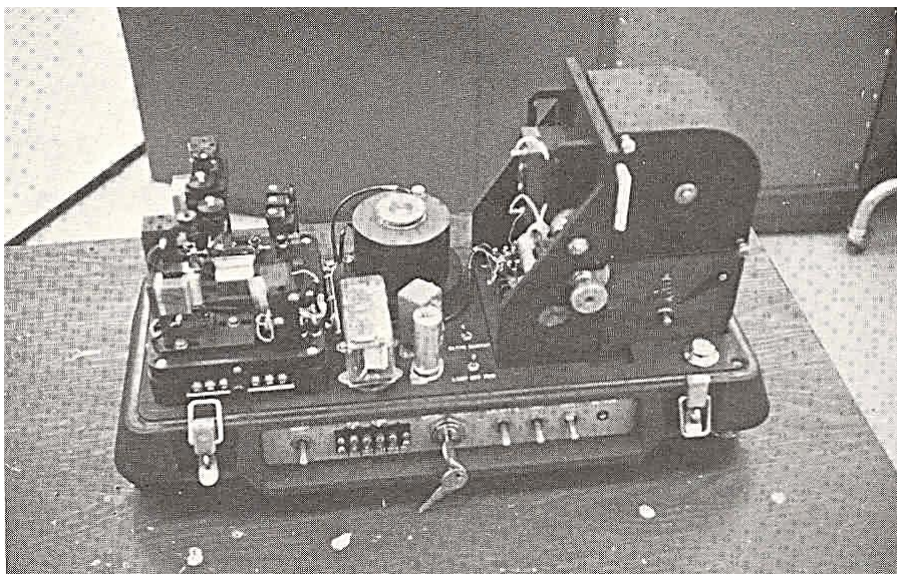


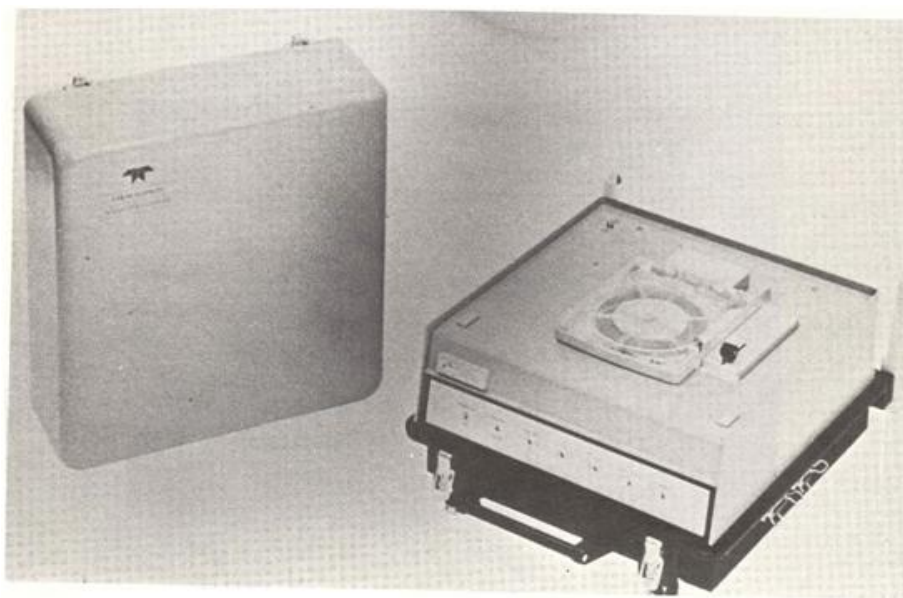
Fig. 1. The accelerograph with door and end plate removed.



شکل ۲-۷ نمایی از شتابنگار MO2 از نیوزیلند



شکل ۸-۲ نمایی از شتابنگار RFT250



شکل ۹-۲ نمایی از شتابنگار RMT280

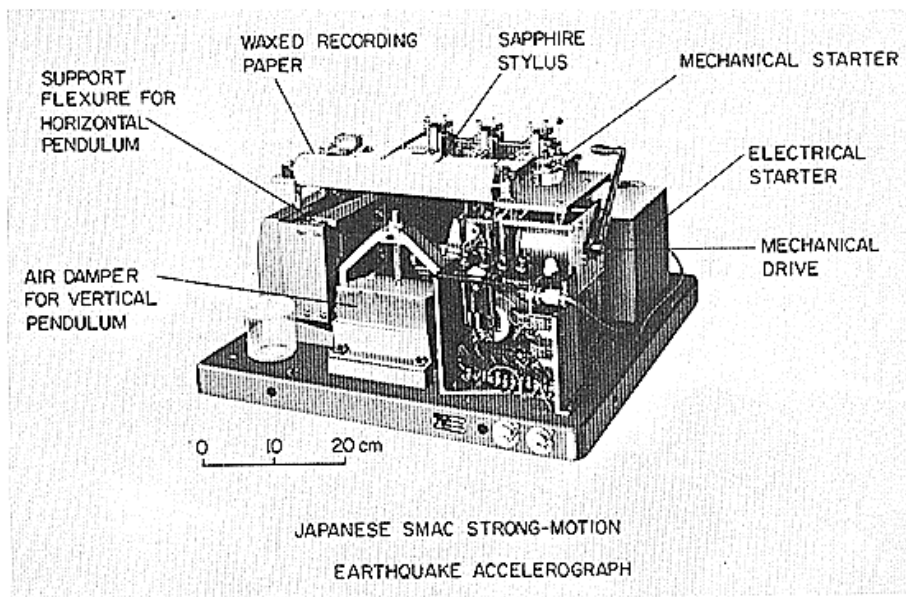
شرکت کینمتریکس به عنوان اولین محصول، دستگاه SMA-1 را در سال ۱۹۷۰ میلادی به بازار عرضه نمود. این دستگاه دارای سیستم ثبت بر روی فیلم ۷۰ میلیمتری به همراه استارتر الکترو دینامیکی عمودی است. از آنجا که در اغلب ایستگاه‌ها امواج عمودی، اولین امواجی هستند که به دستگاه می‌رسند، از این رو استفاده از استارتر عمودی در شتابنگارها سودمند می‌باشد. این نکته از آن پس در تولید دستگاه‌های شتابنگار به کار گرفته شد. دستگاه شتابنگار SMA-1 یکی از پرفروش‌ترین دستگاه‌های شتابنگار ساخته شده در طول تاریخ می‌باشد. شرکت سازنده در حدود ۸۰۰۰ عدد از این دستگاه‌ها را در سراسر دنیا به فروش رساند. نسل‌های بعدی این دستگاه، SMA-2 (با قابلیت ثبت بر روی نوار کاست) و SMA-3 (یک شتابنگار چند کاناله که به طور گسترده در نیروگاه‌های اتمی استفاده گردید) بودند که به بازار عرضه شدند. دستگاه شتابنگار SMA-1 در واقع پایانی بود بر نسل دستگاه‌های شتابنگار که از فیلم و کاست برای ثبت اطلاعات استفاده می‌کردند. این دستگاه‌ها تا اواسط دهه ۹۰ میلادی در بسیاری از کشورها از جمله ایران مورد استفاده قرار گرفتند.

در سال ۱۹۷۵ اولین دستگاه‌های ثبت نوار دیجیتالی وارد بازار گردید. در این سال دستگاه DSA-1 توسط شرکت کینمتریکس برای کاهش نیاز به نیروی انسانی و در جهت تبدیل اطلاعات آنالوگ به دیجیتال طراحی گردید. به موازات فعالیت اندیشمندان آمریکایی، دانشمندان ژاپنی نیز در طراحی و ساخت دستگاه‌های شتابنگار قدم‌های بزرگی برداشتند. در سال ۱۹۵۱ کمیته شتاب جنبش نیرومند زمین در ژاپن تشکیل گردید. این کمیته اولین شتابنگار ژاپنی را طراحی نمود. این شتابنگار که اصطلاحاً SMAC نامیده شد، در اولین کنفرانس مهندسی زلزله در سال ۱۹۵۶ در برکلی معرفی گردید (شکل ۱۰-۲). از مشخصات این دستگاه می‌توان به داشتن میرایی غیر معمول ۱۰۰٪ و قیمت بالای آن اشاره نمود.

در دهه هشتاد میلادی دوران ثبت در حافظه الکترونیکی آغاز و دستگاه شتابنگار A-700 توسط شرکت ژوتک^۱ و دستگاه‌های SSA-1 و SSA-2 توسط شرکت کینمتریکس به بازار عرضه شد. این دستگاه‌ها دارای حافظه الکترونیکی با ۳ یا ۴ کانال ثبت لرزه، ۲۰ دقیقه ظرفیت ثبت داده (A-700, SSA-1) به

^۱ Geotech

همراه پاسخ DC-50HZ و دامنه دینامیکی ۷۷ dB بودند. در اواخر دهه هشتاد میلادی سوئیس‌ها نیز وارد عرضه تولید شتابنگار دیجیتال گردیدند که دستگاه SM-1 در سال ۱۹۸۹ و MR-2002 را در سال ۱۹۹۰ را به بازار عرضه نمودند (شکل ۲-۱۱).



شکل ۲-۱۰ نمایی از شتابنگار ژاپنی SMAC

نسل جدید دستگاه‌های شتابنگار در میانه دهه ۹۰ میلادی به بازار عرضه شد. شتابنگارهایی نظیر K2 (شکل ۲-۱۲) با دامنه دینامیکی ۱۱۴ dB، پاسخ فرکانسی صفر تا ۸۰ هرتز، ۶ مگابایت ظرفیت ثبت داده، شتابنگار Etna (شکل ۲-۱۳) با دامنه دینامیکی ۱۰۸ dB، پاسخ فرکانسی DC-80Hz و قابلیت ثبت شتاب‌هایی با اندازه ۲g (حتی در صورت نیاز ۴g) و ظرفیت ۱۵ تا ۴۰ دقیقه ثبت داده از مشهورترین آن‌ها محسوب می‌شوند. آخرین شتابنگارهای بروز و جدید در فصل پنجم ذکر شده‌اند.



شکل ۱۱-۲ نمایی از شتابنگار سوئیسی MR2002



شکل ۱۲-۲ نمایی از شتابنگار K2



شکل ۱۳-۲ نمایی از شتابنگار Etna

در سالیان اخیر دستگاه‌های شتابنگار با ویژگی‌های منحصر به فردی تولید گردیده‌اند. محدوده دینامیکی فراتر از ۱۵۰ دسی‌بل، حافظه الکترونیکی و کارت‌های حافظه با ظرفیت چند گیگابایت، سیستم‌های ارتباطی پیشرفته نظیر TCP/IP و مودم‌های مخابراتی نسل ۳ و ۴، پروتکل‌های ارتباطی جدید و ویژگی‌های فنی قابل توجه برای مطالعات خاص نظیر رفتارنگاری سدها و ساختمان‌های بلند و پل‌ها از این جمله این ویژگی‌ها هستند. در بخش تجهیزات شبکه ملی شتابنگاری ایران به توضیح این دستگاه‌ها پرداخته شده است.

در حال حاضر معروف‌ترین شرکت‌های تولید کننده دستگاه‌های شتابنگار در کشورهای آمریکا، کانادا، سوئیس و انگلستان قرار دارند. ژاپن، ایتالیا و نیوزلند نیز از کشورهای سازنده این دستگاه‌ها محسوب می‌گردند که عمدتاً نیازهای داخلی خود را تامین می‌نمایند.

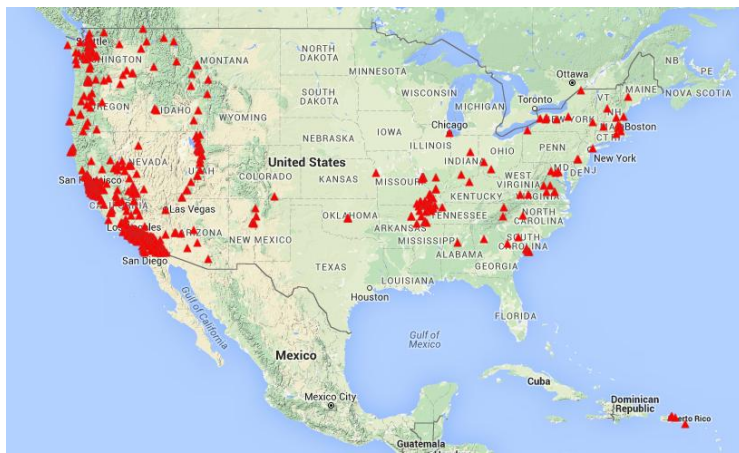
۲-۲- سابقه استقرار شتابنگارها در منطقه و جهان

همانطور که در بخش پیش اشاره شد آمریکا و ژاپن از قدیمی‌ترین کشورها در نصب شتابنگار بوده‌اند و در اواخر دهه ۶۰ میلادی کشور نیوزلند نیز به آن‌ها پیوست. با تولید انبوه دستگاه‌های تجاری در اوایل دهه هفتاد میلادی، کشورهای مختلفی همچون ایران، تایوان، و ترکیه نیز شروع به نصب دستگاه‌های شتابنگار نمودند و تقریباً همزمان در سال ۱۹۷۳ میلادی تعدادی از دستگاه‌های آنالوگ SMA-1 را نصب نمودند. با گذشت زمان کشورهای دیگری همچون ایتالیا، یونان، سوئیس و چین نیز اقدام به نصب این نوع دستگاه‌ها نمودند. اما در اوایل دهه ۹۰ میلادی با تولید شتابنگارهای دیجیتال، سیر صعودی نصب و راه‌اندازی دستگاه‌های شتابنگار بصورت شبکه آغاز گردید که در ادامه به معرفی مهمترین شبکه‌های شتابنگاری موجود در دنیا پرداخته شده است.

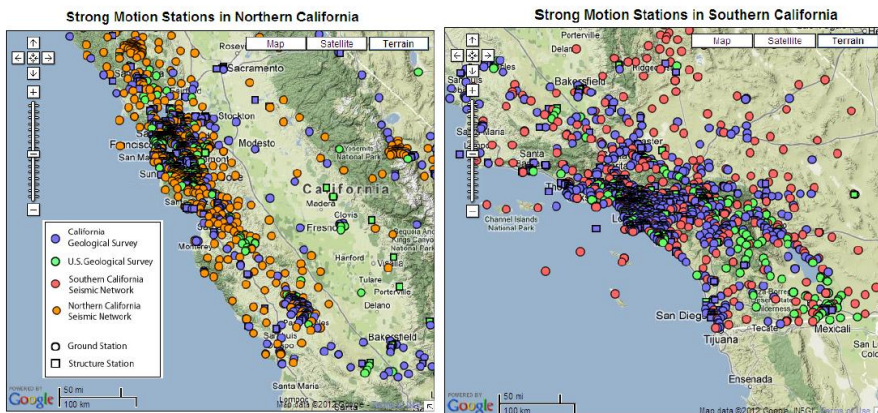
۲-۲-۱- شبکه شتابنگاری آمریکا

کشور آمریکا از نظر لرزه‌خیزی با توجه به وسعت آن از وضعیت مطلوبی برخوردار است و بر خلاف ایران که تقریباً تمامی پهنای آن لرزه خیز است (به غیر از قسمت‌های محدودی)، در اکثر مناطق خود از لرزه خیزی پایینی برخوردار است و بیشترین زون لرزه‌زا در آمریکا محدود به غرب آمریکا و ایالت کالیفرنیا و

همچنین قسمت کوچکی در شرق و مرکز آمریکا است. هم اکنون در آمریکا بیش از ۲۵۰۰ دستگاه شتابنگار نصب شده است که ۱۲۱۴ از آن‌ها در شبکه ملی شتابنگاری آمریکا^۱ و توسط اداره می‌گردد که در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است و ۱۱۸۰ ایستگاه نیز توسط سازمان زمین شناسی کالیفرنیا اداره میشود که در شکل ۲-۱۵ نشان داده است. همچنین حدود ۴۶۰ دستگاه نیز در ساختمان‌ها نصب شده است (CGS,USGS,FDSN).



شکل ۲-۱۴ شبکه ملی شتابنگاری ایالات متحده آمریکا (USGS)

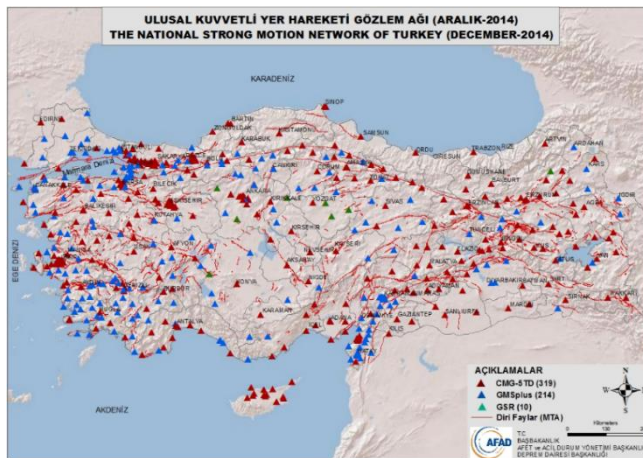


شکل ۲-۱۵ شبکه شتابنگاری کالیفرنیا (CGS)، کالیفرنیا جنوبی (راست) و کالیفرنیا شمالی (چپ) برگرفته از CISM

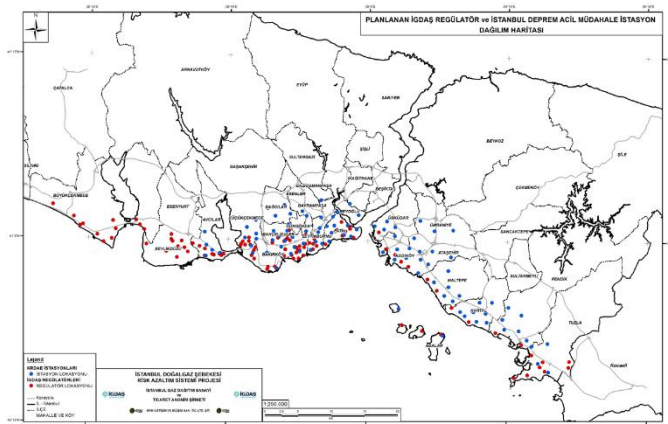
^۱ NSMP

۲-۲-۲- شبکه شتابنگاری ترکیه

در ترکیه ۵۴۳ ایستگاه شتابنگاری ملی وجود دارد که در شکل ۲-۱۶ نشان داده شده است و ۳۳۰ ایستگاه نیز برای سامانه پاسخ سریع و هشدار سریع در شهر استانبول وجود دارد که در شکل ۲-۱۷ نشان داده شده است. برنامه این کشور تا سال ۲۰۱۸ نصب ۸۰۰ دستگاه شتابنگار دیگر برای شبکه کشوری می‌باشد.



شکل ۲-۱۶ شبکه شتابنگاری کشوری ترکیه. شتابنگارهای مختلف توسط مثلث و با رنگ مجزا شده‌اند (برگرفته از سایت شبکه شتابنگاری ترکیه <http://kyhdata.deprem.gov.tr>)

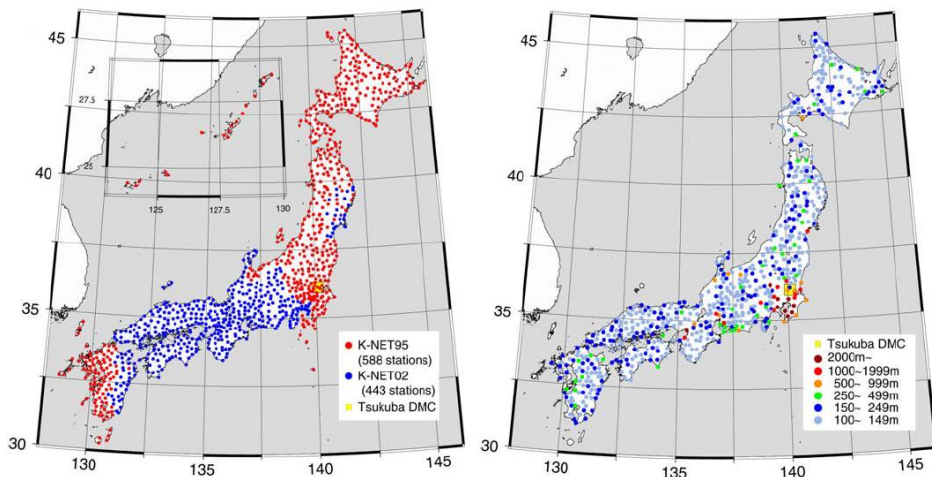


شکل ۲-۱۷ شبکه شتابنگاری استانبول ترکیه. نقاط آبی رنگ شبکه پاسخ سریع و نقاط قرمز رنگ شبکه شتابنگاری هشدار سریع در جا برای قطع سیوهای اصلی شبکه گاز ترکیه می‌باشند (برگرفته از <http://www.koeri.boun.edu.tr>)

یک سامانه هشدار ناحیه-ای نیز برای کل شهر نصب شده است که شامل ۱۳ دستگاه شتابنگار که در طول ساحل شمالی دریای مرمهره قرار گرفته‌اند که به‌عنوان بخشی از سامانه هشدار سریع و واکنش سریع استانبول عمل می‌کنند.

۲-۲-۳- شبکه شتابنگاری ژاپن

سابقه نصب شبکه شتابنگاری در ژاپن به دهه ۱۹۵۰ میلادی بر می‌گردد که توسط آژانس هواشناسی ژاپن^۱ شروع و سپس توسط موسسه تحقیقات ساختمان^۲ در این کشور ادامه یافت. نسل جدید شبکه موجود در ژاپن توسط موسسه تحقیقات ملی علوم زمین و پیشگیری بحران^۳، شامل ۸۰۰ ایستگاه سرعت سنج با حساسیت بالا (Hi-net)، ۶۶۹ شتابنگار درون‌چاهی و هم سطح توامان (KiK-net) و ۱۰۳۴ دستگاه شتابنگار سطحی (K-net) اداره می‌شود.



شکل ۲-۱۸ شبکه شتابنگاری ژاپن. شبکه KIK-Net (سمت راست) که رنگ‌ها بیانگر عمق نصب دستگاه‌های درون‌چاهی را نشان می‌دهد. شبکه K-Net (سمت چپ) برگرفته از سایت شبکه شتابنگاری ژاپن

نکته قابل توجه برای شتابنگارهای درون‌چاهی، عمق نصب سنسور آن است که از حداقل ۱۰۰

^۱ Japan Meteorological Agency, JMA

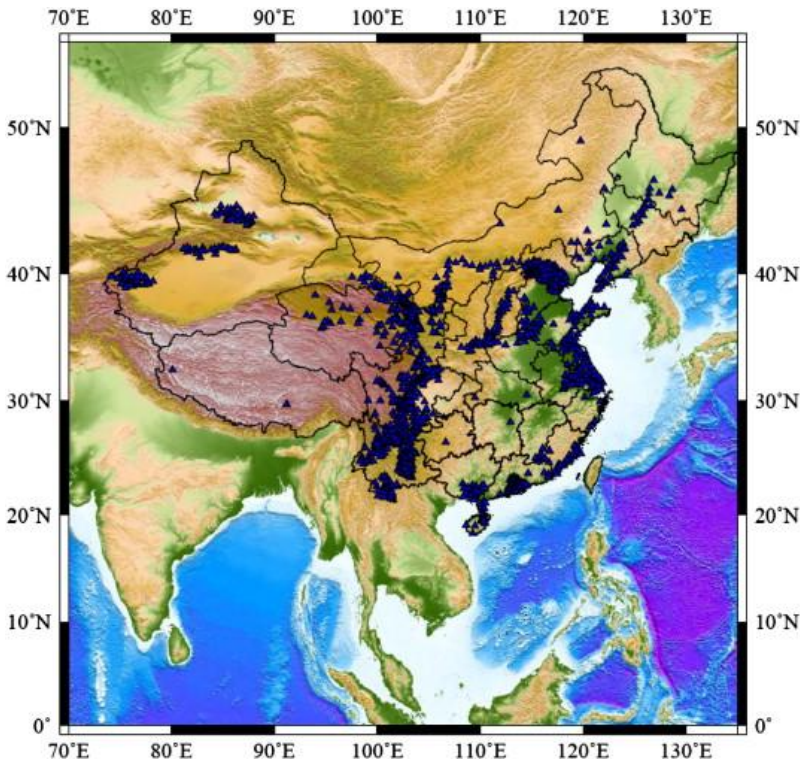
^۲ Building Research Institute, BRI

^۳ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention NIED

متر تا ۲۰۰۰ متر متغیر است که تاثیر اثر خاک بر روی نگاشت را به حداقل می‌رساند. همچنین ۲۰۰ شتابنگار نیز توسط آژانس هواشناسی ژاپن اداره میشود. در شکل ۲-۱۸ توزیع دستگاهی شتابنگارها در ژاپن نشان داده شده است.

۲-۲-۴- شبکه شتابنگاری چین

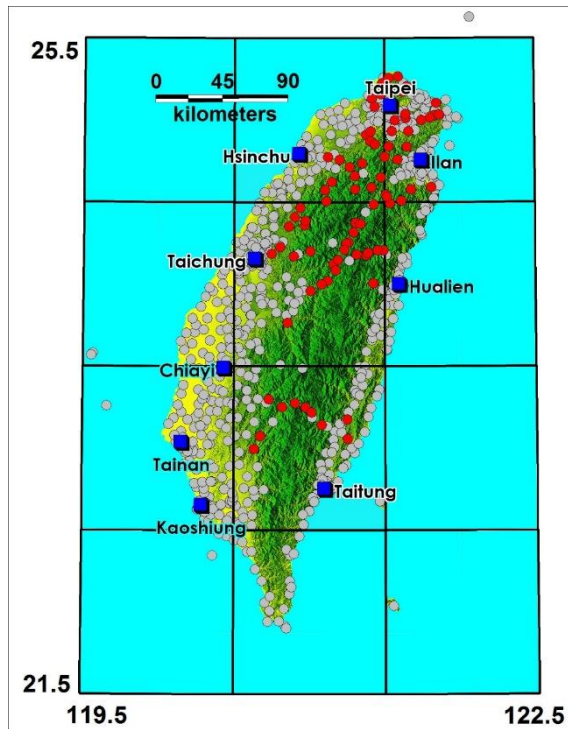
شبکه شتابنگاری در کشور چین با ۱۱۵۴ دستگاه فعال می‌باشد که در شکل ۲-۱۹ نشان داده شده است. برنامه این کشور تا سال ۲۰۲۰ میلادی نصب ۹۰۰۰ ایستگاه جهت پوشش کافی برای شبکه پاسخ سریع و هشدار سریع می‌باشد که در صورت موفقیت میتواند به عنوان بهترین شبکه از منظر کمیت شناخته شود.



شکل ۲-۱۹ شبکه شتابنگاری چین (ون و همکاران، ۲۰۱۴)

۲-۲-۵- شبکه شتابنگاری تایوان

کشور تایوان دارای حدود ۸۰۹ ایستگاه شتابنگاری می‌باشد که در شکل ۲-۲۰ نشان داده شده است. از این تعداد ۱۱۰ ایستگاه بصورت برخط (آنلاین)، ۵۷ ایستگاه در ساختمان‌ها و ۷۵ ایستگاه در کوهستان-های تایوان نصب شده‌اند. همچنین در این شبکه ۱۷ دستگاه بصورت درون چاهی نصب شده‌اند.

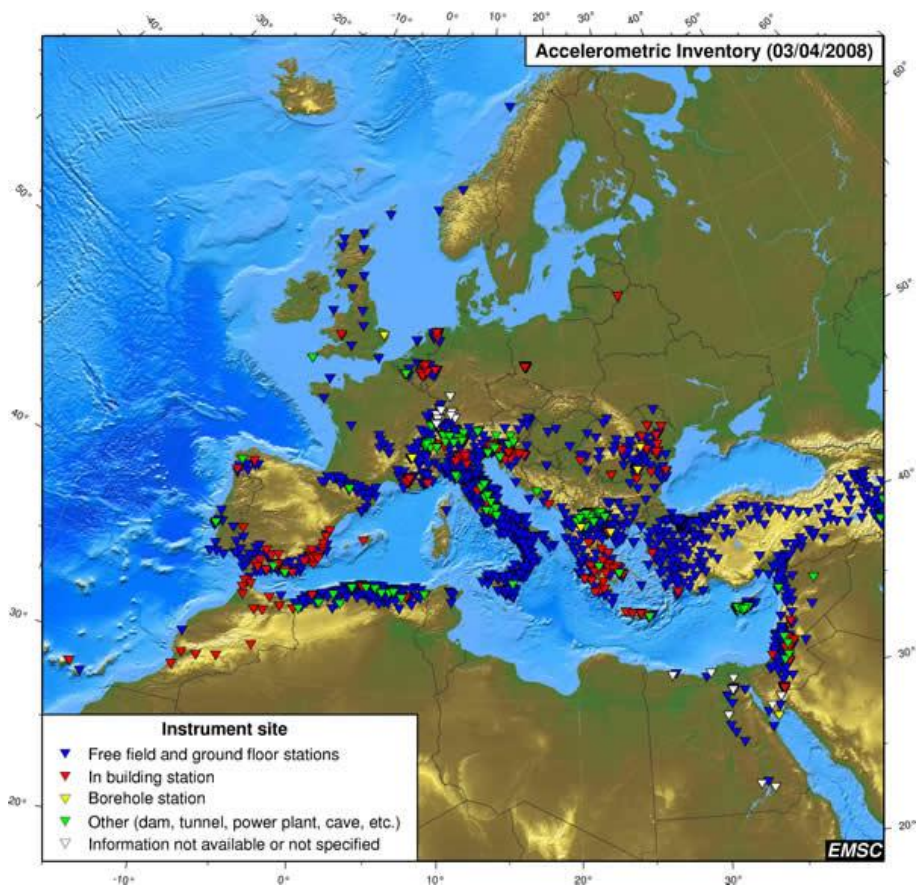


شکل ۲-۲۰ شبکه شتابنگاری تایوان، دایره‌های قرمز نشان دهنده ایستگاه‌های کوهستانی میباشند (برگرفته از سایت شبکه شتابنگاری تایوان).

۲-۲-۶- شبکه‌های شتابنگاری در اروپا

در کشورهای اروپایی بدلیل تمرکز میزان لرزه‌خیزی در تعداد کمی از کشورها، پراکندگی دستگاه‌های شتابنگار صرفا در برخی از کشورها همچون ایتالیا، یونان، سوئیس و رومانی از تراکم بالایی برخوردار بوده و در برخی از کشورها همچون فرانسه، پرتغال، بلژیک، هلند و اسلونی بطور ناحیه‌ای و در قسمت‌های لرزه‌خیز نصب شده‌اند.

در شکل ۲-۲۱ توزیع دستگاه‌های شتابنگار در اروپا در سال ۲۰۰۸ میلادی نشان داده شده است. در بین این کشورها تا سال ۲۰۱۵ میلادی، کشور ترکیه با دارا بودن ۷۷۳ ایستگاه و ایتالیا با ۵۲۸ ایستگاه دارای بیشترین پراکندگی می‌باشند. کشور رومانی نیز با داشتن ۱۱۹ ایستگاه شتابنگاری نیز از دیگر کشورهای فعال در زمینه شتابنگاری می‌باشد. همچنین همانطور که در شکل ۲-۲۱ مشخص است در کشورهای شمال آفریقا نیز الجزایر با دارا بودن ۱۶۵ ایستگاه دارای بیشترین ایستگاه می‌باشد. همچنین از دیگر شبکه‌های شتابنگاری در دنیا میتوان به شبکه نیوزلند با ۲۷۰ ایستگاه آنلاین، هند با ۳۰۰ ایستگاه و یونان با ۲۰۰ ایستگاه اشاره نمود.



شکل ۲-۲۱ پراکندگی دستگاه‌های شتابنگاری در اروپا در سال ۲۰۰۸ میلادی برگرفته از سایت مرکز لرزه‌نگاری اروپا

فصل سوم

تاریخچه شتابنگاری در ایران

۳-۱- مرحله اول فعالیت - شبکه آنالوگ (۱۳۵۲-۱۳۷۲)

آغاز مطالعات جنبش نیرومند زمین در ایران به ابتدای دهه پنجاه خورشیدی باز می‌گردد. رویداد زمین‌لرزه‌های متعدد در بومین زهرا ۱۳۴۱ (۱۹۶۲ میلادی) با بزرگای ۷، زمین‌لرزه دشت بیاض ۱۳۴۷ (۱۹۶۸ میلادی) با بزرگای ۷/۳، زمین‌لرزه قیر-کارزین ۱۳۵۱ (۱۹۷۲ میلادی) با بزرگای ۷/۱ باعث جلب توجه محققین خارجی از کشورهای اروپایی و ژاپن به مقوله زمین‌لرزه در ایران و اثرات دهشتناک آن شد. همان‌گونه که در تاریخچه شتابنگاری در دنیا ارائه شد، همواره تلاش‌ها و کوشش‌های فردی محققین علاقمند، نقش مهم و به سزایی در ایجاد و تحول در علوم داشته است. کوشش‌های دکتر سایه هیروی ژاپنی و دکتر فریمن امریکایی منجر به ساخت دستگاه شتابنگار در ابتدای دهه سی میلادی شد. در ایران نیز می‌توان از افرادی نام برد که نقشی تعیین کننده در پی ریزی و ایجاد شبکه ملی شتابنگاری ایران داشتند. البته فضای علمی و مهندسی ایران در اواخر دهه چهل و پنجاه خورشیدی قابل قیاس با فضای امروزی نبوده است و مسلماً مسیر ایجاد یک شبکه اندازه‌گیری جنبش نیرومند زمین در ایران، مسیری سخت و مملو از موانع گوناگون بوده است. در ایجاد و توسعه شبکه شتابنگاری در ایران از مهندس علی اکبر معین‌فر (شکل ۳-۱) می‌توان نام برد که نقش مهم و تاثیرگذاری داشته است. وی پس از تحصیل در دانشگاه واسدا^۱ در ژاپن در رشته مهندسی زلزله، در دفتر فنی سازمان برنامه و بودجه مشغول به کار شد و شروع کننده تدوین بسیاری از آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های فنی بوده و پیش‌نویس اولین آیین‌نامه زلزله برای ایران را در سال ۱۳۴۳ تهیه نمود. علاوه بر استاندارد ۵۱۹ که شاید قدیمی‌ترین

^۱ Waseda University

دستورالعمل فنی در صنعت ساختمان ایران باشد، تدوین آیین‌نامه بتن ایران (آبا) در زمان تصدی ایشان در سازمان شروع شد. از مهم‌ترین خدمات بنیادی ایشان در علم مهندسی زلزله به کشور ایران را می‌توان ایجاد شبکه ملی شتابنگاری در سال ۱۳۵۲ خورشیدی در دفتر فنی سازمان برنامه و بودجه وقت را ذکر کرد. وی به درستی دریافته بود که ابزار اساسی برای پیشبرد اهداف مهندسی زلزله در کشور و تدوین یک آیین‌نامه مناسب برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زمین‌لرزه داده‌های بدست آمده از دستگاه‌های شتابنگاری می‌باشد، لذا تمام سعی و تلاش خود را معطوف اقناع مدیران مسئول برای اختصاص بودجه به این مهم نمود.



شکل ۱-۳ مهندس علی اکبر معین‌فر، مؤسس شبکه شتابنگاری ایران

فرد دیگری نیز که در این مسیر یاری‌رسان مهندس معین‌فر بوده است، پروفسور نیکلاس آمبرسیز^۱ بود، که در ایران به واسطه تحقیقات ارزشمندش در زمینه مطالعه زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران به همراه پروفسور چارلز ملویل^۲ (کتاب تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران) شهره است، همچنین مجموعه تحقیقات وی در زمینه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در منطقه خاورمیانه و اروپا بسیار مفصل و ارزشمند است (شکل ۲-۳).

^۱ Nicholas Neocles Ambrasys

^۲ Charles Melville



شکل ۲-۳-۲ پروفیسور نیکلاس آمبرسیز (۱۹۲۹-۲۰۱۲ میلادی)

پس از زمین‌لرزه مخرب قیر کارزین در سال ۱۳۵۱ (۱۹۷۲ میلادی) پروفیسور آمبرسیز دو دستگاه شتابنگار SMA-1 از سوی کالج سلطنتی لندن به ایران ارسال و تعدادی از پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه قیر-کارزین توسط این دستگاه‌ها ثبت شد. این دو دستگاه بعدها در زمین‌لرزه‌ای که در کشور پاکستان روی داد نیز مورد استفاده قرار گرفت.

در سال ۱۳۵۲ پس از تغییراتی که در ساختار سازمان برنامه ایجاد گردید، چند مدیریت جدید مانند دفتر فنی، مهندسین مشاور، دفتر پیمانکاران و مدیریت تحت عنوان دفتر استانداردها و تحقیقات فنی تشکیل گردید که مسئولیت دفتر یاد شده به مهندس معین فر محول گردید. ایشان با شرط ادامه تحقیقات در مورد زمین‌لرزه این مسئولیت را پذیرفت و مقدمات تشکیل شبکه شتابنگاری را در این راستا آغاز نمود. با تخصیص بودجه از محل اعتبارات منابع آب، تعداد ۶ دستگاه شتابنگار آنالوگ SMA-1 که در سال ۱۹۶۹ میلادی طراحی و تولید شده بود، وارد کشور شد که مقدمه‌ای برای آغاز تشکیل شبکه ملی شتابنگاری بود.

خرید و واردات دستگاه‌های شتابنگار SMA-1 به تدریج ادامه پیدا کرد و تا پیروزی انقلاب اسلامی این تعداد به ۳۳۰ دستگاه رسید. نصب دستگاه‌های شتابنگار به دلیل وسعت ایران، لرزه‌خیزی بالا و تعداد کم

دستگاه‌ها، از معیار مشخصی برخوردار نبود. نگاهی به نقشه توزیع دستگاه‌های شتابنگار و اسامی محل نصب دستگاه‌ها در نقاط مختلف کشور، نشان‌دهنده در نظر گرفتن وسعت، جمعیت و سابقه لرزه‌خیزی تاریخی در نصب دستگاه‌های شتابنگار است.

عمده دستگاه‌های SMA-1 در مراکز شیر و خورشید سابق که به نوعی مراکز امداد در مواقع بحران‌های طبیعی نیز بوده نصب گردیدند. مدارس، بخش‌داری‌ها و تعدادی از فرمانداری‌ها نیز در این میان میزبان دستگاه‌های شتابنگار بودند. تمامی دستگاه‌ها در داخل ساختمان‌ها نصب شده بودند که البته اکثریت قریب به اتفاق ساختمان‌ها یک طبقه بودند. دستگاه‌های شتابنگاری SMA-1 دستگاه‌های مکانیکی بودند که حرکت زمین را در سه جهت عمود بر هم بر روی فیلم ۷۰ میلی متری ثبت می‌کردند. این دستگاه‌ها قادر به ثبت جنبش‌های نیرومند زمین حداکثر تا میزان ۱ برابر شتاب ثقل زمین بودند. نصب دستگاه‌های شتابنگار SMA-1 بسیار ساده بوده و تنظیم دستگاه برای آماده به کار بودن زمان چندانی را نیاز نداشت.

اولین دستگاه شتابنگار در حرکتی نمادین و به یاد دانشمند ایرانی، بوعلی سینا، در آرامگاه وی در شهر همدان در تاریخ ۱۳۵۲ نصب و راه‌اندازی شد. اما اولین رکورد ثبت شده توسط شبکه ملی شتابنگاری ایران در ایستگاه جهرم در استان فارس در فاصله حدود ۹۰ کیلومتری از مرکز زمین‌لرزه به ثبت رسید. این رکورد که در بانک اطلاعاتی شبکه ملی شتابنگاری با شماره ۱۰۰۱ نمایه گردیده است، در اثر زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۴/۹ در تاریخ ۲۵ آذر ۱۳۵۲ و با شتابی در حدود ۲۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه ثبت شد. شکل ۳-۴، تاریخچه زمانی این شتابگاشت را نشان می‌دهد. با اینکه اولین رکورد در ایستگاه جهرم به ثبت رسید، ولیکن اولین شتابگاشت با شتابی افزون بر ۱۰۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه در ایستگاه بندر عباس در تاریخ ۱۶ اسفند ۱۳۵۳، در اثر زمین‌لرزه سرخون در حدود ۱۲۴ سانتی متر بر مجذور ثانیه به ثبت رسید. بزرگای این زمین‌لرزه ۶/۱ و ایستگاه بندرعباس در فاصله ۳۶ کیلومتری مرکز زمین‌لرزه قرار داشته است. شکل ۳-۵ تاریخچه زمانی این شتابگاشت را به نمایش می‌گذارد.

روند رو به رشد ثبت زمین‌لرزه‌ها توسط شبکه شتابنگاری همزمان با توسعه شبکه در طول سالیان بعد از آغاز به کار ادامه داشته به طوری که در سالهای ۱۳۵۲ تا ۱۳۵۸ به ترتیب ۲، ۴، ۲۵، ۲۹، ۷۳، ۸۷ شتابگاشت

به ثبت رسید. در این فاصله زمانی زمین‌لرزه‌های مهمی توسط دستگاه‌های شتابنگار شبکه ثبت گردید که برخی از آن‌ها از مهم‌ترین شتابنگاشت‌های عصر خود محسوب شده و تعدادی مانند رکورد ثبت شده از زمین‌لرزه اصلی در شهر طبرس در زمین‌لرزه ۱۳۵۷ هنوز هم به عنوان یکی از شاخص‌ترین رکوردهای شتابنگاشتی دنیا محسوب می‌گردد. در سال ۱۳۶۰ خورشیدی شبکه شتابنگاری که تا آن زمان در دفتر فنی سازمان برنامه و بودجه فعالیت می‌نمود از این سازمان جدا شده و با توجه به مذاکرات صورت گرفته از سوی مدیران ارشد آن سازمان و وزارت مسکن این مجموعه با تمامی تجهیزات و پرسنل به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن منتقل و مقدمات شکل‌گیری بخشی تحت عنوان مهندسی زلزله با محوریت شبکه شتابنگاری فراهم گردید.

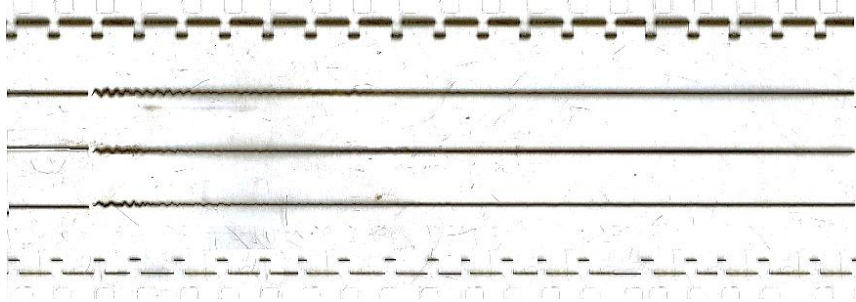


شکل ۳-۳ دکتر پاکدامن، بنیانگذار مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، چهلمین سالگرد تاسیس مرکز، اسفند ۱۳۹۳

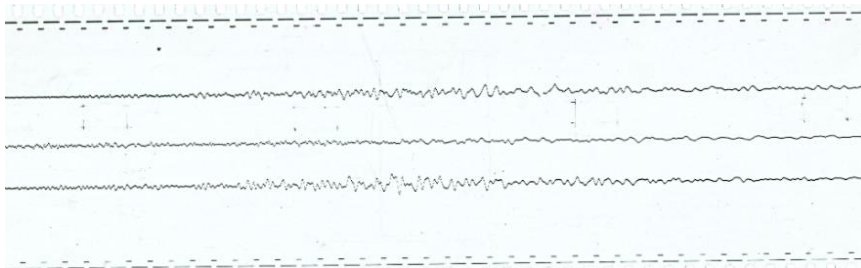
لازم بذکر است که ایده تاسیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در اوایل دهه ۵۰ خورشیدی به دنبال وقوع زمین‌لرزه دشت‌بیاض و فردوس در سال ۱۳۴۷ و تلفات دوازده هزار نفری آن شکل گرفت. این مطلب از سوی دکتر ناصر پاکدامن، بنیانگذار این مرکز در مراسم چهلمین سالگرد تاسیس مرکز در اسفندماه ۱۳۹۳ مطرح شد (شکل ۳-۳). اساسنامه مرکز در سال ۱۳۵۶، به تصویب مجلس رسید و از آن زمان مرکز دارای شخصیت سازمانی مستقل گردید. در سال ۱۳۶۰ شبکه ملی شتابنگاری با تمامی افراد و تجهیزات از دفتر فنی سازمان برنامه و بودجه منفک و براساس مذاکرات صورت گرفته با وزیر وقت مسکن، کل مجموعه به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن منتقل گردید.

این مجموعه در قالب بخشی تحت عنوان مهندسی زلزله شامل شبکه شتابنگاری، بخش سازه و بخش

خاک و پی، فعالیت خود را ادامه دادند که در سال ۱۳۷۹ بخش‌های سازه و خاک و پی از بخش مهندسی زلزله جدا شدند و ماهیت مستقلی پیدا کردند. در این سال با توجه به اهمیت موضوع وقوع زمین‌لرزه، شبکه شتابنگاری به صورت بخش مستقلی ایجاد گردید و وظیفه کنترل، نگهداری و توسعه کمی و کیفی شبکه ملی شتابنگاری به منظور ثبت و پایش زمین‌لرزه‌های کشور، گردآوری شتابنگاشت‌ها و اطلاعات حاصل از حرکات قوی زمین و تهیه بانک اطلاعات شتابنگاشتی مورد نیاز کلیه کارهای پژوهشی مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی مهندسی جهت استفاده در تدوین دستورالعمل‌ها، آئین‌نامه‌ها و مقررات ملی مرتبط با زمین‌لرزه و استاندارد ۲۸۰۰ به این بخش واگذار گردید.



شکل ۴-۳ اولین شتابنگاشت ثبت شده در زمین‌لرزه ۲۵ آذر ۱۳۵۲، جهرم



شکل ۵-۳ اولین شتابنگاشت مهم ثبت شده در زمین‌لرزه سرخون بندرعباس، ۱۶ اسفند ۱۳۵۳

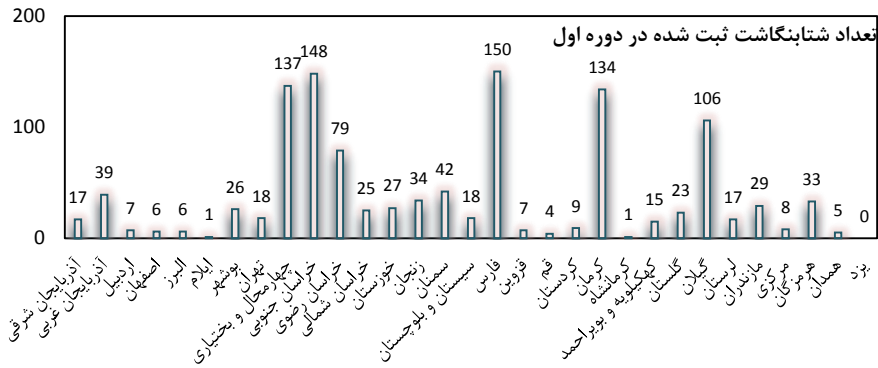
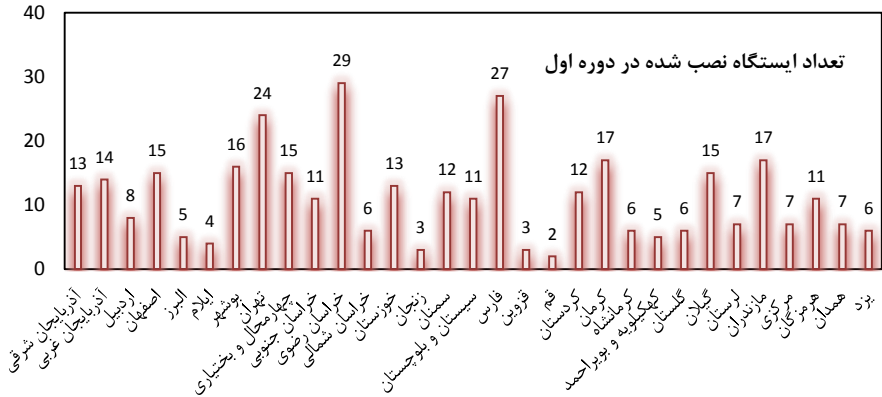
۳-۱-۱- ایستگاه‌های شبکه

همانگونه که ذکر شد مجموع دستگاه‌های شتابنگار SMA-1 که به ایران وارد و در شبکه ملی شتابنگاری نصب گردید، به ۳۳۰ دستگاه در اوج خود رسید. در مجموع حدود ۴ درصد از کل دستگاه‌های شتابنگار

SMA-1 تولیدی شرکت کینمتریکس^۱ به ایران فروخته شد. متأسفانه همزمان با پیروزی انقلاب و سالهای آغازین جنگ تحمیلی عراق به ایران، مشکلات متعددی در مسیر تامین اقلام مهم مورد نیاز این دستگاهها به وجود آمد، که مهم‌ترین آنها کمبود فیلم‌های مخصوص ۷۰ میلیمتری این دستگاهها بود، که ساخت شرکت کداک بود. همچنین نبود باتری‌های دستگاه‌های شتابنگار در مقاطعی به حدی مشکل آفرین شده بود که از باتری‌های موتور سیکلت برای این منظور استفاده گردید.

بررسی بانک اطلاعاتی شبکه ملی شتابنگاری نشان می‌دهد که بیشترین دستگاه‌های شتابنگار SMA-1 در استان خراسان رضوی با ۲۹ ایستگاه و کمترین آن در استان قم با ۲ دستگاه نصب بوده‌اند. ایستگاه شتابنگاری ناغان در استان چهارمحال و بختیاری با ثبت بیش از ۹۵ شتابنگاشت، بیشترین تعداد شتابنگاشت‌ها را در میان ایستگاه‌های شبکه آنالوگ در فاز اول فعالیت شبکه دارا بوده است. پس از آن بیشترین شتابنگاشت در ایستگاه طیس با ۷۳ شتابنگاشت ثبت شده است. حداکثر شتاب در میان شتابنگاشت‌های ثبت شده از دستگاه‌های SMA-1 در ایستگاه طیس در زمین لرزه ۱۳۵۷ طیس با شتابی در حدود ۸۹۸ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه بوده است. دستگاه‌های شتابنگار SMA-1 تا سال ۱۳۸۴ در شبکه ملی شتابنگاری ایران فعالیت کرده و در این سال با جمع‌آوری آخرین این دستگاهها که به ۳۰ دستگاه بالغ می‌شدند، دوران فعالیت پر فراز و نشیب این دستگاهها در شبکه ایران به پایان رسید. شکل ۳-۶، شکل ۳-۷، جدول ۳-۱ و جدول ۳-۲، اطلاعات مربوطه به هر استان و ایستگاه‌های شتابنگاری در فاز اول فعالیت شبکه را نشان می‌دهد.

^۱ Kinematics



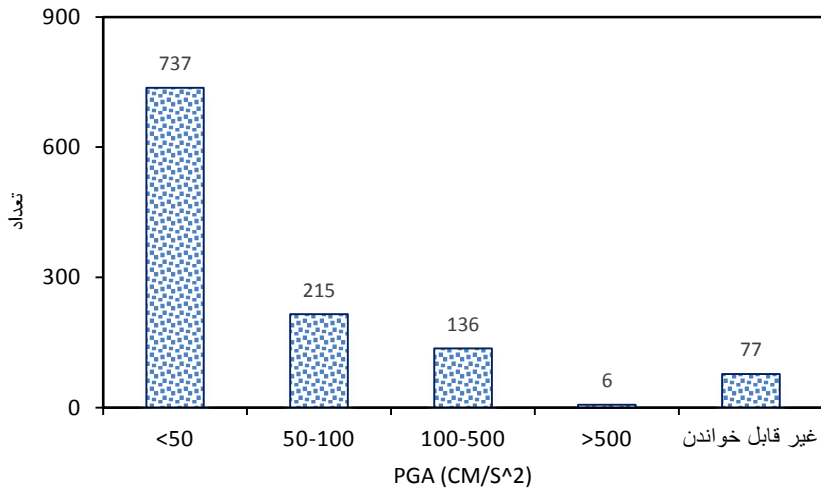
شکل ۳-۶ تعداد دستگاه‌های نصب شده (بالا) و تعداد شتابنگاشت ثبت شده (پایین) به تفکیک استانی در فاز اول توسعه شبکه

جدول ۳-۱ فراوانی شتابنگاشت‌های ثبت شده در دوران اول و حداکثر شتاب ثبت شده در ایستگاه‌های لرزه‌خیز

نام ایستگاه	استان	تعداد شتابنگاشت	بیشینه شتاب ثبت شده (cm/s/s)
ناغان	چهارمحال و بختیاری	95	872
طبس	خراسان جنوبی	73	898
گلباف	کرمان	63	321
رودبار ۲	گیلان	43	329
سیرچ	کرمان	34	750
آب بر	زنجان	31	635
شلمزار	چهارمحال و بختیاری	22	349
گرمسار	سمنان	20	138
لارقدیم	فارس	20	155
فرانشیند	فارس	19	95
منجیل	گیلان	19	415
کنارتخته	فارس	18	73
وندیک	خراسان جنوبی	16	545
سده	خراسان جنوبی	14	87
دوگنبدان	کهگیلویه و بویراحمد	14	158
کازرون	فارس	13	122
سد سفیدرود ۱	گیلان	13	445
دیپوک	خراسان جنوبی	12	411
گیفان	خراسان شمالی	12	138
آغاچاری	خوزستان	12	112
اردل	چهارمحال و بختیاری	11	225
کاشمر	خراسان رضوی	11	83
قیر	فارس	11	290
خوی	آذربایجان غربی	10	56
برازجان	بوشهر	10	215
بندرعباس ۱	هرمزگان	10	161

جدول ۳-۲ حداکثر شتاب ثبت شده در دوران اول فعالیت شبکه ملی شتابنگاری

نام ایستگاه	استان	بیشینه شتاب (cm/s/s)	تاریخ رویداد
طبس	خراسان جنوبی	898	1357/06/25
ناغان	چهارمحال و بختیاری	872	1356/01/17
سیرج	کرمان	750	1376/12/23
آب بر	زنجان	635	1369/03/30
وندیک	خراسان جنوبی	545	1355/08/18
میمند	فارس	503	1373/03/30



شکل ۳-۷ فراوانی شتاب‌های ثبت شده در دوره اول فعالیت شبکه ملی شتابنگاری

۳-۱-۲- تجهیزات دستگاهی

۳-۱-۲-۱- دستگاه شتابنگار SMA-1

بدنه اصلی تجهیزات شبکه ملی شتابنگاری در حد فاصل سالهای ۱۳۵۲ تا ۱۳۷۲ را یکی از مشهورترین دستگاه‌های شتابنگار دنیا به نام دستگاه شتابنگار SMA-1 (شکل ۳-۸) تشکیل می‌داد. این دستگاه شتابنگار که محصول شرکت کینمتریکس در آمریکا می‌باشد، در سال ۱۹۶۹ میلادی طراحی و در سال ۱۹۷۰ وارد بازار جهانی گردید. بنا به گزارش‌ها بیش از ۸۰۰۰ دستگاه از این شتابنگار در سراسر دنیا نصب بوده و از این منظر یکی از منحصر به فردترین دستگاه‌های شتابنگار تاریخ می‌باشد.

این دستگاه از مشهورترین دستگاه‌های شتابنگار با تکنولوژی نوری - فیلمی بود که در واقع جزء آخرین نسل این گونه دستگاه‌ها در آمریکا نیز محسوب می‌گردید. در حقیقت از زمان تولید دستگاه‌های شتابنگار در سال ۱۹۳۲ میلادی، SMA-1 چهارمین نسل دستگاه‌های شتابنگار بود. این دستگاه در مقایسه با دستگاه AR-240 که حدود ۲۵ کیلوگرم وزن داشت، تنها حدود ۱۲ کیلوگرم وزن داشت. این دستگاه دارای ساختاری ساده و در عین حال پیشرفته بود و در صورت تنظیم صحیح، از دقت بالایی در ثبت جنبش‌های زمین برخوردار بود. دستگاه شتابنگار SMA-1 که با باتری نیز کار می‌کرد، دارای سه سنسور عمود بر هم بوده که جنبش نیرومند زمین را بر روی فیلم ۷۰ میلیمتری ثبت می‌کرده است. باتری‌ها در داخل جعبه آلومینیومی قرار داشته و می‌توانست دستگاه را بدون شارژ مجدد تا چند ماه (حدود ۶ ماه در صورت سالم بودن و شرایط طبیعی) راه‌اندازی کند. ابعاد مناسب این دستگاه (۸×۸×۱۴ اینچ) باعث شده بود تا این دستگاه انتخاب مناسبی برای مطالعات پس‌لرزه‌ها باشد.

تنها کنترل کننده خارجی دستگاه، کلید کالیبراسیون است که در بیرون دستگاه قرار دارد. در کنار این کلید حباب کوچکی قرار دارد که مشخص کننده ثبت رویداد توسط دستگاه است (در صورت سفید شدن حباب). کلید کالیبراسیون دستگاه شتابنگار SMA-1، در واقع یک کنترل کننده نیمه اتوماتیک فرکانس و میرایی سنسورهای دستگاه می‌باشد. این عملیات کالیبراسیون بر روی فیلم ۷۰ میلیمتری دستگاه ثبت شده و افراد کنترل کننده دستگاه شتابنگار می‌توانند به وضعیت فرکانس طبیعی و میرایی سنسورها پی ببرند.

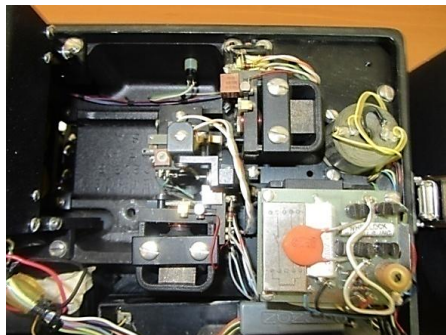
در کنار کلید کالیبراسیون و حباب مشخص کننده رویداد، محل اتصال ورودی برق دستگاه شتابنگار است که برای شارژ باتری‌های ۶ ولت دستگاه استفاده می‌گردد.

دستگاه شتابنگار SMA-1 به وسیله راه‌انداز لرزه‌ای داخلی خود هنگام رویداد زمین لرزه فعال می‌گردد. این فعالیت تا زمانی که جنبش زمین به حدی که برای دستگاه تعریف شده است برسد، ادامه داشت. در دستگاه SMA-1، راه‌انداز لرزه‌ای اولین امواج لرزه‌ای زمین لرزه (امواج P) را دریافت و ظرف مدت ۱۰۰ میلی ثانیه دستگاه شتابنگار به طور کامل فعال می‌شد. پس از اینکه شتاب حرکت عمودی زمین طی زمین لرزه به زیر حد تعریف شده، برای دستگاه می‌رسید (معمولاً $g/0.1$)، دستگاه بین ۶ تا ۱۵ ثانیه به فعالیت خود ادامه می‌داد و پس از اینکه دستگاه زمین لرزه را ثبت کرد، فیلم دستگاه برداشته شده و در یک اتاق تاریک ظاهر می‌گشت.

سیستم نوری دستگاه شتابنگار SMA-1 از مهم‌ترین قسمت‌های این دستگاه به شمار می‌رفت. منبع نور شاید از مهم‌ترین قسمت‌های سیستم نوری دستگاه بود. اشعه لامپ باید به حدی ظریف و دقیق می‌بود که یک اثر نازک بر روی فیلم ۷۰ میلیمتری باقی گذارد. این لامپ باید عمر کافی و مؤثری می‌داشت تا شدت اشعه در طول مدت فعالیت تغییر نکند. در دستگاه شتابنگار SMA-1 از لامپهای BFT استفاده می‌شد. یکی دیگر از خصوصیات منحصر به فرد سیستم نوری SMA-1، وجود یک آئینه تخت ثانویه بود که برای هر کدام از شتاب سنج‌های پایه مورد استفاده قرار می‌گرفت. این آئینه‌های تخت تصویر نور را به آئینه‌های جرم شتاب سنج و سپس به لنزهای سیلندری دوربین منعکس می‌کند بنابراین نیمی از فاصله ضروری بین آئینه - جرم و دوربین برای یک دامنه مشخص روی فیلم ۷۰ میلیمتری کاهش پیدا می‌کند.

یک شتابنگار استاندارد SMA-1 با قابلیت ثبت شتاب g ۱ دارای حساسیت معادل $1/9 \pm cm$ برای g ± 1 بود. سایر قسمت‌های مهم دستگاه شتابنگار شامل ۳ سنسور، دوربین، موتور راه‌انداز AC، دو کاست مخصوص فیلم و یک برد ساده جهت تنظیم شدت لامپ، مدار زمان و سایر قسمت‌های الکترونیکی مربوط به موتور راه‌انداز و کنترل لامپ بود. وظیفه راه‌انداز لرزه‌ای، دریافت امواج لرزه‌ای P و راه‌اندازی دستگاه شتابنگار بود. فرکانس طبیعی سنسورهای دستگاه ۲۵ هرتز می‌باشد. شکل ۳-۹ پرسنل شبکه

شتابنگاری و تجهیزات رقومی کردن داده‌های شتابنگاری را در دهه شصت و هفتاد خورشیدی نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸ دستگاه شتابنگار SMA-1



شکل ۳-۹ پرسنل شبکه شتابنگاری و تجهیزات رقومی کردن داده‌های شتابنگاری در دهه شصت و هفتاد خورشیدی

۳-۱-۲-۲-۲ دستگاه لرزه‌نما ویلموت و آردتا

یکی دیگر از دستگاه‌هایی که تا مدتی در شبکه شتابنگاری ایران مورد استفاده قرار می‌گرفت و امروزه جنبه تاریخی دارد، دستگاه‌های لرزه‌نما یا سائیزموسکوپ بودند که در دو مدل ویلموت که نمونه خارجی بود و آردتا که نمونه ساخت داخل بود در شبکه شتابنگاری به کار گرفته شدند.

لرزه‌نماها دستگاه‌های ساده و ارزان قیمتی بودند که دارای پرپود و میرایی مشخصی هستند. این دستگاه‌ها در دهه ۶۰ و ۷۰ میلادی به همراه دستگاه‌های شتابنگار زمین‌لرزه در مناطق لرزه‌خیز مورد استفاده قرار می‌گرفتند. در این دستگاه‌ها، لرزش‌ها روی شیشه‌ای آغشته به دود ثبت می‌شدند و طیف پاسخ را بدون نیاز به اندازه‌گیری تاریخیچه زمانی جنبش نیرومند زمین ایجاد می‌کردند. همان‌طور که گفته شد مشهورترین لرزه‌نمای ساخته شده لرزه‌نمای ویلموت بود که دارای پرپود و میرایی نوسانی

تقریبی برابر با یک ساختمان هشت تا ده طبقه بود. این لرزه‌نما از یک پاندول مخروطی تشکیل شده بود که می‌توانست در یک صفحه کروی حرکت کند. این پاندول توسط سیم باریکی به پایه دستگاه آویخته شده بود. لرزه‌نماها می‌توانند از چند پاندول با پرپود و میرایی مشخص تشکیل شوند، این امر باعث می‌شد تعداد نقاط طیفی بیشتری بدست آید. با توجه به این امر لرزه‌نمای آردتا در دانشگاه صنعتی شریف طراحی و ساخته شد. این لرزه‌نما از دو پاندول با پرپود طبیعی $0/5$ و $0/75$ ثانیه تشکیل شده بود که در واقع معادل پرپود طبیعی ساختمان‌های ۵ تا ۱۰ طبقه بود. در این دستگاه‌ها زمان سنج در نظر گرفته نشده بود و اندازه پاندول‌ها طوری انتخاب شده بود که ابعاد طیف حاصله روی شیشه کروی دودی برای زمین‌لرزه‌های شدید محلی از ابعاد شیشه تجاوز نکند (شکل ۳-۱۰).



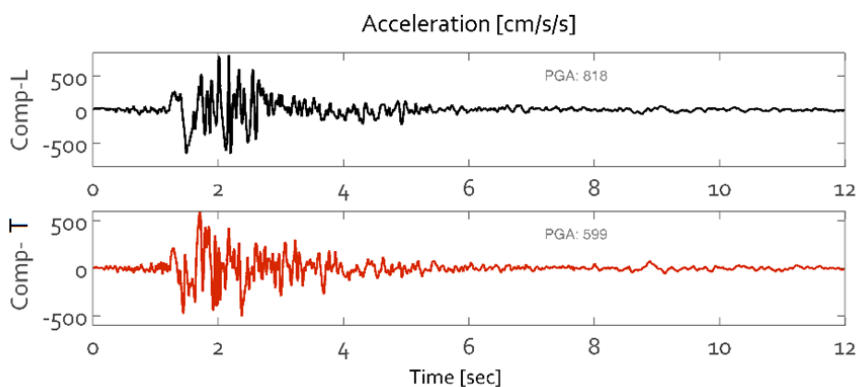
شکل ۳-۱۰ دستگاه لرزه‌نما ویلموت (سمت راست) و دستگاه آردتا (سمت چپ)

۳-۱-۳- مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های ثبت شده توسط شبکه ملی شتابنگاری در دوره اول فعالیت

زمین‌لرزه‌های زیادی از ابتدای فعالیت شبکه ملی شتابنگاری توسط دستگاه‌های شتابنگار به ثبت رسیده است. در دوره اول فعالیت شبکه شتابنگاری (۱۳۵۲-۱۳۷۲)، مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های رویداده که در ادامه آمده است، عبارتند از زمین‌لرزه ناغان (۱۷ فروردین ۱۳۵۶، ۶ آوریل ۱۹۷۷ میلادی) زمین‌لرزه طیس (۲۵ شهریور ۱۳۵۷، ۱۶ سپتامبر ۱۹۷۸ میلادی) و زمین‌لرزه منجیل (۳۱ خرداد ۱۳۶۹، ۲۱ ژوئن ۱۹۹۰ میلادی).

۳-۱-۳- زمین‌لرزه ناغان، ۱۷ فروردین ۱۳۵۶

زمین‌لرزه ناغان با بزرگای ۶/۱ در منطقه زاگرس (استان چهارمحال و بختیاری) رخ داد. در این زمین‌لرزه، ۳۴۸ نفر کشته و ۲۰۰ زخمی شدند. با توجه به اینکه منطقه زاگرس کوهستانی بوده، تعداد ایستگاه‌های نصب شده در این منطقه اندک بوده است و این رویداد تنها در ۲ ایستگاه به ثبت رسید. در ایستگاه ناغان حداکثر شتاب تصحیح شده در حدود ۸۵۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه بوده که یکی از نگاشت‌های مهم ثبت شده تاکنون می‌باشد. لازم به ذکر است که مؤلفه عمودی این زمین‌لرزه به دلیل خوانا نبودن موجود نمی‌باشد. در شکل ۳-۱۱ تاریخچه زمانی ۲ مؤلفه این زمین‌لرزه نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۱ تاریخچه زمانی زمین‌لرزه ناغان، فروردین ۱۳۵۶

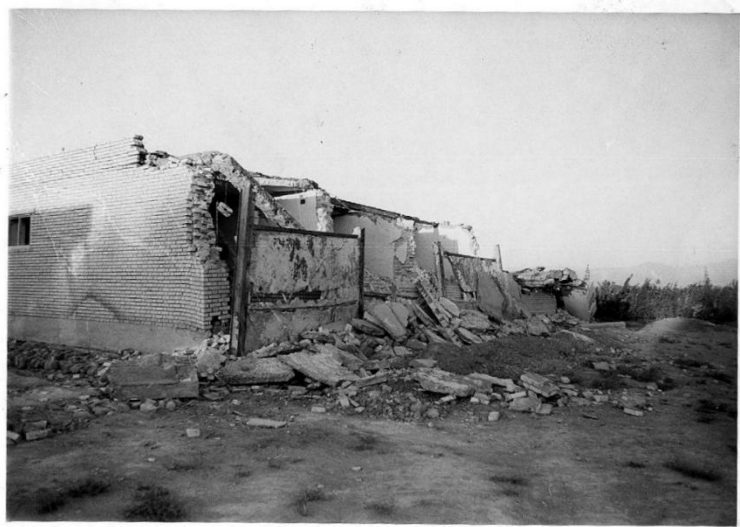
۳-۱-۳- زمین‌لرزه طبس، ۲۵ شهریور ۱۳۵۷

بی‌تردید اگر بخواهیم از زمین‌لرزه‌ای بزرگ و تاثیر گذار در تاریخ ایران زمین نام ببریم، زمین‌لرزه ۱۳۵۷ طبس با بزرگای $M_w 7/3$ دارای جایگاهی ویژه در این میان است. این رویداد نزدیک به ۱۸ هزار نفر تلفات انسانی در برداشت و خسارت بسیاری برجای گذاشت (شکل ۳-۱۲ و شکل ۳-۱۳). این زمین‌لرزه در تاریخ شبکه شتابنگاری نیز بسیار مهم و تاثیر گذار بوده است، چرا که برای اولین بار یک رکورد شتابنگاشت نزدیک به گسل در این زمین‌لرزه به ثبت رسید. این رکورد به لحاظ مدت دوام، محتوی فرکانسی، دامنه‌های بسیار بالای شتاب زمین‌لرزه از چنان ویژگی‌هایی برخوردار است که نه تنها در زمان ثبت، بلکه هم اکنون پس از گذشت بیش از سه دهه از رویداد زمین‌لرزه طبس یکی از مهم‌ترین شتابنگاشت‌های ثبت شده در دنیا می‌باشد. از این شتابنگاشت تقریباً در تمامی روابط تخمین جنبش

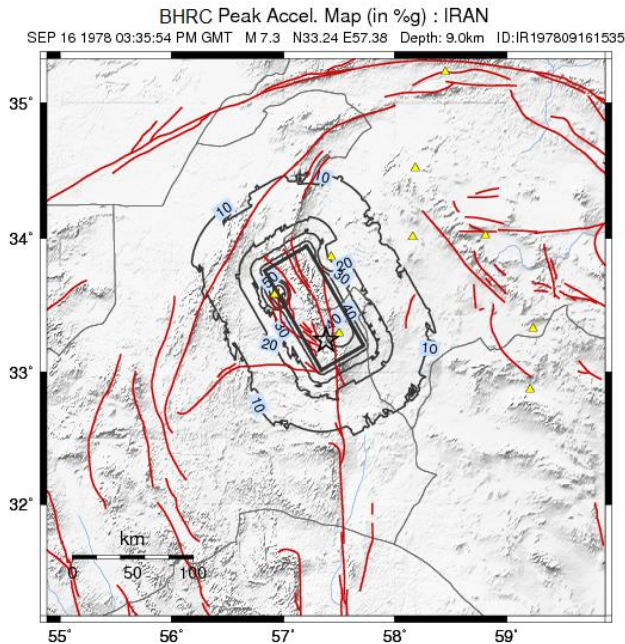
زمین (برای زمین‌لرزه‌های کم عمق پوسته‌ای) تدوین شده در دنیا استفاده شده است (NGA2008,2014). این زمین‌لرزه توسط ۹ ایستگاه شتابنگاری آنالوگ SMA-1 ثبت گردید. ایستگاه‌های طیس، دیهوک و بشرویه نزدیکترین ایستگاه‌ها به گسل این زمین‌لرزه بودند. در شکل ۳-۱۴ ایستگاه‌های ثبت کننده این رویداد نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۲ خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه طیس، شهریور ۱۳۵۷

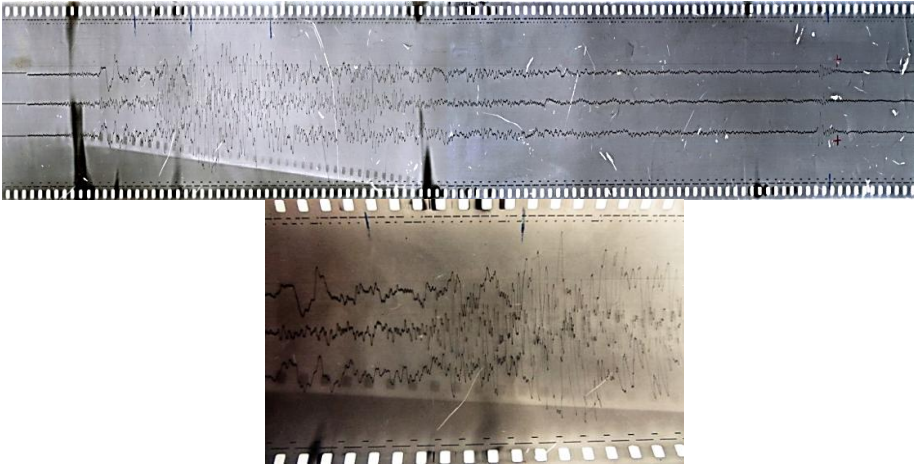


شکل ۳-۱۳ خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه طبس، شهریور ۱۳۵۷



شکل ۳-۱۴ ایستگاه‌های شتابنگاری ثبت کننده زمین لرزه طبس که توسط مثلث نشان داده شده است.

اگرچه ایستگاه طبس در فاصله ۵۰ کیلومتری از رومرکز زمین لرزه بوده است، اما در فاصله حدود ۳ کیلومتری از شکستگی گسل مسبب زمین لرزه واقع بوده و شتابی در حدود 0.94 شتاب ثقل زمین در این ایستگاه به ثبت رسید. بخشی از شدیدترین جنبش‌های ثبت شده بر روی فیلم رکورد طبس، در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است. در مورد این زمین لرزه ذکر این نکته ضروری است که خوشبختانه بازدید کارشناس شبکه شتابنگاری، آقای علی اکبر بداعی، از این ایستگاه و ایستگاه‌های پیرامون زمین لرزه طبس، تنها دو ماه پیش از رویداد، باعث آماده به کار شدن دستگاه‌های شتابنگار منطقه گردید، به خصوص در مورد دستگاه طبس که در هنگام بازدید قبل از زمین لرزه از کار افتاده بود که این عمل باعث شد تا یکی از معروف‌ترین رکوردهای دنیا ثبت گردد. شکل ۳-۱۶ تصویر فرم بازدید این ایستگاه قبل و بعد از رویداد زمین لرزه ۲۵ شهریور طبس را نشان می‌دهد.

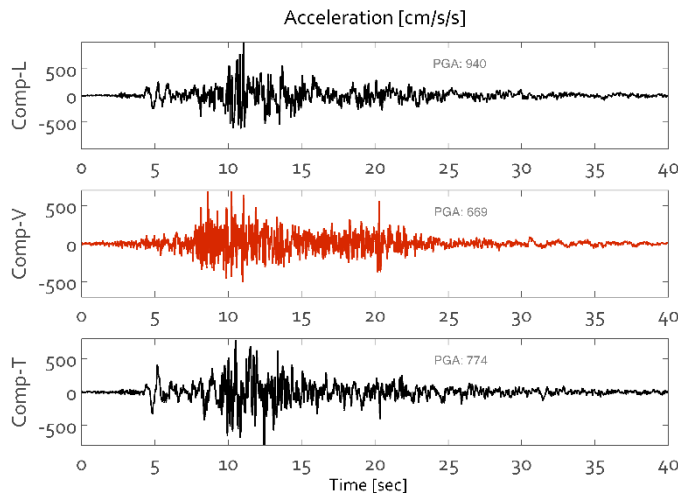


شکل ۳-۱۵ نسخه اصلی فیلم ثبت کننده تاریخچه زمانی طیس در ایستگاه شتابنگاری طیس

سازمان برنامه و بودجه	
طرح تحقیقات و مطالعات مربوط به زلزله در ایران	
شتاب سنجی حرکات شدید	
شماره دستگاه	۱۷۹۴
تاریخ نصب	۲۷/۳/۳۰
نام ایستگاه	طیس - شهرستان طبرستان
مورد کنترل دستگاه	✓
رنگ حباب حادثه نگار	✓
تعداد کالیبر	✓
ولتاژ باطری روشنی دستگاه	✓
ولتاژ باطری روشنی موقع کار دستگاه	✓
ولتاژ لامپ	✓
تنظیم محل و شدت نقاط نور	✓
تنظیم حساسیت انحراف نقاط نور	✓
درآینه کالیبر کردن	✓
تنظیم شروع کنند (-)	✓
تنظیم شروع کنند (+)	✓
زمان ادامه کار دستگاه پس از هر	✓
کنترل مقدار و تناوب فیلم خام موجود	✓
کنترل رطوبت گیر	✓
کنترل اتصال دستگاه	✓
ولتاژ ورودی خروجی شارژر	✓

سازمان برنامه و بودجه	
طرح تحقیقات و مطالعات مربوط به زلزله در ایران	
شتاب سنجی حرکات شدید	
شماره دستگاه	۱۷۹۴
تاریخ نصب	۲۷/۳/۳۰
نام ایستگاه	طیس
مورد کنترل دستگاه	✓
رنگ حباب حادثه نگار	✓
تعداد کالیبر	✓
ولتاژ باطری روشنی دستگاه	✓
ولتاژ باطری روشنی موقع کار دستگاه	✓
ولتاژ لامپ	✓
تنظیم محل و شدت نقاط نور	✓
تنظیم حساسیت انحراف نقاط نور	✓
درآینه کالیبر کردن	✓
تنظیم شروع کنند (-)	✓
تنظیم شروع کنند (+)	✓
زمان ادامه کار دستگاه پس از هر	✓
کنترل مقدار و تناوب فیلم خام موجود	✓
کنترل رطوبت گیر	✓
کنترل اتصال دستگاه	✓
ولتاژ ورودی خروجی شارژر	✓

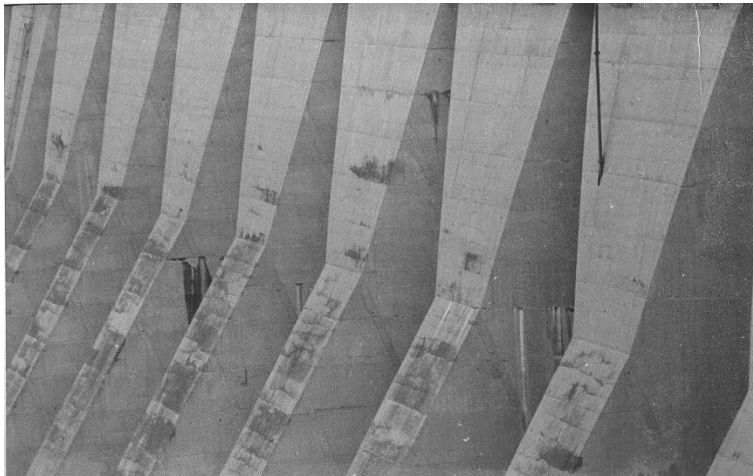
شکل ۳-۱۶ تصویر فرم بازدید از ایستگاه طیس قبل از رویداد زمین لرزه (سمت راست) و بعد از رویداد زمین لرزه (سمت چپ) دورترین ایستگاه به کانون زمین لرزه ایستگاه کاشمر با ۲۲۷ کیلومتر فاصله و شتاب ۴۳ سانتی متر بر مجذور ثانیه و نزدیکترین ایستگاه به کانون ایستگاه دیهوک با ۱۰ کیلومتر فاصله و شتابی در حدود ۴۰۳ سانتی متر بر مجذور ثانیه بوده است. در شکل ۳-۱۷ تاریخچه زمانی نگاشت ثبت شده در این زمین لرزه در ایستگاه طیس نشان داده شده است.



شکل ۱۷-۳ تاریخچه زمانی ثبت شده در ایستگاه طیس در زمین لرزه طیس

۳-۱-۳- زمین لرزه منجیل ۳۱ خرداد ۱۳۶۹

رویداد ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ آخرین زمین لرزه بزرگی بود که توسط مجموعه دستگاه‌های شتابنگار SMA-1 در دوره اول فعالیت شبکه ملی شتابنگاری ثبت گردید. این زمین لرزه و اثرات آن، جدا از خسارات جانی و مالی فراوانی که بر جای گذاشت و از منظر تلفات جانی از بزرگترین زمین لرزه‌های تاریخ ایران گردید، در عین حال انقلابی در بحث مهندسی زلزله و مطالعات مرتبط با طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر زلزله ایجاد نمود. زمین لرزه منجیل اولین زمین لرزه‌ای بود که در یک منطقه شهری نسبتاً پرجمعیت که دارای کارخانه، سد و سایر شریان‌های حیاتی بود اتفاق افتاد. این زمین لرزه شهرهای رودبار، منجیل و لوشان را ویران و ده‌ها روستا را به زیر خاک فروبرد. این زمین لرزه دارای اثرات ثانویه ناشی از پدیده‌های ژئوتکنیکی مانند لغزش‌های بزرگ، ریزش کوه و نشست زمین بود که منجر به خسارات فراوانی شد. خرابی‌های وارده از این رویداد در شکل ۳-۱۸ الی شکل ۳-۲۳ نشان داده شده است. تلفات این زمین لرزه طبق آمار رسمی ۱۵۸۰۰ نفر و آمار غیر رسمی تا مرز ۳۵۰۰۰ هم نفر رسیده است.



شکل ۱۸-۳ ترک‌های ایجاد شده در پایه‌های سد سفیدرود در اثر زمین‌لرزه منجیل. نشت آب در پایه مشخص می‌باشد (عکس از مهندس نادرزاده).



شکل ۱۹-۳ عبور گسیختگی از کف و دیوار خانه مسکونی در پاکده (راست). عدم فروریزش در منبع آب تازه احداث در شهر رشت (چپ)، هنگام وقوع زمین‌لرزه منبع خالی بود (عکس از مهندس نادرزاده).



شکل ۲۰-۳ خرابی بیمارستان رودبار پس از زمین‌لرزه (عکس از مهندس نادرزاده)



شکل ۲۱-۳ فروریختن طره‌های بزرگ در ساختمان بیمارستان رودبار (عکس از مهندس نادرزاده)



شکل ۳-۲۲ سالم ماندن مجتمع مسکونی کارکنان کارخانه سیمان لوشان (عکس از مهندس نادرزاده)



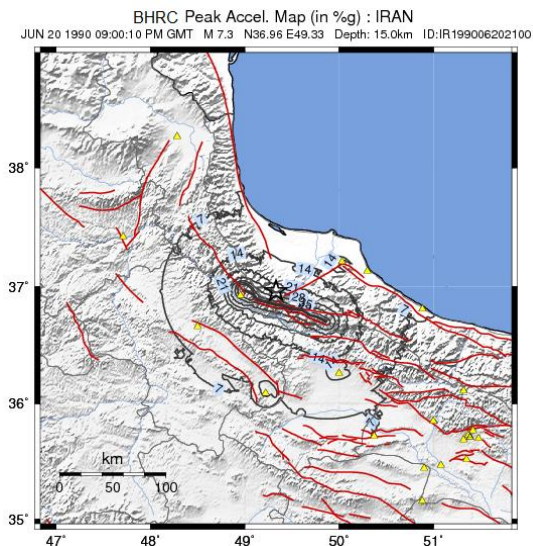
شکل ۳-۲۳ عدم آسیب دیدگی مخازن ۵۰۰،۰۰۰ لیتری بنزین با وجود تخریب سازه‌های اطراف پمپ بنزین (عکس از مهندس نادرزاده)

شبکه شتابنگاری ایران در این سال‌ها با بحران ناشی از کمبود فیلم ۷۰ میلیمتری و سایر لوازم یدکی مانند باتری و اقلام مورد نیاز راه‌اندازی دستگاه‌های شتابنگار روبرو بود. این مشکلات باعث شد که در برخی از این زمین‌لرزه‌ها تعدادی از دستگاه‌های شتابنگاری قادر به ثبت زمین‌لرزه‌ها نباشند. در زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل، دستگاه‌های شتابنگار رودبار و منجیل در اثر زمین‌لرزه در زیر آوار قرار گرفته و متأسفانه نابود گردیدند. در این زمین‌لرزه نزدیک‌ترین ایستگاه ثبت‌کننده، شتابنگار ایستگاه آب بر بود، که در این ایستگاه نیز یکی از رکوردهای شاخص شبکه شتابنگاری ایران به ثبت رسید.

جدول ۳-۳ مشخصات شتابنگاشت‌های ثبت شده از زمین‌لرزه رودبار را نشان می‌دهد. در مجموع ۲۲ دستگاه شتابنگار این زمین‌لرزه را ثبت کردند. حداکثر شتاب در ایستگاه آب بر در حدود ۷۰۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه بوده است. متأسفانه دستگاه شتابنگار شهر رشت که رکورد آن می‌توانست توجیه‌کننده علل خرابی برخی ساختمان‌های بلند مرتبه در این شهر باشد به دلیل خرابی دستگاه ثبت نگردید. ۵ ایستگاه شتابنگاری شهر تهران نیز این زمین‌لرزه را در فاصله بیش از ۲۰۰ کیلومتر ثبت کرده‌اند. در شکل ۳-۲۴ ایستگاه‌های ثبت‌کننده در این رویداد را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۳ لیست ایستگاه‌های ثبت کننده زمین لرزه منجیل - رودبار

کد ایستگاه	فاصله رومرکزی	بیشینه شتاب زمین (cm/s/s)	شماره رکورد	نام ایستگاه (لاتین)	نام ایستگاه (فارسی)
TEH41-A	232	29	1351	Tehran 41	تهران ۴۱ (دانشگاه شریف)
TEH51-A	223	34	1352	Tehran 51	تهران ۵۱ (مرکز تحقیقات)
GHZ-A	94	164	1353/01	Qazvin	قزوین
ABH-A	98	211	1354	Abhar	ابهر
RUS-A	81	92	1355	Roodsar	رودسر
TEH47-A	222	12	1356/02	Tehran 47	تهران ۴۷ (زمین شناسی)
LHJ-A	62	184	1357/01	Lahijan	لاهیجان
MIN-A	159	34	1358/02	Miyaneh	میانه
TNK-A	132	130	1359	Tonekabon	تنکابن
GCH-A	195	100	1361	Gachsar	گچسر
ABB-A	41	623	1362/01	Ab-bar	آب بر
TEH53-A	236	47	1363/02	Tehran 53	تهران ۵۳ (کهریزک)
ZNJ-A	88	130	1364	Zanjan	زنجان
ARB-A	176	30	1365/02	Ardebil	اردبیل
TEH39-A	223	21	1366	Tehran 39	تهران ۳۹ (چیدر)
ROD-A	215	42	1369	Roodshour	رودشور
ROB-A	223	17	1370/01	Robat Karim	رباط کریم
KRJ-A	188	27	1371/02	Karaj	کرج
EST-A	163	69	1372	Eshtehard	استهارد
TEH42-A	225	59	1407	Tehran 42	تهران ۴۲ (وزارت کشاورزی)
TEH46-A	225	53	1408	Tehran 46	تهران ۴۶ (وزارت کشاورزی)
KNR	240	27	1409/02	Koosk-e-Nosrat	کوشک نصرت



شکل ۳-۲ نقشه ایستگاه‌های ثبت کننده زمین لرزه منجیل به همراه کنتورهای هم شتاب. ایستگاه‌ها توسط مثلث نشان داده شده‌اند.

همانگونه که در بخش‌های پیشین آمده، دستگاه‌های آنالوگ SMA-1 حرکت زمین را توسط قلم‌های نوری بر روی فیلم ۷۰ میلیمتری ثبت می‌کنند. برای تبدیل این فیلم‌ها به فایل‌های رقومی از دو روش رقومی سازی استفاده می‌شد. در روش اول که قدیمی‌تر بوده است، از دستگاه رقومی‌ساز نیمه اتوماتیک

استفاده می‌گردید. این روش، کاری طاقت فرسا بوده و با خطای بیشتری همراه بوده است. در روش دوم با استفاده از دستگاه‌های اسکنر و برنامه Scanview اقدام به رقومی سازی این رکوردها می‌شده است. این روش از خطای کمتری نسبت به روش اول برخوردار بوده است. در این رویداد، بخش‌هایی از فیلم ثبت شده در ایستگاه آب‌بر به خصوص در انتهای فیلم قابل قرائت در مؤلفه عرضی دستگاه نبوده است.

۳-۲- مرحله دوم فعالیت - شبکه دیجیتال (۱۳۷۳ تا ۱۳۹۴)

پس از رویداد زمین‌لرزه منجیل، با توجه به خسارات جانی و مالی آن، در نگرش مسئولین و محققین در ایران تحولی ایجاد شد به طوری که تاسیس سازمان‌های جدید مانند پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ایجاد و توسعه رشته‌های جدید در زمینه‌های مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی مهندسی و تغییرات اساسی در آیین‌نامه زلزله ایران از نمودهای بارز این اثرات می‌باشد.

بعد از رویداد زمین‌لرزه منجیل، شبکه شتابنگاری ایران نیز از این تغییرات مصون نماند. در آن سال مشکلات عمده بر سر راه فعالیت دستگاه‌های شتابنگار آنالوگ SMA-1 وجود داشت که منجر به نوسازی شبکه و انجام اقدامات جدی در مرکز تحقیقات شد. مهم‌ترین آن مشکلات به شرح ذیل بود:

- کمبود فیلم ۷۰ میلیمتری، باتری و ...

- کمبود لوازم یدکی دستگاه‌ها

- فرسودگی دستگاه‌های شتابنگار

- کمبود دستگاه در مناطق لرزه‌خیز و مهم

- مشکلات مربوط به رقومی کردن رکوردهای دستگاه‌های آنالوگ

با توجه به پیشرفت علم در دنیا، دستگاه‌های جدید دیجیتال جایگزین دستگاه‌های آنالوگ شده بود، بدین ترتیب که با جایگزین کردن تبدیل‌کننده آنالوگ به دیجیتال، ثبت امواج بر روی فیلم حذف شده بود و ظرفیت ثبت امواج به طور محسوسی افزایش یافته بود. از این رو تمامی شبکه‌های شتابنگاری دنیا تغییرات را در شبکه خود آغاز نموده بودند و به دنبال فعالیت‌های صورت گرفته پس از زمین‌لرزه رودبار منجیل، توسعه شبکه ملی شتابنگاری در دستور کار مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن قرار گرفت که

دوره دوم فعالیت شبکه، در واقع به دلیل ورود دستگاه‌های دیجیتال و نصب آن‌ها شکل گرفت. انجام این مهم با وامی که بانک جهانی در اختیار دولت جمهوری اسلامی ایران قرار داد صورت گرفت. در آن سال، تولید کنندگان عمده و معروف دستگاه‌های شتابنگار در کشورهای آمریکا و سوئیس مستقر بوده و انتخاب دستگاه‌های شتابنگار برای توسعه شبکه شتابنگاری از میان دو برند کینمتریکس از آمریکا و سیسکام از سوئیس صورت گرفت. در این میدان رقابت، شرکت کینمتریکس دستگاه SSA-2 و شرکت سیسکام دستگاه MR2002 را پیشنهاد نمودند که پس از بررسی و مطالعه، دستگاه SSA-2 انتخاب و تعداد ۱۲۳۸ دستگاه از این مدل توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن خریداری شد.

۳-۲-۱- دستگاه شتابنگار SSA-2

دستگاه شتابنگار دیجیتال SSA-2 که در حال حاضر بدنه اصلی شبکه ملی شتابنگاری را تشکیل می‌دهد، آخرین نسل از دستگاه‌های سری SSA شرکت کینمتریکس بوده که در سال ۱۹۹۲ میلادی وارد بازار جهانی گردید. شتابنگار SSA-2 (شکل ۳-۲۵)، دستگاه ساده شده شتابنگار معروف SSA-1 است. البته از لحاظ نرم افزاری و سخت‌افزاری، تفاوت محسوسی بین دو دستگاه SSA-1 و SSA-2 وجود نداشت. شاید محسوس‌ترین اختلاف بین این دو دستگاه تفاوت قیمت آن‌ها است که از نظر تجاری استفاده از SSA-2 رامقرون به صرفه می‌کرد. این تفاوت قیمت بخاطر عوامل زیر ایجاد شده بود.

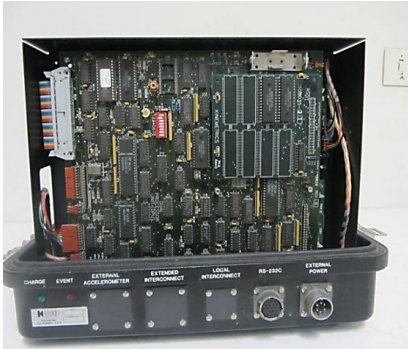
- استفاده از بردهای الکترونیکی اصلی (نصف بردهای SSA-1)

- استفاده از یک باتری ۱۲ ولت بجای دو عدد باتری

- حافظه استاندارد و کوچکتر (۲۵۶ کیلوبایت برای ۱۰ دقیقه، قابل افزایش به ۲ مگابایت یا ۸۰ دقیقه)

- قابلیت وصل شدن چند دستگاه بهم بدون کمک از سخت افزار خارجی

- کوچکتر و سبکتر بودن که قابلیت حمل آن را راحت‌تر کرده است.



شکل ۳-۲۵ شتابنگار SSA-2 نصب شده در فرمانداری بم که رکورد مهم نزدیک گسل زمین لرزه بم را با بیشینه شتاب $0.9g$ ثبت نمود (راست) به همراه محتوای داخلی دستگاه (چپ)

دستگاه SSA-2 زمین لرزه را به وسیله پایش سیگنال‌های شتاب از هر کدام از سنسورهای سه گانه آن ثبت می‌کند. هنگامی که جنبش نیرومند زمین (شتاب حاصله) از حدی که برای دستگاه توسط کاربر تعریف شده، بیشتر شود، دستگاه شروع به کار نموده و تا زمانی که شتاب حرکت زمین مجدداً به این حد برسد، فعالیت دستگاه ادامه خواهد داشت، که این آستانه شتاب یا آستانه تحریک بین $1/10$ تا $10/1$ درصد شتاب ثقل زمین ($1g$) تغییر می‌کند.

داده‌های شتاب دریافت شده توسط سنسورهای دستگاه بوسیله تبدیل کننده آنالوگ به دیجیتال برد اصلی، رقمی شده و در حافظه CMOS دستگاه ذخیره می‌شوند. این اطلاعات تا زمانی که باتری پشتوانه حافظه دستگاه از محل خود خارج نشود، در حافظه باقی می‌ماند.

همچنین یک ساعت داخلی که دارای دقت خیلی بالایی نمی‌باشد، نیز در این دستگاه وجود دارد. این ساعت برای مشخص کردن زمان رویداد زمین لرزه‌های ثبت شده بسیار مفید است. دستگاه شتابنگار SSA-2 دارای یک باتری داخلی 12 ولت می‌باشد که قادر است در شرایط استاندارد، به مدت 3 روز توان لازم را برای ادامه کار دستگاه را بدون شارژ مجدد مهیا کند. باتریهای لیتیوم $3/5$ ولت به منظور پشتوانه حافظه و ساعت داخلی دستگاه نیز پیش‌بینی شده‌اند.

به منظور تخلیه اطلاعات ثبت شده توسط این نوع دستگاه شتابنگار، از دو روش استفاده می‌شود، ارتباط مستقیم با دستگاه در محل نصب از طریق کامپیوترهای کیفی یا PC و ارتباط از طریق خطوط تلفن و با کمک مودم. در هر دو روش از نرم‌افزار استاندارد دستگاه که به Quicktalk معروف است استفاده

می‌گردد. این نرم افزار دارای بخش‌های مختلفی است که برای تخلیه و مشاهده نگاشت از آن استفاده می‌شود.

شتابنگار SSA-2 در زمان تولید یکی از مفیدترین دستگاه‌ها برای شبکه‌های ناحیه‌ای محسوب می‌گردد که برای مطالعه پس‌لرزه‌ها و آرایه‌های ساختمانی نیز بسیار مفید است.

۳-۲-۲- دستگاه شتابنگار گورالپ، مدل CMG-5TD

با توجه به تولید و عرضه دستگاه‌های دیجیتال جدید با قابلیت‌های ارتباطی بروز، در سال ۱۳۸۵ تلاش‌ها و کوشش‌هایی برای خرید تعدادی دستگاه شتابنگار مدرن در شبکه شتابنگاری آغاز شد که منجر به خرید بیش از ۱۶۰ دستگاه و سنسور از شرکت گورالپ انگلستان گردید. دستگاه‌های شتابنگار گورالپ جز دستگاه‌های رده A محسوب شده و در بسیاری از شبکه‌های شتابنگاری دنیا نظیر ترکیه، ایتالیا، آمریکا و تایوان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شتابنگار مورد استفاده در شبکه ایران از نوع CMG-5TD می‌باشد که در شکل ۳-۲۶ نشان داده شده است.

این دستگاه شتابنگار شامل یک دیجیتالایزر ۲۴ بیتی DM24 و سنسور CMG-5T در یک مجموعه یکپارچه شده است. سنسور این دستگاه دارای محدوده دینامیکی ۱۴۰ دسی بل و حساسیت آن می‌تواند تا ۴ برابر شتاب ثقل زمین نیز سفارش داده شود که در مورد دستگاه‌های شبکه ایران این عدد ۲ g می‌باشد. پاسخ فرکانسی شتاب این سیستم از DC تا ۱۰۰ هرتز خطی می‌باشد. این شتابنگار دارای دو خروجی RS-232 به صورت جداگانه می‌باشد. نرخ نمونه‌برداری به طور استاندارد تا ۲۰۰ نمونه در ثانیه و در صورت نیاز به صورت انتخابی تا ۱۰۰۰ نمونه امکان‌پذیر می‌باشد. این دستگاه دارای حافظه داخلی به طور استاندارد تا ۲۵۶ مگابایت بوده که بر اساس سفارش قابل ارتقا نیز می‌باشد.

نصب این دستگاه بسیار ساده بوده و هیچ نیازی به تراز کردن خود سنسورها وجود ندارد. انواع مختلفی از سنسورهای شتاب از این مدل وجود دارد. به عنوان مثال شتابنگار CMG-5TDB برای مطالعات درون چاهی طراحی شده است که شبکه شتابنگاری ایران در حال حاضر دارای ۴ عدد از این نوع دستگاه‌ها می‌باشد. دستگاه‌های دیگری که از این شرکت برای رفتار نگاری لرزه‌ای ساختمان‌ها و سد‌ها خریداری گردید، دستگاه‌های چند کاناله می‌باشند که می‌توانند به چندین سنسور متصل شوند و از طریق

سیستم کنترل مرکزی کنترل گردند. در جدول ۳-۴ مشخصات سه نوع دستگاه استفاده شده در شبکه شتابنگاری ایران آمده است.



شکل ۳-۲ شتابنگار گورالپ CMG-5TD (راست) و نمایی از ۳ مولفه سنسور شتابسنج CMG-5TD گورالپ (چپ)

جدول ۳-۴ جدول مقایسه مشخصات دستگاه‌های SMA-1، SSA-2 و CMG-5TD

CMG-5TD	SSA-2	SMA-1	خصوصیات
۳	۳	۳	تعداد کانال‌ها
۲۰۰-۱۰۰	۲۰۰	۱۶۰	نرخ بهره‌برداری داده
۱۴۰dB	۷۲ dB	۵۵dB	محدوده دینامیکی
Force Balance	Force Balance	Passive, Spring mass	نوع سنسور
داخلی و سنسور اضافی خارجی	داخلی و سنسور اضافی خارجی	داخلی	سنسور داخلی، خارجی
۴۵۰ HZ >	۵۰ HZ	۲۵ HZ	فرکانس طبیعی
±(0.1-4) g	±2 g opt 1,05,025,01	± 1g	حساسیت
۷۰%	۷۰%	۶۵%	میرایی
۲۴ bit	۱۲ bits	حدود 0.0035 g	قدرت تفکیک
DC-100HZ	DC-50HZ	0.1-50 HZ	پهنای باند
دارد	دارد	-	حافظه قبل از رویداد
	۱۲ - ۰/۸ HZ	۱ - ۱۰ HZ	پهنای باند راه‌اندازی
حافظه داخلی	256 KBYT CMOS	film 70 mm	نحوه ثبت
۱۶ گیگابایت حافظه جانبی	۹ دقیقه (۲۵۶ کیلو بایت)	۲۵ دقیقه (فیلم کامل)	حافظه (ظرفیت ثبت)
اتصال کابل RS-232 به کامپیوتر یا از طریق مودم درگاه USB	اتصال کابل RS-232 به کامپیوتر یا از طریق مودم	اتاق تاریک جهت ظهور	سخت افزار تخلیه
باتری ۱۲ ولت ۱۸۵ میلی‌آمپر	۱ باتری ۱۲ ولت ۶/۵ آمپر	۲ باتری ۶ ولت ۲/۵ آمپر	منبع تغذیه
۳ تا ۴ روز	۳ تا ۴ روز	۲ تا ۳ ماه	ظرفیت کار باتری
۱۷۶ × ۲۴۵ × ۱۶۰ mm	۲۷۰ × ۳۸۰ × ۱۰۰ mm	۲۰۰ × ۲۰۰ × ۳۵۵ mm	ابعاد
۴,۳ کیلوگرم	حدود ۱۲ کیلو گرم	حدود ۱۱ کیلوگرم	وزن
- ۲۰ تا ۷۰ °C	- ۲۰ تا ۶۵ °C	۵۵ + تا - ۲۰ °C	درجه حرارت فعالیت
۱۰۰%	۱۰۰%	۱۰۰%	مقاوم در برابر رطوبت

۳-۲-۳- معیارهای انتخاب ایستگاههای جدید در مرحله دوم توسعه شبکه شتابنگاری

پس از خرید بیش از ۱۲۳۸ دستگاه شتابنگار SSA-2 مهم‌ترین نکته پیش رو در برابر کارشناسان شبکه شتابنگاری انتخاب نقاط مناسب جهت نصب این دستگاه‌ها و تدوین معیارهای فنی برای انتخاب بهترین نقاط برای نصب این دستگاه‌ها بود. بر این اساس پروژه‌ای در مرکز تعریف و با بررسی سایر شبکه‌های شتابنگاری در دنیا و گزارش‌های مربوط به این شبکه‌ها، معیارها و پارامترهای مشخصی برای این مهم اندیشیده شد (میرزایی و رمزی، ۱۳۷۶؛ میرزایی و فرزادگان، ۱۳۷۸). مهم‌ترین معیارها در ادامه به اختصار ارائه خواهد شد:

۳-۲-۳-۱- سابقه لرزه‌خیزی تاریخی:

یکی از معیارها در انتخاب نقاط جدید سابقه لرزه‌خیزی تاریخی بوده است (رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ و ویرانگر در سده‌های قبل از سده بیستم). مهم‌ترین منبع در این زمینه کتاب ارزشمند تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران نوشته آمبرسیز و ملویل (ترجمه ابوالحسن رده) بود. انتخاب ایستگاه‌هایی مانند نیشابور در استان خراسان رضوی، دامغان در استان سمنان، و برخی از شهرهای استان مازندران و سایر نقاط کشور که در صد سال اخیر لرزه‌خیزی قابل توجهی نداشته‌اند، ولیکن در طول تاریخ گزارشی از رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ و ویرانگر در آن‌ها به ثبت رسیده بود، از این جمله بوده‌اند.

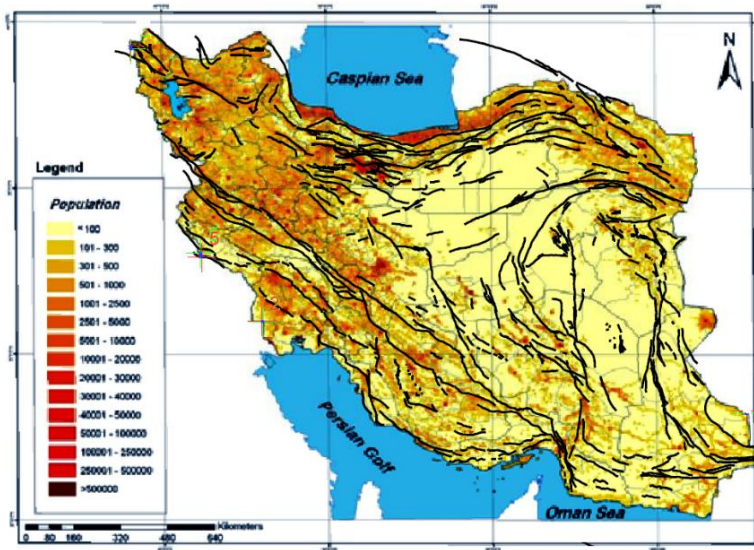
۳-۲-۳-۲- سابقه لرزه‌خیزی و رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ و متوسط در سده اخیر

یکی دیگر از معیارهای انتخاب ایستگاه‌های شتابنگاری رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ و متوسط در منطقه در سده بیستم بوده است. برخی از مناطق کشور که فاقد سابقه لرزه‌خیزی مهم در تاریخ گذشته خود بودند در سده بیستم شاهد رویداد زمین‌لرزه‌های مهمی بوده‌اند که بر همین اساس این شهرها و روستاها جهت نصب ایستگاه‌های جدید انتخاب گردیدند. مناطقی مانند شُنبه در استان بوشهر و ایستگاه‌هایی پیرامون کانون زمین‌لرزه‌های بزرگ مانند طبس، رودبار و منجیل از این دست می‌باشند.

۳-۲-۳-۳- پوشش گسل‌های فعال و لرزه‌زاد مجاورت شهرها و روستاها

متأسفانه به دلایل عمدتاً زمین‌شناختی، اکثر شهرها و روستاهای ایران در مناطق کوهپایه‌ای و مرز بین کوه و دشت، به خصوص در نواحی البرز و زاگرس ساخته شده‌اند، که این مهم منجر به توسعه این

مناطق جمعیتی در مجاورت گسل‌های فعال و لرزه‌زا شده است. نگاهی به نقشه‌های تهیه شده از گسل‌های ایران که مناطق جمعیتی بر روی آن مکانیابی شده‌اند (شکل ۳-۲۷)، نشان‌دهنده گسترش شهرها و روستاها در امتداد گسل‌های مهم و لرزه‌زا است. به همین دلیل شبکه شتابنگاری با علم به این مسئله و تاثیر مخربی که حرکت این گسل‌ها و رویداد زمین‌لرزه‌های متعاقب آن بر جمعیت و بناهای روستایی و شهری خواهد گذاشت، یکی از معیارهای گسترش شبکه را پوشش این نوع از گسل‌ها در نظر گرفت. نمونه مهم و شاخص این گسل‌ها را می‌توان در گسل شمال تبریز، گسل‌های شهر تهران و پیرامون آن مانند گسل‌های مشا، پیشوا، فیروزکوه و... مشاهده کرد.

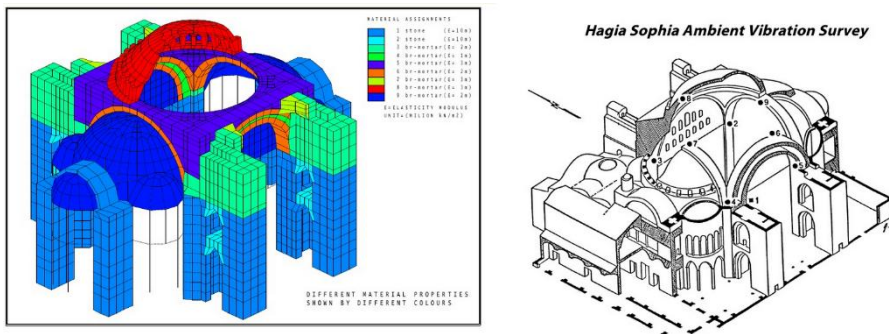


شکل ۳-۲۷ نقشه پراکندگی جمعیت به همراه گسل‌های فعال ایران

۳-۲-۳-۴- وجود یادمان‌های تاریخی و باستانی

ارزش یادمان‌های تاریخی و باستانی امروزه بر کسی پوشیده نیست. وجود این سازه‌ها در مناطق مختلف کشور به خصوص در نواحی لرزه‌خیز ضرورت بررسی و تدوین روشهای ایمن سازی در برابر زمین‌لرزه این سازه‌ها را بیش از پیش ضروری می‌سازد. امروزه در کشورهای لرزه‌خیز که سازه‌های تاریخی دارای اهمیت در آنها وجود دارند، رفتارنگاری لرزه‌ای و ایجاد شبکه‌های ثبت جنبش زمین از اهمیت بالایی

برخوردار است. در این مورد می‌توان از رفتار نگاری مسجد ایاصوفیه در استانبول ترکیه نام برد (شکل ۳-۲۸). در مجموعه شبکه شتابنگاری علاوه بر رفتار نگاری مستقیم، با نصب دستگاه در برخی از یادمان‌های تاریخی مانند تخت جمشید، در سایر شهرها نیز پوشش دستگاهی این سازه‌ها در گسترش شبکه مد نظر قرار داد.



شکل ۳-۲۸، رفتارنگاری لرزه‌ای مسجد ایاصوفیه استانبول. محل قرارگیری سنسورها در شکل سمت راست و مدل نهایی در شکل سمت چپ نشان داده شده است (ذوالفقار و همکاران، ۲۰۱۴)

۳-۲-۳-۵- وجود مراکز جمعیتی اقتصادی و سیاسی

در ۵۰ سال اخیر با توسعه صنعتی کشور و رشد روزافزون شهرهای بزرگ و کوچک در کشور، الگوی توزیع جمعیت در کشور تغییر یافته و عمده جمعیت کشور در شهرهای بزرگ و کوچک ساکن شده‌اند. لذا در انتخاب ایستگاه‌های جدید شتابنگاری به این مهم نیز توجه شده است. لذا وزن پوشش دستگاهی شهرهایی همچون تهران، تبریز، مشهد و شیراز با توجه به اهمیت اقتصادی و سیاسی آن‌ها بیشتر از شهرهای دیگر در نظر گرفته شد.

۳-۲-۳-۶- پوشش مناطق با شرایط متفاوت زمین‌شناسی

یکی از مهم‌ترین پارامترهای تاثیر گذار بر روی جنبش نیرومند زمین ناشی از رویداد زمین‌لرزه‌ها، شرایط خاک و زمین‌شناسی محل نصب ایستگاه‌های شتابنگاری است. پس از زمین‌لرزه مخرب مکزیکو سیتی در سال ۱۹۸۵، موضوع بررسی اثرات خاک در تشدید جنبش نیرومند زمین به شدت مورد علاقه دانشمندان قرار گرفت. امروزه با تحقیقات صورت گرفته، این مهم به خوبی شناخته شده است. در توسعه شبکه‌های شتابنگاری در سراسر دنیا با علم به این موضوع سعی می‌گردد تا نسبت به نصب دستگاه‌های

شتابنگار در شرایط مختلف زمین‌شناسی، داده‌های مناسبی از گونه‌های مختلف خاک برای محققین فراهم گردد. این مهم در انتخاب نقاط جدید در شبکه شتابنگاری ایران نیز مد نظر قرار گرفت و سعی گردید تا با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، گزارشات و بازدیدهای محلی، ایستگاه‌های شتابنگاری در شرایط مختلف زمین‌شناختی نصب و راه‌اندازی گردند.

۳-۲-۷- وجود امکانات سخت‌افزاری مورد نیاز احداث ایستگاه

بی‌تردید ایجاد یک ایستگاه شتابنگاری در مناطقی که به لحاظ علمی مورد شناسایی قرار گرفته‌اند، مستلزم وجود زیرساخت‌های لازم جهت احداث، راه‌اندازی و ارتباط با ایستگاه می‌باشد. برق، خطوط مخابراتی و امنیت ایستگاه از مهم‌ترین پارامترهای مورد نیاز است. بر این اساس، با توجه به اینکه موارد یاد شده عمدتاً در ادارات دولتی وجود دارند، عمده ایستگاه‌های شتابنگاری در ساختمان‌ها یا محوطه دستگاه‌های دولتی قرار گرفتند.

با توجه به معیارهای فوق و پس از انتخاب نقاط مناسب جهت نصب دستگاه‌های شتابنگار، اقدامات اولیه برای هماهنگی و نصب دستگاه‌های SSA-2 در شهرهای مختلف آغاز شد. اولین دستگاه شتابنگار SSA-2 در روستای سفیدآبه در اسفندماه ۱۳۷۲ نصب شد که سرآغاز نوسازی شبکه موجود در آن زمان بود و تا سال ۱۳۷۹ بیش از ۱۱۰۰ دستگاه شتابنگار SSA-2 در شهرها و روستاهای از پیش مشخص شده در سراسر کشور نصب گردیدند. بخشی از دستگاه‌های SSA-2 به تدریج جایگزین دستگاه‌های آنالوگ SMA-1 گردیدند و بقیه دستگاه‌ها در نقاط از پیش مشخص شده نصب شدند. این مهم با همکاری دستگاه‌های دولتی نظیر استانداری‌ها، فرمانداری‌ها، بخشداری‌ها، مراکز مخابراتی، مراکز بهداشت و آموزشی صورت گرفت.

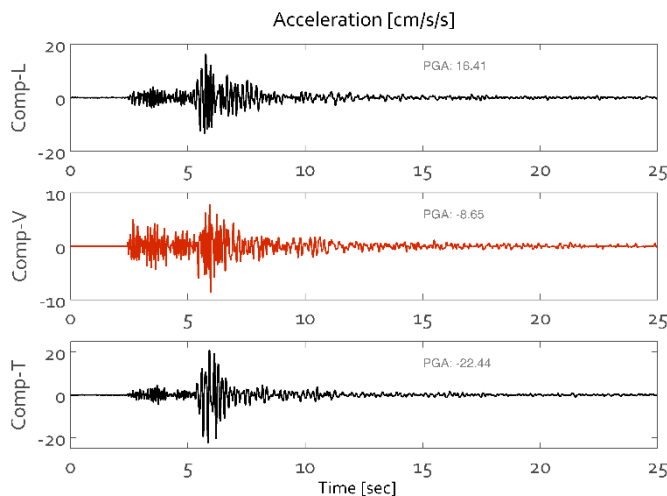
همزمان با نصب دستگاه‌های شتابنگار جدید، کارهایی نظیر تجهیز به مودم و نصب خط تلفن جهت ارتباط نیز صورت می‌گرفت. در طول سالیان فعالیت شبکه شتابنگاری، دستگاه‌های SSA-2 عملکرد بسیار خوبی از خود به نمایش گذاشتند بطوریکه پس از گذشت ۲۲ سال از نصب این دستگاه‌ها در شبکه، کمتر از ۱۰ درصد آن‌ها دچار خرابی شده‌اند. البته در این دوران متأسفانه دو ایستگاه شتابنگاری در اثر صاعقه، دچار آسیب شدند که شامل ایستگاه روستای تَشان در استان خوزستان و ایستگاه روستای ابر در

استان سمنان بودند. نکته جالب در این میان، سرقت تنها یک ایستگاه شتابنگاری در طول ۲۰ سال گذشته بوده است که خوشبختانه آن دستگاه نیز بعد از مدتی، بازگردانده شد.

۳-۲-۴- مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های ثبت شده در دوره دوم فعالیت شبکه شتابنگاری

اولین دستگاه‌های شتابنگار دیجیتال SSA-2 در اسفند ۱۳۷۲، چند روز بعد از زمین‌لرزه ۴ اسفند ماه ۱۳۷۲ در سفیدآبه سیستان (بزرگای ۶/۲) در مدرسه این روستا و در ایستگاه ماکروویو نصب شدند. این دو دستگاه پس‌لرزه‌های زیادی از زمین‌لرزه سفیدآبه را ثبت کردند، که در واقع اولین رکوردهای دیجیتال شبکه شتابنگاری ایران بودند. اولین رکوردهای ثبت شده در این ایستگاه درست یک هفته بعد از زمین‌لرزه در روز دهم اسفند ماه ۷۲ در مدرسه روستای سفیدآبه به ثبت رسید و اولین رکورد متناسب به زمین‌لرزه نیز در تاریخ یازدهم اسفند برای زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۴/۷ به ثبت رسید (شکل ۳-۲۹).

مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های ثبت شده در دوره دوم فعالیت‌های شبکه شتابنگاری در ادامه معرفی شده است.



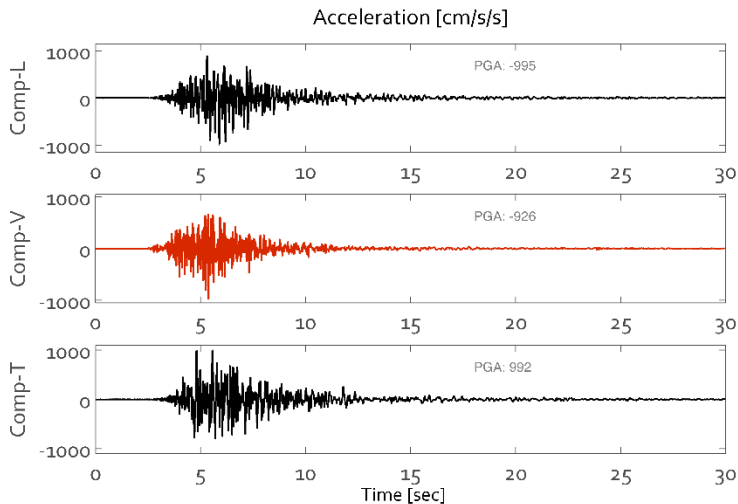
شکل ۲۹-۳ اولین رکورد دیجیتال ثبت شده در ایران، پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه سفیدآبه سیستان

۳-۲-۴-۱- زمین‌لرزه زنجیران، ۳۰ خرداد ماه ۱۳۷۳، استان فارس (بزرگای ۵/۸)

در ساعت ۱۲ و ۴۰ دقیقه و ۴۴ ثانیه روز ۳۰ خرداد ۱۳۷۳ (بیستم ژوئن ۱۹۹۴ میلادی)، زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۵/۸، Mw در ناحیه فیروز آباد فارس روی داد که باعث مرگ سه نفر و زخمی شدن

یک صد نفر گردید. این زمین‌لرزه شهرهای فیروزآباد، میمند و کوار را به شدت لرزاند. در شعاع ۱۰۰ کیلومتری مرکز مه‌لرزه‌ای رویداد، ۱۰ دستگاه شتابنگار دیجیتال (SSA-2) و چهار دستگاه شتابنگار آنالوگ (SMA-1) آماده به کار بودند که جنبش نیرومند زمین در ده ایستگاه به ثبت رسید. ایستگاه زنجیران بیشینه شتاب تصحیح نشده برابر با ۱۰۱۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه را ثبت کرد، که این بالاترین دامنه شتابی می‌باشد، که تاکنون توسط شبکه شتابنگاری ثبت گردیده است (شکل ۳-۳۰).

این زمین‌لرزه با شکستگی‌های زمین‌ساختی فراوانی همراه بود که روند غالب ۳۱۵ درجه را نشان می‌دادند. در برخی از نقاط چندین پشته فشاری^۱ مشاهده گردید که تأکید کننده انتشار گسلش زمین‌لرزه‌ای به درون پوشش رسوبی ناحیه می‌باشد. نتایج مطالعه زمان رسیدن امواج P و S در شتابنگاشت‌ها و شدت‌های مشاهده شده نشان‌دهنده ژرفای کانونی کم (۶ کیلومتر) برای این رویداد می‌باشند. وجود لایه‌های شکل پذیر بر روی سنگ کف زاگرس مانع از رخنمون گسلش زمین‌لرزه‌ای در سطح زمین می‌شود.



شکل ۳-۳۰ تاریخچه زمانی ثبت شده در ایستگاه زنجیران، بالاترین شتاب ثبت شده تاکنون در شبکه شتابنگاری

علاوه بر زمین‌لرزه زنجیران، زمین‌لرزه‌های دیگری در این منطقه روی داده است که مهم‌ترین آن‌ها

^۱ Pressure ridge

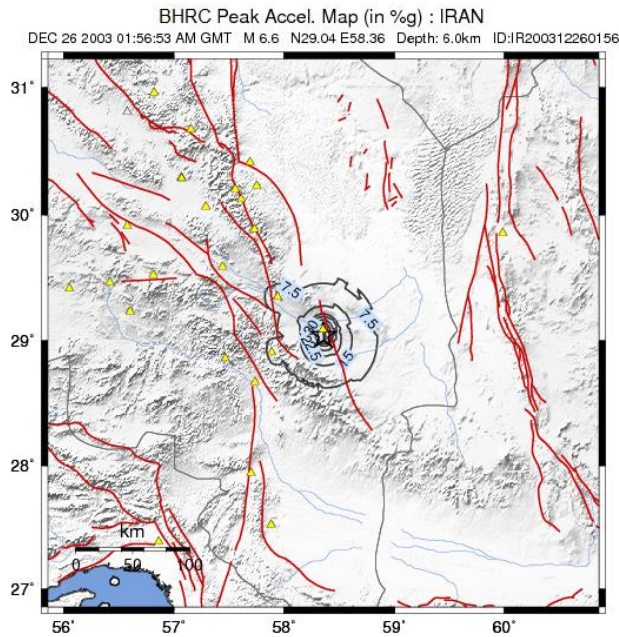
عبارتند از زمین لرزه‌های ۲۱ فروردین ۱۳۵۱ قیر (۹/۶ mb) و زمین لرزه دهم اسفند ۱۳۷۲ موک با بزرگی (۷/۵ mb) که زمین لرزه موک توسط یک دستگاه SMA-1 با حداکثر شتاب ۱۲۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه ثبت گردید.

۳-۲-۴- زمین لرزه ۵ دی ماه ۱۳۸۲، بم-استان کرمان (بزرگی ۷/۵ Mw)

در فاصله زمانی بین زمین لرزه زنجیران در سال ۱۳۷۳ تا زمین لرزه بم در سال ۱۳۸۲، چندین زمین لرزه دیگر با بزرگی‌های مختلف در کشور روی دادند که بعضا خسارات و تلفات زیادی نیز بر جای گذاشتند. از این میان می‌توان به زمین لرزه گرمخان در خراسان شمالی در ۱۶ بهمن ۱۳۷۵ با بزرگی ۶/۵، زمین لرزه سرعین اردبیل ۱۰ اسفند ۱۳۷۵ با بزرگی ۶/۱ و زمین لرزه اردکول - حاجی آباد، ۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶، با بزرگی ۷/۳ اشاره نمود. اما بی‌تردید مهم‌ترین زمین لرزه‌ای که پس از زمین لرزه رودبار منجیل در سال ۱۳۶۹ در کشور اتفاق افتاد، زمین لرزه مخرب بم در دی ماه ۱۳۸۲ بود. این زمین لرزه جدا از اثرات دهشتناک انسانی و خساراتی که از این منظر به کشور وارد نمود از لحاظ شتابنگاری نیز شاهد ثبت یکی از مهم‌ترین شتابنگاشت‌های زمین لرزه‌های ایران و دنیا بود. رکوردی که در ایستگاه فرمانداری بم به ثبت رسید در کمترین فاصله نسبت به کانون زمین لرزه و همچنین گسل مسبب زمین لرزه به ثبت رسید. زمین لرزه اصلی بم توسط ۲۷ دستگاه شتابنگار در استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان و هرمزگان ثبت گردید (شکل ۳-۳۱). آستانه تحریک تمامی این دستگاه‌ها بر روی شتاب ۰/۰۱ ثقل زمین تنظیم و همگی دارای حافظه پیش از رویداد^۱ ۱۵ ثانیه بودند. در هنگام رویداد زمین لرزه بم در شعاع ۳۰۰ کیلومتری شهر بم، تعداد ۷۸ دستگاه شتابنگار دیجیتال نصب بوده، که دورترین ایستگاهی که این زمین لرزه را ثبت کرده، ایستگاه راور در فاصله ۲۸۹ کیلومتری از رومرکز زمین لرزه بوده و نزدیک‌ترین ایستگاه، دستگاه مستقر در فرمانداری شهر بم بوده است. ایستگاه نصرت آباد در استان سیستان و بلوچستان در فاصله ۱۸۱ کیلومتری و ایستگاه حسن لنگی در استان هرمزگان در فاصله ۲۳۶ کیلومتری نیز تکان اصلی زمین لرزه را ثبت کرده‌اند که برای زمین لرزه با این بزرگی و با این آستانه تحریک دستگاهی، از نکات جالب توجه می‌باشند.

^۱ Pre-Event Memory

تکان اصلی زمین‌لرزه توسط شتابنگار مستقر در فرمانداری بم به طور کامل ثبت گردیده است (شکل ۳-۳۲). تخلیه دستگاه شتابنگار بم یک روز بعد از رویداد زمین‌لرزه، در ۶ دی‌ماه ۱۳۸۲ در شرایط بحرانی و هرج و مرج ناشی از زمین‌لرزه به همراه نگرانی از عملکرد دستگاه صورت گرفت، که خوشبختانه یکی از بهترین رکوردهای حوزه نزدیک به گسل در طول تاریخ شبکه ثبت شد. زاویه مؤلفه طولی دستگاه (L) نسبت به شمال ۲۷۸ درجه و زاویه مؤلفه عرضی (T) ۸ درجه بوده است. مؤلفه طولی دستگاه تقریباً شرقی-غربی و در جهت مؤلفه عمود بر گسل بوده و مؤلفه عرضی دستگاه تقریباً شمالی-جنوبی و در جهت مؤلفه موازی با گسل بوده است. بیشینه شتاب ثبت شده بر روی مؤلفه طولی دستگاه بم ۰/۷۹۹g، بر روی مؤلفه عرضی دستگاه ۰/۶۳۶g و بر روی مؤلفه قائم دستگاه ۰/۹۸۸g بوده است (همگی مقادیر به صورت تصحیح نشده هستند). رکورد اصلی که توسط دستگاه شتابنگار بم ثبت شده، به دلیل اینکه دارای حافظه پس از رویداد بالایی بوده (حدود ۳۲ ثانیه)، لذا پس‌لرزه‌هایی نیز که در فاصله کمی از زمین‌لرزه اصلی روی داده بودند، در خود جای داده است، لذا طول کلی رکورد به بیش از ۱۹۰ ثانیه می‌رسد که در عین حال نشان دهنده لرزش بسیار زیاد شهر بم در دقایق اولیه رویداد زمین‌لرزه بوده است (شکل ۳-۳۳).



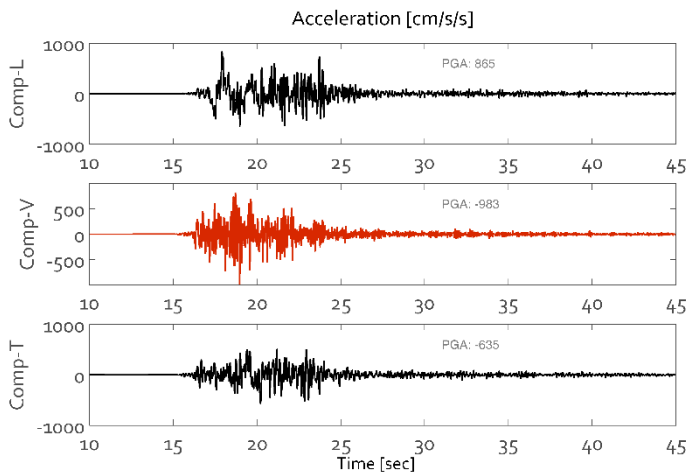
شکل ۳-۳۱ ایستگاه‌های ثبت کننده شتاب زمین لرزه بم ۱۳۸۲. ایستگاه‌ها توسط مثلث نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۲ محل نصب ایستگاه شتابنگاری در فرمانداری بم

از میان ۲۷ شتابنگاشت ثبت شده از زمین لرزه ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بم، شتابنگاشت ثبت شده در ساختمان فرمانداری بم به لحاظ اینکه نزدیکترین ایستگاه به کانون و گسل مسبب زمین لرزه بوده و بیشترین مقادیر شتاب در این ایستگاه به ثبت رسیده است، از اهمیت بالایی برخوردار است. بیشینه شتاب ثبت

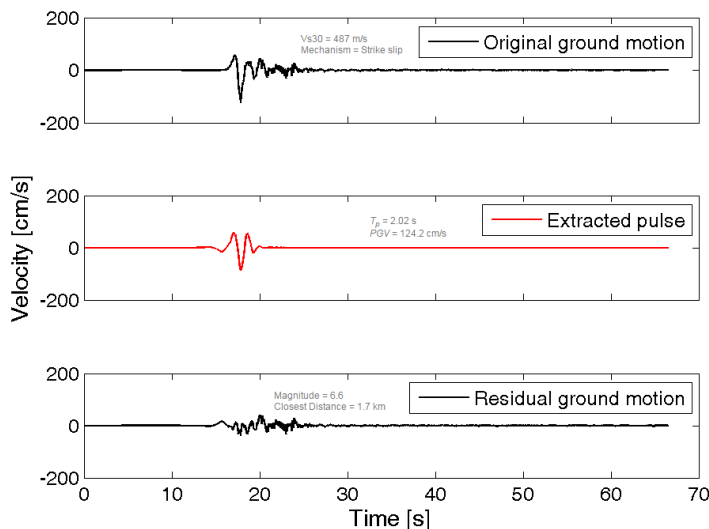
شده در این ایستگاه نزدیک به ۱g بر روی مؤلفه قائم بوده است که این شتاب در مجموعه ملی شتابنگاری تنها یکبار در زمین لرزه ۱۳۷۳ زنجیران فارس ثبت شده که آن رویداد از لحاظ اهمیت لرزه‌ای و دامنه خسارات در مرتبه بسیار پایین تری نسبت به زمین لرزه بم قرار داشته است. این شتابنگاشت با فیلتر باندگذر ۳۳-۰/۱ هرترز پردازش و تاریخچه زمانی شتاب آن در شکل ۳-۳۳ نشان داده شده است. بیشینه شتاب تصحیح شده در این نگاشت بر روی مؤلفه قائم و برابر با ۹۷۹/۹۵ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه و بیشینه سرعت بر روی مؤلفه طولی دستگاه (عمود بر امتداد گسل و در جهت مؤلفه نرمال گسل) برابر با ۱۲۳/۵۱ سانتی متر بر ثانیه و بیشینه جابجایی نیز بر روی همین مؤلفه و ۳۴/۲۶ سانتی متر بوده است. اولین ویژگی بارز این شتابنگاشت دارا بودن بیشینه شتاب قائم بزرگتر نسبت به شتاب ثبت شده در مؤلفه‌های افقی است. اگر چه در مهندسی زلزله به شتاب‌های قائم توجه کمتری نسبت به شتاب‌های افقی می‌گردید و در کاربردهای مهندسی اغلب فرض می‌شد که شتاب بیشینه قائم دو سوم شتاب بیشینه افقی است. اما با افزایش داده‌های شتابنگاشتی نزدیک به گسل و چشمه زمین لرزه مشاهده شده است که در بعضی موارد این نسبت بین شتاب قائم به افقی نه تنها از نسبت معمول تبعیت نمی‌کند بلکه در برخی از موارد این نسبت به بیش از یک نیز می‌رسد (کرامر ۱۹۹۶). در مورد زمین لرزه بم نیز این نسبت بیش از یک می‌باشد.



شکل ۳-۳۳ نداشت اصلی زمین لرزه بم، ثبت شده در ایستگاه بم (فرمانداری بم)

یکی از ویژگی‌های مهم شتابنگاشت ثبت شده در بم، مشاهده پالس پریود بلند که به فاصله بسیار کمی از آغاز فاز p بر روی شتابنگاشت بم، است. بر روی مؤلفه طولی شتابنگاشت که تقریباً در جهت شرقی-غربی و در امتداد مؤلفه نرمال گسل مسبب زمین‌لرزه می‌باشد، مقادیر سرعت و جابجایی نزدیک به دو برابر مقادیر ثبت شده در جهت عرضی شتابنگاشت است که تقریباً هم امتداد با مؤلفه موازی گسل است، می‌باشد. این مسئله به دلیل وجود پدیده جهت‌پذیری پیشرونده گسل در امتداد عمود بر گسل مسبب زمین‌لرزه که همان مؤلفه طولی دستگاه شتابنگار است، می‌باشد (شکل ۳-۳۴).

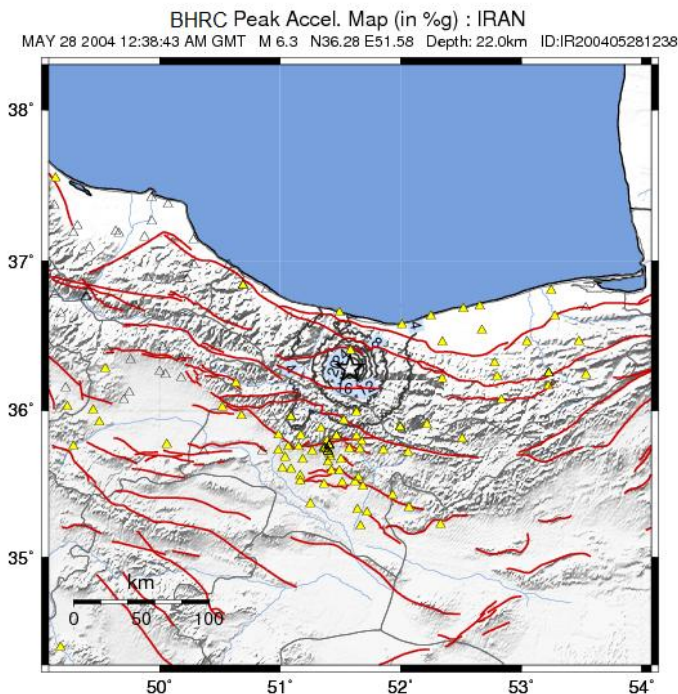
مهمترین علل خرابی ساختمان‌ها در این زمین‌لرزه می‌توان علاوه بر تاثیر وجود آبرفت، به قدیمی و سستی بودن سازه‌ها اشاره نمود که اکثریت آن‌ها بصورت خشت-گلی و یا مصالح بنایی بوده و در اکثریت آن‌ها توصیه‌های ذکر شده در آیین‌نامه زلزله مربوطه به این نوع سازه‌ها رعایت نشده است. برای ساختمان‌های آسیب‌دیده اسکلت فلزی و بتنی نیز اجرای نامناسب و عدم در نظر گرفتن بادبند یا دیوار برشی از علت‌های خسارت شدید در این زمین‌لرزه بود. همچنین بیشترین درصد خرابی بر روی آبرفت‌های سخت با عمق کم و نیمه عمیق رویداده است (جعفری و همکاران، ۲۰۰۵).



شکل ۳-۳۴ پالس پریود بلند در نداشت ثبت شده در مؤلفه عمود بر گسل (زمین‌لرزه ۱۳۸۲ بم). از بالا به پایین: سرعت ثبت شده اولیه، پالس استخراج شده، سیگنال‌های باقیمانده.

۳-۲-۴- زمین‌لرزه ۸ خرداد ۱۳۸۳ فیروزآباد کچور (بزرگای ۶.۳)

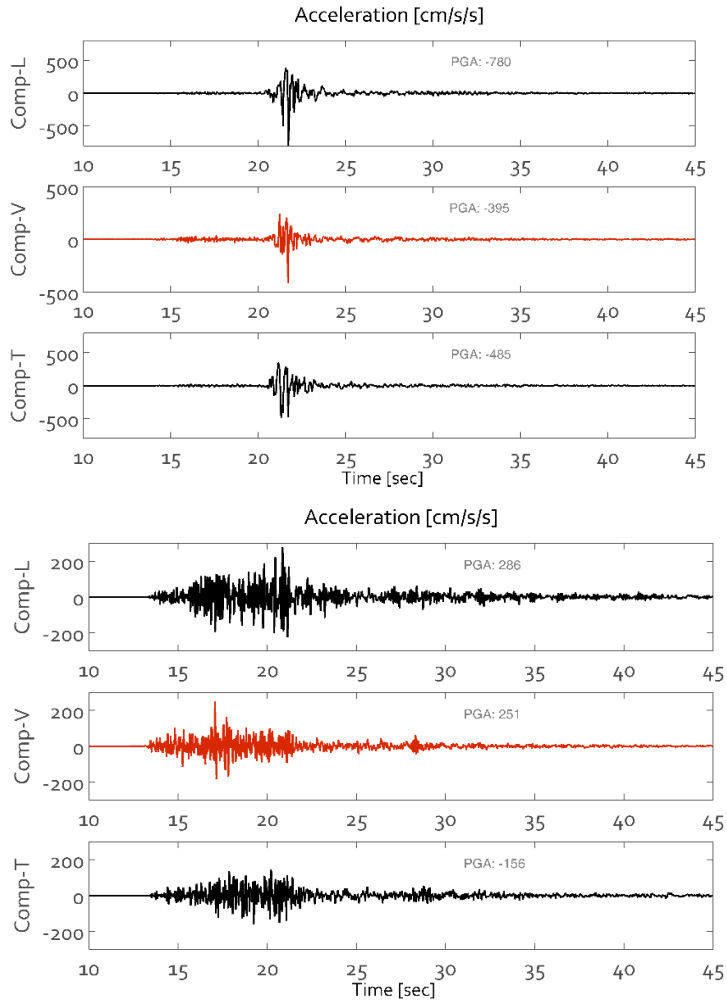
این زمین‌لرزه از دو دیدگاه دارای اهمیت می‌باشد، ابتدا رویداد آن در ایالت لرزه زمین‌ساختی البرز، به طوریکه پس از زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل، این رویداد مهم‌ترین زمین‌لرزه‌ای بوده است که در ۳۰ سال گذشته این گستره را به لرزه درآورده بود که با توجه به نزدیکی کانون این زمین‌لرزه به شهر تهران، باعث وحشت عمومی در این شهر گردید و در واقع هشدار مجددی بر آسیب‌پذیری این شهر بزرگ بود. دوم اینکه بیشترین تعداد ایستگاه ثبت‌کننده یک رویداد را در شبکه شتابنگاری به وجود آورد. در این زمین‌لرزه ۱۴۸ ایستگاه شتابنگاری در استان‌های مختلف کشور فعال شدند (شکل ۳-۳۵). این زمین‌لرزه در بعد از ظهر جمعه مورخ ۸ خرداد ماه سال ۱۳۸۳، ساعت ۱۲ و ۳۸ دقیقه و ۴۶ ثانیه به وقت بین‌المللی (ساعت ۱۷ و ۸ دقیقه و ۴۶ ثانیه به وقت محلی) در حد فاصل بلده و مرزن‌آباد به وقوع پیوست. جنبش ناشی از این رویداد در بخش‌های وسیعی از شمال کشور حس شد و موجی از نگرانی عمومی را برانگیخت. علیرغم حس جنبش زمین‌لرزه تا فواصل دور، طبق گزارش‌های صورت گرفته خسارات و صدمات جانی و مالی این زمین‌لرزه محدود بوده که یکی از علل اصلی آن تراکم کم جمعیت در پیرامون مرکز زمین‌لرزه بوده است. مشخصات این زمین‌لرزه توسط سازمان‌های مختلف ملی و بین‌المللی گزارش شده است. موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران بزرگای ۵/۵ mb و سازمان زمین‌شناسی امریکا بزرگای آن را $M_w 6.3$ با عمق کانونی ۱۷ کیلومتر گزارش کرده بودند.



شکل ۳-۳ ایستگاه‌های ثبت کننده شتاب زمین لرزه فیروزآباد کجور ۱۳۸۳.

آستانه تحریک تمامی دستگاه‌های شتابنگار در این زمین لرزه بر روی $0.1g$ تنظیم و همگی دارای حافظه پیش از رویداد ۱۰ ثانیه بوده‌اند. نزدیکترین ایستگاه به مرکز زمین لرزه، ایستگاه پول (کجور) بود که در مختصات جغرافیایی $36/38N$ و $51/72E$ قرار دارد. بیشینه شتاب ثبت شده بر روی مؤلفه L (طولی) این دستگاه برابر $0.289g$ و بر روی مؤلفه V (قائم) $0.253g$ و بر روی مؤلفه T (عرضی) $0.167g$ می‌باشد (مقادیر به صورت تصحیح نشده هستند). اختلاف زمانی رسید امواج P و S بر روی نگاشت اصلی، زمانی حدود $2/54$ ثانیه را نشان می‌دهد، که معادل فاصله‌ای حدود ۱۸ کیلومتر است. این دستگاه همچنین تعداد ۱۲ پس لرزه را به ثبت رساند. اما بالاترین شتاب در ایستگاه حسن کیف در منطقه کلاردشت در فاصله ۴۸ کیلومتری کانون زمین لرزه ثبت شد که شتاب غیر معمول ۹۰۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه را ثبت نمود (شکل ۳-۳). یکی از عوامل تاثیرگذار بر ثبت این شتاب غیر معمول شرایط زمین شناسی و توپوگرافی حسن کیف بوده است. این زمین لرزه در ناحیه کلاردشت خسارات زیادی را به

ساختمان‌های ویلایی منطقه وارد نمود (شکل ۳-۳۷).



شکل ۳-۳۶ رکورد کلاردشت (بالا) به همراه رکورد ایستگاه پول (پایین) ثبت شده از زمین‌لرزه فیروزآباد-کجور



شکل ۳-۳۷ تخریب ویلاهای ساخته شده در منطقه کلاردشت به علت شرایط توپوگرافی و ساختمانی و کیفیت نامناسب اجرا بر اساس بازدید انجام شده از ایستگاه‌های مختلف، می‌توان نقش شرایط ساختمانی و توپوگرافی را بخوبی مشاهده کرد. به عنوان مثال ایستگاه بومهن که بر روی آبرفت قرار گرفته، این زمین‌لرزه را با بیشینه شتاب $g/0.21$ ثبت کرده است و این در حالی است که ایستگاه رودهن در فاصله تقریبی ۴ کیلومتری با بستر سنگی، این زمین‌لرزه را ثبت ننموده است. همچنین ایستگاه کندور که در ارتفاعات (ارتفاع ۱۸۹۰ متر از سطح دریا نزدیک سد کرج) و در مختصات جغرافیایی $E/11/51$ و $N/84/35$ قرار گرفته، به دلیل شرایط زمین‌شناسی و توپوگرافی این رویداد را به ثبت نرسانده بود.

فصل چهارم

فعالیت های شبکه شتابنگاری ایران

شبکه ملی شتابنگاری به موازات کنترل و نگهداری دستگاه های شتابنگار در سراسر کشور، پروژه های مهمی را انجام داده است که علاوه بر اهمیت علمی دارای ویژگی های منحصر به فردی نیز بوده اند و در طول دوران فعالیت خود توانسته است داده های بسیار با اهمیتی را در اختیار مهندسين و محققين علوم زمین قرار دهد.

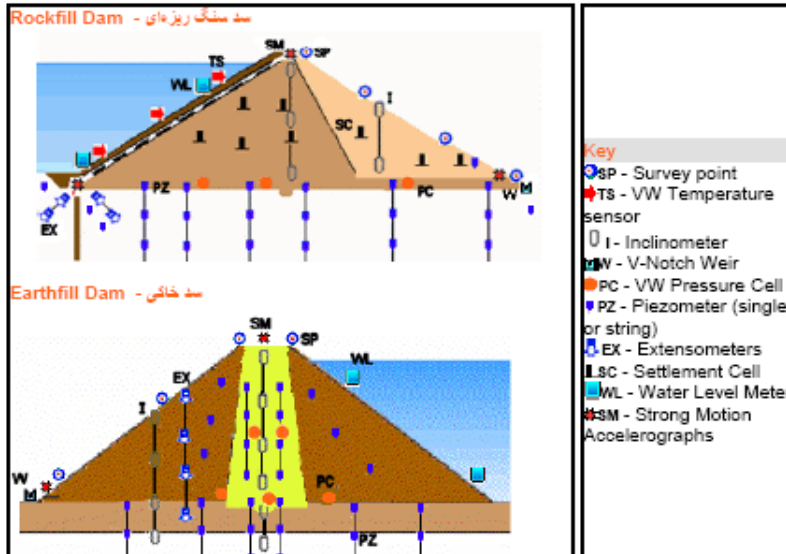
در ادامه به فعالیت های مهم شبکه در طول دوران فعالیت خود پرداخته شده است.

۴-۱- رفتارنگاری سدهای بزرگ

سدها از جمله مستحدثاتی هستند که بدلیل حجم عظیم آب ذخیره شده در مخازن آن ها و توسعه های شهری و صنعتی در پایین دست خود، تهدیدی بالقوه بوده و در صورت تخریب می توانند منشاء فجایع عظیمی باشند. به همین دلیل انواع ابزار و تجهیزات اندازه گیری از جمله شتابنگارها برای مطالعه و پایش رفتار سدها در نظر گرفته می شود. شکل ۴-۱ محل نصب انواع تجهیزات اندازه گیری از جمله شتابنگارها را برای دو نوع سد خاکی و سنگ ریزه ای نشان می دهد.

مطالعه رفتار دینامیک بدنه سدهای موجود در خلال رویداد زمین لرزه ها برای دستیابی به ایمنی لرزه ای آن ها ضروری است. اعتبار مفروضات و شیوه های تحلیل به کار گرفته شده برای تهیه طرح های مقاوم در برابر زمین لرزه با داده های حاصل از شبکه های شتابنگاری مناسب، قابل کنترل و بهبود است. انجام این کار مستلزم مقایسه میزان حرکات زمین در میدان آزاد یک ساختمان معین (که در بردارنده ویژگی های زمین لرزه رویداده می باشد)، با میزان حرکات سازه ای است. طراحی چنین شبکه ای غالباً باید با همکاری متخصصین زلزله شناسی، مهندسين عمران، متخصصین ابزار دقیق، متولیان سد و مسئولین مربوطه انجام شود. در این ارتباط نصب دو دسته تجهیزات لرزه ای در سازه و نزدیکی محل سد شامل دستگاه های

شتابنگار با هدف ثبت جنبشهای نیرومند و بالقوه مخرب زمین که باعث ارتعاش سد می‌شوند و دستگاه‌های لرزه‌نگار حساس برای مطالعه لرزه‌خیزی منطقه پیش بینی می‌شود.



شکل ۴-۱ مکان‌های مناسب برای نصب دستگاه‌های شتابنگار در انواع سدهای خاکی

۴-۱-۱- دستگاه‌های مورد نیاز جهت پایش لرزه‌ای سد

ابزارگذاری سد با هدف مطالعه رفتار لرزه‌ای سد باید نیازهای متعددی را برآورده کند. مهندسین عمران علاوه بر پایش رفتار بدنه سد، به داده‌های جنبش در تکیه‌گاه‌ها و پایش در میدان آزاد^۱ در هنگام رویداد یک زمین‌لرزه نیاز دارند، در حالیکه زلزله شناسان غالباً به داده‌های میدان آزاد و زمان دقیق وقوع آن علاقمند هستند و آگاهی سریع از وضعیت پس از رویداد زمین‌لرزه مورد توجه متولیان و اداره کنندگان سد است.

همچنین متولیان سد به یک سیستم اعلام خطر سریع نیاز دارند که در صورت فزونی میزان جنبش از سطح معین پیش تعریف شده، بتوانند اقدامات فوری را انجام دهند. بعلاوه هزینه تعمیرات کم، حداقل نیازهای تعمیراتی و سیستم هشدار دهنده در صورت بروز نقص در سیستم اعلام خطر نیز از انتظارات

^۱ Free Field

آن‌هاست. این سیستم همچنین باید قادر باشد با دادن اطلاع دقیق و جزئی از وضعیت، به کارشناسان مسئول در عملیات‌های مورد نیاز کمک کند.

۴-۱-۲- آرایش مکانی دستگاه‌ها

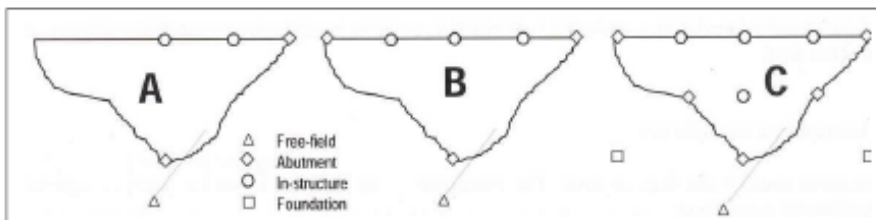
مکان‌های مناسب برای نصب دستگاه‌های شتابنگار در سدهای بتنی قوسی، سدهای بتنی وزنی و انواع سدهای خاکی به ترتیب در شکل ۴-۲ الی شکل ۴-۴ نشان داده شده‌اند. آرایه متناسب با حداقل نیاز، آرایه‌های کامل (مناسب برای سدهای بزرگ) و آرایه‌های متناسب با مقاصد تحقیقاتی و به خصوص جهت پایش لرزه‌ای سد به ترتیب با حرف A تا C دیده می‌شود. در ادامه به محل‌های مختلف نصب دستگاه یا سنسورها در ساختگاه‌های سد به اختصار پرداخته شده است.

۴-۱-۲-۱- نصب در میدان آزاد

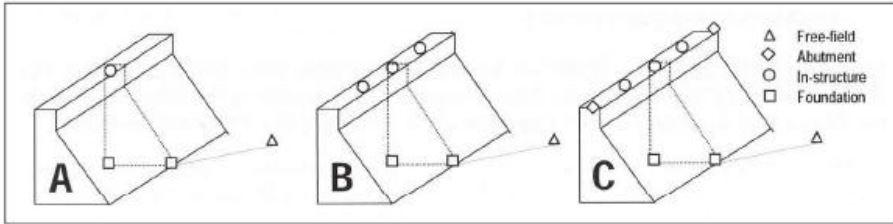
جهت نصب سنسور در میدان آزاد، دستگاه باید به اندازه کافی دور از سازه سد نصب شود تا تحت تأثیر ارتعاشات آن قرار نگیرد. در عین حال باید به اندازه کافی نزدیک باشد تا جنبش ثبت نموده حاوی ویژگی‌های مکانی خود سد نیز باشد. این فاصله بین یک تا دو برابر ارتفاع سد توصیه شده است.

۴-۱-۲-۲- نصب در تکیه گاه سد

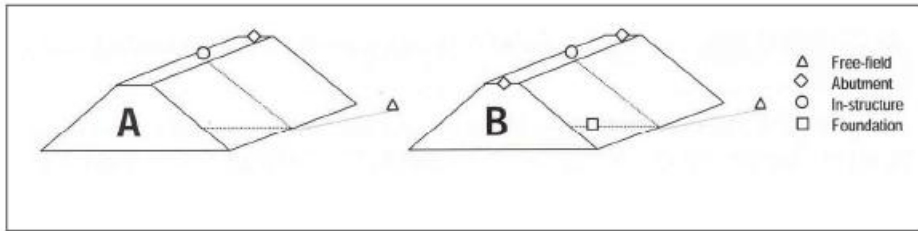
جنبش مؤثر ورودی به سد را می‌توان با نصب دستگاه یا سنسورهایی در امتداد مرز بین جسم سد و پی اندازه‌گیری کرد. بدین ترتیب می‌توان میزان تشدید در امواج را در اثر سازه با توجه به نگاهت ثبت شده در این قسمت اندازه‌گیری نمود.



شکل ۴-۲ مکان‌های مناسب برای نصب دستگاه‌های شتابنگار در سدهای بتنی قوسی



شکل ۳-۴ مکان‌های مناسب برای نصب دستگاه‌های شتابنگار در سدهای بتنی وزنی



شکل ۴-۴ مکان‌های مناسب برای نصب دستگاه‌های شتابنگار در انواع سدهای خاکی

۴-۱-۳- نصب در پی

چگونگی انتشار امواج در پی بواسطه دستگاه‌های نصب شده در گالری‌های اکتشافی و تزریقی، یا سطح جسم سد اندازه‌گیری می‌شود.

۴-۱-۲- دستگاه‌های درون سازه‌ای

رفتار دینامیکی سد توسط این دستگاه‌ها اندازه‌گیری می‌شود به طوری که سنسورها بر روی تاج سد و در نقاطی که دارای بیشترین انحرافات مودی هستند نصب می‌شود تا میزان دقیق تغییرات دینامیکی سازه سد ثبت شوند.

۴-۱-۳- شرایط ویژه نگهداری آرایه‌های شتابنگاری در سدها

۴-۱-۳-۱- اثر میدان الکترومغناطیسی

میدان‌های الکترومغناطیسی ایجاد شده در اثر کابل‌های ولتاژ متوسط و یا ولتاژ بالا ممکن است بر عملکرد سنسور اثر بگذارد. در چنین شرایطی و در صورتی که حل مشکل میسر نباشد، برای اطمینان از

صحت عملکرد فقط باید از کابل‌های فیبر نوری استفاده نمود.

۴-۱-۳-۲- حفاظت در برابر افزایش ناگهانی ولتاژ

چنین پدیده‌ای ممکن است به طور موضعی در محلی که در اثر صاعقه آسیب دیده، ایجاد شود. بنابراین تمام کابل‌های برق و سایر کابل‌های فلزی مجموعه باید با تجهیزات مناسب و مطمئن از این بابت محافظت شوند.

۴-۱-۳-۳- اتصال به زمین

اختلاف در پتانسیل الکتریکی می‌تواند باعث بروز مشکلات جدی در آرایه شتابنگاری سد شود. بنابراین کابل‌های ارتباط داخلی باید از این بابت نیز محافظت شوند.

۴-۱-۳-۴- محافظه نصب

پس از اتخاذ تصمیمات در خصوص اجزاء آرایه، نوبت به نصب و در نظر گرفتن شرایط و مکان نصب مناسب است. شرایط اقلیمی در سدها بدلیل رطوبت زیاد، مناسب دستگاه‌های الکتریکی و الکترونیکی نیست. بنابراین باید اتاقک‌های مناسبی برای محافظت از دستگاه‌ها در نظر گرفته شد که به خصوص در مقابل رطوبت و پاشیدن دائمی آب مقاوم باشند. دستگاه‌های موجود به گونه‌ای طراحی و ساخته شده که در شرایط محیطی سدها نیز بسیار مقاوم بوده و کمترین آسیب برای آن‌ها متصور شد. برای محافظت از دستگاه‌ها در مقابل شرایط محیطی استفاده از اتاقک‌های فایبرگلاس پیش ساخته در نظر گرفته شده است. در شرایط خاص می‌توان از اتاقک‌های بتنی و یا اتاقک‌هایی از جنس مصالح بنایی که در محل اجرا می‌شوند، نیز استفاده نمود. در ادامه به یکی از پروژه اجرا شده در سدهای کشور پرداخته شده است.

۴-۱-۴- آرایه سد شهید عباسپور

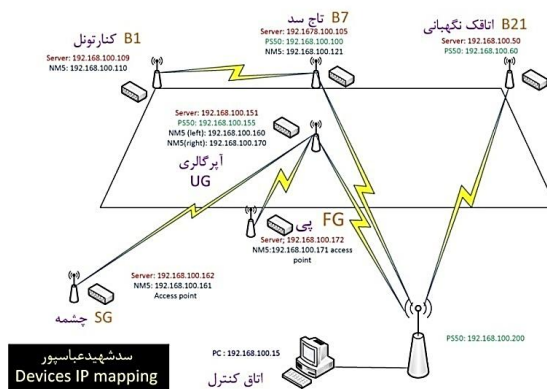
سد شهید عباسپور (شکل ۴-۵) در استان خوزستان از مهم‌ترین سدهای کشور به لحاظ حجم مخزن می‌باشد. این سد در نزدیکی شهر مسجد سلیمان در استان خوزستان بنا شده است و از نوع سد بتونی دوقوسی است. ارتفاع تاج سد از پی، ۱۸۸ متر و طول تاج آن ۳۸۵ متر می‌باشد. این سد، از اولین سدهای ساخته شده در ایران و خاورمیانه است که ساخت بدنه آن در سال ۱۳۴۴ آغاز و تا سال ۱۳۵۴ ادامه داشت.

از آنجا که این سد در بخش لرزه‌خیز استان خوزستان قرار گرفته است، پایداری آن در مقابل رویدادهای لرزه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا شبکه شتابنگاری اولین آرایه به هم پیوسته سدهای بزرگ کشور را در این سد پیاده‌سازی نمود.

این آرایه مجهز به ۶ دستگاه شتابنگار گورالپ بوده که توسط آنتن‌های رادیویی به یک کامپیوتر مرکزی متصل می‌باشند. رادیوها وظیفه انتقال داده‌ها را از ایستگاه‌های شتابنگاری به مرکز کنترل بر عهده دارند. در شکل ۴-۶ جانمایی این ایستگاه‌ها به صورت شماتیک نشان داده شده است. همچنین در شکل ۴-۷ دستگاه‌های نصب شده در تکیه‌گاه و تاج سد و در شکل ۴-۸ ایستگاه‌های نصب شده در گالری‌های سد نشان داده شده است. این آرایه در تاریخ ۱۱ دیماه ۱۳۹۰ زمین‌لرزه‌ای با بزرگای محلی ۳ را به ثبت رساند که رکوردهای ثبت شده در این آرایه در شکل ۴-۹ نشان داده شده است.



شکل ۴-۵ سد شهید عباسپور



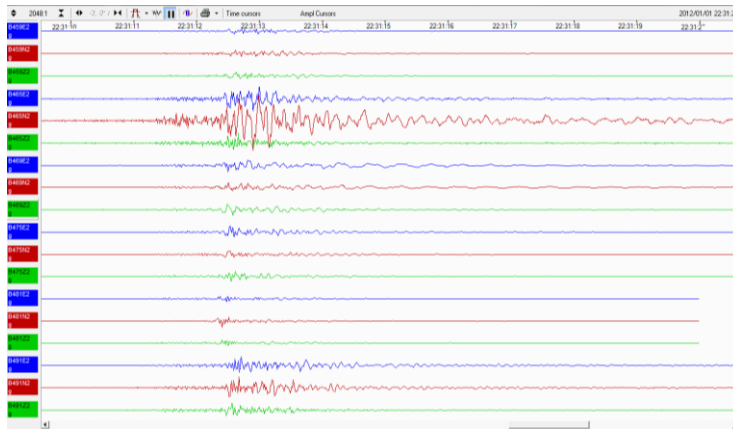
شکل ۴-۶ نقشه وضعیت ایستگاه‌های شتابنگاری سد شهید عباسپور



شکل ۷-۴ شتابنگار نصب شده در تکیه گاه راست و تاج سد



شکل ۸-۴ دستگاه شتابنگار نصب شده در گالری های سد



شکل ۹-۴ شتابنگاشت‌های ثبت شده در زمین‌لرزه ۱۱ دیماه ۱۳۹۰ در آرایه سد شهید عباسپور

۴-۲- طراحی و اجرای آرایه شتابنگاری لرزه‌ای برای ساختمان‌های بلند

اگر چه فعالیت شبکه ملی شتابنگاری از سال ۱۳۵۲ پس از زمین‌لرزه مخرب قیر-کارزین آغاز گردید، ولیکن تجربه ایجاد آرایه‌های خاص به خصوص آرایه درون سازه‌ای، تجربه‌ای نوین برای این شبکه محسوب می‌شود. ساختمان وزارت کشاورزی در شهر تهران از چند سال پیش دارای تعدادی دستگاه شتابنگار بوده که در ترازهای مختلف آن نصب بوده‌اند، ولیکن این دستگاه‌ها به هم متصل نبوده و دارای زمان مشترک و نرخ داده برداری مشترک نمی‌باشند، لذا به صورت یک آرایه سازه‌ای محسوب نمی‌گردیدند. در سال ۱۳۸۰ یک آرایه شتابنگاری مشتمل بر ۴ دستگاه شتابنگار دیجیتال در ساختمان مرکزی وزارت مسکن و شهر سازی نصب و راه‌اندازی گردید، که این آرایه توانست در مدت فعالیت خود دو زمین‌لرزه مهم چنگوره-آوج و فیروزآباد-کجور را ثبت نموده و مجموعاً ۷ شتابنگاشت را ثبت نماید. ممکن است در ذهن برخی از افراد این نکته تداعی شود که رویداد زمین‌لرزه‌های ویرانگر که این آرایه‌ها بتواند داده‌های مناسبی از آن در اختیار جامعه علمی کشور قرار دهد تا چه حد امکان پذیر است و به عبارتی تا چند سال باید صبر کرد که نگاشت‌هایی از این آرایه‌ها بدست آید؟ بی تردید حتی در لرزه خیزترین منطقه‌های جهان نیز رویداد یک زمین‌لرزه بسیار نیرومند در یک ساختگاه معین، پیشامد کمیابی است و قطعاً اطلاعات ثبت شده در این رویداد می‌تواند کمک موثری در تدوین و بروزرسانی آیین‌نامه‌های لرزه‌ای داشته باشد. در حقیقت عملکرد واقعی سازه‌های ساخته شده در هنگام زمین‌لرزه در چنین

رویدادهایی مورد راستی آزمایی قرار گرفته و بر اساس داده‌های ثبت شده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که آیا طراحی صورت گرفته مناسب بوده یا خیر.

۴-۲-۱- آزمایشگاه طبیعی زمین

یکی از مهم‌ترین راهکارها برای ارزیابی رفتار سیستم‌های ساختمانی، استفاده از آزمایشگاه طبیعی زمین برای مطالعه و مشاهده عملکرد (و احتمالاً آسیب‌های وارده) تحت اثر زمین‌لرزه‌ها می‌باشد. با تعیین فقدان مقاومت لرزه‌ای طرح‌های مشخص و سپس استفاده از روش‌های آزمایشگاهی برای تست مدل‌های بهبود یافته، می‌توان به پیشرفت‌های قابل توجهی در روش‌های طراحی دست یافت. برای این قبیل مطالعات طراحی، آزمایشگاه طبیعی زمین، یک ناحیه لرزه خیز خواهد بود که در آن انواع سیستم‌های ساختمانی وجود داشته باشد. در این نواحی جنبش‌های نیرومند زمین و حتی سطوح متوسط جنبش زمین نیز می‌تواند برای آزمایش‌های سیستم‌های سازه‌ای مفید باشد.

مکمل راهکار "آزمایشگاه طبیعی" تجهیز ساختمان‌های انتخاب شده به دستگاه‌های شتابنگار است که پاسخ آن‌ها می‌تواند در برابر زمین‌لرزه‌های محتمل آتی ثبت گردد. بنابراین ضروری است که آرایه‌های مشخصی از ثبت کننده‌های جنبش نیرومند زمین از زمان آغاز زمین‌لرزه در کانون و شروع جنبش زمین، رفتار زمین و سازه را ثبت نمایند. سیستمی که زلزله‌شناسان و مهندسين سازه را به یکدیگر پیوند می‌دهد، کاملاً مشخص است: "توسعه آرایه‌های شتابنگاری که امواج ناشی از زمین‌لرزه را در چشمه زمین‌لرزه و مسیر عبور امواج ثبت کند و همچنین پاسخ سازه را در هنگام وقوع زمین‌لرزه ثبت نمایند." هدف اصلی از تجهیز ساختمان‌ها به دستگاه‌های شتابنگار، بهبود دانش و فهم ما از رفتار و پتانسیل آسیب‌پذیری ساختمان‌ها تحت اثر بارهای دینامیکی زمین‌لرزه می‌باشد. به عنوان نتیجه این فرآیند، طراحی و اجرای ساختمان‌ها می‌تواند تا حدی بهبود یابد که در زمین‌لرزه‌های آینده، آسیب‌پذیری به حداقل برسد. در کنار تجهیزات و آرایه‌های نصب شده در ساختمان، اطلاعات ثبت شده مربوط به دستگاه میدان آزاد^۱ نیز می‌تواند به مهندسان کمک نماید تا در طراحی، پارامترهای دیگری همچون اندرکنش

^۱ Free Field

خاک و سازه را نیز در محاسبات خود در نظر بگیرند.

۴-۲-۲- تجربیات جهانی

تجهیز ساختمان‌های بلند به دستگاه‌های شتابنگار در کشورهای پیشرفته و لرزه‌خیز امری بدیهی و از دیر باز انجام شده است، به طوریکه در آیین‌نامه‌های زلزله این کشورها جزء ملزومات بوده است. به عنوان مثال در کالیفرنیا تمامی ساختمان‌های بلندتر از ۱۰ طبقه می‌بایست حداقل دارای ۳ دستگاه شتابنگار در طبقات مختلف باشند. دستور العمل‌های متنوعی در این باره توسط ارگان‌های مختلف در سطح جهان تدوین شده است که در طراحی این قبیل آرایه‌ها مورد استفاده شبکه ملی شتابنگاری قرار گرفته است.

۴-۲-۳- وضعیت موجود در کشور

از آن جایی که متولی اصلی رفتار نگاری جنبش نیرومند ناشی از رویداد زمین‌لرزه‌ها در کشور، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی است، عمده فعالیت‌های صورت گرفته در خصوص این مهم توسط این مرکز انجام شده است. سازمان‌های دیگر نیز فعالیتهایی صورت داده اند که در قیاس با حجم و کیفیت فعالیت‌های این مرکز، ناچیز بوده است. آنچه که مسلم است رشد روزافزون بلند مرتبه سازی در کشور نیاز به اجرای این قبیل آرایه‌ها را بیش از پیش آشکار می‌سازد. لذا از مجموع ساختمان‌های بلند در کشور، سه ساختمان وزارت جهاد کشاورزی، وزارت مسکن و شهرسازی، ساختمان مرکزی شرکت آب و نیروی ایران به این سامانه مجهز شده‌اند. البته واضح است که این تعداد با توجه به حجم سازه‌های موجود بسیار اندک بوده و تجهیز سازه‌های مهم دیگر بسیار ضروری می‌باشد که مقدمات انجام و اجرای آن در این مرکز صورت خواهد گرفت.

۴-۳- آرایه‌های ساختمانی اجرا شده

۴-۳-۱- ساختمان وزارت مسکن و شهرسازی

این ساختمان اولین سازه مجهز شده به یک آرایه شتابنگاری متصل به هم است که دارای ۴ دستگاه

شتابنگار در طبقات مختلف می‌باشد که در شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. دستگاه‌های شتابنگار در زیر زمین، طبقه پنجم و بام ساختمان نصب و راه‌اندازی شدند که توسط کابل‌های مخصوص به یکدیگر متصل گردیدند (شکل ۴-۱۰). این سامانه از بدو تاسیس تاکنون چندین زمین‌لرزه را که در اطراف و نزدیکی شهر تهران روی داده‌اند را ثبت کرده و داده‌های ثبت شده در آن در پروژه‌های تحقیقاتی مورد استفاده محققین قرار گرفته است.



شکل ۴-۱۰ ساختمان مرکزی وزارت مسکن و شهرسازی و دستگاه‌های نصب شده در آن



۴-۳-۲- ساختمان مرکزی شرکت آب و نیروی ایران

ساختمان مرکزی شرکت آب و نیروی ایران دومین ساختمان بلندی بود که در شهر تهران به آرایه شتابنگاری درون سازه‌ای مجهز گردید. آرایه این ساختمان متشکل از ۵ دستگاه شتابنگار دیجیتال متصل به هم می‌باشد که در طبقات مختلف آن نصب و راه‌اندازی شده‌اند. این آرایه نیز از بدو تاسیس چندین

زمین لرزه مهم را ثبت کرده است (شکل ۴-۱۱).

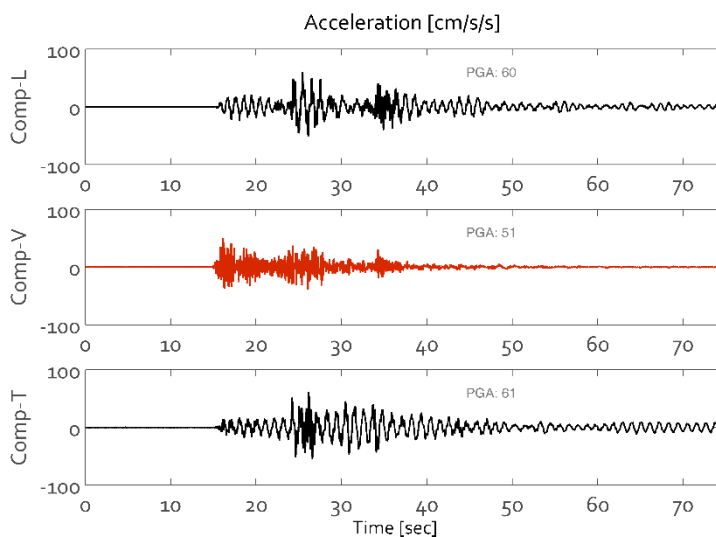


شکل ۴-۱۱ ساختمان مرکزی شرکت آب و نیروی ایران (بالا) به همراه نمونه‌ای از دستگاه شتابنگار نصب شده (پایین)

۴-۳-۳- دستاوردهای کاربردی

ماحصل فعالیت‌های آرایه‌های شتابنگاری درون سازه‌ای، ثبت رکوردهای سه مؤلفه‌ای در طبقات مختلف یک سازه بوده که می‌تواند اطلاعات ذیقیمتی را از پاسخ واقعی یک سازه تحت اثر بارهای دینامیکی

زمین‌لرزه بدست دهد. این اطلاعات پس از انجام پردازش‌های لازم مانند تصحیح پاسخ دستگاه، تصحیح اثر خط پایه و فیلتر کردن بمنظور حذف نوفه‌های فرکانس بالا و پایین به صورت تاریخچه زمانی‌های شتاب، سرعت، جابجایی، طیف‌های پاسخ و فوریه منتشر می‌گردند (شکل ۴-۱۲). در این مرحله مهندسین طراح و افرادی که دست اندرکار طرح‌های مقاوم سازی ساختمان‌ها می‌باشند می‌توانند با استفاده از این اطلاعات ویژگی‌های واقعی دینامیکی سازه را بدست آورده و نسبت به طراحی عناصری با مشخصات ویژه در جهت تقویت اسکلت سازه در برابر زمین‌لرزه اقدام نمایند.



شکل ۴-۱۲ نمونه‌ای از شتابنگاشت‌های ثبت شده در آرایه شتابنگاری وزارت مسکن

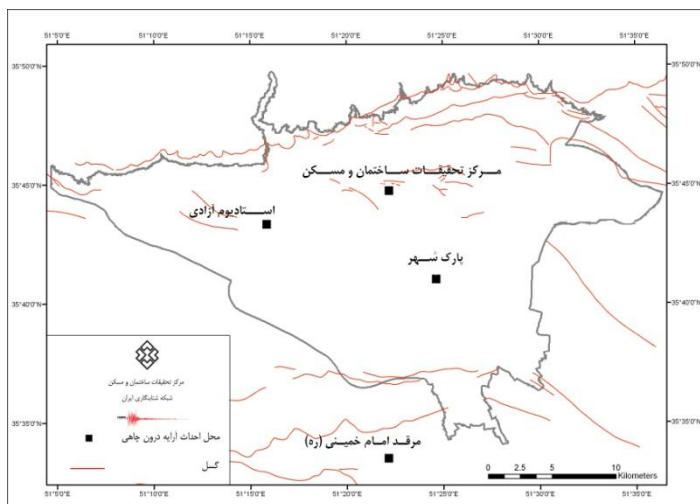
۴-۴- طراحی و اجرای آرایه شتابنگاری درون چاهی

هدف از احداث آرایه‌های درون چاهی، ثبت شتابنگاشت‌های همزمان در بستر سنگی و در سطح زمین در یک محل می‌باشد. داده‌های ثبت شده در رویداد زمین‌لرزه‌های مخرب برای درک بهتر جنبش‌های نیرومند زمین و رفتار خاک تحت تنش‌های زیاد، برای متخصصین زلزله‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک لرزه‌ای حیاتی است.

احداث آرایه‌های درون چاهی و یا به عبارتی ابزاربندی درون چاهی امکان منحصر به فردی را برای

اندازه‌گیری مستقیم اثر سطحی ساختگاه ایجاد می‌کند. از آن جایی که به دلیل هزینه زیاد حفر گمانه و تهیه و نصب تجهیزات درون چاهی هنوز متکی به داده‌های سطحی هستیم، مشاهدات درون چاهی می‌تواند در تفسیر داده‌های سطحی نقشی تعیین کننده داشته باشند. اندازه‌گیری‌های درون چاهی، نتایج بسیار بحث برانگیزی را در مسائل بنیادی زلزله‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک لرزه‌ای باعث شده است. به عنوان نمونه می‌توان به رفتار غیرخطی خاک که می‌تواند به عنوان داده مرجع جهت کالیبراسیون مورد توجه قرار گیرد، اشاره کرد. همچنین با ثبت داده‌های درون چاهی می‌توان اثرات پارامترهای دیگر چون بزرگای زمین‌لرزه، پاسخ غیرخطی خاک، تقویت یا کاهش‌دهی امواج لرزه‌ای، اثرات تغییرات تدریجی لایه‌ها نسبت به حالت تغییرات ناپیوسته و همچنین اثرات حالت اشباع خاک در مقایسه با خاک غیر اشباع را در اعماق مختلف خاک اندازه‌گیری نمود.

با توجه به خطر لرزه‌خیزی شهر تهران و سرعت احداث ساختمان‌های بلند مرتبه و اهمیت اثر خاک بر جنبش نیرومند زمین در هنگام رویداد زمین‌لرزه‌های احتمالی، نیاز است تا اثر خاک بر جنبش نیرومند زمین مورد مطالعه قرار داد. در این راستا در مرحله اول چهارمحل (مرقد امام، پارک شهر، ورزشگاه آزادی و مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) برای ایجاد آرایه‌های درون چاهی به گونه‌ای انتخاب شد تا مهم‌ترین آبرفت‌های شهر تهران را پوشش دهند (سینائیان و همکاران، ۱۳۹۰). بعد از انتخاب محل ایستگاه‌ها، (شکل ۴-۱۳)، عملیات حفر گمانه‌های ژئوتکنیکی صورت پذیرفت و آزمایش‌های ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی لازم در این گمانه‌ها صورت پذیرفت. سپس در عمق گمانه یک سنسور درون چاهی گورالپ و یک سنسور سطحی گورالپ در بالای هر گمانه نصب گردید. در شکل ۴-۱۴ الی شکل ۴-۱۶ مراحل مختلف نصب به همراه تصاویر ایستگاه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۴ محل ایستگاه‌های درون چاهی در محدوده شهر تهران



شکل ۱۴-۴ عملیات لوله‌گذاری در یکی از ایستگاه‌های شتابنگاری



شکل ۴-۱۵ سنسور درون چاهی قبل از نصب در گمانه



شکل ۴-۱۶ آرایه درون چاهی نصب شده در مرقد امام

۴-۵- برآورد میزان کاهندگی شتاب در اثر انفجار

یکی از مراحل مهم اکتشاف نفت عملیات لرزه‌نگاری است که در اغلب موارد با استفاده از انفجار انجام می‌شود. از دیگر کاربردهای مهم انفجارها برای استخراج معادن است. در اکتشاف نفت از انفجار به عنوان چشمه امواج لرزه‌ای و در استخراج معادن برای خرد کردن و جابجایی سنگ‌ها استفاده می‌شود. امواج لرزه‌ای ناشی از انفجارها در همه جهتها منتشر می‌شوند و از ساختمان‌های اطراف منبع انفجار عبور کرده و بر آنها تاثیر می‌گذارند. لرزش‌های حاصله می‌توانند باعث نگرانی شده و در صورتی که بیش از حد مجاز باشند، عامل ایجاد خسارت به ساختمان‌های اطراف خواهند بود.

از آن جایی که در اثر انفجار، نواحی نزدیک به چشمه انفجار (که اغلب به صورت سطحی می‌باشند) تحت تاثیر امواج قرار می‌گیرند، بررسی میزان کاهندگی این امواج تحت بررسی قرار گرفت تا محدوده تاثیرگذار چشمه‌های انفجاری در محیط را بتوان مشخص نمود.

تاکنون آیین‌نامه خاصی در ایران در این حوزه تدوین نشده است و تحقیقات صورت گرفته در شبکه شتابنگاری جزء اولین تلاش‌ها در این راه محسوب می‌شود.

در این پژوهش انجام شده، برداشت‌ها در زمان‌هایی مختلف با تعداد ۵ تا ۱۰ دستگاه شتابنگار انجام شده است. دستگاه‌ها در فواصل متفاوت از محل انفجارها به صورت میدان آزاد و همچنین بر روی ساختمان‌های موجود در محدوده مطالعاتی نصب شدند. از مجموع هزاران رکورد که تا فاصله تقریبی ۵۰۰۰ متر ثبت شده‌اند، حدود ۲۲۰۰ رکورد (فاصله افقی ۱ تا ۱۵۰۰ متر) برای تدوین رابطه کاهیدگی و ۲۳۶ رکورد برای مطالعه رفتار ساختمان‌های متداول روستایی مناسب تشخیص داده شدند. با توجه به دامنه کم ارتعاشات حاصل از انفجارها (جز در فواصل بسیار نزدیک) و کاهیدگی شدید امواج انفجار، ثبت داده‌ها در بازه زمانی برداشت به طور پیوسته بوده و سپس رکورد انفجارها از مقایسه با جدول زمانی انفجارها، تهیه شده توسط گروه اکتشاف، تکمیل شده است.

داده‌های فوق توسط محققانی جهت برآورد میزان کاهندگی و شناسایی محدوده تاثیرگذار مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل ۴-۱۹ و شکل ۴-۲۰ مراحل نصب تجهیزات در حوزه آزاد و سازه‌های اطراف محل چشمه انفجار نشان داده شده است. نتایج حاصل از این مطالعات به شرکت نفت ارائه گردید.



شکل ۴-۱۹ نصب تجهیزات ثبت ارتعاشات ناشی از انفجار



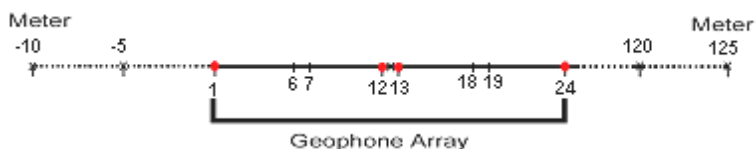
شکل ۴-۲۰ نصب سنسورهای جهت ثبت ارتعاشات سازه‌ای در اثر انفجار

۴-۶- مطالعات زمین‌شناسی ساختگاه ایستگاه‌ها با روش لرزه‌نگاری

بی‌تردید یکی از مهم‌ترین داده‌های بنیادین در شبکه‌های شتابنگاری دنیا که از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، شرایط زمین‌شناختی ایستگاه محل ثبت شتابنگاشت‌ها می‌باشد. بحث تاثیر شرایط خاک بر روی شتابنگاشت‌های ثبت شده در بخش‌های پیشین این کتاب مورد بحث قرار گرفته شد. از این رو برای انجام مطالعات زمین‌شناسی ساختگاهی ایستگاه‌های شتابنگاری ایران، روش مطالعات لرزه‌نگاری شکست مرزی که روشی فراگیر است، پیشنهاد و به عنوان بخشی از برنامه توسعه کیفی شبکه ملی شتابنگاری در فهرست پروژه‌های تحقیقاتی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی قرار گرفت. به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌های شتابنگاری کشور و محدودیت بودجه، اولویت‌بندی ایستگاه‌ها برای مطالعات زمین‌شناسی ساختگاهی ضروری بود و بدین منظور معیارهای مختلفی در نظر گرفته شد. از جمله این معیارها می‌توان به اهمیت زمین‌لرزه‌های رویداده، تعداد شتابنگاشت‌های به دست آمده و ویژگی‌های آن‌ها، بیشینه مقادیر شتاب‌های ثبت شده و... اشاره نمود. پس از انتخاب ایستگاه‌ها با لحاظ نمودن معیارهای فوق، به لحاظ ضرورت و اهمیت انجام این مطالعات برای تمامی ایستگاه‌ها و صرفه جویی در وقت و هزینه‌ها، سایر ایستگاه‌های دائمی و میدان آزاد که در محدوده ایستگاه‌های انتخابی قرار داشتند نیز مطالعه شدند. به طور کلی برای انجام عملیات شکست مرزی پس از تعیین ابعاد آرایه، گروه ۲۴ تایی ژئوفون‌ها (شکل ۴-۲۱) به صورت آرایش خطی در فواصل مساوی بر روی زمین نصب شده، و بسته به شرایط در ۳ تا ۷ نقطه و به حالت متقارن ضربه اعمال گردید، و در هر مرحله رکورد ثبت شد. برای تولید امواج P از ضربه چکش بر روی زمین یا ورقهای ضربه‌گیر متفاوت استفاده شده است. جهت تولید امواج S، از ضربه افقی شاسی فلزی در دو جهت مخالف برای سیگنال با دو پلاریته منفی و مثبت انجام شد. در آزمایش‌های انجام شده به طور میانگین از ۵ شوت استفاده شد، و فاصله ژئوفونها حتی الامکان ۵ متر و در مواردی ۴ متر انتخاب گردید. علاوه بر شوت‌های ± 5 متر در مواردی که امکان پذیر بود، شوت دور نیز برداشت شده که فاصله آن با توجه به شرایط از ۱۰ تا ۲۵ متری ژئوفون‌های انتهایی بوده است. چنانچه گیرنده شماره ۱ را مبدا فرض کنیم، دور افت‌های اعمال شده مطابق شکل ۴-۲۲ می‌باشد.



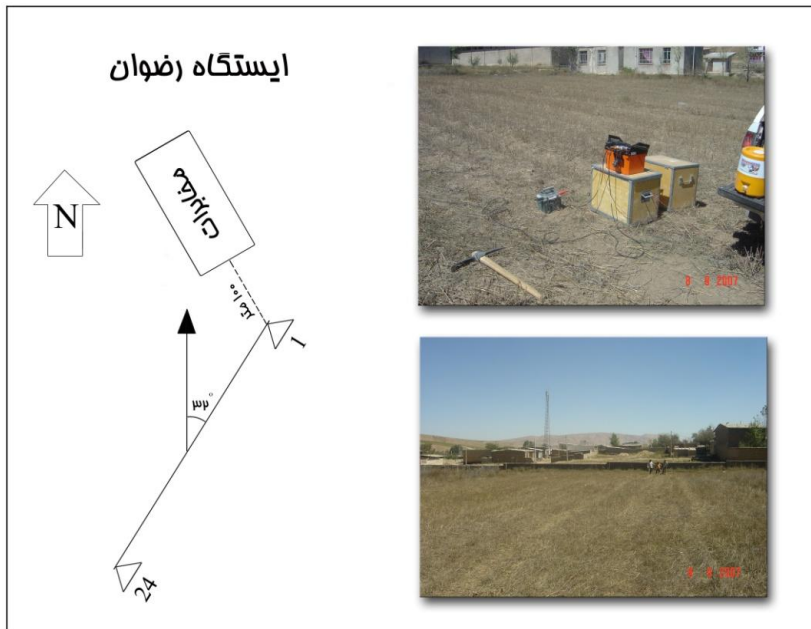
شکل ۴-۲۱ تجهیزات مرتبط با برداشت‌های لرزه‌نگاری



شکل ۴-۲۲ آرایش آرایه‌های ژئوفن‌ها به همراه محل‌های ضربه

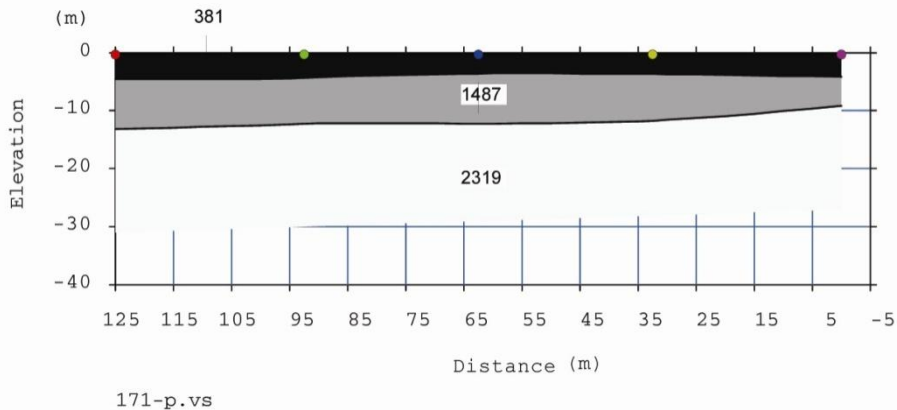
داده‌های حاصل از برداشت‌های شکست مرزی پس از پردازش و حذف نوفه‌ها، مورد اندازه‌گیری و تفسیر قرار گرفتند. با رسم نمودارهای مسافت-زمان می‌توان مقادیر V_i و ضخامت لایه‌ها را محاسبه کرد. در این پروژه از نرم افزار Winsism 10 جهت تفسیر داده‌ها استفاده شده و نتایج حاصل تفسیر به صورت مقاطع لرزه‌ای ارائه گردیده است. در ادامه برای نمونه عملیات انجام شده در ایستگاه شتابنگاری رضوان در استان سمنان ارائه می‌گردد.

این ایستگاه با مختصات جغرافیایی $55,793$ درجه طول شرقی و $37,184$ درجه عرض شمالی و در ارتفاع 1353 متری از سطح دریا واقع شده است. از زمان نصب دستگاه در تاریخ $1375/11/01$ تاکنون، تعداد ۳ شتابنگاشت به ثبت رسانده است. بیشینه شتاب ثبت شده در این ایستگاه 17 سانتی متر بر مجذور ثانیه می‌باشد.

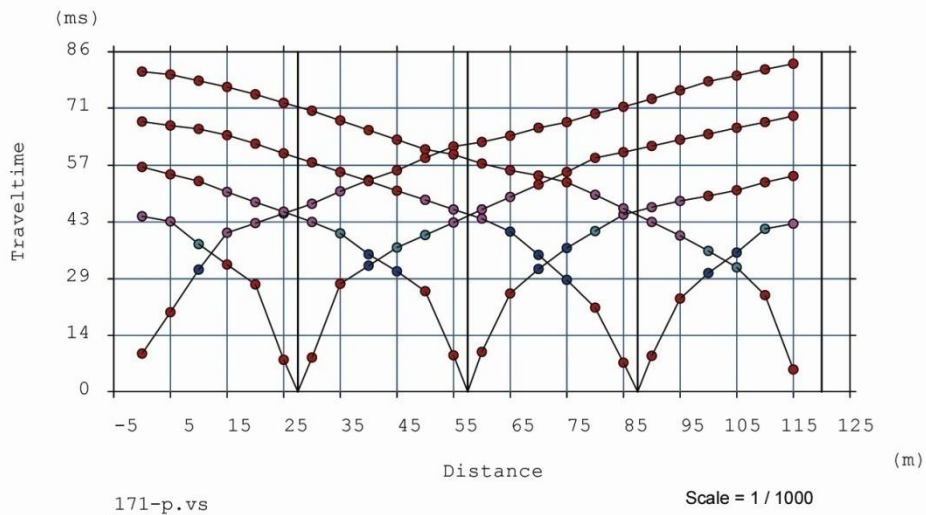


شکل ۴-۲۳ مطالعات لرزه‌نگاری در ایستگاه شتابنگاری رضوان

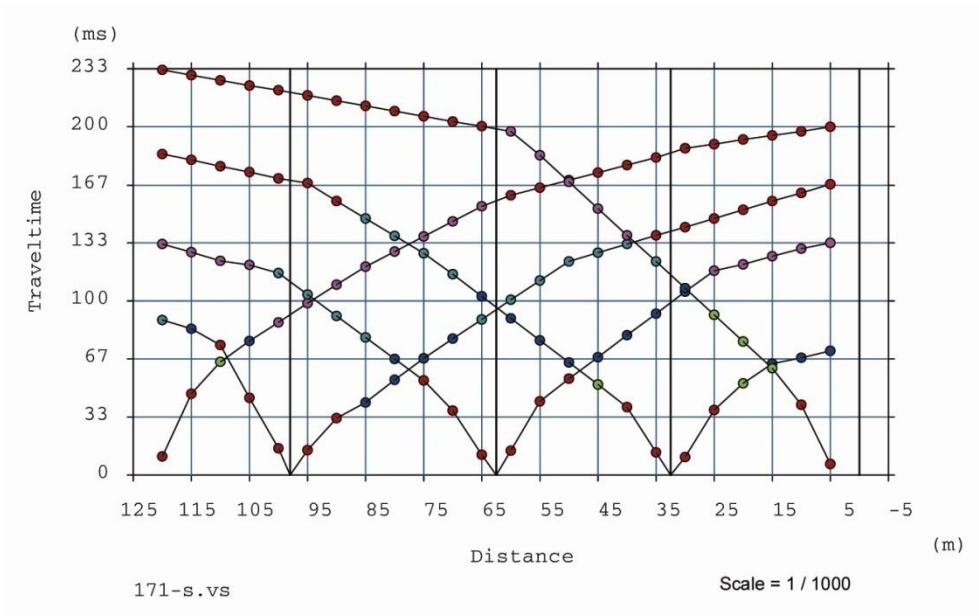
یک پروفیل با امتداد تقریبی شرق شمال شرقی - غرب جنوب غربی و راستای تقریبی ۲۵۸ درجه با فواصل ژئوفونی ۴ متر برای مطالعه سرعت سیر امواج P و S در فاصله تقریباً ۱۰۰ متری جنوب غربی ساختمان مخابرات (محل نصب دستگاه) اجرا شده است (شکل ۴-۲۳). شکل ۴-۲۴ که حاصل تفسیر برداشت‌های امواج تراکمی P است، تفکیک سه لایه لرزه‌ای اصلی را نشان می‌دهد. میانگین ستبرای لایه اول حدود ۳/۷ متر و دارای متوسط سرعت سیر امواج تراکمی P حدود ۳۸۱ متر بر ثانیه می‌باشد. میانگین سرعت سیر امواج تراکمی در دومین لایه با متوسط ضخامت ۷/۹ متر، برابر ۱۴۸۷ متر بر ثانیه و سرعت سیر این امواج در لایه سوم، که از ژرفای محاسباتی ۱۱/۶ متری شروع می‌شود، برابر ۲۳۱۹ متر بر ثانیه می‌باشد. در این مدل میانگین سرعت سیر امواج برشی S بترتیب برابر ۲۴۶ متر بر ثانیه برای لایه اول، ۴۲۷ متر بر ثانیه برای لایه دوم و ۶۷۶ متر بر ثانیه برای لایه سوم و V_s30 برابر با ۴۹۴ متر بر ثانیه شده است. منحنی زمان سیر امواج P و S به ترتیب در شکل ۴-۲۵ و شکل ۴-۲۶ آورده شده است.



شکل ۲۴-۴ تفسیر برداشت‌های امواج تراکمی P



شکل ۲۵-۴ منحنی زمان سیر امواج P



شکل ۴-۲۶ منحنی زمان سیر امواج S

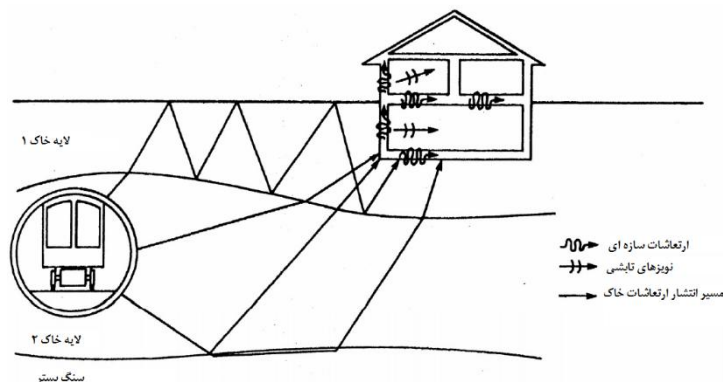
در مجموع در ۵۸۰ ایستگاه از شبکه ملی شتابنگاری برداشت‌های لرزه‌ای صورت گرفته است (شبکه شتابنگاری ۱۳۸۷- گزارش‌های هشت جلدی).

۴-۷- ارزیابی ارتعاشات محیطی

با توجه به گسترش شهرنشینی و ورود قطارهای شهری، مشکلاتی همچون ارتعاشات ناشی از حرکت قطارها در زیرزمین به دیگر عوامل ارتعاشات محیطی اضافه شده است. این نوع از ارتعاشات در دراز مدت باعث افزایش خستگی^۱ سازه‌ای می‌شود که عمر مفید سازه را کوتاه‌تر می‌نماید. همچنین این نوع از ارتعاشات می‌تواند در عملکرد تجهیزات ابزار دقیق و آزمایشگاهی حساس به ارتعاشات محیطی (دامنه و فرکانس) تاثیر منفی داشته باشد. از اینرو اندازه‌گیری دامنه، کاهندگی و محدوده فرکانسی ارتعاشات محیطی کمک موثری در برنامه‌ریزی و ایجاد تمهیدات جهت به حداقل رساندن تاثیرات ثانویه در پی خواهد داشت. در شکل ۴-۲۷ نمایی از انتشار ارتعاشات ناشی از حرکت قطارهای شهری نشان داده شده

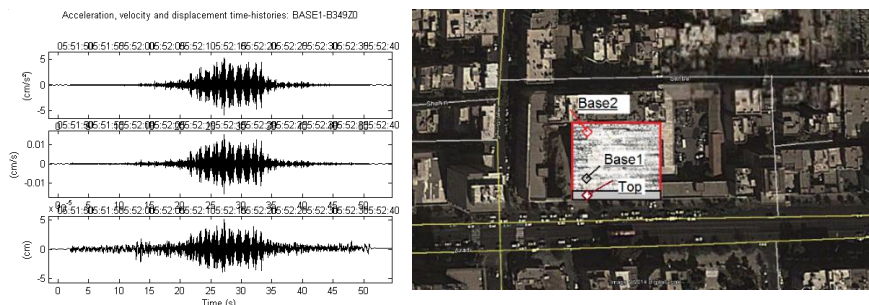
^۱ Fatigue

است.



شکل ۴-۲۷ انتشار امواج ناشی از حرکت قطارهای شهری (ریمینگتون و همکاران، ۱۹۸۷)

در یکی از پروژه‌های صورت گرفته توسط شبکه شتابنگاری ایران، ارتعاشات محیطی در سازه‌ای واقع در مرکز تهران (محل تقاطع دو خط مترو) در اعماق مختلف اندازه‌گیری گردید. از آنجا که عمق گودبرداری در حدود ۲۱ متر بوده، ۲ سنسور ۳ مولفه‌ای شتابنگاری در عمق گود با فواصل مختلف از خط مترو و یک سنسور ۳ مولفه‌ای نیز در سطح، ارتعاشات ناشی از حرکت قطارها را در طول ۳ شبانه روز (روز کاری، نیمه کاری و تعطیل) اندازه‌گیری نمودند.



شکل ۴-۲۸ محل قرارگیری سنسورهای اندازه‌گیری توسط لوزی (راست) و نمونه اندازه‌گیری ارتعاشات ناشی از حرکت قطار توسط سنسور واقع در عمق گود برداری (چپ).

محل قرارگیری سنسورها و نمونه‌ای از ارتعاش ثبت شده در شکل ۴-۲۸ نشان داده شده است. در این پروژه میزان دامنه طیفی ارتعاشات در عمق‌های مختلف اندازه‌گیری شده و معیارهای لازم جهت تصمیم‌گیری بر اساس نتایج ارائه گردید.

۴-۸- طراحی و اجرای سامانه پاسخ سریع زمین لرزه

مدیریت مخاطرات طبیعی، به خصوص زمین لرزه امری مشکل می‌باشد. اگرچه امروزه بشر با پیشرفت‌های تکنولوژیکی، به خصوص در زمینه مقابله با پدیده طبیعی زمین لرزه به نتایج مطلوبی رسیده که نمود عینی آن‌ها را در آئین نامه‌های ساخت و ساز مشاهده می‌کنیم، ولیکن هنوز زمین لرزه در زمره مخاطره آمیزترین پدیده‌های طبیعی محسوب می‌شود. امروزه دانشمندان علوم زمین لرزه صراحتاً بر این نکته تاکید دارند که پیش بینی زمین لرزه به این معنا که بزرگا و مکان آن مشخص گردد با دانش فعلی بشر امکان پذیر نیست، ولیکن سیستم‌های هشدار و پاسخ سریع زمین لرزه می‌توانند در کاهش خسارات جانی و مالی این پدیده بسیار سودمند باشند.

زمین لرزه ۲۱ سپتامبر ۱۹۹۹ چیچی تایوان اولین تجربه عملکرد مثبت این سیستم بود. اطلاعات بدست آمده از این سیستم در این زمین لرزه تصویر دقیقی از اثرات این رویداد را آشکار و مسیر امداد را مشخص و کمک شایانی به امداد گران نمود. مدیریت موثر بحران در این زمین لرزه جان تعداد زیادی از مردم را نجات داد. این سیستم براساس عملکرد صدها دستگاه شتابنگار و لرزه نگار که در سراسر جزیره نصب شده‌اند عمل می‌کند که همه آن‌ها به یک سیستم کنترل مرکزی متصل می‌باشند.

مشابه این سیستم در استانبول ترکیه، مکزیکو سیتی، کالیفرنیا و هند در حال فعالیت بوده یا در مرحله اجرا می‌باشد. سامانه‌های هشدار و پاسخ سریع زمین لرزه بر اساس اختلاف زمانی رسید امواج p یا اولیه و امواج s یا ثانویه استوار بوده و با توجه به این اختلاف و تفاوت سرعت بسیار زیاد امواج رادیویی یا مشابه با امواج زمین لرزه قادر به ارسال هشدار در بدو رویداد زمین لرزه و یا ارائه اطلاعات اساسی جنبش نیرومند زمین بلافاصله بعد از رویداد زمین لرزه هستند. نکته مهم در سامانه پاسخ سریع زمین لرزه فاصله زمانی بین رسید امواج p و s می‌باشد که هر چه این زمان بیشتر باشد، فرصت کافی برای هشدار وجود خواهد داشت. در این طرح در مرحله اول نصب ۲۰ دستگاه شتابنگار در مناطق مختلف تهران پیش بینی شده است. نحوه ارتباط این دستگاه‌ها در مرحله اول از طریق اینترنت و در نهایت بوسیله ماهواره خواهد بود.

چرا تهران؟

شهر تهران در دامنه جنوبی البرز مرکزی و بر روی نهشته‌های آبرفتی کواترنر بنا شده و قسمت جنوبی آن کم و بیش در کناره شمال باختری کویر بزرگ مرکزی ایران قرار دارد. اختلاف بلندی ناگهانی و شدید میان شهر تهران (با میانگین ارتفاع ۱۳۰۰ متر) و نزدیکترین قله به آن در یک فاصله‌ای کمتر از ۱۰ کیلومتر (قله توجال با بلندی نزدیک به ۳۹۳۳ متر) یکی از ویژگی‌های پستی و بلندی گستره تهران است که بنا به دید چالنگو (۱۹۷۴) نتیجه مؤلفه شاغولی است که در راستای راندگی جنبای شمال تهران رویداده است. علاوه بر وجود راندگی جنبای شمال تهران و چند گسل جوان و جنبای دیگر در شمال و جنوب شهر، نهشته‌های آبرفتی دشت تهران و شهر ری دارای شکستگی‌های کوچک فراوانی است که ممکن است به هنگام جنبیدن گسل‌های بزرگ و زمین‌لرزه دچار لغزش، جنبش و جابجایی شوند. زمین‌لرزه‌های مخرب تاریخی در ناحیه شهر ری در زمان ۴ سده پیش از میلاد مسیح و همچنین زمین‌لرزه‌های تاریخی ۷۴۳، ۸۵۵، ۹۵۸ میلادی شهر ری و از سوی دیگر رخداد زمین‌لرزه‌های مهم ۱۱۷۷ و ۱۹۶۲ میلادی بوئین زهرا در جنوب دشت قزوین در غرب تهران که برآورد می‌شود همگی بزرگایی بیش از ۷ داشته‌اند، نمایانگر احتمال رویداد زمین‌لرزه‌های مخرب در ناحیه شهری یا در نزدیکی گستره شهر تهران است. رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ در شهر تهران پیامدهای فاجعه باری بدنبال خواهد داشت به طوری که اثرات ویرانگر و دنباله‌داری بر جامعه و اقتصاد بر جای خواهد گذاشت. مهم‌ترین چالش‌های پیش رو در برابر رویداد یک زمین‌لرزه ویرانگر در این شهر به صورت خلاصه بدین صورت است

- ایمنی تاسیسات مهم حیاتی مانند بیمارستان‌ها، مراکز آتش‌نشانی، مراکز کمک‌رسانی
- وضع ساختمان‌های شهر تهران که شامل تعداد بسیار زیادی ساختمان قدیمی فاقد اسکلت و ساختمان‌های نوساز فاقد مقاومت در برابر زمین‌لرزه هستند.
- وجود خطوط لوله‌های نفت و گاز و انبارهای بزرگ فرآورده‌های نفتی به خصوص در مناطق جنوبی تهران
- وجود لوله کشی گاز شهری تهران و احتمال رویداد آتش‌سوزی

- وجود سدها در پیرامون تهران و خطوط لوله انتقال آب به شهر تهران
- خطوط برق فشار قوی
- احتمال روانگرایی خاک در برخی مناطق به خصوص در جنوب شهر تهران
- احتمال رویداد زمین لغزش و سنگریزش به خصوص در مناطق شمالی و کوهستانی پیرامون موارد فوق فهرست اندکی از خطرات یک زمین‌لرزه احتمالی در شهر تهران است که می‌توان بر شمرد. مهم‌ترین سوالی که در پی رویداد یک زمین‌لرزه بزرگ در شهری مانند تهران مطرح است شناسایی مناطقی است که بیشترین خسارات و تلفات را در هنگام رویداد متحمل شده‌اند. مسلماً اتکا به روش‌های سنتی و تجربیات گذشته کشور در برابر زمین‌لرزه نمی‌تواند برای ابر شهری مانند تهران کارساز باشد. لذا ضروری است با به کارگیری امکانات مدرن سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و سامانه‌های ارتباطی ایمن دامنه خسارات این پدیده طبیعی را به حداقل رساند. امروزه در کشورهای مدرن و لرزه‌خیز به کارگیری سامانه‌های واکنش و هشدار سریع زمین‌لرزه به یک ضرورت اجتناب ناپذیر در امر مدیریت بحران بدل شده است.

۴-۸-۱- سیستم پاسخ سریع^۱

چند ساعت اولیه پس از وقوع زمین‌لرزه، اطلاعات مربوط به واقعه بسیار مهم و حیاتی می‌باشند و به شدت این اطلاعات برای بهینه کردن توزیع منابع و مدیریت بحران مورد نیاز می‌باشند. سیستم‌های پاسخ سریع از سیستم‌های اطلاعاتی داده - زمان واقعی زمین‌لرزه هستند و شامل تعداد زیادی از ایستگاه‌های شتابنگاری است که با نظم و الگوی معینی در منطقه مورد نظر نصب می‌شوند. با توجه به این که دستگاه‌های لرزه‌نگار باند پهن در نزدیکی مراکز زمین‌لرزه اشباع می‌شوند، لزوم استفاده از دستگاه‌های شتابنگار ضروری بوده و از نظر هزینه نیز به صرفه‌تر است.

یک ارتباط مستمر و مداوم با پایگاه پردازشگر مرکزی مورد احتیاج است و هر ثانیه این دستگاه‌ها به طور مستمر اطلاعات را به کنترل مرکزی می‌فرستند. ایستگاه‌های سیستم‌های پاسخ سریع می‌توانند

^۱ Rapid Response System

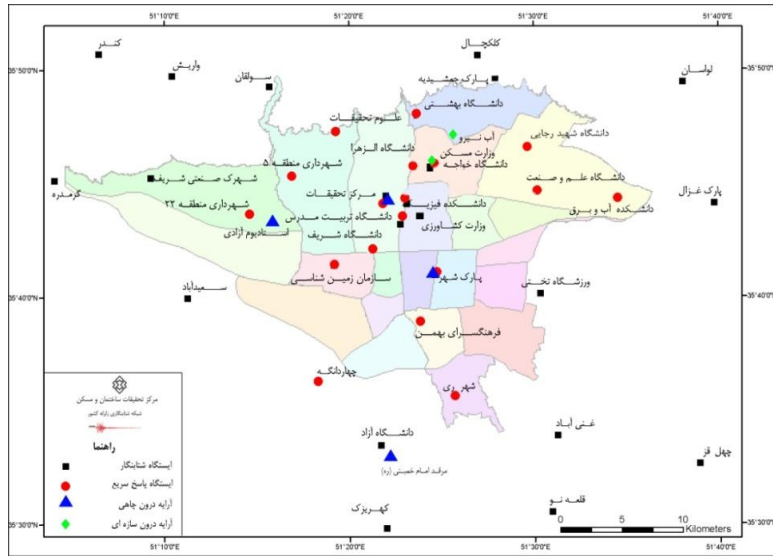
بوسیلهٔ وسایل مختلف ارتباطی مانند تلفن، تلفن‌های همراه، اینترنت و ماهواره مجهز شوند. از این طریق اطلاعات پارامترهای جنبش زمین را به پایگاه می‌فرستند. این اطلاعات برای تهیه نقشه‌های لرزش به صورت اتوماتیک، لازم و اساسی هستند که خود این نقشه‌ها ورودی‌های اصلی برای تخمین و برآورد خسارات و کشته‌ها می‌باشند.

۴-۸-۲- نقشه‌های لرزش^۱

مهم‌ترین خروجی یک سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه نقشه‌های لرزش زمین می‌باشند. این ابزار یکی از کارآمدترین ابزارهای یک سیستم مدیریت بحران بلافاصله بعد از رویداد زمین‌لرزه می‌باشد. این نقشه‌ها توزیع لرزش زمین را به صورت پارامترهای جنبش زمین نشان می‌دهند و مقیاس‌های متفاوتی از مناطق مسکونی تا گستره ناحیه‌ای را تحت پوشش قرار می‌دهند. اولین نقشه لرزش اتوماتیک بوسیلهٔ والد و همکاران (۱۹۹۹) برای زمین‌لرزه‌ای در کالیفرنیا جنوبی به عنوان قسمتی از پروژه (TriNet) تهیه گردید.

برای شهر تهران، سامانه پاسخ سریع با ۲۰ ایستگاه شتابنگاری در فاز اول طراحی و اجرا گردید (شکل ۴-۲۹). در شکل ۴-۳۰ تعدادی از ایستگاه‌های این سامانه نشان داده شده است. بعد از وقوع زمین‌لرزه در تهران، این سامانه با استفاده از داده‌های شتابنگاری ثبت شده، اقدام به تولید نقشه‌های لرزش شدت در منطقه نموده و نتایج را به طور اتوماتیک محاسبه می‌کند (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۹۲). با استفاده از این نتایج می‌توان در دقایق اولیه بعد از وقوع زمین‌لرزه، مناطق با آسیب پذیری بالا را مشخص نمود و از آن در مباحث مربوط به مدیریت بحران و امداد و نجات استفاده نمود.

^۱ Shake Maps



شکل ۴-۲۹. جانمایی ایستگاه‌های سامانه پاسخ سریع شهر تهران به همراه ایستگاه‌های دیگر



دانشگاه شهید بهشتی



سازمان زمین شناسی



فرهنگسرای بهمن



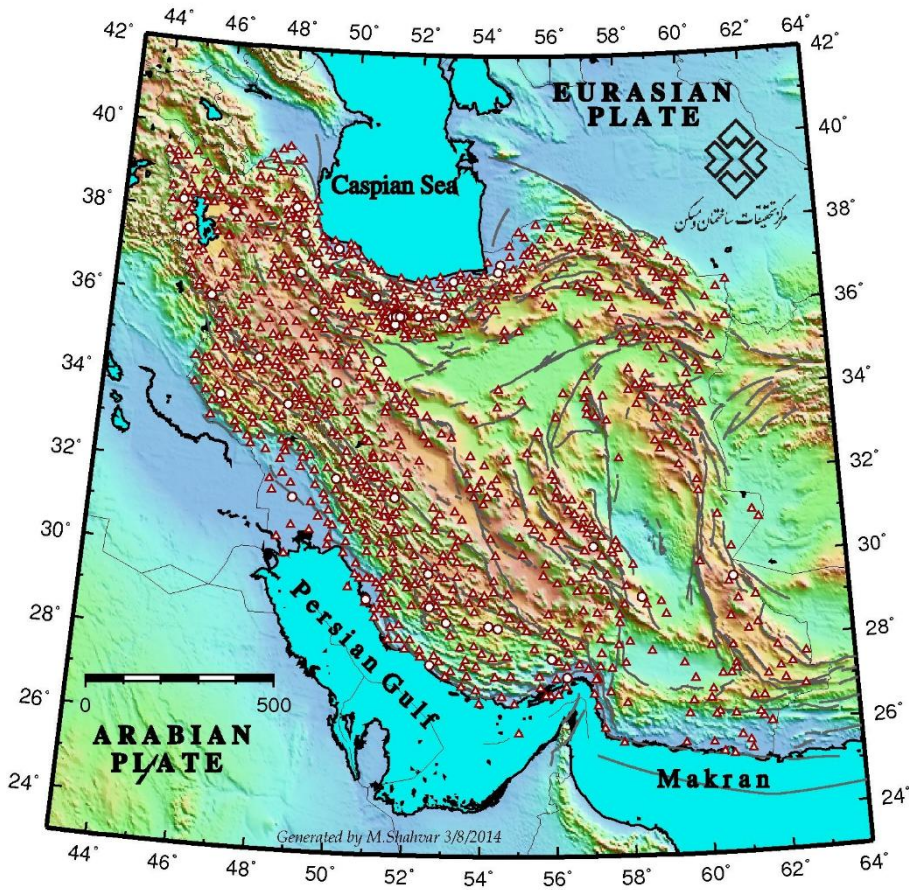
دانشگاه صنعتی شریف

شکل ۴-۳۰. نمای تعدادی از ایستگاه‌های سامانه پاسخ سریع شهر تهران

فصل پنجم

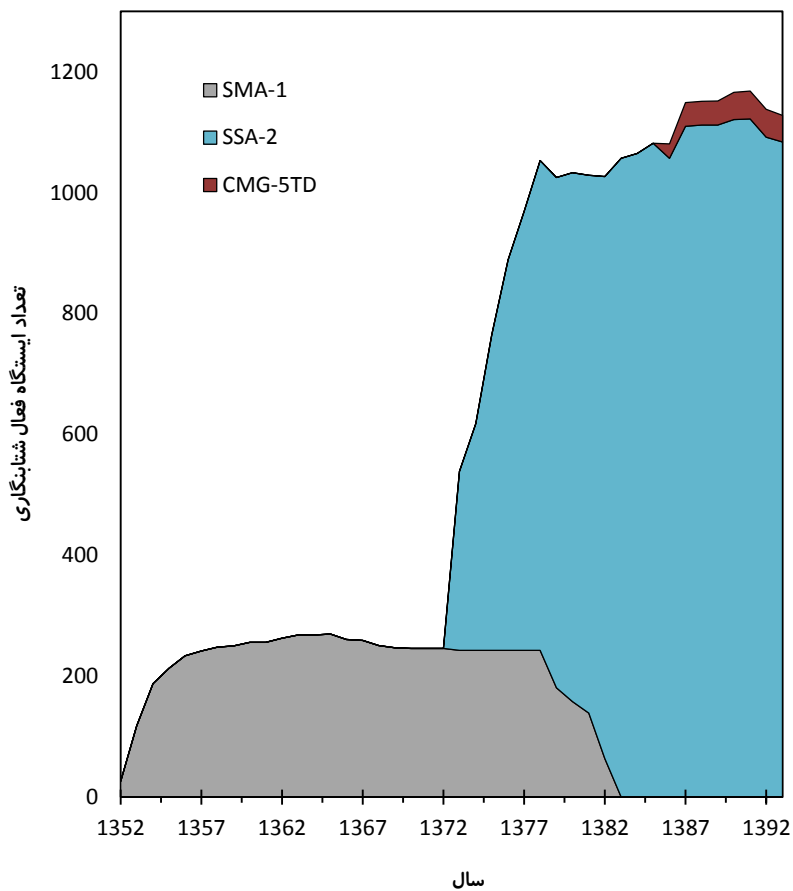
وضعیت فعلی شبکه شتابنگاری و چشم انداز نزدیک

در این فصل از کتاب به وضعیت فعلی شبکه شتابنگاری ایران و برنامه‌های آن برای آینده پرداخته شده است. همانگونه که در فصل سوم بیان شد، شبکه شتابنگاری ایران هم اکنون دارای ۲ نوع دستگاه از دو شرکت مختلف می‌باشد که دستگاه‌های SSA-2 از شرکت کینمتریکس و CMG-5TD از شرکت گورالپ را شامل میشوند. همچنین تعداد ۴ آرایه درون‌چاهی نیز متعلق به این شرکت می‌باشد. در شکل ۱-۵ پراکندگی ایستگاه‌ها در پهنه ایران و در شکل ۲-۵ تعداد ایستگاه‌های موجود در شبکه برحسب زمان نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در سال‌های اخیر توسعه‌ای صورت نگرفته است که دلیل آن عدم تخصیص بودجه و مشکلات ناشی از تحریم‌ها می‌باشد. در ادامه به چگونگی انتقال داده‌ها، پردازش داده‌ها، بانک داده‌ها، پرتال اینترنتی و نحوه اطلاع‌رسانی پرداخته شده است. در انتها نیز برنامه نوسازی و توسعه شبکه شتابنگاری نیز به اختصار توضیح داده شده است.



Iranian Strong Motion Network (1972-2015)

شکل ۱-۵ نقشه ایستگاه‌های فعال شبکه شتابنگاری ایران. ایستگاه‌های برخط توسط دایره و ایستگاه‌های SSA-2 توسط مثلث نشان داده شده است.



شکل ۵-۲ تعداد سالیانه ایستگاه‌های فعال بر اساس مدل دستگاه. هر ایستگاه شامل ۳ کانال (۲ کانال افقی عمود بر هم و یک کانال عمودی) جهت ثبت داده‌های شتاب می‌باشد. در سال‌های انتهایی بدلیل فرسودگی دستگاه‌های SSA-2 شیب منفی شده است.

۵-۱- انتقال داده‌ها

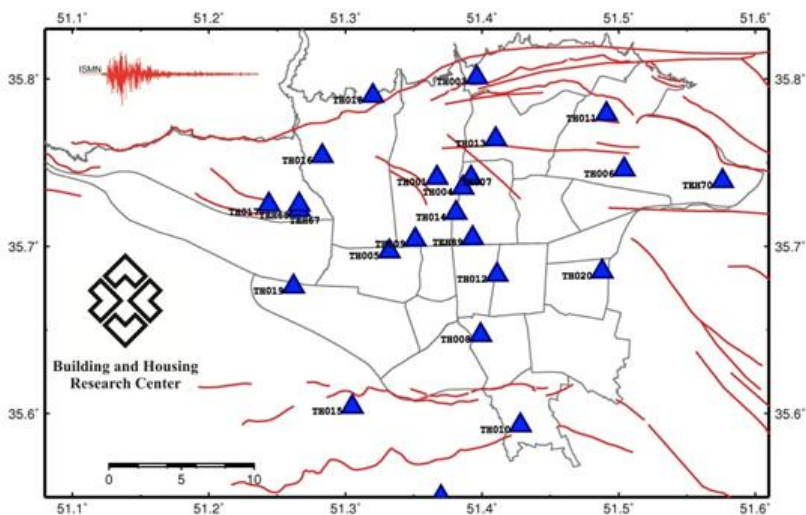
هم اکنون انتقال داده‌ها برای آرایه‌های SSA-2 به دو روش ارتباط تلفنی^۱ و برداشت در محل (به دلیل عدم امکان برقراری تماس تلفنی در بعضی از ایستگاه‌ها) می‌باشد. اما برای آرایه‌های CMG-5TD امکان ارتباط برخط^۲ نیز وجود داشته و این ایستگاه‌ها از طریق اینترنت کنترل می‌گردند. شبکه شهر تهران از طریق شبکه داخلی (خطوط MPLS) و دیگر ایستگاه‌ها بوسیله ADSL در ارتباط می‌باشند. در شکل ۳-۵ نمونه‌ای از تجهیزات جهت ارتباط اینترنتی در ایستگاه دانشگاه شهید رجایی نشان داده شده است. همچنین در شکل ۴-۵ ایستگاه‌های برخط شبکه شتابنگاری در محدوده شهر تهران نشان داده شده است. تقریباً تمامی شتاب‌نگارهای این شبکه از طریق ارتباط تلفنی و اینترنتی از مرکز کنترل و نگهداری، قابل دسترسی است و داده‌های ثبت شده تعداد کمی از آن‌ها با بازدید محلی تخلیه می‌شوند.



شکل ۳-۵ نمونه‌ای از تجهیزات ارتباطی اینترنتی در ایستگاه دانشگاه شهید رجایی

^۱ Dial-Up

^۲ On-Line



شکل ۴-۵ نقشه ایستگاه‌های شبکه شتابنگاری که بطور برخط در محدوده تهران کنترل می‌گردند

۲-۵- پردازش داده‌ها

داده‌های دریافتی از دستگاه‌های شتابنگار بصورت خام بوده و پردازش‌های اولیه جهت استفاده عمومی ضروری می‌باشد. پردازش داده‌ها در ابتدا با تصحیح دستگاهی صورت می‌گیرد، بدین صورت که فایل‌های رقومی ثبت شده با توجه به مشخصات سنسور تصحیح شده به رکورد رقومی شتاب تبدیل می‌شود. این رکوردها که به رکوردهای تصحیح نشده^۱ شناخته می‌شوند، هم‌اکنون به فرمت CSMIP (V1) ارائه می‌گردند.

با توجه به محل نصب دستگاه، از آنجا که در هنگام ثبت امواج زمین‌لرزه، امواج نویز نیز توانان ثبت می‌گردد، لازم است تا تصحیحات مربوط جهت حذف نویز از رکورد صورت پذیرد. از آنجا که نویز با پرپود بلند سبب مشکل انحراف در خط مبنا در رکوردهای شتاب نیز می‌گردد، لذا پردازش صحیح شتاب‌نگاشت‌ها بسیار مهم می‌باشند. انحراف از خط مبنا معمولاً در رکوردهای شتاب که به صورت فرکانس بالا می‌باشند، مشاهده نمی‌شود، اما اثر آن را به خوبی می‌توان در رکوردهای مربوط به سرعت

^۱ Uncorrected

و جابه‌جایی حاصل از انتگرال‌گیری از روی رکورد شتاب مشاهده نمود به گونه‌ای که اغلب این رکوردها انحرافات مشخصی از خط مبنا نشان داده و کاملاً غیر واقعی به نظر می‌آیند. تاکنون الگوریتم‌های مختلفی به منظور تصحیح خط مبنا ناشی از نویز با پریود بلند و نیز فیلتر کردن نویز حاضر در رکوردهای شتاب پیشنهاد شده است. یک فیلتر در حقیقت به صورت یک تابع ریاضی در حوزه فرکانس بوده که مقدار آن در محدوده فرکانسی که پردازشگر تمایل به حفظ آن دارد برابر واحد بوده و در محدوده‌هایی که می‌بایست حذف گردد، برابر صفر می‌باشد. الگوریتم‌های تصحیح خط مبنا نیز اغلب شامل برازش خطوط مستقیم و یا منحنی‌های چند جمله‌ای درجه پایین بر روی سرعت نگاشت حاصل از انتگرال‌گیری از روی رکورد شتاب و سپس تفریق مشتق این خطوط یا منحنی‌ها از روی رکورد شتاب می‌باشد.

نکته‌ای که در خصوص طرح‌های متعدد پردازش رکوردهای شتاب می‌بایست در نظر داشت، آن است که در کلیه این طرح‌ها مرحله اصلی، مرحله اعمال فیلتر بالاگذر (به منظور حذف نویز با پریود بالا) و نیز فیلتر پایین‌گذر (برای حذف نویز با پریود کوتاه) می‌باشد و در صورت اعمال فیلترهای مشابه عملاً نتایج این طرح‌ها تفاوت چندانی با یکدیگر نخواهد داشت (بور و بومر ۲۰۰۵). هرچند که مزیت استفاده از فیلترها کاملاً روشن می‌باشد، اما می‌بایست شخص پردازشگر کاملاً از حساسیت نتایج حاصل از اعمال فیلتر به پارامترهای انتخابی در فیلتر اعمالی آگاهی داشته باشد. یک فیلتر را می‌توان در حوزه زمان، با هم‌آمیخت^۱ تابع تبدیل یافته فیلتر در حوزه زمان در سری زمانی و یا در حوزه فرکانس، با ضرب تابع فیلتر در طیف دامنه فوریه مربوط به سری زمانی، اعمال نمود.

روشی که بر مبنای آن فیلتر بر روی شتاب‌نگاشت موردنظر اعمال می‌گردد بسیار حائز اهمیت است. انتخاب اصلی در این خصوص مابین فیلترهای علی^۲ و غیرعلی^۳ می‌باشد. مزیت اصلی فیلتر غیر علی آن است که هیچ تغییری در طیف فاز سیگنال اعمال نمی‌کند، در حالی که فیلترهای علی عملاً سبب ایجاد تغییرات در طیف فاز نیز می‌گردند (بور و بومر، ۲۰۰۵).

^۱ Convolution

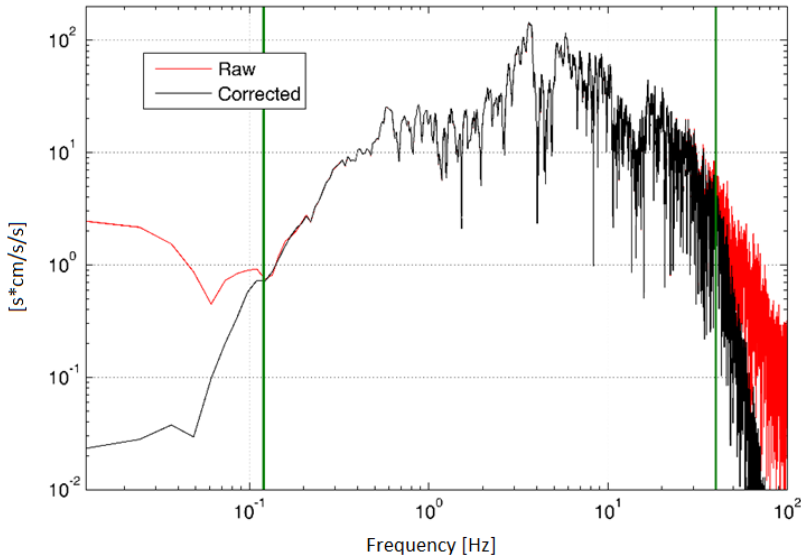
^۲ Causal

^۳ Uncausal

اخیراً در شبکه شتابنگاری جهت پردازش داده‌های خام شتابنگاری از طرح‌های پیشنهادی بور و بومر (۲۰۰۵) و بور (۲۰۰۵) استفاده شده است، که در شکل ۵-۵ مراحل مختلف آن به اختصار ذکر شده است.



شکل ۵-۵ مراحل مختلف پردازش داده‌های شتابنگاری

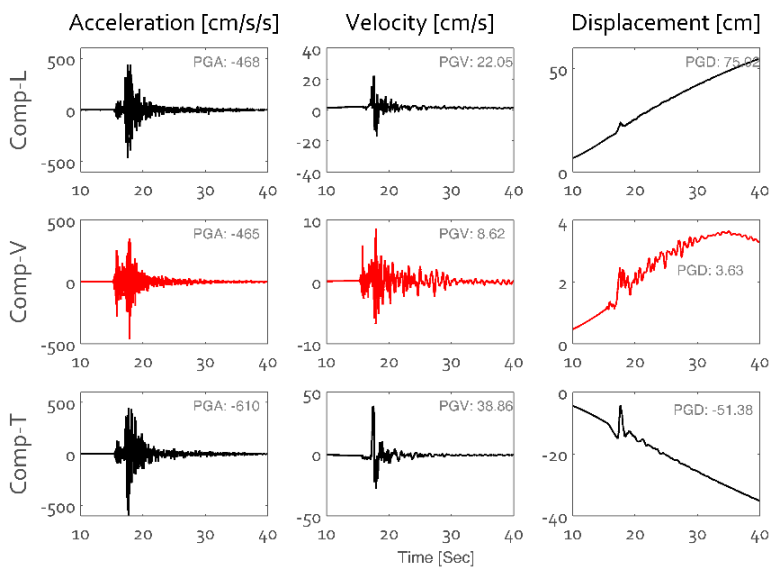


شکل ۵-۶ طیف دامنه مربوط به شتاب‌نگاشت ثبت شده در ایستگاه کوه-زر، ثبت شده در زمین‌لرزه ۱۳۸۹ کوه-زر. شتاب‌نگاشت تصحیح شده با خط پررنگ (سیاه) مشخص شده است.

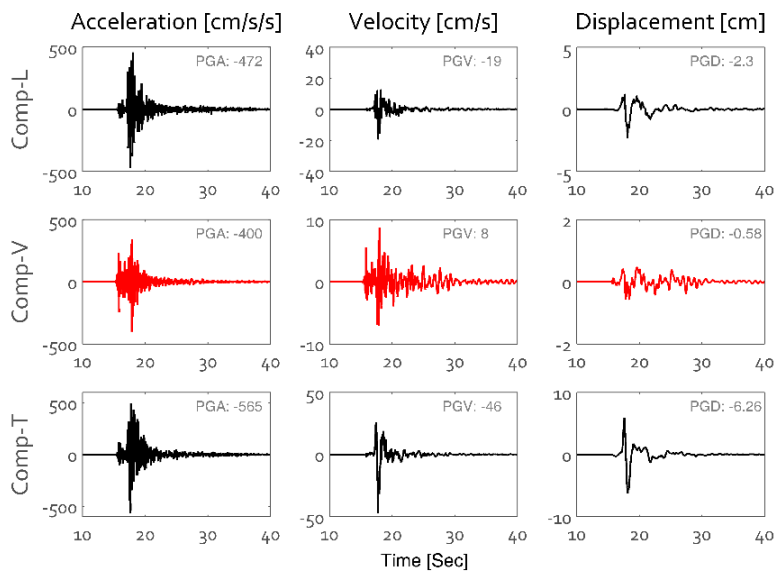
همچنین برای انتخاب پریودهای گوشه مناسب از شکل کلی طیف فوریه نگاشت (که می‌بایست از لحاظ تئوری به صورت دوزنقه‌ای بوده و نیز طیف دامنه فوریه آن در قسمت پریود بلند متناسب با f^2 باشد) استفاده شده است. برای نمونه طیف دامنه فوریه شتاب برای رکورد کوه-زر در شکل ۵-۶ آورده شده است و شتاب‌نگاشت تصحیح شده با خط پررنگ و شتاب‌نگاشت تصحیح نشده با خط کم‌رنگ مشخص شده است.

در نهایت بعد از انتخاب پریودهای گوشه مناسب برای رکورد شتاب و پردازش آن می‌بایست رکوردهای سرعت و جابه‌جایی مربوط به رکورد پردازش شده ترسیم گردیده تا از منطقی بودن این رکوردها از لحاظ فیزیکی اطمینان حاصل گردد. رکوردهای شتاب، سرعت و جابه‌جایی تصحیح نشده و تصحیح شده (بر مبنای رکورد ثبت شده در ایستگاه کوه-زر، زمین‌لرزه مرداد ۱۳۸۹ کوه-زر)، محاسبه گردیده‌اند و در شکل ۵-۷ و شکل ۵-۸ آورده شده است.

داده‌های پردازش شده باتوجه مراحل توضیح داده شده به فرمت شتاب، سرعت و تغییرمکان تصحیح شده (V2) و طیف‌های پاسخ و فوریه به فرمت V3 تهیه می‌گردد.



شکل ۵-۷ تاریخچه زمانی‌های شتاب، سرعت و جابجایی تصحیح نشده مربوط به رکورد ثبت شده در ایستگاه کوه-زر، زمین‌لرزه مرداد ۱۳۸۹ کوه-زر استان سمنان.

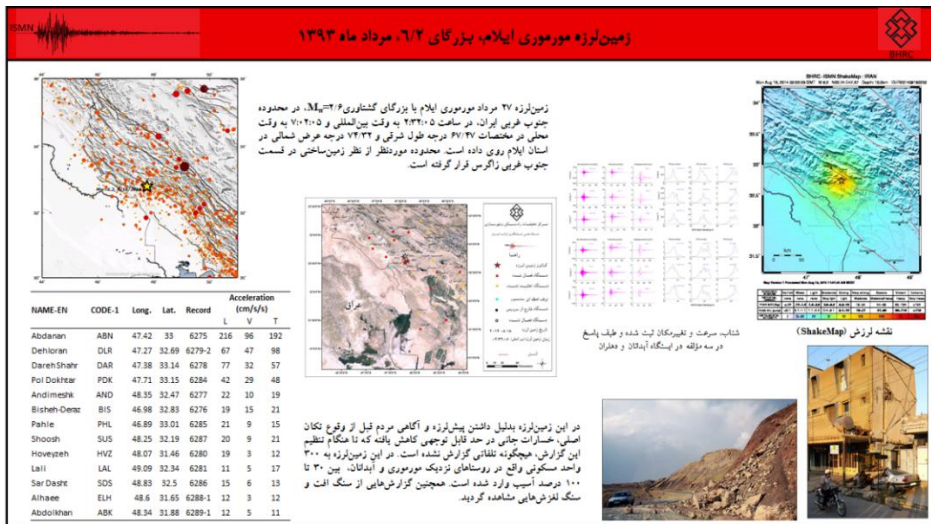


شکل ۵-۸ تاریخچه زمانی‌های شتاب، سرعت و جابجایی تصحیح شده مربوط به رکورد ثبت شده در ایستگاه کوه-زر، زمین‌لرزه مرداد ۱۳۸۹ کوه-زر استان سمنان.

۵-۲-۱- نحوه اطلاع‌رسانی

یکی از اهداف شبکه شتابنگاری اطلاع‌رسانی سریع از میزان شدت زمین‌لرزه‌های رویداده می‌باشد. لذا همواره پس از رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگتر از ۵، گزارشی سریع شامل ایستگاه‌های ثبت‌کننده زمین‌لرزه بر روی وب‌سایت مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی^۱ ارائه می‌گردد. معمولاً در این گزارش نقشه ایستگاه‌هایی که رویداد را ثبت کرده‌اند به همراه جدول مشخصات شامل نام ایستگاه، مختصات جغرافیایی و مقدار شتاب حداکثر زمین ثبت شده در سه مولفه ارائه می‌گردد.

در شکل ۵-۹ گزارشی زمین‌لرزه مردادماه ۱۳۹۳ مورموری ایلام به عنوان نمونه آورده شده است.



شکل ۵-۹ گزارشی رویداد زمین‌لرزه مورموری ایلام، بزرگای ۶٫۲، مرداد ماه ۱۳۹۳

پس از وقوع زمین‌لرزه‌های مخرب، تیم ارزیابی سریعاً به مناطق زلزله‌زده اعزام می‌شود و در صورت لزوم ایستگاه‌های موقت جهت ثبت پس‌لرزه‌ها نصب می‌شود و بعد از جمع‌آوری اطلاعات و مشاهدات میدانی،

^۱ <http://ismn.bhrc.ac.ir/>

گزارش جنبه‌های زلزله‌شناسی مهندسی این زلزله‌ها تهیه و بر روی وب‌سایت مرکز تحقیقات قرار داده می‌شود. همچنین میزان حداکثر شتاب زمین در ایستگاه‌های ثبت شده چندین ساعت پس از وقوع از طریق پیامک به افراد و سازمان‌های مرتبط اطلاع‌رسانی می‌شود. در شکل ۱۰-۵ نمونه‌ای از پیامک‌های اطلاع‌رسانی برای زمین‌لرزه مورموری ایلام نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۵ نمونه پیامک اطلاع‌رسانی برای زمین‌لرزه مردادماه مورموری، ۱۳۹۳

۵-۳- بانک داده‌ها

اطلاعات دریافتی از ایستگاه‌ها پس از پردازش در قسمت مرکز داده‌های شبکه ذخیره می‌گردد. مرکز داده‌های شبکه شتابنگاری ملی ایران شامل بانک ایستگاه‌های شتابنگاری از ابتدای سال ۱۳۵۳ تا کنون، داده‌های رقومی دستگاهی خام، داده‌های تصحیح نشده و تصحیح شده می‌باشد. همچنین اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی زمین‌لرزه‌ها، بزرگای زمین‌لرزه، پارامترهای اساسی هر رویداد شامل مقادیر شتاب، سرعت، تغییرمکان، مقادیر فوریه و طیفی، پارامترهای وابسته به ساختگاه ایستگاه و وابسته به چشمه هر رویداد در این بانک موجود می‌باشد. در پیوست ۲، مهمترین نکات‌های ثبت شده در شبکه شتابنگاری ایران آمده است. در ادامه به وضعیت موجود داده‌های موجود در بانک اطلاعات شبکه پرداخته

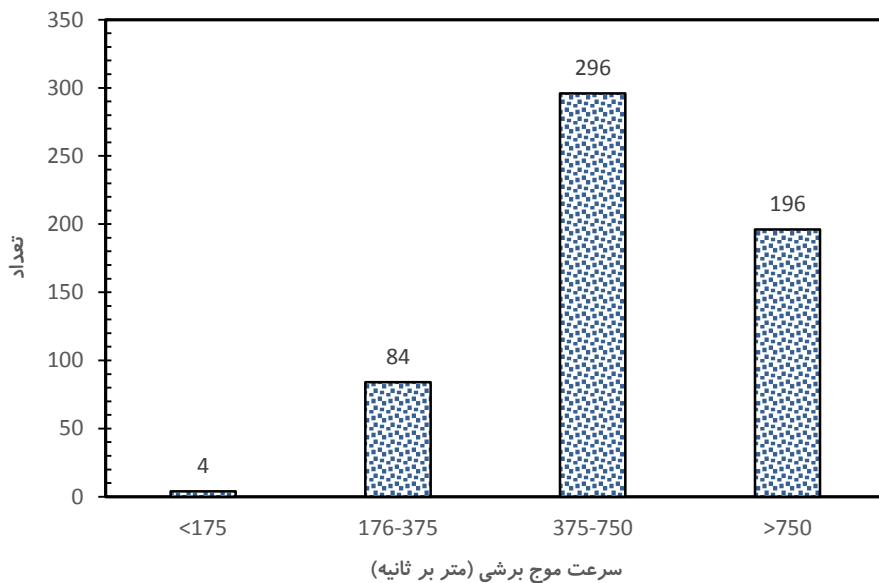
شده است.

۵-۳-۱- بانک داده‌های ایستگاه‌ها

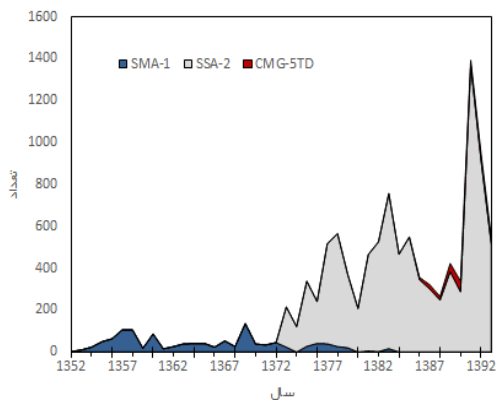
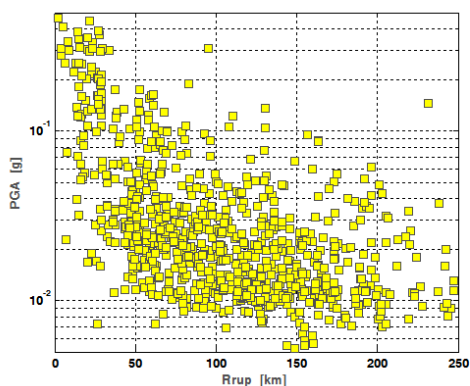
در هنگام تنظیم این نوشتار، شبکه شتابنگاری ایران با دارا بودن تعداد ۱۱۰۵ ایستگاه شامل ۱۰۵۵ دستگاه SSA-2 و ۵۰ دستگاه CMG-5TD، مسئولیت پایش جنبش نیرومند زمین را در پهنای ایران بر عهده دارد. در شکل ۵-۱ توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های شبکه نشان داده شده است. بانک ایستگاه‌ها شامل اطلاعاتی همچون نام، کد اختصاری، مختصات جغرافیایی، نوع دستگاه، تاریخ نصب، زاویه نصب، محل ایستگاه، مشخصات زمین شناسی و نوع خاک (برای تعدادی از ایستگاه‌ها) می‌باشد. از کل ۱۱۰۵ ایستگاه موجود، تعداد ۵۲۱ ایستگاه و در مجموع از ابتدا تا سال ۱۳۹۴ حدود ۵۸۰ ایستگاه دارای مشخصه سرعت موج برشی در محل ساختگاه می‌باشند که فراوانی ایستگاه‌ها با توجه به نوع خاک (تعیین شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰) در شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است تعداد ۱۹۶ ایستگاه دارای خاک نوع اول، ۲۹۶ ایستگاه دارای خاک نوع دوم، ۸۴ ایستگاه دارای نوع خاک سوم و ۴ ایستگاه نیز دارای نوع خاک چهارم می‌باشند. جدول مشخصات ایستگاه‌های فوق‌الذکر به همراه سرعت موج برشی و نوع خاک ساختگاه در پیوست ۳ این نوشتار آمده است.

۵-۳-۲- بانک داده‌های شتابنگاری

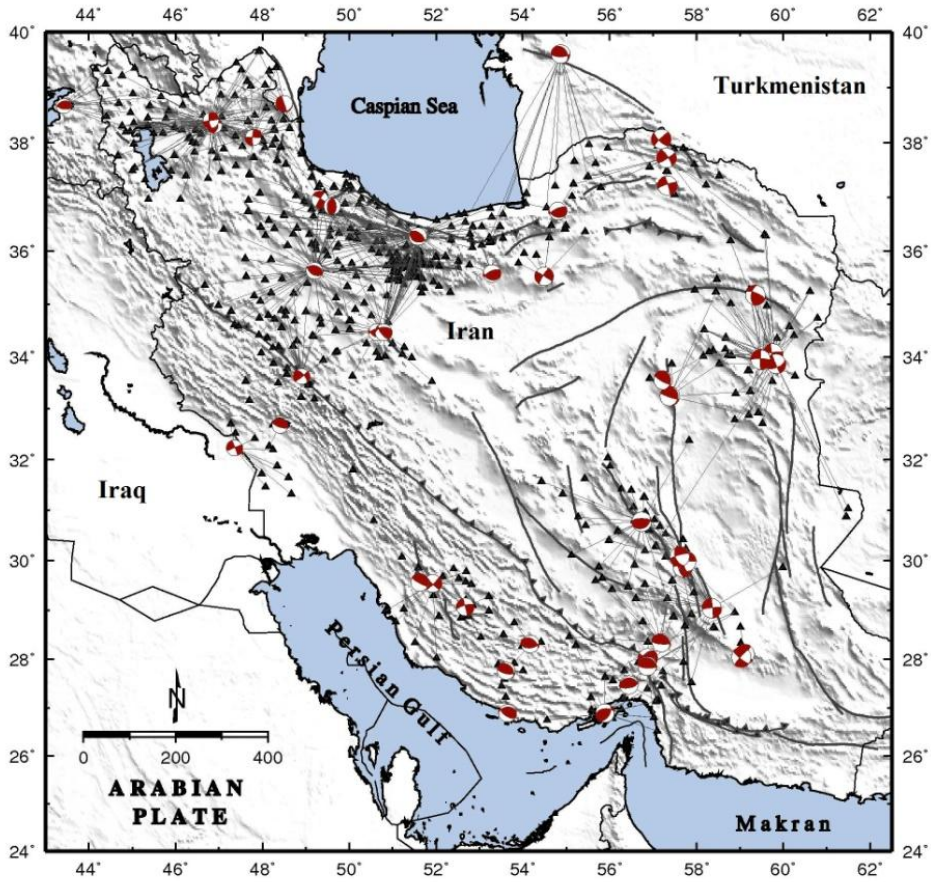
بانک داده‌های شبکه شتابنگاری تا هنگام تنظیم این نوشتار مشتمل بر ۱۰۴۶۷ داده خام می‌باشد که در زمین‌لرزه‌های رویداده از سال ۱۳۵۲ تا ابتدای ۱۳۹۴ در ایران و کشورهای همسایه به ثبت رسیده است. در شکل ۵-۱۲ توزیع فراوانی داده‌های ثبت شده در سال و پراکندگی داده‌ها بر حسب فاصله ثبت شده، نمایش داده شده است. شکل ۵-۱۳ زمین‌لرزه‌های مهم ثبت شده توسط شبکه شتابنگاری را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۱ فراوانی سرعت موج برشی‌های اندازه‌گیری شده برای ایستگاه‌های شبکه شتاب‌نگاری. تعداد ایستگاه‌های متعلق به هر دسته بر روی میله‌های فراوانی آمده است.



شکل ۵-۱۲ فراوانی داده‌های ثبت شده در طول زمان (راست). پراکندگی داده‌های شتاب ثبت شده در زمین‌لرزه‌های مهم با توجه به فاصله ایستگاه‌ها تا گسیختگی گسل (چپ)



شکل ۵-۱۳ پراکندگی زمین‌لرزه‌های مهم ثبت شده در ایران که توسط ساز و کار ژرفی مشخص شده‌اند به همراه توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های شتابنگاری متناظر با زمین‌لرزه‌ها که توسط مثلث توپر نشان داده شده‌اند.

۵-۴- پورتال اینترنتی و دسترسی به داده‌ها

در سال ۱۳۹۳ پورتال جدید اینترنتی شبکه شتابنگاری با قابلیت جستجو در بانک داده‌ها شامل رکوردهای زمین‌لرزه‌ها و ایستگاه‌های شبکه به بهره‌برداری رسید. در این پورتال قابلیت جستجو با توجه به پارامترهای تاریخ رویداد، مختصات جغرافیایی، بزرگا، فاصله، شتاب، سرعت موج برشی، شماره رکورد، نام ایستگاه و نام زمین‌لرزه فراهم شده است تا نتایج با توجه پارامترهای مورد درخواست کاربر محدود و قابل دستیابی گردد. جستجو در این قسمت می‌تواند بر اساس شتابنگاشت، ایستگاه و یا زمین‌لرزه‌های بزرگ رویداده باشد.

در شکل ۵-۱۴ نمایی از صفحه جستجو برای نگاشت‌های ثبت شده نشان داده شده است. در این پورتال همچنین می‌توان به آخرین اطلاعات رویدادها، ماهنامه شبکه شتابنگاری، مقالات، گزارشات زمین‌لرزه‌ها و اطلاعات دستگاه‌های شتابنگاری دسترسی داشت.

The screenshot shows the search portal for the Iranian Earthquake Network. At the top, there are navigation links: 'صفحه اصلی' (Home), 'جستجوی ایستگاه‌ها' (Station Search), 'جستجوی شتابنگاشت‌ها' (Search for Accelerograms), and 'جستجوی لرزه‌های بزرگ' (Search for Large Earthquakes). The main header is 'جستجوی شتابنگاشت‌ها' (Search for Accelerograms). Below this is a search form with several input fields and a 'جستجو' (Search) button. To the left of the search form is a map of Iran and the surrounding region, showing major cities and geographical features. The search results table is as follows:

شماره رکورد	از	تا
برگ ML	از	تا
برگ MW	از	تا
برگ MN	از	تا
برگ MS	از	تا
برگ MB	از	تا
فاصله رصرتکری	از	تا
نسبت سطح سطح (از/م)	از	تا
تاریخ رویداد	از	2015/04/06 تا
نام ایستگاه	شامل	▼
نام لرزه	شامل	▼

شکل ۵-۱۴ نمایی از صفحه جستجوی شتابنگاشت در پورتال شبکه شتابنگاری

۵-۵- کاربرد داده‌های شتابنگاری ایران

داده‌های شتابنگاری کاربردهایی تحقیقاتی همچون بروز رسانی قوانین و آیین‌نامه‌های لرزه‌ای با توجه به نحوه عملکرد سازه‌ها، تهیه روابط تخمین جنبش زمین (کاهندگی)، بررسی عملکرد زمین‌لرزه در حوزه

نزدیک گسل، شبیه‌سازی زمین‌لرزه‌ها و تعیین مدل لغزش در صفحه گسل را دارا می‌باشند.

۵-۵-۱- کاربرد داده‌های شتابنگاری در آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای ایران، استاندارد ۲۸۰۰

از آنجا که مهمترین پارامتر ورودی در طراحی‌های لرزه‌ای ساختمان‌ها مقدار نیروی وارده از زمین به سازه می‌باشد، لذا ثبت میزان تغییرات شتاب زمین در رویدادهای مختلف زمین‌لرزه، می‌تواند شاخص مناسبی جهت تخمین و تعیین شتاب ناشی از زمین‌لرزه در مناطق مختلف باشد که این امر توسط پایش لرزه‌ای شتاب توسط شبکه‌های شتابنگاری در دنیا هم اکنون در حال اجراست. در ایران نیز از داده‌های شبکه شتابنگاری ایران در آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای ۲۸۰۰ استفاده شده است که از مهمترین آن‌ها می‌توان به برآورد مدل‌های تخمین شتاب جهت تعیین میزان حداکثر شتاب زمین (تهیه و بروز رسانی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لرزه) ارائه شده در بند ۲-۲ استاندارد ۲۸۰۰ و تعیین و بروز رسانی ضرائب بازتاب (طیف‌های طراحی استاندارد)، ارائه شده در بند ۲-۳ و ویرایش چهارم آیین‌نامه ۲۸۰۰ اشاره نمود. به عنوان نمونه، می‌توان به استفاده از داده‌های شتابنگاری مهمی همچون رکورد طبس و دیهوک در رویداد طبس، رکورد ایستگاه آب‌بر در زمین‌لرزه منجیل، رکورد ایستگاه فرمانداری بم در زمین‌لرزه بم و رکورد زرنند در بروزرسانی طیف طراحی در ویرایش‌های مختلف آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) اشاره نمود. همچنین مطابق با بند ۲-۵-۲ و ۳-۵-۲ این آیین‌نامه، مطالعات طیف طرح ویژه ساختگاه برای سازه‌های خاص و با اهمیت بالا باید بطور جداگانه و ویژه برای مشخصات زمین‌شناسی، تکتونیکی و لرزه‌شناسی همان ساختگاه انجام پذیرد، که این امر توسط شتابنگاشت‌های ثبت شده در شرایط مشابه زمین‌شناسی و تکتونیکی ساختگاه مد نظر امکان‌پذیر است. همچنین طبق بند ۳-۲-۲ استاندارد ۲۸۰۰، برای سازه‌هایی که نیاز به انجام تحلیل دینامیکی دارند، صرفاً با استفاده از داده‌های شتابنگاری ذکر شده می‌توان این‌گونه از تحلیل‌ها را انجام داد.

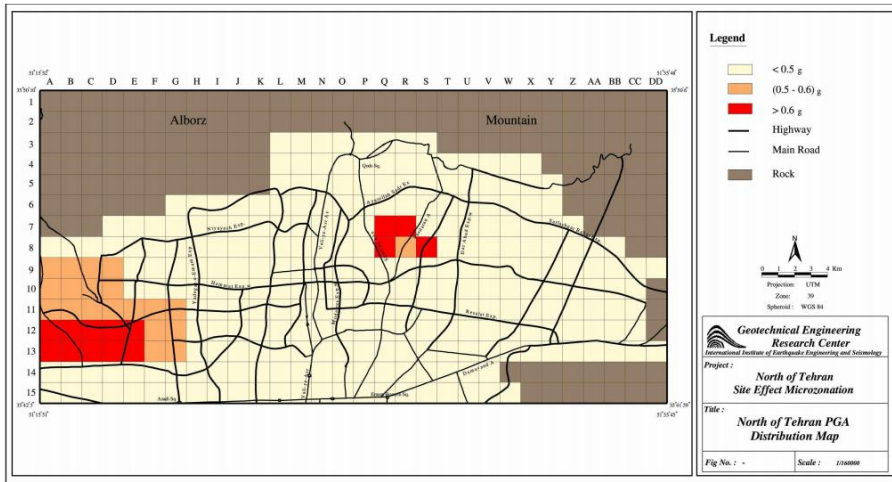
۵-۵-۲- کاربرد داده‌های شتابنگاری ایران در مطالعات بین‌المللی

از داده‌های شتابنگاری ایران در تدوین و توسعه بسیاری از روابط تخمین جنبش زمین در دنیا استفاده شده است، که مهمترین آن‌ها عبارتند از پروژه نسل جدید روابط تخمین جنبش زمین برای آمریکا

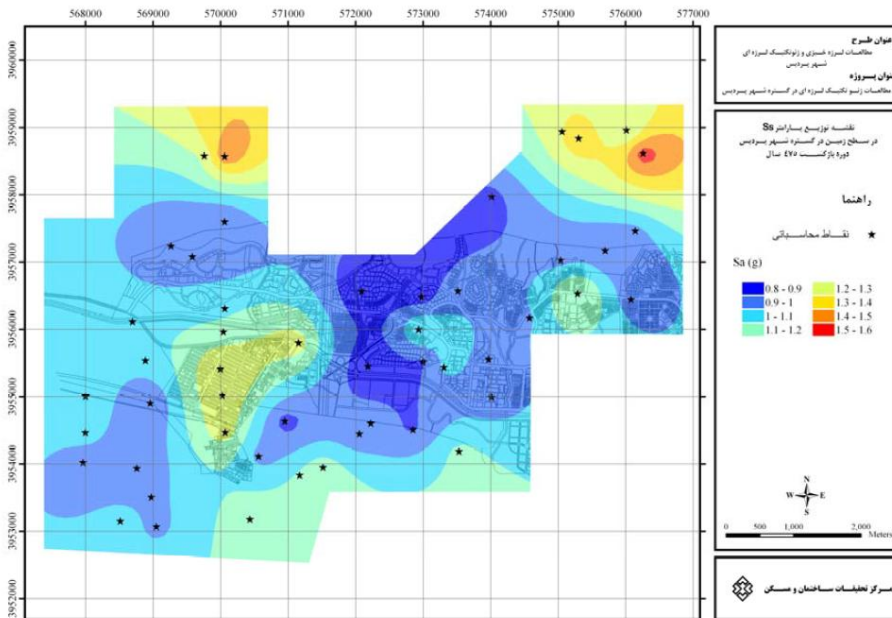
(NGA2008 و NGA2014) و مدل خطر لرزه‌ای اروپا (ESHM13). از این روابط جهت تعیین نقشه-های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لرزه در آمریکا و اروپا استفاده شده است. هم‌اکنون تعدادی از داده‌های مهم ایران در سایت‌های بین‌المللی اروپا و آمریکا در دسترس می‌باشند. همچنین طبق تفاهم‌نامه‌ای داده‌های مرکز جهت استفاده جهانی در اختیار مرکز تحقیقات مهندسی زلزله PEER قرار گرفته است (پیوست ۱).

۵-۳- کاربرد داده‌های شتابنگاری در مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای

مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای نیازمند مشارکت چند رشته و همچنین درک جامع از اثرات زمین‌لرزه در سازه‌های ساخته شده توسط انسان است که می‌توان آن را به عنوان فرآیند برآورد پاسخ لایه‌های خاک تحت زمین‌لرزه با توجه به ویژگی‌های مختلف زمین‌لرزه در سطح زمین در نظر گرفت. موضوع کلیدی نهفته در یک مطالعه ریزپهنه‌بندی، استفاده مناسب از پارامترهای انتخاب شده برای استفاده در مطالعات و برنامه‌ریزی شهری است. داده‌های شتابنگاری در این مطالعات به دو گونه تاثیرگذار هستند: مستقیم و غیرمستقیم. از اثرات غیر مستقیم میتوان به استخراج روابط تخمینی جنش زمین جهت استفاده در برآورد تحلیل خطر زمین‌لرزه اشاره نمود و از اثرات مستقیم می‌توان از برآورد طیف طراحی نام برد. جهت توضیحات بیشتر به گزارشات ۶۷۰ و ۶۷۵ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ارائه شده توسط طباطبائی و همکاران (۱۳۹۲ الف، ب) مراجعه شود. همچنین از آنجا که یکی از مهمترین نتایج مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، تعیین اثر خاک ساختمانی است و این امر با استفاده از شبیه‌سازی برآورد می‌گردد، نتایج آن با شتابنگاشت‌هایی که قبلاً ثبت شده‌اند قابل ارزیابی است. از دیگر کاربردهای داده‌های شتابنگاری می‌توان به داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های درون چاهی اشاره نمود که معرف تاثیرات پروفایل خاک میباشد. از مطالعات ریزپهنه‌بندی که تاکنون انجام گرفته و در آن از داده‌های شبکه شتابنگاری استفاده شده است، میتوان به مطالعات شهرهای تهران، ارومیه، بم، سمنان، شیراز، قشم و قم اشاره نمود که در شکل ۵-۱۵ و شکل ۵-۱۶ نتایج پهنه‌بندی لرزه‌ای برای مطالعات شهرهای تهران (جعفری و همکاران، ۲۰۰۴) و پردیس (طباطبائی و همکاران ۱۳۹۳) ارائه شده است.



شکل ۵-۱۵ مطالعات ریزپهنه‌بندی برای شهر تهران (جعفری و همکاران، ۲۰۰۴)



شکل ۵-۱۶ مطالعات ریزپهنه‌بندی برای شهر پردیس (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۳)

۵-۴- کاربرد داده‌های شتابنگاری در طراحی سازه‌ای

شتابنگاشت‌ها در آنالیز دینامیکی سازه‌های مهم مانند برج، سد، نیروگاه، سازه‌های صنعتی...، جهت تعیین رفتارهای مختلف دینامیکی و طراحی دینامیکی به روش‌های خطی و غیرخطی، نقش اصلی را ایفا می‌کنند و همچنین در این نوع سازه‌ها می‌توان با نصب دستگاه‌های شتابنگار، به یک سیستم پایش لرزه‌ای جهت ارزیابی و بازرسی‌های مطلوب در تشخیص خرابی‌ها دست یافت. از دیگر کاربردهای داده‌های شتابنگاری می‌توان به تهیه نقشه‌های واکنش سریع جهت امداد و نجات (سامانه پاسخ سریع)، اعلام هشدار زود هنگام زمین‌لرزه جهت مدیریت بحران (سامانه هشدار سریع)، تعیین شدت زمین‌لرزه در مناطق مختلف و تخمین خسارت، تست مدل‌های آزمایشگاهی با میز لرزان اشاره نمود.

۵-۶- توانایی‌های فنی شبکه شتابنگاری

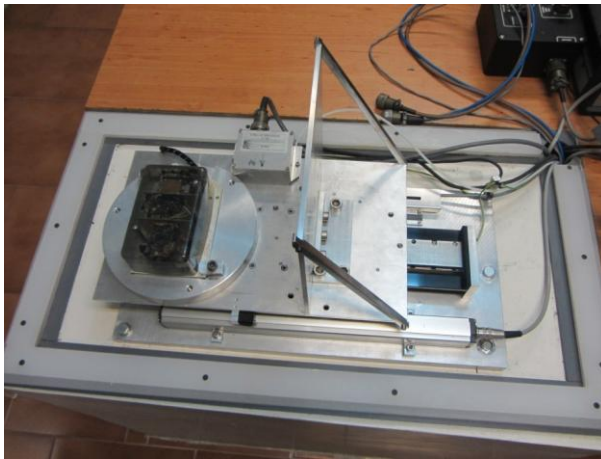
در این بخش مهمترین توانایی‌های فنی شبکه شتابنگاری ارائه می‌گردد.

۵-۶-۱- اتاق تست و کالیبراسیون دستگاه‌های شتابنگار

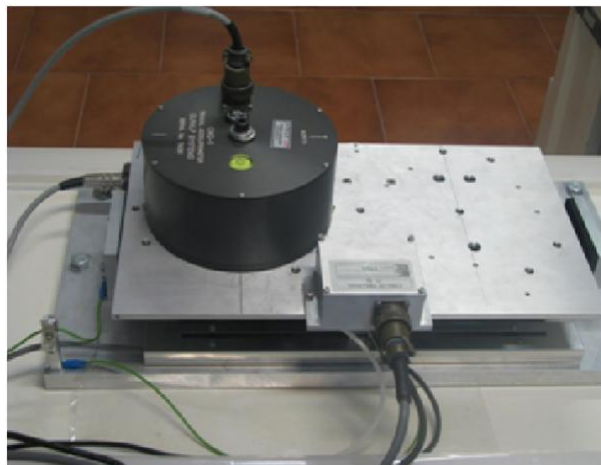
پارامترهای اساسی دینامیکی سنسور دستگاه‌های شتابنگار که می‌بایست همواره کنترل گردند عبارتند از حساسیت، میرایی و فرکانس طبیعی. این مشخصات برای هر کدام از سنسورهای دستگاه‌های شتابنگار در زمان تولید و آزمایش در کارخانه اندازه‌گیری می‌گردد. اگر چه مقادیر اندازه‌گیری شده با یکدیگر متفاوت می‌باشند ولیکن همواره در یک بازه محدود قرار دارند. در طی زمان و در بازه‌های مشخص، پس از رویداد زمین‌لرزه‌های خیلی بزرگ که دستگاه‌های شتابنگار متحمل شوک‌های مکانیکی بالایی می‌گردند، نیاز است تا دستگاه مجدداً تحت کالیبراسیون قرار گیرند. بدین منظور در مجموعه شتابنگاری ملی ایران، محلی تحت عنوان اتاق تست و کالیبراسیون مهیا شده است. این آزمایشگاه دارای یک میز لرزان طراحی شده به منظور تست سنسورهای شتابنگاری و یک دستگاه میز سنجش شیب^۱ است.

^۱ Tilt table

میز لرزان شبکه ملی شتابنگاری به یک سنسور CMG-5T و یک دیجیتالایزر DM24 متصل شده است. این میز از فرکانس 0.1 HZ متناظر با شتاب ماکزیمم 0.005g تا فرکانس 10HZ متناظر با شتاب 1g و فرکانس 20HZ و شتاب متناظر 0.5g کار می‌کند. تاکنون با استفاده از این میز شتابنگارها و سنسورهای مختلفی از جمله SSA2، CMG-5TD، TitanSMA، GMSplus و تعدادی دیگری از سنسورهای موجود در ایران مورد ارزیابی و آزمایش قرار گرفته‌اند (شکل ۵-۱۷ و شکل ۵-۱۸).



شکل ۵-۱۷ نمایی از تست سنسور SSA-2 بر روی میز لرزان شبکه ملی شتابنگاری



شکل ۵-۱۸ نمایی از تست سنسور guralp بر روی میز لرزان شبکه ملی شتابنگاری

وسیله دیگری که در آزمایشگاه کالیبراسیون مرکز برای تست سنسورهای شتابنگار مورد استفاده قرار می‌گیرد میز سنجش شیب است (شکل ۵-۱۹). این وسیله به منظور اندازه‌گیری حساسیت سنسورهای شتابنگار طراحی و ساخته شده است و قادر است با چرخش در زوایای مختلف، ولتاژ متناظر با آن زاویه (مقادیر خروجی سنسور) اندازه‌گیری شود.



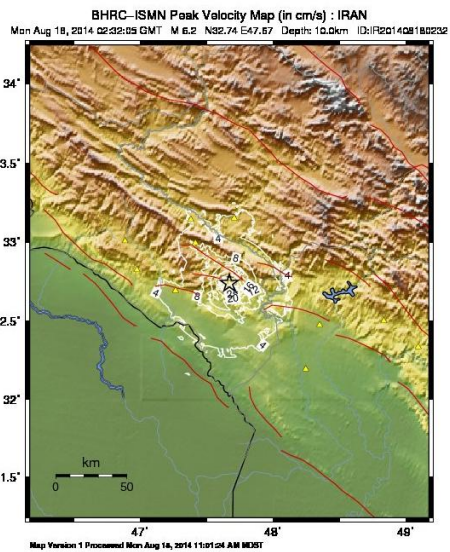
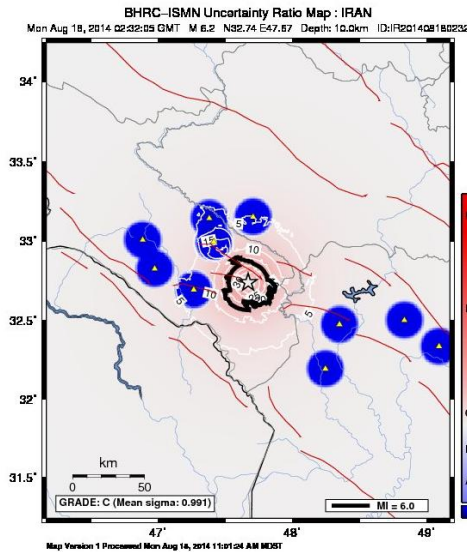
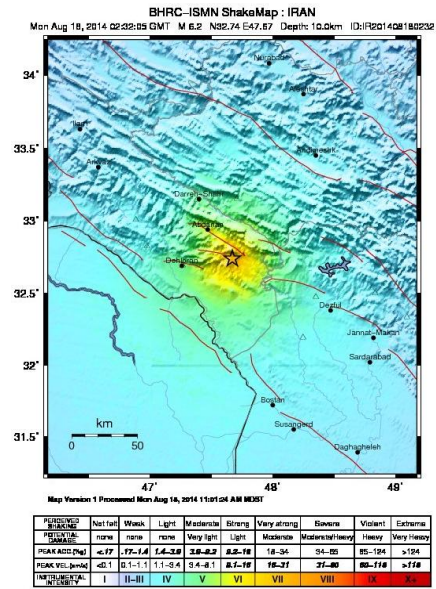
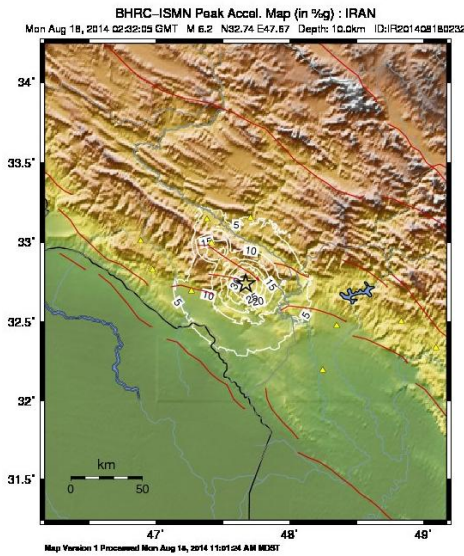
شکل ۵-۱۹ میز سنجش شیب واقع در شبکه ملی شتابنگاری

۵-۶-۲- تهیه نقشه‌های واکنش سریع

هم اکنون مهمترین اطلاعاتی که بعد از یک زمین‌لرزه سریعاً اعلام می‌گردد، بزرگی و موقعیت مکانی آن می‌باشد. با این اطلاعات، الگوی خسارت یک زمین‌لرزه را نمی‌توان به راحتی بر اساس این دو پارامتر مدلسازی کرد و به پارامترهای بیشتری برای تعیین آن نیاز می‌باشد. به عنوان مثال امداد رسانی به بعضی از نقاط آسیب‌دیده در زمین‌لرزه منجیل و بم مدت‌ها بعد از وقوع زمین‌لرزه امداد رسانی برای آنها صورت گرفت.

نقشه‌های لرزش^۱ بیانگر جنبش زمین تولید شده توسط زمین‌لرزه می‌باشند. اطلاعاتی که این نقشه‌ها بیان می‌کنند متفاوت از بزرگای زمین‌لرزه ارائه شده می‌باشد، زیرا نقشه‌های لرزش بر روی جنبش تولید شده تمرکز بیشتری نسبت به پارامترهایی که خصوصیات چشمه زمین‌لرزه را بیان می‌کند، دارد.

^۱ Shakemap



شکل ۵-۲۰ نقشه‌های لرزش زمین‌لرزه ۱۳۹۳ مورموری ایلام

بنابراین اگرچه یک زمین‌لرزه دارای بزرگا و رومرکز واحد می‌باشد، اما سطح‌های مختلفی از لرزش زمین را در اطراف آن مشاهده می‌شود که علت آن وابستگی به فاصله، شرایط خاک ساختگاه و تغییرات انتشار موج‌های لرزه‌ای زمین به دلیل ساختار پوسته زمین می‌باشد. نقشه‌های لرزش این قابلیت را دارند که

مقیاسی از شدت، شتاب، سرعت و تغییر مکان احتمالی را در یک منطقه زلزله زده به سرعت پس از زمین‌لرزه منتشر کنند. در واقع، نقشه‌های لرزش اساساً بر مبنای داده‌های زلزله‌شناسی و با استفاده از الگوریتم درون‌یابی و ترکیب داده‌های مختلف ثبت شده برای مقیاس محلی یا منطقه‌ای ارائه می‌گردد. بنابراین هر چقدر تعداد داده‌های مشاهداتی بیشتر شود، به واقعی‌تر شدن نقشه‌های لرزش کمک بیشتری می‌شود.

مهمترین کاربردهای نقشه‌های لرزش عبارتند از: امداد رسانی و برآورد خسارت، آموزش و اطلاع‌رسانی همگانی، پژوهش‌های مرتبط با علم زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، برنامه‌ریزی و تمرین مدیریت بحران، و تولید نقشه لرزش برای زمین‌لرزه سناریو. در شکل ۵-۲۰ نمونه‌ای از نقشه‌های لرزش زمین‌لرزه ۱۳۹۳ مورموری آورده شده است.

۵-۶-۳- سیستم هشدار سریع (زود هنگام)

از سال ۲۰۰۰ میلادی به دلیل افزایش خسارات ناشی از زمین‌لرزه‌ها و مشکلات موجود در پیش‌بینی زمین‌لرزه، تحلیل آماری داده‌های شتاب‌نگاری و کاربرد آنها در سامانه‌های هشدار سریع، توجه زیادی را به خود معطوف داشته است. در نتیجه تلاش‌های بسیار زیاد در تحقیقات مربوط به پیش‌بینی زمین‌لرزه، روش‌های نظری خوبی به دست آمده است، اما روش‌های پیش‌بینی، عملی غیرقابل تحقق به نظر می‌رسند، لذا برای کاهش خسارات و خطر لرزه‌ای، توسعه و پیشرفت سامانه‌های هشدار سریع یا زود هنگام^۱ گامی مناسب‌تر بوده و در برخی از شهرهای لرزه‌خیز دنیا به اجرا درآمده است.

یک سیستم هشدار سریع در واقع یک زنجیره‌ای از سیستم‌های ارتباط اطلاعات است که شامل سنسور، تشخیص و تصمیم‌گیری و واسطه‌های زیرسیستم می‌باشد و این امکان را فراهم می‌کند تا در زمان بسیار کوتاهی بتواند با امکان اطلاع‌رسانی سریع، از به وجود آمدن خسارات اساسی در شریان‌های حیاتی جلوگیری کند (شکل ۵-۲۱). کلیدی‌ترین نکته در واقع اختلاف زمانی رسیدن امواج P و S است. از آنجا که سرعت انتقال داده از سرعت امواج زمین‌لرزه بیشتر بوده و امواج P نیز زودتر از امواج مخرب S به

^۱ Earthquake Early Warning Systems

ساختگاه می‌رسند، این اختلاف زمانی می‌تواند زمان هشدار لازم رافراهم نماید. این سامانه در هنگام وقوع زمین‌لرزه بر اساس رسیدن داده‌های اولیه (امواج P) تخمین سریعی از بزرگا و موقعیت زمین‌لرزه ارائه کرده و با ارسال فرمان کنترل شریان‌های حیاتی همچون آب، برق، گاز، نیروگاه، پالایشگاه، مترو، تونل، آسانسور، راه آهن و ... از وقوع پیش‌آمدهای ثانویه همچون آتش‌سوزی و انفجار جلوگیری نماید (وو و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۵-۲۱ اساس کار سیستم هشدار سریع برگرفته از usgs

هم اکنون شبکه شتابنگاری پیاده‌سازی طرح سیستم هشدار سریع را بصورت پایلوت با استفاده از ۳۰ ایستگاه در شهر تهران در دست اقدام دارد که در آینده نزدیک با توجه به نوسازی شبکه تعداد ایستگاه‌ها به ۱۰۰ عدد در استان افزایش خواهد یافت. همچنین با توجه به برنامه توسعه شبکه شتابنگاری اجرای سامانه‌های هشدار زود هنگام را در شهرهای مهم و لرزه‌خیز همچون تبریز، قزوین، بندرعباس و کرمان اجرایی خواهد نمود.

۵-۶-۴- طراحی و اجرای آرایه‌های پایش لرزه‌ای برای ساختگاه‌های سد

امروزه در پروژه‌های بزرگ سدسازی، بکارگیری آرایه‌های شتابنگاری در هنگام ساخت و بهره‌برداری از

سد مرسوم می‌باشد. برداشت داده‌های لرزه‌ای در این نوع از ساختگاه‌ها جهت مقاصد ذیل مفید می‌باشد:

- برداشت دقیق لرزه‌خیزی محلی که شامل زمین‌لرزه‌های تکتونیکی و یا زمین‌لرزه‌های القایی بر اثر ساخت سد باشد
- بررسی و تایید پارامترهای طراحی برای سد ساخته شده
- پایش اطلاعات از رفتار دینامیکی سد که می‌تواند در برگیرنده اطلاعات از خرابی سازه‌ای، فرسایش و یا رفتار پس از وقوع زمین‌لرزه باشد

این آرایه‌ها در واقع اصلی‌ترین داده‌ها از رفتار یک سد را می‌تواند جمع‌آوری کند که برای طراحی سدهای آینده جهت برآورد بهترین پاسخ لرزه‌ای بکار می‌رود. همانطور که در فصل چهارم ذکر گردید، شبکه ملی شتابنگاری هم اکنون آرایه‌های شتابنگاری را در بسیاری از ساختگاه‌های سدهای ایران با هزینه مناسب طراحی، اجرا و نگهداری کرده است.

۶-۵-۵- ارزیابی نویز (نوفه) محیطی در ساختگاه‌های خاص

امروزه با توجه به گسترش شهرنشینی، صنعتی شدن شهرها و ساخت ماشین آلات پیشرفته، اثرات نویزهای محیطی و ارتعاشات ناشی از آن‌ها بر روی سازه‌ها بیشتر به چشم می‌آید. یکی از مهمترین منابع ارتعاشات محیطی وجود قطارهای درون شهری (مترو) می‌باشد که هم اکنون در شهرهای مهم ایران با سرعت بالا در حال توسعه می‌باشد. این شبکه ارزیابی‌های ارتعاشات ناشی از متروی شهر تهران را برای ساختگاه‌های خاص (حساس به ارتعاشات) از تهران به انجام رسانده و می‌تواند بطور مداوم ارتعاشات محیطی را اندازه‌گیری کند. همچنین این شبکه دارای آمادگی ثبت و اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی ناشی از عوامل انسانی و طبیعی برای دیگر مقاصد مهندسی را دارا می‌باشد.

۶-۶-۵- مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای

بررسی پاسخ ساختگاه یکی از مهم‌ترین مسائل در مطالعات زلزله‌شناسی و ژئوتکنیک لرزه‌ای است که به‌همراه شرایط زمین‌شناسی محلی، بخش مهمی از هر ارزیابی خطر لرزه‌ای را تشکیل می‌دهد. مثال‌های بسیاری از نتایج فاجعه‌بار زمین‌لرزه‌ها، اهمیت رویه‌ها و تکنیک‌های تحلیل قابل‌اعتماد را در ارزیابی خطر زمین‌لرزه و در استراتژی‌های کاهش ریسک زمین‌لرزه نشان داده‌اند. برآورد پاسخ ساختگاه یا همان اثر

خاک و سنگی که سازه‌های بشری بر روی آن ساخته می‌شود، در واقع مبین رفتار خاک یا بستر سنگی طی گذر امواج الاستیک نظیر امواج زمین‌لرزه، انفجار، نویزهای شهری و صنعتی است. به این منظور پارامترهای اساسی لرزه‌ای و ژئوتکنیکی مانند فرکانس طبیعی، ضریب رزونانس (تشدید) خاک، ضخامت آبرفت، پروفیل سرعت گذر موج برشی در لایه‌های تحت‌الارضی و اثر توپوگرافی محاسبه می‌شوند. هم اکنون شبکه شتابنگاری با دارا بودن تجهیزات مختلف، این آمادگی را دارد تا مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای را برای ساختگاه‌های مختلف جهت محاسبه پارامترهای اساسی خاک ساختگاه به انجام برساند.

۵-۶-۷- پایش لرزه‌ای و سنجش سلامت لرزه‌ای برای سازه‌های مهم

در هنگام رویداد زمین‌لرزه یکی از زمینه‌های مورد علاقه محققین و مهندسين زلزله در کشورهای مختلف رفتارنگاری سازه‌های بلند می‌باشد. در کشور آمریکا در ایالت‌های لرزه‌خیزی نظیر کالیفرنیا تجهیز تمامی ساختمان‌های بلند به آرایه‌های شتابنگاری الزامی است. در واقع زمین‌لرزه آزمایشگاه طبیعی بسیار ارزشمندی را در اختیار مهندسان طراح قرار می‌دهد تا یافته‌های خود را که از روی مدل‌های ریاضی و کامپیوتری در زمینه مقاوم‌سازی ساختمان‌ها بدست آمده، در عمل ارزیابی نمایند و این کار امکان‌پذیر نیست مگر با توجه به داده‌های ثبت شده توسط دستگاه‌های شتابنگار به هنگام لرزش ساختمان در هنگام رویداد زمین‌لرزه‌ها، لذا هم اکنون تعدادی از سازه‌های مهم مجهز به این نوع دستگاه‌ها شده‌اند و شبکه شتابنگاری ایران این آمادگی را دارد تا سازه‌های خاص موجود در کشور و برج‌های بلند را مجهز به دستگاه‌های شتابنگار نماید تا عملکرد لرزه‌ای این نوع سازه‌ها را ثبت و پایش نماید.

۵-۷- چشم‌انداز آینده شبکه شتابنگاری

هدف مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی از برنامه توسعه و بهبود شبکه شتابنگاری موجود، افزایش ایمنی عمومی از طریق اندازه‌گیری و ثبت جنبش‌های ناشی از زمین‌لرزه‌های رویداده در محل و مجاورت سازه‌ها و در اختیار قرار دادن اطلاعات به مراکز تحقیقاتی، آموزشی و پژوهشی، محققین، مهندسين مشاور و همه متقاضیانی است که به طریقی در ارتباط با زلزله شناسی مهندسی و مهندسی زلزله فعالیت دارند. هدف اصلی از این کار بهبود ارزیابی‌های مهندسی و شیوه‌های طراحی تاسیسات و مستحدمات،

تهیه اطلاعات به موقع برای ارائه هشدارهای سریع بعد از زمین‌لرزه، ارزیابی صدمات و فراهم آوردن امکان امداد رسانی سریع، کمک در درک بهتر مکانیزم ایجاد زمین‌لرزه و ویژگیهای جنبش زمین می‌باشد. چشم‌انداز آینده و وظیفه اصلی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در این میان ادامه حرکت آغاز شده از چهار دهه پیش از طریق فراهم آوردن امکانات و حمایت‌های لازم جهت رسیدن به مقاصد ذیل در سال‌های آتی می‌باشد:

الف- کنترل و نگهداری و نوسازی شبکه شتابنگاری موجود شامل توسعه و بهینه سازی شبکه شتابنگاری در محدوده های شهری و برون شهری، راه اندازی و توسعه آرایه های درون چاهی به منظور مطالعه اثر خاک بر جنبش ثبت شده، استقرار آرایه های خاص به منظور ثبت و مطالعه رفتار لرزه ای چشمه های لرزه‌زای فعال و حوزه‌های نزدیک گسل.

ب- تشکیل بانک اطلاعاتی شتابنگاری شامل جمع آوری، اصلاح و پردازش شتابنگاشت‌های ثبت شده ایستگاه‌ها و داده های جمع آوری شده، بعنوان مرجع اصلی داده های شتابنگاری کشور، جمع آوری اطلاعات زمین شناسی، زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی ایستگاه‌ها و ارائه سریع اطلاعات به مراجع و مراکز ذیصلاح برای تصمیم گیری‌های اضطراری و ضروری.

ج- کمک به مدیریت بحران با استفاده از سامانه پاسخ سریع، سامانه تولید سریع نقشه‌های لرزش و برآورد سریع اولیه خرابی و تلفات

د- پایش لرزه‌ای و سلامت سنجی سازه‌ها، پل‌ها و تونل‌ها، مترو و خطوط ریلی، اماکن مذهبی، اماکن تاریخی و برج‌های بلند مرتبه

ه- پیاده سازی سیستم هشدار سریع در شهرهای پرجمعیت با خطر بالای زمین‌لرزه برای شهرهای تهران، تبریز، کرج، کرمان، قزوین، مشهد، قم، شیراز و زنجان و سیستم هشدار سریع سونامی برای مناطق مکران و خزر

و- اجرا و کنترل شبکه شتاب‌نگاری برای ساختگاه‌های صنعتی شامل بررسی لرزه‌خیزی القایی در سدها و مخازن نفت و گاز، رفتارنگاری سدها، سیستم هشدار سریع در خطوط لوله، نیروگاه‌ها، سایت‌های پالایشگاهی و پتروشیمی و پایش سلامت و رفتارنگاری سازه‌های صنعتی.

ز- اجرا و کنترل شبکه شتاب‌نگاری سایت‌های هسته‌ای، سیستم هشدار سریع در سایت‌های نیروگاه‌ها و سایت‌های هسته‌ای و پایش سلامت و رفتارنگاری سازه‌های وابسته

ح- ایجاد زمینه مساعد برای همکاری با مراکز و گروه‌های فعال در زمینه مطالعات زلزله‌شناسی، مهندسی زلزله و سازندگان تجهیزات تخصصی مورد نیاز شامل تولید دستگاه‌های شتابنگاری و نرم‌افزارهای پردازشی مورد نیاز

جهت نیل به اهداف فوق‌الذکر، در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی تصمیم به نوسازی شبکه شتابنگاری ایران گرفته است که در آینده‌ای نزدیک دستگاه‌های جدید جایگزین تجهیزات فعلی خواهد شد.

۵-۷-۱- نوسازی شبکه

با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد از دستگاه‌های شتاب نگاری موجود از نوع SSA-2 بوده و قدیمی می‌باشد هم اکنون شبکه با مشکلات زیادی اعم از هزینه‌های استهلاک دستگاه همچون خرابی باتری، مودم، دیجیتایزر و حتی برق دستگاه مواجه می‌باشد، لذا نوسازی و تعویض دستگاه‌ها از اولویت اصلی شبکه شتابنگاری می‌باشد. در سال‌های اخیر در زمین‌لرزه‌های مهم تعدادی از ایستگاه‌های نزدیک به گسل همچون ایستگاه معلمان در زمین‌لرزه ۱۳۸۹ کوه زر، ایستگاه‌های شنبه و کاکلی در زمین‌لرزه ۱۳۹۲ شنبه و ایستگاه مورموری در زمین‌لرزه ۱۳۹۳ مورموری ایلام از جمله مواردی بوده که اگرچه دستگاه‌ها در حالت فعال بوده و هیچ مشکلی وجود نداشته است، اما رکوردی ثبت نگردید که علت اصلی آن استهلاک دستگاه می‌باشد.

همچنین از دیگر نیازهای امروز شبکه شتابنگاری دریافت برخط (آنلاین) داده‌ها و پردازش اتوماتیک می‌باشد، همچنین بدلیل اینکه سنسورهای جدید دارای نویز کمتر، حساسیت بالاتر و وجود سیستم ثبت زمان بطور دقیق می‌باشد، برای سیستم‌های هشدار سریع، پاسخ سریع، تعیین مختصات اولیه و تدقیق محل زمین‌لرزه رویداده، دستگاه‌های نسل جدید شتابنگاری که مجهز به آخرین تکنولوژی روز دنیا بوده ضروری می‌باشند، لذا تصمیم گیری شد تا شبکه شتابنگاری در آینده‌ای نزدیک بروز شده و نسل جدید دستگاه‌ها خریداری و نصب گردد.

همچنین با توجه به تغییرات تکنولوژی و ارتباطی، ایستگاه‌های جدید می‌بایستی استانداردهای لازم را برآورده سازد. ایستگاه‌های جدید بایستی با در نظر گرفتن شرایط محیطی مختلف و کاربرد دستگاه مورد

نظر، امکانات مختلفی همچون پایین آوردن سطح نویز، کاهش نفوذ رطوبت و گرد و غبار را فراهم نماید. لذا تعویض تعدادی از ایستگاه‌ها و ارتقای استانداردهای ایستگاه‌ها در آینده نزدیک به انجام خواهد رسید. در ادامه دستگاه‌های جدید شتابنگاری به اختصار توضیح داده شده است.

۲-۷-۵- دستگاه‌های نسل جدید شتابنگاری

در نسل جدید دستگاه‌های شتابنگارهای ارائه شده، سنسور و دیجیتایزر در یک دستگاه توامان ساخته شده است. حساسیت بالاتر (بیشتر از ۱۶۰ dB) و نویز کمتر از ویژگی‌های اصلی در این دسته از شتابنگارها میباشند. وجود مودم 3G جهت ارتباط از طریق شبکه موبایل، قابلیت ارتباط از طریق اینترنت، ارسال خودکار پارامترهای اصلی زمین‌لرزه (حداکثر شتاب، سرعت و تغییر مکان زمین، مقادیر طیفی) حافظه بالا، وزن کمتر، قابلیت نصب ساده و کنترل دستگاه از راه دور از دیگر قابلیت‌های این دستگاه‌ها میباشند. در شکل ۲۲-۵ دستگاه‌های نسل جدید شتابنگاری از چهار شرکت معتبر نشان داده شده است.



شکل ۲۲-۵ دستگاه‌های نسل جدید شتابنگاری: Obsidian و ETNA2 متعلق به شرکت کینمتریکس (راست-بالا)، GMSplus متعلق به شرکت ژنوسینگ (چپ-بالا)، 130-SMHR متعلق به شرکت رفتک (راست-پایین) و TitanSMA متعلق به شرکت نانومتریکس (چپ-پایین)

منابع فارسی

آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم. نشریه شماره ض-۲۵۳ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

سیناییان، میرزایی علویجه، فرزندگان، سلامت (۱۳۹۰). احداث آرایه‌های درون چاهی: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، گزارش شماره ۶۰۹
شبکه شتابنگاری ۱۳۸۷- گزارش‌های هشت جلدی شامل:

سیناییان، میرزایی علویجه، فرزندگان؛ مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی با استفاده از روش لرزه‌نگاری شکست مرزی در ایستگاه‌های شتابنگاری کشور (جلد اول-۵۰ ایستگاه)، شماره ۵۱۱، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۷.

سیناییان، میرزایی علویجه، فرزندگان؛ مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی با استفاده از روش لرزه‌نگاری شکست مرزی در ایستگاه‌های شتابنگاری استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی (جلد دوم-۵۰ ایستگاه)، گ-۵۳۲، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹.

فرزندگان، میرزایی علویجه، سیناییان؛ مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی با استفاده از روش لرزه‌نگاری شکست مرزی در ایستگاه‌های شتابنگاری استان‌های هرمزگان و جنوب فارس (جلد سوم-۵۰ ایستگاه)، گ-۵۳۳، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹.

میرزایی علویجه، سیناییان، فرزندگان؛ مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی با استفاده از روش لرزه‌نگاری شکست مرزی در ایستگاه‌های شتابنگاری استان‌های لرستان و همدان (جلد چهارم-۵۰ ایستگاه)، گ-۵۳۴، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹.

فرزندگان، میرزایی علویجه، سیناییان؛ مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی با استفاده از روش لرزه‌نگاری شکست مرزی در ایستگاه‌های شتابنگاری استان‌های فارس (جلد پنجم-۵۰ ایستگاه)، گ-۵۳۵، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹.

میرزایی علویجه، سیناییان، فرزندگان؛ مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی با استفاده از روش لرزه‌نگاری شکست مرزی در ایستگاه‌های شتابنگاری استان‌های کرمان (جلد ششم-۵۰

ایستگاه)، گ-۵۳۶، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹.

سیناییان، فرزندگان، میرزائی علویجه؛ مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی با استفاده از روش لرزه‌نگاری شکست مرزی در ایستگاه‌های شتابنگاری استان‌های سمنان، گلستان و مازندران (جلد هفتم-۵۰ ایستگاه)، گ-۵۳۷، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹.

سیناییان، میرزائی علویجه، فرزندگان؛ مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی با استفاده از روش لرزه‌نگاری شکست مرزی در ایستگاه‌های شتابنگاری استان‌های خراسان جنوبی و خراسان رضوی (جلد هشتم-۵۰ ایستگاه)، گ-۶۱۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۱.

شبکه شتابنگاری ۱۳۸۸- مطالعه پارامترهای جنبش نیرومند زمین شامل:

میرزائی علویجه، فرزندگان، سیناییان (۲۰۰۳-۲۰۰۵) مطالعه پارامترهای جنبش نیرومند زمین با داده‌های شتابنگاری و لرزه‌نگاری و توسعه بانک اطلاعاتی، گزارش-۵۱۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸.

میرزایی علویجه، سیناییان، فرزندگان (۲۰۰۰-۱۹۹۶) "مطالعه پارامترهای جنبش نیرومند زمین با داده‌های شتابنگاری و لرزه‌نگاری، و توسعه بانک اطلاعاتی" گزارش ۵۶۷، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۸۹.

فرزندگان، میرزایی علویجه، سیناییان (۱۳۹۰). مطالعه پارامترهای جنبش نیرومند زمین (۲۰۰۶-۲۰۰۸) با داده‌های شتابنگاری و لرزه‌نگاری، و توسعه بانک اطلاعاتی. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، گزارش شماره ۶۱۲.

شاهوار (۱۳۹۲). تدوین سامانه تولید نقشه‌های لرزش برای ایران. رساله دکتری، پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

طباطبایی، فاطمی عقدا، بیت الهی، نریمان سعید، محمدی، سلامت (۱۳۹۲الف). راهنمای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی برای ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای در مناطق شهری. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، گزارش شماره ۶۷۵.

طباطبایی، فاطمی عقدا، قلندرزاده، شاه‌نظری، آقایی، محمدی و سلامت (۱۳۹۲ب). راهنمای تحلیل پاسخ

- ساختمان برای ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای در مناطق شهری. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، گزارش شماره ۶۷۰.
- طباطبایی، بیت الهی، نریمان سعید، محمدی، سلامت (۱۳۹۳). ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای محدوده شهر پردیس. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
- فاطمی عقدا، سینیان، میرزایی علویجه، فرزندگان (۱۳۹۲). طراحی، نصب و راه اندازی سامانه پاسخ سریع زمین لرزه شهر تهران. گزارش ۶۲۵، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲.
- فرزندگان، شاهوار (۱۳۹۳). گزارش جنبه‌های زلزله‌شناسی مهندسی زمین لرزه ۲۷ مرداد ۱۳۹۳ مورموری استان ایلام
- میرزائی علویجه، رمضی (۱۳۷۶). معیارهای گزینش ایستگاه‌ها در شبکه شتابنگاری. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، گزارش شماره ۲۴۸
- میرزایی علویجه، فرزندگان (۱۳۷۸). تعیین مکان‌های مناسب برای نصب دستگاه‌های شتابنگار (۴۵۰ ایستگاه شتابنگاری). مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، گزارش شماره ۲۶۴.

منابع انگلیسی

- Atkinson, G.M. & Kaka, S.I., 2007. Relationships between felt intensity and instrumental ground motion in the Central United States and California, Bull. seism. Soc. Am., 97(4), 1350–1354.
- Boore, D. M. and G. M. Atkinson (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0s, Earthquake Spectra 24.
- Boore, D. M. (2005). On pads and filters: Processing strong-motion data, Bull. Seism. Soc. Am. 95
- Boore DM, Bommer JJ (2005) Processing of strong-motion accelerograms: needs options and consequences. Soil Dyn Earthq Eng 25 (2):93–115. doi:10.1016/j.soildyn.2004.10.007
- ESHM (2013). The 2013 European Seismic Hazard Model. <http://www.share-eu.org/node/90>

- GCMT: Global Centroid Moment Tensor (1976-2011), Harvard University Seismology Department, <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html/>.
- Havskov, J. Ottemoller, L. (2006). Instrumentation in Earthquake Seismology. Springer, Berlin, 358 pp.
- Hudson, D. E. (1983a) History of Accelerograph Development, Proc. of the Golden Anniversary Workshop on Strong Motion Seismology, U.S.C
- IASPEI (2005). Summary of magnitude working group recommendations on standard procedures for determining earthquake magnitudes from digital data. <http://www.iaspei.org/commissions/CSOI.html>
- Jafari, M. K., Ghayamghamian, M. R., Davoodi, M., Kamalian, M. and Sohrabi, A. (2005) Site Effects of the 2003 Bam, Iran, Earthquake, Earthquake Spectra, Volume 21, No. S1, Pages S125-S136, EERI.
- Jafari, M. K., Kamalian, M., Razmkhah, A., and Sohrabi, A. (2004). North of Tehran site effect microzonation. In 13th World conference on earthquake engineering, Vancouver, BC, Canada
- Kanamori H., 1977. The energy release in great earthquakes, Journal of Geophysical Research, 82, 2981–2987.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Licia Faenza, Alberto Michellini (2011) Regression analysis of MCS intensity and ground motion spectral accelerations (SAs) in Italy, 1-16. In Geophysical Journal International.
- NGA (2008). Next Generation Attenuation Relationships for Western US (NGA West). <http://peer.berkeley.edu/ngawest/>
- NGA (2014). Next Generation Attenuation Relationships for Western US (NGA-West2). <http://ngawest2.berkeley.edu/>
- Remington. P.J., Kurtweil, L.G. and Tower. D.A. (1987). Low-frequency noise and vibrations from trains. In: Transportation noise reference book. Ed. Nelson. P.M. London: Butterworths.

- Tchalenko, J. S., 1974, Recent destructive earthquakes in the Central Alborz. Geological survey of Iran, No. 29, 97-116.
- Trifunac MD. On citation rates in earthquake engineering. *Soil DynEarthquake Eng* 2006;26(11):1049–62.
- Trifunac, M. D. (2009). 75th anniversary of strong motion observation—A historical review. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(4), 591-606.
- Wald, D. J., V. Quitoriano, T. H. Heaton, H. Kanamori, C. W. Scrivner, and B. C. Worden (1999a). TriNet “ShakeMaps”: rapid generation of peak ground-motion and intensity maps for earthquakes in southern California, *Earthquake Spectra* 15, 537–556.
- Wald, D. J., V. Quitoriano, T. H. Heaton, and H. Kanamori (1999b). Relationship between peak ground acceleration, peak ground velocity, and Modified Mercalli Intensity for earthquakes in California, *Earthquake Spectra* 15, 557–564.
- Wen, R., Ren, Y., Zhou, Z., & Li, X. (2014). Temporary strong-motion observation network for Wenchuan aftershocks and site classification. *Engineering Geology*, 180, 130-144. Worden, C.B.; Gerstenberger, M.C.; Rhoades, D.A.; Wald, D.J. 2012
- Probabilistic relationships between ground-motion parameters and modified mercalli intensity in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(1): 204-221; doi: 10.1785/0120110156
- Wu, Y.-M., H. Kanamori, R. M. Allen, and E. Hauksson (2007). Determination of earthquake early warning parameters, τ_c and P_d , for southern California, *Geophys. J. Int.* 170, no. 2, 711–717.
- Zülfikar C, Kalafat D, Tunç S, Pinar A (2014). Koeri Seismic Networks. International Workshop on Strong Motion Acceleration Data 12-13 May 2014-Ankara

لیست نشریات و گزارشات تهیه شده در شبکه شتابنگاری

میرزائی علویجه، فرزنانگان؛ مشخصات ایستگاههای شبکه شتابنگاری کشور؛ شماره ۲۸۰، ۱۳۷۷، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

میرزائی علویجه و دیگران، کتاب بوم و زمین لرزه‌اش می آموزد، شماره ک ۴۰۷، آذر ۱۳۸۳. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

میرزائی علویجه، فرزنانگان؛ مطالعات زمین شناسی ساختمانی با استفاده از روش ژئوسایزومیک در ۲۰ ایستگاه شتابنگاری استان بوشهر؛ شماره ۳۸۹، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۳.

فرزنانگان؛ پردازش شتابنگاشت‌های زمین لرزه‌های ایران (زمین لرزه ۵ اردیبهشت ۱۳۸۱)، شماره ۴۲۲، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

فرزنانگان؛ پردازش شتابنگاشت‌های زمین لرزه‌های ایران (زمین لرزه اول تیر ۱۳۸۱ چنگوره-آوج)، شماره ۴۲۱. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

میرزائی علویجه، فرزنانگان، سینیان؛ بانک اطلاعاتی زمین لرزه‌های ایران در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ میلادی، شماره ۴۳۳. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

فریدون سینیان، حسین میرزایی علویجه، اسماعیل فرزنانگان، امیر سعید سلامت "احداث آرایه‌های درون چاهی" گزارش ۶۰۹. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰.

لیست نشریات چاپ شده در شبکه شتابنگاری

چاپ ۱۱۴ شماره ماهنامه شتابنگاری ایران از شهریور ۱۳۸۳ (ISSN 1735-4196)

کاتالوگ داده‌های شتابنگاری سال ۲۰۰۱ (به زبان انگلیسی)، No. R-439

کاتالوگ داده‌های شتابنگاری سال ۲۰۰۲ (به زبان انگلیسی)، No. R-453

کاتالوگ داده‌های شتابنگاری سال ۲۰۰۳ (به زبان انگلیسی)، No. R-460

کاتالوگ داده‌های شتابنگاری سال ۲۰۰۴ (به زبان انگلیسی)، No. R-466

کاتالوگ داده‌های شتابنگاری سال ۲۰۰۵ (به زبان انگلیسی)، No. R-470

کاتالوگ داده‌های شتابنگاری سال ۲۰۰۶ (به زبان انگلیسی)، No. R-482

کاتالوگ داده‌های شتابنگاری سال ۲۰۰۷ (به زبان انگلیسی)، No. R-492

کاتالوگ داده‌های شتابنگاری سال ۲۰۰۸ (به زبان انگلیسی)، No. R-492

کاتالوگ داده‌های شتابنگاری سال ۲۰۰۹ (به زبان انگلیسی)، No. R-۶۰۵ (۲۰۱۱)

- کاتالوگ داده های شتابنگاری سال ۲۰۱۰ (به زبان انگلیسی)، ۶۲۰- No. R- (۲۰۱۲)
- کاتالوگ داده های شتابنگاری سال ۲۰۱۱ (به زبان انگلیسی)،
- کاتالوگ داده های شتابنگاری سال ۲۰۱۲ در دو مجلد (به زبان انگلیسی)
- کاتالوگ داده های شتابنگاری سال ۲۰۱۳ (به زبان انگلیسی)

لیست گزارش زمین لرزه های ایران

- گزارش فوری مقدماتی زمین لرزه سفیدآبه ۴ اسفند ماه ۱۳۷۲
- گزارش مقدماتی-فوری زمین لرزه ۱۶ بهمن ۱۳۷۵ گرمخان
- گزارش مقدماتی زمین لرزه ۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶ زیرکوه قائنات
- گزارش مقدماتی زمین لرزه ۲۳ اسفند ۱۳۷۶ گلباف
- گزارش مقدماتی زمین لرزه ۱۷ اردیبهشت ۱۳۷۸ کره بس
- زمین لرزه ۱۸ آبان ۱۳۷۸ صالح آباد خراسان
- زمین لرزه ۳ فروردین ۱۳۸۰ ارکواز ملکشاهی (ایلام).
- زمین لرزه ۸ فروردین ۱۳۸۰، قائمیه (فارس).
- زمین لرزه ۲۳ مهر ۱۳۸۰، اهر
- زمین لرزه ۱۶ آبان ۱۳۸۰ اسدیه (خراسان).
- زمین لرزه ۱۹ فروردین ۱۳۸۱ لایبج (استان مازندران).
- زمین لرزه ۴ اردیبهشت ۱۳۸۱ دینور کرمانشاه.
- زمین لرزه اول تیر ۱۳۸۱ چنگوره-اوج
- زمین لرزه ۱۹ اسفند ۱۳۸۱ شهر تهران.
- زمین لرزه ۱۲ تیر ماه ۱۳۸۲ تربت جام.
- زمین لرزه ۳۰ مرداد ۱۳۸۲ کویر لوت.
- زمین لرزه ۱۹ تیر ۱۳۸۲ حاجی آباد فارس.
- زمین لرزه ۲۰ مرداد ۱۳۸۳ سپیدان فارس.
- زمین لرزه ۱۵ مهر ۱۳۸۳ محمد آباد (کرمان).
- زمین لرزه ۱۷ مهر ۱۳۸۳ آق قلا.
- زمین لرزه ۸ خرداد ۱۳۸۳، فیروز آباد کجور.
- زمین لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوئیته زرنده.
- زمین لرزه ۶ آذر ۱۳۸۴ جزیره قشم.

زمین‌لرزه ۱۱ فروردین ۱۳۸۵ سیلاخور.

زمین‌لرزه ۲۸ خرداد ۱۳۸۶، کهک

گزارش زمین‌لرزه های دو گانه اهر ورزقان

گزارش زمین‌لرزه ۲۰ فروردین ۱۳۹۲ شنبه استان بوشهر


گزارش مهندسی زمین‌لرزه ۲۷ مرداد ۱۳۹۳ مورموری استان ایلام

پیوست ۱

تفاهم همکاری میان مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و مرکز تحقیقات مهندسی زلزله آرام (PEER)

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و مرکز تحقیقات مهندسی زلزله آرام (PEER) به منظور گسترش همکاری‌ها در حوزه‌های علمی و مهندسی یادداشت تفاهم همکاری امضا کردند. در این یادداشت تفاهم همکاری که در راستای دیپلماسی فعال و اراده دولت تدبیر و امید بر توسعه روابط با همه کشورهای جهان و تاکید ویژه بر تبادل علم و دانش با دنیا منعقد گردید، مرکز تحقیقات مهندسی زلزله آرام با دفاتری در دانشگاه کالیفرنیا و برکلی و مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در حوزه‌های مختلف علوم و مهندسی که از منافع مشترکی در آن برخوردارند ارتباطات خود را توسعه خواهند داد. تبادل داده‌های جنبش ثبت شده زمین ناشی از رویداد زمین‌لرزه‌ها در ایران از محورهای اصلی این تفاهم‌نامه مشترک همکاری است و بر اساس آن مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی شتابنگاشت‌های خام ثبت شده از شبکه شتابنگاری ایران را ارائه خواهد داد که این موارد پس از پردازش از سوی مرکز تحقیقات مهندسی زلزله آرام در اختیار مرکز قرار خواهد گرفت. همچنین مرکز تحقیقات مهندسی زلزله آرام اطلاعات اصلاح شده را از طریق وبسایت خود و با عنوان این مطلب که حرکات شدید زمین ناشی از زلزله از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ایران دریافت شده است، در اختیار عموم کاربران قرار خواهد داد.

خاطر نشان می‌شود این یادداشت تفاهم همکاری از سوی دکتر شکرچی‌زاده، رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و دکتر استفان، مدیر مرکز تحقیقات مهندسی زلزله آرام به امضا رسیده است. در ادامه تصویر موافقتنامه آمده است.

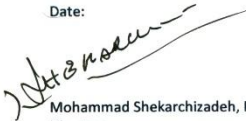



PACIFIC EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH CENTER
UC Berkeley Caltech OSU Stanford UC Davis UC Irvine UCLos Angeles UC San Diego USC UWashingt

**Memorandum of Understanding on Scientific and Engineering Collaboration
 between Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) and
 Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC)**

This is a memorandum of understanding (MOU) between the Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), with headquarters at the University of California, Berkeley, and the Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran. PEER and BHRC have complementary interests in earthquake engineering and science. Specifically, the subject of this MOU is on the exchange of earthquake recorded ground motion data as stated next. BHRC will provide un-corrected earthquake ground motion recorded in Iran, and PEER will process ("correct") such recordings and make the processed earthquake recordings available to the BHRC. Additionally, PEER will make such recordings available to the public through the PEER web site. At the PEER web site, PEER will acknowledge that "The original Iranian earthquake ground motion recordings have been obtained from the Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC). The cooperation of the BHRC is gratefully acknowledged."

The seismic cooperation between PEER and BHRC is purely scientific and there is no financial exchange between the two organizations.

<p>Date:</p>  <p>Mohammad Shekarchizadeh, Ph.D. Director, Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC)</p>	<p>Date: April 8, 2014</p>  <p>Stephen A. Mahin, Ph.D. Director, Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)</p>
--	--

Headquarters at: University of California, Berkeley, 325 Davis Hall, Berkeley, CA 94720-1792
 Phone: (510) 642-3437 Fax: (510) 642-1655 <http://peer.berkeley.edu> peer_center@berkeley.edu

تصویر تفاهم‌نامه همکاری میان مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و مرکز تحقیقات مهندسی زلزله آرام (PEER)

پیوست ۱ (ادامه)

گزارش سمینار چهلمین سالگرد تاسیس شبکه ملی شتابنگاری و سی و ششمین سالروز زمین لرزه طیس



یادمان

سه و ششمین سالروز زمین لرزه ۲۵ شهریور ۱۳۵۷، طیس گلشن

و

چهلمین سالگرد تاسیس شبکه شتاب نگاری ایران

زمان: سه شنبه ۲۵ شهریور ۱۳۹۳

ساعت ۸ الی ۱۳

عناوین سخنرانی:

دکتر محمد شکرچی زاده
مهندس علی اکبر بعین فر
مهندس اسماعیل فرزادگان
دکتر مهدی زاغ
دکتر محمد آریا منش
دکتر محمد شاهوار
مهندس حسین میرزایی علویچه

سیاست‌های مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی برای مباحث مربوط به زمین لرزه
تاسیس شبکه شتابنگاری ایران و نظری بر زمین لرزه طیس
دستاوردها و چشم انداز شبکه شتابنگاری ایران
شتابنگاری چشم شدید زمین در ایران، زمین لرزه طیس و اثرهای حوزه نزدیک
گسل زمین لرزهای طیس ۱۳۴۷، و حوضه‌های لرزه‌زا در منطقه طیس
نقوی نقشه‌های لرزش (ShakeMaps) برای زمین لرزه‌های ایران
سامانه پاسخ سریع زمین لرزه برای شهرهای بزرگ، مطالعه موردی شهر تهران

محل برگزاری: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
آدرس: تهران، بزرگراه شیح فضل‌نوری، فاز ۲ شهرک فرهنگیان،
خیابان نازگل، خیابان شهید علی نبوی، خیابان حکمت

ESMN



همزمان با سی و ششمین سالروز زمین لرزه طیس و چهلمین سالگرد تاسیس شبکه شتابنگاری، سمینار یک روزه‌ای در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی با هدف بررسی زمین لرزه طیس و همچنین شبکه شتابنگاری کشور و برنامه‌های آتی آن با حضور جمعی از مدیران، فرمانداران و کارشناسان برگزار گردید.

در ابتدای سمینار دکتر محمد شکرچی زاده ریاست مرکز در مورد سیاست‌های مرکز در مسیر تحقیقات مربوط به زمین لرزه، مطالبی را مطرح نمودند. ایشان در مورد اهمیت شبکه شتابنگاری فرمودند:

”بی تردید شبکه ملی شتابنگاری، مجموعه دستگاه‌ها و اطلاعات آن ارزشمندترین گنجینه علم مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی مهندسی در کشور می‌باشد. داده‌های شتابنگاشتی اساس و پایه علم مهندسی زلزله بوده و مسلماً خیل فارغ التحصیلان چند ساله اخیر در زمینه‌های سازه، زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله که از این اطلاعات استفاده کرده‌اند موید تاثیر مهم و انکار ناپذیر این اطلاعات در بهبود مطالعات مرتبط و طراحی سازه‌های مقاوم

در برابر زمین‌لرزه می‌باشند. امروزه حتی در کشورهای در حال توسعه که زمین‌لرزه خطری مهلك برای جامعه و اقتصاد آنها محسوب می‌گردد، بخوبی به نقش و اهمیت توسعه شبکه‌های شتابنگاری پی برده‌اند. نگاهی به گسترش این شبکه در کشورهایی که تا چند سال پیش فاقد دستگاه‌های شتابنگار بوده‌اند بخوبی این مسئله را نشان می‌دهد.

ایشان ضمن اشاره به خسارت فزاینده زمین‌لرزه‌ها فرمودند: «فراموش نکنیم ما در سرزمینی زندگی می‌کنیم که بطور مداوم در معرض رویداد زمین‌لرزه قرار دارد. گسترش شهرنشینی در کشور و وضعیت خاص زمین‌ساختی عمده شهرهای کشور که در کنار گسل‌های لرزه‌زا و کوتاه‌تر قرار گرفته‌اند (مهم‌تر از همه شهر تهران) آسیب‌پذیری این مناطق را به شدت بالا برده است. در عین حال مناطق روستایی در کشور ما با توجه به بافت فرسوده، کیفیت پایین مصالح و اجرا حتی در زمین‌لرزه‌های متوسط و شتاب‌های نسبتاً کم به شدت آسیب‌پذیر می‌باشند. روند فوق‌تنها در صورتی کاهش می‌یابد که مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌ها نقش خود را در این میان به خوبی ایفا نمایند. تحقیقات مرتبط با زمین‌لرزه، مطالعات کاهش خطرپذیری لرزه‌ای، تحلیل خطر زمین‌لرزه برای ساختگاه‌های مهم طرح‌های عمرانی، مطالعه در مورد مدل‌های جدید کاهندگی امواج لرزه‌ای و ده‌ها موضوع تحقیقاتی در زمینه زمین‌لرزه و مهندسی زلزله می‌بایست در این مراکز انجام گیرد. ما در مجموعه مرکز این افتخار را داریم که در امر زمین‌لرزه یکی از سازمان‌های پیشرو در کشور باشیم.»



دکتر محمد شکرچی‌زاده،
رئیس مرکز تحقیقات راه،
مسکن و شهرسازی

شتابنگاشت ثبت شده در زمین‌لرزه طیس در ایستگاه شیر و خورشید طیس در زمان خود مهمترین شتابنگاشت ثبت شده از زمین‌لرزه‌های رویداده در دنیا بود. این شتابنگاشت دارای ویژگی‌های منحصر بفردی نظیر مدت دوام زیاد، محتوی فرکانسی شامل یک باند فرکانسی بسیار وسیع و همچنین دامنه‌های بسیار بلند از شتاب است. در

کلیه مطالعات مربوط به جنبش نیرومند زمین نظیر تعیین روابط کاهندگی از این شتابنگاشت استفاده می‌گردد. تا مدت‌ها در آیین‌نامه‌های زلزله دنیا از این رکورد به عنوان یکی از نگاشت مناسب طراحی سازه‌ها یاد می‌شد. شرکت‌های تولیدکننده نرم افزارهای تحلیل سازه‌ها همواره در منوی پیشنهادی برای تست نرم افزار از این رکورد استفاده می‌کردند. این رکورد در فاصله سه کیلومتری شکستگی گسل مسبب زمین‌لرزه ثبت شده است.

پس از سخنرانی آقای دکتر شکرچی‌زاده، مهندس معین فر طی سخنانی ضمن اشاره به رویداد زمین‌لرزه مخرب طیس در ۲۵ شهریور ۱۳۵۷ توضیحاتی در خصوص چگونگی شکل‌گیری شبکه ملی شتابنگاری در سازمان برنامه و بودجه و روند انتقال آن به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن آن زمان داده‌اند. همچنین در مورد شتابنگاشت ثبت شده از زمین‌لرزه طیس توضیحات مبسوطی ارائه کردند. ایشان رکورد طیس را مهمترین شتابنگاشت دنیا دانسته و آن را واجد ویژگی‌هایی چون مدت دوام بسیار بالا، محتوای فرکانسی و بیشینه شتاب منحصر بفرد دانستند.

ایشان ضمن تقدیر از مجموعه تلاش‌های به عمل آمده در شبکه شتابنگاری، تاکید فراوانی بر بازسازی شبکه و جایگزینی دستگاه‌های جدید با دستگاه‌های قدیمی داشته و از مسئولین مرکز بخصوص دکتر شکرچی‌زاده خواستند تا تلاش‌های خود را در این میان بیشتر از گذشته نمایند. ایشان قبلاً در مهرماه ۱۳۹۳ طی نامه ای از دکتر حسن روحانی، ریاست محترم جمهوری اسلامی ایران درخواست کرده بودند که برای نگهداری و بهنگام نگه داشتن شبکه ملی شتابنگاری ایران بودجه کافی در نظر گرفته شود (متن نامه در انتهای این پیوست آمده است).

در پایان سخنرانی آقای مهندس معین فر، طی مراسمی کوتاه ولی تاثیرگذار، از زحمات ایشان در تاسیس شبکه ملی شتابنگاری با حضور تنی چند از روسای سابق مرکز و مدیران فعلی تقدیر و لوح سپاس با امضای وزیر محترم راه و شهرسازی به ایشان ارائه گردید.

پس از مراسم تقدیر از مهندس معین فر، نوبت به سخنرانی مهندس اسماعیل فرزنانگان رسید که در مورد شبکه ملی شتابنگاری که خود مسئولیت آن را به عهده دارد، صحبت نماید. ایشان ضمن اشاره به تاریخچه شبکه شتابنگاری و پیشرفت آن در ۴۰ سال گذشته به روند شکل‌گیری این شبکه و مهمترین زمین‌لرزه‌های ثبت شده در تاریخ شبکه اشاره و توضیحاتی در مورد داده‌های ثبت شده توسط شبکه ارائه نمود. نگهداری شبکه‌ای عظیم از دستگاه‌های شتابنگار در سراسر کشور و آماده نگهداشتن دائمی این دستگاه‌ها برای ثبت زمین‌لرزه کاری بسیار سخت و نیاز به امکانات سخت افزاری و نرم افزاری و بودجه مناسب دارد. بازدید هر دستگاه تنها یکبار در سال به تنهایی نمی‌تواند کارایی صد در صد دستگاه‌ها را هنگام رویداد زمین‌لرزه‌ها تضمین نماید. وی ضمن اشاره به سیستم ارتباط فعلی به دستگاه‌های شتابنگار که از طریق خط تلفن انجام می‌گیرد به محدودیت‌ها و مشکلات

این سیستم اشاره و بهترین راهکار را اضافه نمودن سخت افزار مناسب به دستگاه‌های فعلی برای ایجاد سامانه‌های ارتباطی مدرن تر مانند وب و ماهواره دانست.



تقدیر از مهندس علی اکبر معین فر
موسس شبکه شتابنگاری ایران



مهندس اسماعیل فرزندگان
مدیر شبکه ملی شتابنگاری

در ادامه مهندس فرزندگان برنامه‌های کوتاه مدت و بلند مدت شبکه را با نگاه تخصصی به مطالعات جنبش نیرومند زمین ارائه نمود. یکی از مهمترین این برنامه‌ها توسعه سامانه‌های پاسخ و هشدار سریع زمین‌لرزه در تهران و مناطق مختلف کشور است.

سخنران بعدی دکتر مهدی زارع مشاور رییس مرکز و استاد پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی بود که در مورد جنبش شدید زمین در حوزه نزدیک گسل با نگرش ویژه به نگاشت‌های ایران به ویژه شتابنگاشت طیس سخنرانی

نمود. دکتر زارع در این سخنرانی ضمن اشاره به ویژگیهای زمین‌لرزه‌های بویین زهرا، دشت بیاض، فردوس و طیس به ویژگیها و مشخصات جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک در زمین‌لرزه طیس و بم اشاره نمود. وی به اثراتی مانند جهت‌پذیری در شتابنگاشت‌های ایران اشاره و آنها را در میزان خرابی‌ها و خسارات موثر دانست.

سخنرانی بعدی توسط دکتر آریامنش معاون پارلمانی دانشگاه پیام نور و عضو هیئت علمی این دانشگاه در مورد چالش‌های پیش رو در حوزه آموزش زلزله‌شناسی در دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی ارائه گردید. وی ضمن بر شمردن مراکز آموزش عالی مرتبط با تربیت دانشجویان زلزله‌شناسی، مهمترین مشکلات این عرصه را نبود یک متد یکسان، نبود کتاب‌های مرجع مناسب، نبود بازار کار برای اشتغال فارغ‌التحصیلان، نبود مراکز علمی دولتی و غیر دولتی در زمینه زلزله‌شناسی و نبود شرکت‌های دانش‌بنیان برای تولید ابزار لازم برای زلزله‌شناسی برشمرد.

سخنران بعدی دکتر محمد شاهوار از همکاران مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی بود که سخنرانی خود را در زمینه سامانه تولید نقشه‌های لرزش زمین (واکنش سریع) انجام داد. نقشه‌های لرزش زمین، امروزه کاربرد فراوانی در بحث مدیریت بحران به عهده دارند. این نقشه‌ها که بلافاصله پس از زمین‌لرزه تهیه می‌شوند با استفاده از اطلاعات لرزه‌نگاری و شتابنگاری قادر به برآورد شدت زمین‌لرزه بوده و با استفاده از داده‌های شدت، اطلاعات خسارات را برآورد می‌نمایند. در کنار این نقشه‌های شدت، نقشه‌های شتاب، سرعت و جابجایی نیز تهیه می‌گردد که مهمترین کارکرد این نقشه‌ها بحث امداد و نجات در ساعات اولیه زمین‌لرزه است.

آخرین سخنران سمینار، مهندس حسین میرزایی علویجه بود که در ارتباط با طرح پابلوت سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه در شهر تهران و نمونه‌های مشابه در سایر نقاط جهان سخنرانی نمود. وی ضمن ارائه توضیحاتی در مورد کارکرد سامانه‌های پاسخ سریع زمین‌لرزه که بر اساس اختلاف سرعت امواج زمین‌لرزه و امواج رادیویی عمل می‌نمایند، چگونگی انتخاب ایستگاه‌ها و مراحل اجرای سامانه با ۲۰ ایستگاه شتابنگاری در شهر تهران توضیح داد. این سامانه می‌تواند نقش مهمی در هنگام بحران در شهرهای بزرگ داشته باشند.

در انتهای سمینار متن بیانیه‌ی نهایی توسط مهندس فرزندگان رییس شبکه ملی شتابنگاری قرائت شد. وی در این بیانیه ضمن گرامیداشت سالروز زمین‌لرزه طیس و سالگرد تاسیس شبکه شتابنگاری موارد زیر را به عنوان اصلی‌ترین خواسته این سمینار ارائه کرد:

- *اعتقاد ما بر این است که می‌بایست در راستای توسعه کمی و کیفی شبکه ملی شتابنگاری قدم*

برداشت. اختصاص بودجه به منظور جایگزینی دستگاه‌های قدیمی با دستگاه‌های جدید از اولویت‌های

سازمان‌های مسئول می‌بایست قرار گیرد.

- توسعه سامانه‌های هشدار و پاسخ سریع زمین‌لرزه می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد مدیریت بحران در هنگام زمین‌لرزه داشته باشد.
 - گسترش آرایه‌های خاص درون سازه‌ای با هدف رفتارنگاری ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه از دیگر اولویت‌های شبکه شتابنگاری باید باشد.
 - گسترش آرایه‌های درون چاهی به منظور مطالعه رفتار خاک حین رویداد زمین‌لرزه، همچنین احداث آرایه‌های رفتارنگاری گسل‌های مهم و لرزه‌زا از ابزار اساسی فراهم نمودن داده‌های تخصصی برای مطالعات زیربنایی هستند.
 - پیشنهاد می‌شود کلیه سازمان‌های مرتبط با شریان‌های حیاتی نظیر وزارت نیرو، نفت، راه آهن، نیروگاه‌ها، مترو... موظف گردند که سیستم‌های شتابنگاری را در مراکز تحت پوشش خود نصب و راه‌اندازی نمایند.
 - مراکز مذهبی و تاریخی، زیارتگاه‌های بزرگ مانند صحن حضرت امام رضا (ع) و حضرت معصومه (س) با توجه به حجم بالای جمعیت زوار در کلیه ساعات شبانه روز از منظر ارزیابی خطر لرزه‌های ارزیابی و به آرایه‌های شتابنگاری مجهز گردند.
 - برخط نمودن شبکه ملی شتابنگاری می‌بایست در دستور کار مرکز قرار گیرد.
- در ادامه متن نامه مهندس معین فر به ریاست محترم جمهور، جناب دکتر حسن روحانی آمده است.

بالمه قصبه

تاریخ ۵۵ لریماه ۱۳۹۵

جناب آقای دکتر دهقان

رئیس محترم جمهوری اسلامی ایران

گفته شد زمان و مکان وقوع زلزله ناشی از پیری مواد پیگمتری سر فروشت پروژه های جاده های
که در ایام سلف به گره های دکی و نقشه در آن داشته ام باز نه البته است کمی از آنها
شکله های شایسته ای زلزله است که همواره دغدغه حسن جریان آن را چه با مسوولیت
مستقیم لایحه در انتقاد در سمت به ابریت کفایت دانسته اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵
و درج) وجه غیر مستقیم به صورت است دره اقماری و همکاره با نهادهای متولی

این شکله در حال حاضر مرکز کفیات راه و هنر سازی (داشته ام
در ۵۵ مهر ۱۳۹۵ به مناسبت سی و ششمین سالگرد زلزله طیس و چهلین سالگرد تأسیس
شکله های شایسته ای زلزله همایش در مرکز کفیات برگزار شد که طی آن مورد لطف
دست اندازگان عزیز و قدر دانی جناب آقای دکتر آقونای وزیر محترم راه و راه سازی
و در گفتم که فردا شایسته آن بمنبرایم ولی راست بخدا چه بیدار شد در آن
صفت که دوستی را واقع به اهمیت میراثی که به جای مانده است می بینیم
بر این سبب مغفیه دانستم با اینکه مراتب محردت نکاحی را به استحضار رسانم:

این جانب پیش از پنجاه سال از عمر خود در وقت مطالعه زمین لرزه های فلات
ایران و در این آیین نامه ایمنی ساختمان با دربار زلزله مخزنه ام در سالهای آفر
دهه چهل و در ایام دهه پنجاه فرشته ای بنا بر ضرورت ایجاد شکله های شایسته
زلزله برای ثبت حرکات قوی زمین (که در رسته فقهی زلزله نقش مهم دارد)
از طریق دفتر کفیات دانسته زلزله فقهی نه مانده و بودجه اقدام

بعضی رستگاه های شتابنگار در گستره وسیع کشور کرم این پروده در طراح
 ساخته های مقام در برابر زلزله نقش مهمی دارد. اینک پس از گذشت هفت سال
 از تأسیس شبکه که با نصب اولین دستگاه در درامگاه اوجا زنگرود
 این شبکه با همت کارشناسان دانشمندان و ایرانی با ۱۱۰۰ دستگاه
 و با بهرست کورده بین زده هزار شتابنگار است که موفقی از در سینه کشی
 شبکه های شتابنگاری جهانی و طارای بازر اطمینان از زنده ای در رشته عملی
 منتهی زلزله است. شبکه ای با این اهمیت در منطقه زلزله خیزی چون ایران
 نیاز است که همواره بهنگام و کاما به باش بوده و با بهرست شبکه روز هراه
 باشد و این در سال های اخیر به رغم آنکه در برنامه پنجم توسعه کشور گسترش
 این شبکه پیش بینی شده است لکن به این هم توجه شده است. در آخرین نوسازی
 شبکه بین ۲۰ سال می گذرد و عمده توجه به بازسازی به موجب گرده است
 که که کدی از دستگاه ها در هنگام زلزله نتواند به خوبی اطلاعات لازم را
 ثبت کند و بعضاً اطلاعات از زلزله ای از دست رفته است که می توان از آن
 به عنوان کسب خسارت علمی یاد کرد. در حال حاضر نگاه های دیگری در گسترش این شبکه
 ملاحظه به دست آمده که یکی از دستگاه ها از زده خارج شده اند و دیگری اسانی
 موجود نیز به هیچ باز نشده که در بهر نیاز مبرم به بهرست دستگاه های جدید
 و گسترش دلجا دیگری بردی ان فی مناسب است. همین اینکه واقعتی باشد که
 دولت در آن وینا بود در سال ۱۳۹۴ تاگزیر است روش انقباضی پیش گیرد در
 دستور فرمایند برای نگاه های در هنگام نگه داشتن این شبکه بر وجه کافی در نظر
 گرفته شود.

با بقیه محارم
 ع. اکر مین فر کاه
 ۱۳۹۴

پیوست ۱ (ادامه)

افراد موثر در فعالیت شبکه ملی شتابنگاری

بی‌تردید فعالیت سامانه‌های شتابنگاری در سراسر دنیا علاوه بر وجود سخت افزارهای مناسب، مرهون تلاش نیروی انسانی کنترل‌کننده مجموعه‌های شتابنگاری است. شبکه شتابنگاری ایران نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. این مجموعه، چه در ابتدای تشکیل در سازمان برنامه و بودجه، چه پس از انتقال به مرکز تحقیقات، شاهد تلاش‌های افراد بیشماری اعم از مدیر، کارشناس، تکنسین و کارمندان دفتری بوده که در مسیر رشد و بالندگی این مجموعه در طول ۴۰ سال گذشته نقش داشته‌اند. بی‌تردید یاد کردن از همگی افراد که حتی مدت کوتاهی مشغول به فعالیت در این شبکه بوده‌اند شاید در ظرفیت این مجموعه نباشد، ولیکن در طول تاریخ شبکه، نقش برخی افراد پررنگ‌تر بوده که جا دارد حداقل با بیان نامشان از زحمات ایشان قدردانی گردد. در حال حاضر نیز مجموعه پرسنل شبکه با حداکثر توان سعی در انجام وظایف به نحو موثر داشته و در این مسیر از هیچ تلاش و کوششی دریغ نمی‌نمایند. فراموش نکنیم نصب و کنترل صدها دستگاه شتابنگار در سطح کشور و بعضاً در مناطق دورافتاده با مسیرهای سخت و صعب‌العبور، شرایط مختلف آب و هوایی و مسافرت‌های طولانی، همگی جزء شرایط کار در شبکه شتابنگاری است. در ادامه اسامی این پرسنل با هدف یادآوری و قدردانی آورده می‌شود.

۱- مهندس علی‌اکبر معین‌فر، بنیانگذار شبکه در دهه پنجاه خورشیدی، مشاور و حامی شبکه در طول سالیان حیات شبکه

۲- آقایان قربان محمودی، علی اکبر بداعی، مرحوم جعفر مفاخری و مرحومه ویدا جدیدی، کارشناسان شبکه شتابنگاری که از سازمان برنامه و بودجه به مرکز آمدند و ادامه خدمت خود را بطور صادقانه در مجموعه مرکز ادامه داده و در ابتدای دهه هشتاد پس از ۳۰ سال خدمت و تلاش در سراسر کشور به افتخار بازنشستگی نائل شدند. شوریختانه مرحوم جعفر مفاخری پس از سال‌ها تلاش و انجام ماموریت‌های سخت در سال ۱۳۷۲ به رحمت حق پیوست. همچنین آقایان شرفی، ابوالقاسم و مصطفی خوشبخت نیز تا سال ۱۳۵۵ به عنوان کارشناس با شبکه شتابنگاری همکاری می‌کردند. همچنین یکی از

کارشناسان شبکه به نام رضا شیرمحمدی نیز در جنگ تحمیلی به شهادت رسید.

۳- مهندس بشارتیان، دکتر اعتمادی، مهندس احمد نادرزاده، دکتر جمشید فرجودی، مهندس عیسی افشاری نژاد، مهندس ناهید رزاقی آذر، دکتر حمید رضا رمضی، دکتر حمزه شکیب، مهندس حسین میرزایی علویجه، دکتر فریدون سینائیان و مهندس اسماعیل فرزنانگان، اساتید و مدیرانی بودند که از ابتدای تاسیس شبکه تا سال ۱۳۹۴ خورشیدی، در طول ۴۰ سال گذشته، وظیفه هدایت و مدیریت شبکه ملی شتابنگاری را به عهده داشته و در این مسیر از هیچگونه تلاشی دریغ نکردند.

۴- مجموعه کارشناسان شبکه شتابنگاری که بار اصلی کنترل و نگهداری شبکه، در حال حاضر بر عهده ایشان بوده و بعضاً سابقه‌ای بیش از ۲۵ سال فعالیت در شبکه شتابنگاری دارند، عبارتند از خانم‌ها مژگان میرسنجری و مریم حشمتی سعادت، آقایان خسرو بهرامی، حسین عبدالهی، مهدی حسینی، محمد رضا ابراهیم پور، نوید شریفیات، وحید عابد، شاهین برجی، محمد هادی احمدی، مهدی کارخانه و علیرضا دستجردی که پرسنل شبکه در حال حاضر هستند. در این مسیر طولانی افرادی از این مجموعه جدا شدند، خانم پانته‌آ کریمی، آقایان علی اکبر اسمعیلی، رحمان کرباسیان، مهدی جلالی، مهدی عباسی، ماشالله تقی‌زاده، داود میرزایی، مرتضی سماواتی و محسن رضایی.

۵- کمیته تخصصی شبکه شتابنگاری: آقایان مهندس علی‌اکبر معین‌فر، دکتر حمزه شکیب، دکتر منوچهر قرشی، دکتر محسن تهرانی‌زاده و دکتر محمد پورمحمد شاهوار که همواره پشتیبان شبکه ملی شتابنگاری بوده‌اند.

همچنین در طی این دوران، شبکه ملی شتابنگاری از حمایت‌ها و پشتیبانی روسای پیشین و فعلی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی برخوردار بوده که جا دارد نام ایشان در این متن آورده شود: آقایان مهندس موسوی، دکتر دانشجو، دکتر احمدی، دکتر حیدری نژاد، دکتر تسنیمی، دکتر فاطمی عقدا و دکتر شکرچی زاده

در ادامه عکس‌های تاریخی شبکه شتابنگاری آورده شده است.

عکس‌های تاریخی شبکه شتابنگاری



مهندس علی اکبر معین‌فر (نفر اول از چپ) به همراه کارشناسان شبکه شتابنگاری در ایستگاه فتح‌آباد فارس (عکس از علی اکبر بداعی)



علی اکبر بداعی، کارشناس شبکه شتابنگاری در حال تنظیم دستگاه SMA-1 و آردتا (عکس از علی اکبر بداعی)



دستگاه شتابنگار SMA-1 (چپ) به همراه لرزه‌نگار ویلموت (راست) - (عکس از علی اکبر بداغی)



آنخل مارک سرچی (Angel Mark Sereci)، رئیس پیشین کمپانی کینمتریکس و اکبر بداغی در تهران (عکس از علی اکبر بداغی)



مهندس میرزایی (مدیر سابق شبکه شتابنگاری) در بازدید از ایستگاه شتابنگاری حاجی آباد،
در زمین‌لرزه اردکول ۱۳۷۶ (عکس از آرشیو شبکه شتابنگاری)



دستگاه SSA-2 ایستگاه بخشداری زیرکوه- قائنات در زیر آوار ناشی از زمین‌لرزه اردکول (عکس از آرشیو شبکه شتابنگاری)



کارشناس شبکه شتابنگاری، قربان محمودی، در شرکت کینمتریکس در حال آموزش فنی دستگاه SMA-1 (عکس از قربان محمودی)



دستگاه SMA-1 ایستگاه کرمان (عکس از علی اکبر بدآغی)



دستگاه شتابنگار SSA-2 ایستگاه روستای ابر که در اثر آتش‌سوزی ناشی از صاعقه از بین رفت (عکس از آرشیو شبکه شتابنگاری)

پیوست ۲

مشخصات مهمترین رکوردهای ثبت شده

ردیف	نام ایستگاه	شماره رکورد	مختصات E	ایستگاه N	بیشینه شتاب cm/s ²	تاریخ وقوع Y/M/D	زمان وقوع h:m:s	رومکز N	زلزله E	بزرگا	مرجع
1	بندرعباس ۱	1006/01	27.18	56.28	127	1975/03/07	07:04:00	27.47	56.44	Ms6.1	AMB
2	قائن	1043	33.73	59.22	223	1976/11/07	04:00:50	33.82	59.19	Ms6.4	AMB
3	بندرعباس ۱	1050/01	27.18	56.28	161	1977/03/21	21:18:00	27.59	56.42	Ms6.9	AMB
	بندرعباس ۲	1051/01	27.18	56.28	160						
4	ناغان	1054/01	31.93	50.72	872	1977/04/06	13:36:00	31.9	50.76	Ms6.1	AMB
5	طس	1084/01	33.58	56.92	898	1978/09/16	15:35:57	33.37	57.44	Ms7.4	ISC
	دیپوک	1082/01	33.29	57.5	411						
	بشرویه	1083/01	33.86	57.43	107						
6	تالش	1098/02	37.8	48.9	280	1978/11/04	15:22:20	37.67	48.9	Ms6.0	AMB
7	قائن	1139	33.73	59.22	217	1979/11/27	17:10:33	34.05	59.63	Ms7.1	AMB
	خواف	1143/02	34.57	60.14	138						
	بجستان	1134/02	34.52	58.18	118						
	خضری	1140	34.02	58.81	106						
8	بیناباد	1193/03	34.08	59.88	238	1979/12/07	09:23:56	34.14	59.92	Ms6.1	ISC
9	کلیاف	1176/05	29.88	57.72	321	1981/07/28	17:22:23	29.99	57.77	Ms7.0	ISC
	کرمان	1174	30.28	57.07	103						
	آب بر	1362/01	36.92	48.95	635						
	تفرش	1406	34.68	50	216						
	ابهر	1354	36.09	49.22	215						
	قزوین	1353/01	36.26	50	205						
	لاهیجان	1357/01	37.21	50.03	188						
10	تنکابن	1359	36.81	50.88	133	1990/06/20	21:00:11	36.99	49.35	Mw7.4	ISC
زنجان	1364	36.66	48.5	132							
گچسار	1361	36.11	51.32	102							
فیروزآباد	1486	28.83	52.56	120							
11	بجنورد	1727/02	37.48	57.33	203	1994/03/01	03:49:00	29.09	52.61	Ms6.0	NEIC
12	رباط	1728/02	37.9	57.69	142	1997/02/04	10:37:47	37.66	57.29	Ms6.8	NEIC
	گیفان	1726/02	37.89	57.49	138						
	آتشخانه	1659/02	37.56	56.92	110						
	راز	1676/02	37.94	57.1	100						
	کریق	1833/02	37.92	48.06	616						
13	اردبیل ۲	1701/01	38.22	48.26	168	1997/02/28	12:57:45	38.07	48.06	Mw6.0	NEIC
	اردبیل ۱	1693/01	38.23	48.28	114						
	نمین	1724	38.42	48.48	110						
	قاسم آباد	1754/01	34.35	59.86	195						
14	سنگان	1753	34.4	60.25	130	1997/05/10	07:57:29	33.82	59.8	Mw7.7	NEIC
	خواف	1759	34.57	60.14	112						
	سیرج	1913/01	30.19	57.56	750						
15	بالا ده	2131/02	29.29	51.94	423	1999/05/06	23:00:53	29.5	51.88	Ms6.3	NEIC
	خان زینان	2130/01	29.67	52.15	160						
16	آوج	2749/01	35.58	49.22	499	2002/06/22	02:58:20	35.63	49.05	Mw6.4	NEIC
	رزن	2756/01	35.39	49.03	201						
	شیرین سو	2781	35.49	48.45	180						
	کیودر آهنگ	2754/01	35.21	48.72	166						
	آبگرم	2748/01	35.76	49.28	130						

مرجع	بزرگا	زلزله E	رومرکز N	زمان وقوع h:m:s	تاریخ وقوع Y/M/D	بیشینه شتاب cm/s ²	ایستگاه N	مختصات E	شماره رکورد	نام ایستگاه	ردیف
NEIC	Ms5.5	54.17	28.35	17:06:37	2003/07/10	368	54.43	28.36	3040/01	حاجی آباد	18
NEIC	Ms5.5	54.13	28.3	17:40:15	2003/07/10	138	54.43	28.36	3040/03	حاجی آباد	19
NEIC	Mw6.6	58.31	29	01:56:56	2003/12/26	989	58.35	29.09	3168/02	بم	20
						124	57.89	28.91	3162/01	محمد آباد	
NEIC	Mw6.2	51.61	36.29	12:38:46	2004/05/28	171	57.94	29.35	3176/01	ابارق	21
						922	51.15	36.5	3333	حسن کیف	
						297	50.47	36.45	3367	معلم کلایه	
						290	51.59	36.4	3330/01	پول	
						189	51.09	35.96	3364/01	سد امیرکبیر ^۲	
						143	50.58	36.98	3355	چایکسر	
						134	50.23	36.88	3442	زیاز	
						130	50.69	36.84	3430	سد میجران ^۲	
						121	50.76	36.18	3318	طالقان ^۱	
						108	49.9	36.88	3376	دیلمان	
107	51.49	36.65	3368/01	نوشهر							
NEIC		54.48	37.12	21:46:18	2004/10/07	104	54.38	36.84	3545	گرگان ^۱	22
NEIC	Mw5.4	54.45	37.08	18:47:30	2005/01/10	163	54.72	37.46	3618	اینچه برون	23
						121	54.46	37.01	3608	آق قلا ^۱	
NEIC	Mw6.3	56.8	30.75	02:25:26	2005/02/22	510	57.03	30.81	3697/01	سد شیرین رود	24
						323	56.58	30.81	3671/01	زرند	
						219	56.82	30.96	3689/01	سد قدرونی	
						121	56.79	31.26	3661	راور	
100	56.91	30.6	3660/01	چترود							
NEIC	Mw6.0	61.88	27.15	03:31:23	2005/03/13	110	62	27.29	3722	سیب سوران	25
NEIC	Mw5.9	55.73	26.84	10:22:23	2005/11/27	327	56.07	26.78	3915/01	سوزا	26
NEIC	Mw5.9	56.81	28.26	07:31:03	2006/02/28	139	56.67	27.94	3996/02	سرگز-احمدی	27
BHRC	Mw5.5	55.69	27.57	07:28:54	2006/03/25	194	55.9	27.63	4013/01	فین ^۱	28
						121	56.08	27.56	4012/01	رضوان	
NEIC	Mw6.1	48.8	33.58	01:17:02	2006/03/31	524	48.91	33.66	4027/08	چالان چولان	29
						394	48.57	33.77	4035/03	توشک آبسرد	
						172	48.55	33.66	4018/03	چغلوئندی	
						154	48.26	33.87	4025	الشتیر	
123	49.06	33.45	4052/03	دره اسیر							
NEIC		55.9	26.82	21:02:09	2006/06/28	518	55.86	26.77	4147/13	تمبان	30
NEIC	Mw6.1	55.83	26.82	11:00:40	2008/09/10	597	55.86	26.77	4686/03	تمبان	31
						168	56.07	26.78	4678/01	سوزا	
NEIC	Mw5.5	51.69	29.65	11:22:46	2010/09/27	335	51.59	29.85	5062	قائمیه	32
						117	51.64	29.63	5065	کازرون	
NEIC	Mw6.7	59.12	28.49	18:41:59	2010/12/20	126	59.01	28.65	5130	ریگان	33
NEIC	Mw6.2	58.97	28.18	08:38:28	2011/01/27	192	59.02	28.33	5179/04	سرزه	34

مرجع	بزرگا	زلزله E	رومرکز N	زمان وقوع h:m:s	تاریخ وقوع Y/M/D	بیشینه شتاب cm/s ²	ایستگاه N	مختصات E	شماره رکورد	نام ایستگاه	ردیف
NEIC	Mw6.2	46.81	38.36	12:23:16	2012/08/11	478	46.9	38.46	5588/01	سد ستارخان ۳	35
						427	46.64	38.51	5579/01	ورزقان	
						281	46.59	38.15	5547/01	خواجه	
						268	46.92	38.46	5587/01	سد ستارخان ۲	
						262	47.06	38.47	5520/01	اهر	
						248	46.9	38.46	5586/01	سد ستارخان ۱	
						218	46.47	38.25	5558/01	نهند	
						212	46.48	38.22	5585/01	سد نهند ۳	
						175	46.48	38.22	5584/01	سد نهند ۲	
						150	46.48	38.22	5583/01	سد نهند ۱	
111	46.23	38.86	5533/01	دوزال	36						
104	47.04	38.87	5545/01	کلیبر							
532	46.64	38.51	5579/04	ورزقان							
442	46.9	38.46	5588/06	سد ستارخان ۳							
422	47.06	38.47	5520/04	اهر							
338	46.92	38.46	5587/05	سد ستارخان ۲							
319	46.9	38.46	5586/04	سد ستارخان ۱							
302	46.48	38.22	5584/03	سد نهند ۲							
271	47.12	38.25	5540/03	هریس							
240	46.59	38.15	5547/03	خواجه							
235	46.48	38.22	5585/03	سد نهند ۳							
192	47.37	38.12	5532/03	دمیرچی							
148	46.47	38.25	5558/03	نهند							
125	46.48	38.22	5583/03	سد نهند ۱							
116	47.37	38.86	5544/03	هوراند							
110	47.04	38.87	5545/03	کلیبر							
NEIC	Mw7.7	62.05	28.11	10:44:20	2013/04/16	196	61.46	28.34	5842/01	سیرگز	37
						175	61.96	27.79	5829	گشت	
						135	62.32	27.37	5820	سراوان	
						135	62	27.29	5846	سیب سوران	
						127	62.71	27.6	5827	جالق	
102	61.21	28.22	5844	خاش							
NEIC	Mw6.2	47.67	32.73	02:32:06	2014/08/18	219	47.42	33	6275	آبدانان	38
						105	47.26	32.69	6279/02	دهلران	
NEIC	Mw5.8	47.68	32.57	18:08:23	2014/08/18	197	47.67	32.73	6306/11	مورموری	39
						113	47.26	32.69	6303/06	دهلران	

AMB: Earthquake catalog prepared by Ambraseys and Melville (1982) and Ambraseys and Jackson (1998).

ISC: Bulletin of the International Seismological Centre. <http://isc.ac.uk>

USGS/NEIC: Catalog of earthquakes located by USGS/NEIC, <http://neic.usgs.gov>

پیوست ۳

مشخصات ایستگاه‌های دارای سرعت موج برشی اندازه‌گیری شده

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	V_{S30m} (m/s)	ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	V_{S30m} (m/s)
2	سمنان ۲	53.44	35.59	393	1	آذرشهر	45.97	37.77	660
4	طرود	55.01	35.43	995	3	آمند	46.16	38.23	743
6	عباس آباد	56.39	36.53	829	5	باسمنج	46.47	38	564
8	فرات	54.31	35.92	510	7	ترکمنچای	47.39	37.58	542
10	قدس	55.44	36.36	845	9	تسوج	45.36	38.3	709
12	قلعه شوکت	54.91	36.35	658	11	تیکمه داش	46.95	37.73	442
14	قلعه نو خرقان	55.07	36.63	381	13	خمارلو	47.03	39.15	921
16	قوشه	54.03	35.96	1107	15	خواجه	46.59	38.15	450
18	کوه زر	54.59	35.45	759	17	دمیرچی	47.37	38.12	1241
20	گرمسار	52.33	35.22	817	19	زنجیره	45.37	38.46	919
22	گرمسار ۲	52.331	35.225	817	21	سراب	47.54	37.94	406
24	مجن	54.65	36.48	876	23	شبیستر	45.71	38.18	922
26	معلمان	54.57	35.22	538	25	شربیان	47.1	37.89	484
28	میامی	55.66	36.4	694	27	شرفخانه	45.49	38.17	466
30	نعیم آباد	54.62	36.25	771	29	صوفیان	45.98	38.28	707
32	نعیم آباد*	54.62	36.25	771	31	عجب شیر	45.89	37.49	657
34	آباده طشک	53.72	29.79	683	33	قره آغاج	46.98	37.13	783
36	استهبان	54.06	29.12	782	35	کلیبر	47.04	38.87	850
38	اسلام آباد	52.35	29.42	2397	37	مرند	45.77	38.44	546
40	اشکنان	53.61	27.22	1066	39	نظر کهریزی	46.75	37.35	519
42	اوز	54.01	27.76	757	41	ورزقان	46.64	38.51	475
44	باب انار	53.22	28.98	885	43	هریس	47.12	38.25	530
46	بابامیر	51.21	30.07	832	45	هشترود	47.05	37.47	681
48	بالا ده	51.94	29.29	1380	47	یکان کهریز	45.4	38.67	738
50	بایگان	52.43	28.86	1044	49	آواجیق	44.16	39.33	244
52	بهرستان	52.73	27.7	660	51	اشنویه	45.1	37.04	373
54	بیرم	53.51	27.44	377	53	پلدشت	45.06	39.35	865
56	جووکان	52.57	29.04	930	55	پیرانشهر	45.14	36.71	577
58	جویم	53.98	28.26	1244	57	تازه شهر	44.7	38.17	301
60	جویم*	53.98	28.25	1244	59	تکاب	47.1	36.41	608
62	حاجی آباد ۱	54.43	28.36	561	61	تکاب*	47.12	36.4	608
64	حاجی آباد ۲	54.43	28.36	561	63	خوی	44.96	38.55	333
66	خان زینان	52.15	29.67	535	65	رازی*	44.33	38.48	334
68	خرامه	53.31	29.57	1437	67	رشکان	45.3	37.32	366
70	خنج	53.43	27.89	308	69	زمزیران	45.57	36.33	1035
72	خنج*	53.43	27.89	308	71	سردشت	45.49	36.15	509

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	Vs _{30m} (m/s)
74	دالین	52.12	30.06	1230
76	درزوسایبان	55.42	27.86	1250
78	دوبران ۱	54.18	28.41	1363
80	دودج	52.97	29.54	498
82	ذرات	52.85	29.09	800
84	رستاق	55.07	28.45	514
86	رمقان	52.16	29.37	1362
88	رونیز	53.76	29.19	342
90	ریچی	52.18	29.5	1050
92	زاهد شهر	53.81	28.74	390
94	زنجیران	52.62	29.07	680
96	سرروستان	53.22	29.27	464
98	سیف آباد	53.15	28.17	482
100	ششده	54	28.95	398
102	ششده*	54	28.95	398
104	علی آباد	54.69	27.7	1729
106	عماده ده	53.86	27.45	1080
108	فتح آباد	54.75	28.59	877
110	فداغ	53.57	27.59	604
112	فراشبند	52.09	28.86	630
114	فراشبند*	52.07	28.87	630
116	فورک	55.22	28.28	528
118	فورک*	55.2	28.29	652
120	فیروزآباد*	52.56	28.83	921
122	فیروزآباد ۱	52.57	28.84	921
124	فیروزآباد ۲	52.57	28.84	921
126	قائمیه	51.59	29.85	617
128	قطروئیه	54.7	29.15	404
130	قیر*	53.03	28.44	1099
132	قیر ۱	53.03	28.48	1099
134	قیر ۲	53.03	28.48	1099
136	کنارتخته	51.39	29.53	450
138	کوره	53.8	27.92	386
140	گویم	52.39	29.82	598
142	لار	54.29	27.65	1179
144	لامرد	53.18	27.33	881
146	مشکان	54.33	29.48	1262
148	مصیری	51.52	30.25	1262
150	مهارلو	52.82	29.52	570
152	مهر	52.87	27.55	656
154	میمند	52.75	28.87	881
156	میمند*	52.75	28.87	881

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	Vs _{30m} (m/s)
73	سرو	44.64	37.72	502
75	سلماس ۱	44.85	38.2	209
77	سید تاج الدین	45.04	38.36	456
79	سیلاب	44.76	38.31	439
81	سیلوانا	44.88	37.4	531
83	سیه چشمه	44.39	39.07	195
85	سیه چشمه*	44.38	39.06	195
87	شاهین دژ	46.56	36.68	415
89	شوط	44.77	39.22	407
91	قره ضیاالدین	45.02	38.89	297
93	قره ضیاالدین*	45.02	38.88	297
95	قره قشلاق	44.95	38.21	222
97	قطور	44.41	38.48	254
99	قوشچی	45.04	37.99	457
101	کلوانس	44.69	38.72	549
103	کوپر	45.25	36.53	272
105	کوزه رش	44.44	38.17	556
107	کهریز	44.98	37.87	457
109	گنگچین	44.67	37.76	313
111	ماکو	44.44	39.29	441
113	ماکو*	44.51	39.31	441
115	نقده	45.37	36.96	209
117	نلاس	45.49	36.26	336
119	اردبیل ۳	48.33	38.22	659
121	اسلام آباد	47.94	38.13	833
123	اسلام آباد قدیم	47.71	39.58	1111
125	اصلاندوز	47.4	39.44	705
127	اودلو	48.16	39.3	445
129	بیله سوار	48.32	39.37	533
131	تازه کندی	47.74	39.05	461
133	تازه کندی*	47.73	39.03	461
135	خلخال ۱	48.54	37.61	485
137	رضی	48.1	38.63	720
139	زبوه	47.65	39.11	304
141	طالب قشلاقی	48.21	38.4	978
143	فیروزآباد	48.24	37.59	459
145	فیروزآباد*	48.24	37.59	459
147	کریق	48.06	37.92	589
149	کلور	48.72	37.39	860
151	کورائیم	48.24	37.96	787
153	گرمی	48.06	39.05	712
155	لاهرود	47.83	38.51	981

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	Vs _{30m} (m/s)
158	نرگس زار	51.89	29.45	551
160	نورآباد ممسنی*	51.53	30.11	887
162	نیریز	54.32	29.2	452
164	هنگام	52.6	28.36	892
166	آبگرم	49.28	35.76	199
168	آقا بابا	49.76	36.34	617
170	آلولک	50.03	36.44	1458
172	آوج	49.22	35.57	814
174	بک کندی	49.58	36.4	308
176	بوئین زهرا	50.05	35.77	255
178	تاکستان	49.7	36.07	474
180	چنگوره ۱	48.96	35.78	1154
182	چنگوره ۱	48.96	35.78	468
184	چنگوره ۲	48.96	35.78	468
186	دانسفهان	49.74	35.81	478
188	رزجرد	50.18	36.35	898
190	سیردان	49.19	36.65	352
192	ضیاء آباد	49.46	36	815
194	قزوین	50.02	36.24	380
196	قزوین*	50	36.26	380
198	قزوین ۱	50.01	36.28	380
200	قزوین ۲	50.04	36.25	380
202	قزوین ۳	50.01	36.28	380
204	نهایند	49.51	35.93	769
206	کهنک	50.87	34.4	686
208	آرمرد	45.8	35.93	484
210	ابراهیم آباد	46.84	35.97	466
212	ابراهیم آباد*	46.84	35.98	466
214	بوئین سفلی	45.94	35.95	692
216	بوئین سفلی*	45.94	35.94	692
218	بیجار	47.62	35.89	814
220	بیجار*	47.62	35.89	814
222	بیجار ۲*	47.62	35.89	814
224	خوش مقام	47.35	36.15	556
226	خوش مقام	47.35	36.14	556
228	دزج	47.98	35.09	863
230	دیواندره	47.02	35.92	455
232	کانی سور	45.79	36.06	579
234	میرده	46.07	36.14	1288
236	میرده*	46.05	36.13	1288
238	هزارکتابان	46.81	35.78	621
240	ابارق	57.94	29.35	1160

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	Vs _{30m} (m/s)
157	نمین	48.48	38.42	1236
159	نیارق	48.63	38.26	1512
161	نیر	47.99	38.03	541
163	هشتجین	48.33	37.37	532
165	هل آباد	48.42	37.94	387
167	هل آباد*	48.42	37.92	387
169	هیر	48.49	38.08	612
171	طالقان*	50.76	36.17	462
173	طالقان ۱	50.76	36.18	462
175	طالقان ۲	50.76	36.18	462
177	مردآباد	50.83	35.73	304
179	مردآباد*	50.85	35.71	304
181	هشتگرد	50.68	35.96	706
183	آبدانان	47.42	33	654
185	آبدانان*	47.42	33	654
187	ارکواز ملک شاهی	46.61	33.39	325
189	ایوان	46.31	33.82	913
191	بدره	47.04	33.31	466
193	بیشه دراز	46.97	32.83	873
195	پهله	46.88	33.01	844
197	دره شهر	47.38	33.14	413
199	دشت عباس	47.83	32.41	342
201	دهلران	47.26	32.69	798
203	صالح آباد	46.19	33.47	423
205	گنجوان	45.98	33.72	789
207	لومار	46.81	33.6	413
209	مورموری	47.67	32.73	898
211	موسیان	47.38	32.52	472
213	مهران	46.17	33.12	615
215	هلیلان	47.07	33.73	413
217	آباد	51.26	29.02	482
219	اهرم	51.29	28.89	988
221	اهرم*	51.29	28.89	988
223	برازجان	51.22	29.26	1329
225	بردخون	51.47	28.06	401
227	بندریدر	51.93	27.83	508
229	بندرریگ	50.63	29.49	480
231	بندرریگ*	50	29.48	480
233	بندرسیراف	52.35	27.66	1190
235	بندرسیراف ۲	52.34	27.66	1190
237	بندرگناوه	50.51	29.57	508
239	بوشکان	51.7	28.83	1172

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	V_{S30m} (m/s)
242	ارزوئیه	56.36	28.45	915
244	اسلام آباد	56.73	30.74	807
246	انار	55.27	30.87	449
248	انار*	55.26	30.87	449
250	اندوهجرد	57.75	30.23	566
252	باغین	56.81	30.19	516
254	بردسیر	56.58	29.91	539
256	بروات	58.4	29.07	491
258	بلورد	56.05	29.42	518
260	بم	58.35	29.09	499
262	بهاآباد	56.63	30.75	385
264	بیاض	55.45	30.7	582
266	پاریز	55.75	29.87	1013
268	پشت رود	58.38	29.12	329
270	پشت رود۲	58.38	29.12	329
272	جوزم	55.02	30.5	668
274	جوشان	57.61	30.12	776
276	جیرفت	57.74	28.67	343
278	جیرفت*	57.73	28.67	343
280	چنرود	56.91	30.6	852
282	چشمه سبز	56.42	29.47	678
284	حتکن	56.79	30.85	837
286	حرچند	57.15	30.67	999
288	حسین آباد	57.74	28.46	570
290	خانوک	56.78	30.72	1083
292	خواجه عسگر	58.26	29.12	463
294	خواجه عسگر*	58.26	29.12	463
296	داوران	56.19	30.58	752
298	دریبهشت	57.33	29.24	544
300	ده علی	56.04	31.44	1594
302	راور	56.79	31.26	853
304	راور*	56.8	31.26	853
306	رفسنجان	55.99	30.41	418
308	ریگان	59.01	28.65	437
310	زرنند	56.58	30.81	226
312	زرنند*	56.57	30.79	226
314	سد شیرین رود	57.03	30.81	824
316	سد شیرین رود*	57.03	30.81	824
318	سیرجان	55.68	29.6	355
320	سیرچ	57.56	30.2	398
322	شهداد	57.69	30.41	1247
324	شهداد*	57.71	30.41	1247

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	V_{S30m} (m/s)
241	بوشهر۱	50.84	28.98	511
243	بوشهره	50.82	28.9	1267
245	تنگ ارم	51.525	29.155	574
247	تنگ ارم*	51.52	29.15	574
249	جم	52.33	27.82	997
251	خورموج	51.37	28.66	919
253	دالکی	51.29	29.43	971
255	دالکی*	51.28	29.43	971
257	دلوار	51.07	28.76	336
259	رستمی	51.08	28.57	546
261	رستمی*	51.07	28.57	546
263	ریز	52.07	28.05	1027
265	ریز*	52.07	28.05	1027
267	سعدآباد	51.12	29.38	921
269	شبانکاره	50.99	29.47	368
271	شنبه	51.76	28.4	1396
273	شول	50.52	29.83	479
275	فاریاب	51.46	28.9	827
277	کاکلی	51.52	28.34	470
279	پاکدشت	51.69	35.49	504
281	پاکدشت۲	51.69	35.49	504
283	تهران ۱۷ (ورزشگاه)	51.51	35.67	693
285	تهران ۲۴ (شهرک)	51.15	35.75	522
287	تهران ۲۷ (پارک غزال)	51.66	35.74	569
289	تهران ۳۰ (پارک)	51.47	35.83	481
291	تهران ۵۲ (دانشکده)	51.58	35.74	593
293	تهران ۵۶ (استادیوم)	51.27	35.72	613
295	تهران ۶۴ (کهریزک)	51.37	35.5	323
297	تهران ۶۵ (مرکز)	51.37	35.74	511
299	تهران ۶۷ (استادیوم)	51.27	35.72	613
301	تهران ۶۸ (استادیوم)	51.27	35.72	613
303	حسن آباد	51.25	35.37	450
305	سربندان	52.32	35.64	516
307	فیروزکوه ۱	52.77	35.76	883
309	فیروزکوه ۲	52.77	35.76	883
311	وحیدیه	51.02	35.61	300
313	سرخون	50.55	31.75	1330
315	ناغان	50.72	31.93	700
317	ناغان*	50.72	31.93	700
319	ناغان*	50.72	31.93	700
321	آبیز	59.96	33.69	1333
323	اسدیه	60.02	32.91	626

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	Vs _{30m} (m/s)
326	شهر بابک	55.12	30.11	992
328	طرز	56.5	31.4	923
330	فاریاب	57.23	28.1	641
332	فردوسیه	55.81	30.82	473
334	فهرج	58.88	28.95	280
336	قطب آباد	58.48	28.88	648
338	قلعه گنج	57.88	27.52	683
340	کرمان ۲	57.08	30.26	202
342	کشکویه	55.64	30.52	348
344	کوشک علیا	56.76	28.76	940
346	کوهبنان	56.28	31.42	469
348	کوهبنان*	56.28	31.42	469
350	کهنوج	57.71	27.95	1564
352	کهنوج*	57.7	27.95	1564
354	کیانشهر	56.38	31.15	579
356	گلیاف*	57.72	29.88	320
358	گلیاف ۱	57.73	29.89	320
360	گلیاف ۲	57.73	29.89	320
362	گیسک	56.59	30.88	809
364	لاله زار	56.81	29.52	678
366	ماهان	57.29	30.07	1085
368	محمد آباد	57.89	28.91	507
370	هیمنان	57.29	30.53	617
372	ارمنجان	47.35	34.61	390
374	سلام آباد غرب	46.53	34.11	266
376	ثلاث باباجانی	46.16	34.74	281
378	جوانرود	46.49	34.81	298
380	چنار	47.12	33.93	419
382	حمیل	46.77	33.94	261
384	دینور*	47.45	34.58	514
386	دینورا	47.45	34.58	514
388	دینور ۲	47.45	34.58	514
390	روانسر	46.66	34.71	267
392	سر پل ذهاب	45.87	34.46	619
394	سراب نیلوفر	46.86	34.41	323
396	سنقر	47.6	34.79	1477
398	سومار	45.64	33.88	642
400	قصرشیرین	45.59	34.51	347
402	کردن غرب	46.24	34.28	800
404	گورسفید	45.85	34.22	403
406	گیلانغرب	45.94	34.14	692
408	ماهیدشت	46.8	34.27	304

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	Vs _{30m} (m/s)
325	افین	59.74	33.53	1397
327	بسک آباد	58.72	34.03	572
329	بشرویه	57.42	33.87	474
331	بشرویه*	57.43	33.86	474
333	بیرجند	59.21	32.88	472
335	بیرجند*	59.21	32.87	472
337	تیغدر	58.95	33.56	786
339	حاجی آباد	59.99	33.6	919
341	خضری	58.81	34.02	704
343	خضری*	58.81	34.02	704
345	خوسف	58.89	32.78	1478
347	ده محمد	56.98	33.99	1537
349	دهک	59.52	32.19	742
351	دیپوک	57.51	33.29	780
353	دیپوک*	57.5	33.29	780
355	زهان	59.81	33.42	873
357	سده	59.24	33.33	854
359	سده*	59.24	33.33	854
361	سرایان	58.53	33.87	571
363	سربیشه	59.8	32.58	790
365	سه قلعه	58.4	33.67	650
367	شاهرخت	60.27	33.63	640
369	شوسف	60.01	31.81	648
371	طیس	56.94	33.6	650
373	طیس*	56.94	33.6	650
375	عشق آباد	56.92	34.36	511
377	فتح آباد	58.39	34.12	586
379	فرخی	59.53	33.83	1140
381	فردوس	58.17	34.01	420
383	فردوس*	58.16	34.01	330
385	قائن*	59.22	33.73	770
387	قائن ۲	59.19	33.73	770
389	کولی	59.37	34.01	503
391	گرماب	59.7	33.88	592
393	ماژان	59.02	32.58	859
395	مرک	59.43	32.92	559
397	مود	59.52	32.71	1004
399	موسویه	58.91	33.29	553
401	نهبندان	60.04	31.54	826
403	وندیک*	59.23	33.82	658
405	البلاغ	57.99	35.65	843
407	امام تقی	59.44	35.96	680

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	V_{S30m} (m/s)
410	هرسین	47.56	34.27	530
412	آق بند	55.18	37.66	402
414	آق قلا ۱	54.45	37.01	341
416	آق قلا ۲	54.45	37.01	341
418	اینچه برون	54.72	37.46	283
420	بندرترکمن	54.06	36.89	350
422	بندرترکمن*	54.06	36.89	350
424	بندرگز	53.95	36.76	347
426	رامیان	55.14	37.02	827
428	علی آباد	54.85	36.9	562
430	فارسیان	55.42	36.94	517
432	فارسیان	55.47	36.9	517
434	قیان علیا	55.68	37.62	410
436	قزقر	54.99	37.8	255
438	کرند	55.52	37.97	279
440	کلاله	55.5	37.38	375
442	گرگان*	54.38	36.84	291
444	گرگان ۱	54.38	36.84	291
446	گرگان ۲	54.38	36.84	291
448	گنبدکاووس	55.16	37.24	402
450	مراوه تپه	55.96	37.9	538
452	مراوه تپه*	55.95	37.9	538
454	مینودشت	55.37	37.23	449
456	مینودشت*	55.36	37.23	449
458	تالش*	48.9	37.8	530
460	رودبار	49.41	36.81	800
462	رودبار ۱*	49.41	36.81	800
464	رودبار ۲*	49.4	36.8	800
466	رودسر	50.28	37.14	170
468	رودسر*	50.3	37.13	170
470	لاهیجان	50.01	37.21	250
472	لاهیجان*	50.03	37.21	250
474	منجیل*	49.39	36.76	580
476	ازنا	49.46	33.47	945
478	الشتر	48.26	33.87	621
480	الیگودرز	49.71	33.39	1020
482	بروجرد	48.75	33.89	579
484	پلدختر	47.71	33.15	486
486	پلدختر*	47.7	33.15	865
488	توشک آبسرد	48.57	33.77	891
490	چالان چولان	48.91	33.66	428
492	چغلوندی	48.56	33.66	616

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	V_{S30m} (m/s)
409	امام تقی*	59.44	35.96	680
411	امام قلی	58.52	37.4	333
413	بجستان	58.18	34.52	739
415	بجستان*	58.18	34.52	739
417	بردسکن	57.97	35.27	993
419	بنی تاک	60.81	35.61	664
421	بنیاباد	59.88	34.08	673
423	بنیاباد*	59.88	34.08	673
425	تایباد	60.78	34.74	569
427	تایباد*	60.79	34.74	448
429	تربت جام	60.63	35.23	538
431	تربت جام*	60.61	35.24	684
433	تربت حیدریه	59.22	35.27	306
435	تربت حیدریه ۱*	59.22	35.27	306
437	تربت حیدریه ۲*	59.22	35.27	622
439	جغتای	57.06	36.63	964
441	جنگل	59.22	34.7	314
443	جنگل*	59.22	34.53	314
445	چخماق	59.83	35.28	1196
447	چخماق*	59.85	35.27	1196
449	چکنه	58.51	36.81	784
451	چنار	58.91	35.28	956
453	چناران	59.13	36.65	514
455	خواف	60.15	34.58	414
457	خواف*	60.14	34.57	414
459	داورزن	56.88	36.35	604
461	درخت توت	61.1	35.75	699
463	درگز	59.11	37.44	770
465	درگز*	59.11	37.45	770
467	درونه	57.42	35.18	533
469	رادکان	59.01	36.8	1129
471	رشتخوار	59.62	34.97	900
473	ریوش	58.47	35.48	428
475	ریوند	57.34	36.23	521
477	زاوین سفلی	59.93	36.75	816
479	سرخس	61.16	36.55	498
481	سرخس*	61.15	36.53	498
483	سلطان آباد	58.03	36.4	719
485	سنگان	60.25	34.4	643
487	شادمهر	59.04	35.17	540
489	ششتمد	57.77	35.96	699
491	ششتمد*	57.75	35.95	699

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	Vs _{30m} (m/s)
494	چمشک	48.21	33.23	629
496	خرم آباد ۲	48.37	33.52	821
498	درب آستانه	48.82	33.7	1103
500	درود	49.06	33.49	771
502	دره اسیر	49.06	33.45	935
504	روستای ازنا	48.93	33.61	450
506	زارم	48.82	33.8	693
508	زاغه	48.71	33.5	169
510	سپیددشت	48.89	33.22	1177
512	سراب دوره	48.03	33.55	814
514	شول آباد	49.19	33.18	1084
516	کمدان	49.44	33.31	846
518	کوهدشت	47.61	33.52	334
520	معمولان	47.94	33.38	986
522	مومن آباد	49.52	33.59	792
524	نورآباد	47.97	34.07	758
526	اسطخ پشت	53.48	36.46	572
528	اسطخ پشت*	53.47	36.47	572
530	بابل	52.68	36.54	155
532	بابلسر	52.66	36.7	187
534	بابلسر*	52.66	36.7	187
536	تنکابن	50.88	36.81	200
538	تنکابن*	50.88	36.81	200
540	حسن کیف	51.16	36.51	339
542	دو آب	53.05	36.02	409
544	رئیس کلا	52.03	36.38	525
546	عالیواک	53.07	36.61	359
548	قائم شهر	52.88	36.48	467
550	نکاء	53.28	36.63	392
552	نوذرآباد	53.25	36.8	438
554	نور	52.01	36.57	178
556	نوشهر	51.49	36.65	165
558	اراک ۱	49.73	34.1	713
560	اراک ۲	49.73	34.1	713
562	خنداب ۱	49.15	34.4	466
564	فرمهین	49.68	34.5	589
566	کمیجان	49.33	34.72	691
568	باغات	55.81	28.69	429
570	بستک	54.37	27.2	508
572	بندرخمیر	55.58	26.95	679
574	بندرعباس ۳	56.29	27.19	337
576	بندرلنگه	54.9	26.57	901

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	Vs _{30m} (m/s)
493	صالح آباد	61.09	35.69	1472
495	طیس	57.38	36.41	604
497	عظیم آباد	58.07	35.15	237
499	فدک	59.83	34.76	2129
501	فریمان	59.84	35.69	680
503	فیروزه	58.59	36.29	743
505	فیض آباد	58.78	35.01	578
507	قاسم آباد	59.86	34.35	680
509	قدمگاه	59.06	36.11	1010
511	قوچان	58.51	37.1	445
513	کاخک*	58.66	34.14	1750
515	کاخک ۱	58.64	34.15	965
517	کاخک ۲	58.63	34.14	1750
519	کاشمر	58.47	35.24	494
521	کاشمر*	58.45	35.23	326
523	کیکان	58.91	37.25	1142
525	کدکن	58.87	35.59	571
527	کدکن*	58.87	35.58	571
529	کلات نادری	59.76	36.99	634
531	گناباد	58.68	34.37	519
533	گناباد*	58.68	34.35	515
535	گنبدلی	60.86	36.39	1111
537	لائین نو	59.5	37.13	810
539	لطف آباد	59.34	37.52	642
541	مرزداران	60.53	36.15	880
543	مرزداران*	60.53	36.16	880
545	مشهد*	59.56	36.31	748
547	مشهد ۱	59.56	36.31	748
549	مشهد ۳	59.53	36.31	676
551	نصرآباد	60.31	35.42	795
553	نقاب	57.42	36.7	271
555	آغاچاری	49.83	30.7	857
557	آغاچاری*	49.84	30.7	857
559	الهایی	48.6	31.65	236
561	ایذه ۱	49.86	31.82	712
563	ایذه ۲	49.86	31.82	712
565	باغملک	49.87	31.54	267
567	بستان	47.98	31.72	257
569	بهبهان ۲	50.26	30.59	409
571	بهبهان ۲	50.26	30.59	409
573	تشان	50.2	30.83	715
575	حسینیه علیا	48.25	32.67	582

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	V_{S30m} (m/s)
578	بندر مقام	53.48	26.97	567
580	پارسیان	53.04	27.21	549
582	تخت	56.64	27.5	1195
584	تخت*	56.66	27.47	1195
586	جاسک	57.78	25.64	498
588	جاسک*	57.76	25.63	498
590	چاه مسلم	54.56	26.74	650
592	حاجی آباد	55.89	28.32	1001
594	حسن لنگی	56.86	27.39	251
596	رستاق	53.86	26.89	821
598	رضوان	56.08	27.56	752
600	رودان	57.19	27.44	869
602	زیارت علی	57.23	27.75	1334
604	سرگز-احمدی	56.67	27.94	528
606	سندرک	57.47	26.84	821
608	سوزا	56.07	26.78	1334
610	سیاهو	56.33	27.76	627
612	سیریک*	57.1	26.52	273
614	شمیل	56.09	28.14	896
616	طبل	55.72	26.76	931
618	فین ۱	55.9	27.63	681
620	فین ۲	55.9	27.63	681
622	قشم	56.28	26.96	757
624	کوهستک	57.02	26.8	533
626	گوهران	57.9	26.58	756
628	میناب	57.07	27.14	453
630	میناب*	57.07	27.15	453
632	نخل ناخدا	56.34	27.19	678
634	هاشم آباد	55.76	28.18	1287
636	اسدآباد	48.13	34.79	743
638	بهار	48.44	34.89	913
640	رزن	49.03	35.39	314
642	شیرین سو	48.45	35.49	813
644	فیروزان	48.12	34.36	401
646	قهورد سفلی	48.06	35.47	414
648	کبودر آهنگ	48.72	35.21	613
650	کرفس	49.3	35.36	465
652	کوهانی	48.41	34.14	783
654	گل تپه	48.2	35.22	1077
656	گیان	48.24	34.17	731
658	نهادند	48.38	34.19	894
660	همدان ه	48.53	34.87	872

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	V_{S30m} (m/s)
577	رامهرمز	49.6	31.27	269
579	سردشت	48.83	32.5	748
581	سردشت زیدون	50.22	30.32	1036
583	سلطان آباد	49.7	31.05	458
585	شوش	48.24	32.19	319
587	شوشتر	48.85	32.05	595
589	شوشتر*	48.85	32.04	595
591	صیدون	50.08	31.37	1070
593	عبدالخان	48.34	31.88	245
595	غیزانیه	49.18	31.22	623
597	لالی	49.09	32.33	401
599	مسجد سلیمان	49.25	31.98	708
601	مسجد سلیمان*	49.3	31.98	708
603	هفتگل	49.53	31.44	1046
605	هفتگل*	49.53	31.43	1046
607	هندیجان	49.71	30.23	247
609	هویزه	48.07	31.46	302
611	آب بر*	48.95	36.92	660
613	آب بر ۱	48.95	36.92	660
615	آب بر ۲	48.95	36.92	660
617	ابهر	49.22	36.15	300
619	ابهر*	49.22	36.09	300
621	ارمغان خانه	48.37	36.98	763
623	اند آباد	47.99	36.81	253
625	بوغدا کندی	48.14	36.58	483
627	حلب	48.07	36.3	563
629	دندی	47.62	36.55	407
631	ده جلال	48.7	36.32	748
633	زرین آباد	48.28	36.43	377
635	سلطان آباد	47.94	37.08	603
637	سلطانیه	48.8	36.44	466
639	صائین	47.96	36.46	406
641	صائین قلعه	49.07	36.31	642
643	ماه نشان	47.68	36.74	385
645	مشمیا	47.67	36.94	522
647	نیک بی	48.18	36.85	482
649	ایوانکی	52.07	35.34	722
651	ایوانکی*	52.06	35.33	722
653	بیارجمند	55.8	36.08	929
655	جام	53.9	35.78	1176
657	چندآب	51.93	35.42	702
659	دیباچ	54.23	36.43	526

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	$V_{S_{30m}}$ (m/s)
662	بشکان	56.08	31.63	1109
664	بهاباد	56.01	31.87	458
666	بهاباد*	56.01	31.87	458

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	$V_{S_{30m}}$ (m/s)
661	دیزج	55	36.35	345
663	رضوان	55.79	37.18	494
665	سرخه	53.2	35.47	742

*- توجه شود که بعضی از ایستگاه‌ها بدلیل تغییر تکرار شده است.