طراحی و ساخت هشداردهنده زلزله برپایه آشکارسازی امواج P

فرشید منصوربخت*[۱]، مهدیه دهاقین[۲]، علی صنعتگران محب‌علی[۳]

۱- کارشناس ارشد مهندسی برق و قدرت ، گروه خط و پست پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران، fmansourbakht@nri.ac.ir

۲- کارشناس ارشد مهندسی انرژی، گروه الکترونیک و ابزاردقیق، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران mdahaghin@nri.ac.ir

۳- کارشناس ارشد مهندسی برق، گروه الکترونیک و ابزاردقیق، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران Asanartgaran@nri.ac.ir

خلاصه

در این مقاله در ابتدا به معرفی دو موج شناخته شده ساطع شده از کانون زمین‌لرزه پرداخته می‌شود و پس از شرح ماهیت و رفتار این دو موج، تشریح عملکرد و و چگونگی ساخت تجهیز کاربردی هشدار دهنده زلزله براساس آشکارسازی امواج زلزله و ایجاد پیش‌آلارم شرح داده می‌شود. در نهایت با بیان جزئیات فنی ومدارات الکترونیکی مربوطه در نمونه ساخته شده و تحلیل نتایج انجام آزمون عملی در سایت میز لرزان دانشگاه صنعتی شریف در برابر چهار شکل موج ثبت شده زلزله مانند سانفرناندو، طبس، منجیل و بم ادامه می‌یابد. در ادامه مزایا و نتایج بالقوه استفاده فراگیر از این تجهیز و همچنین آینده توسعه سخت‌افزاری و کاربرد آن در صنعت برق و همچنین مصارف عمومی، ایراد گردیده است.

کلمات کلیدی: موج اولیه (P)، موج ثانویه (S)، فرکانس طبیعی نوسان

مقدمه

پدیده‌های خطر آفرین طبیعی نظیر زلزله، سیل، طوفان و لغزش لایه های زمین می‌توانند خطر جدی برای جان و مال انسان‌ها به دنبال داشته باشند، در این میان رویداد زلزله در طول تاریخ آثار غیر قابل جبرانی را به همراه داشته است، خوشبختانه در حال حاضر با توجه به پیشرفت‌های علم مهندسی زلزله، در صورت بکارگیری اصول و ضوابط پیشگیری، خسارات و تلفات ناشی از زلزله می‌تواند به حداقل ممکن برسد.

فعالیت‌های زیادی در طول زمان در جهت امکان پیش‌بینی طولانی مدت و کوتاه مدت زلزله تاکنون صورت پذیرفته است. برخی از آنها براساس مطالعات گسترده و پرهزینه مناطق وسیعی از یک منطقه استوار می‌باشند و برخی نیز براساس آشکارسازی عوارض طبیعی ناشی از زلزله استوار هستند. در هر صورت بنا به ماهیت ذاتی پدیده زلزله یعنی اتفاقی بودن آن تاکنون بشر در این مورد به راه‌حل خاصی دست نیافته است. و در حال حاضر بحث پیشگیری در قالب مقاوم‌سازی بناها و طراحی اصولی و مهندسی به عنوان راهکار اساسی دنبال می‌گردد. در نقش اساسی بحث مقاوم‌سازی به هیچ‌وجه جای شک و تردیدی وجود ندارد، مع‌الوصف فعالیت‌هایی در سراسر جهان برای ساخت تجهیزات مختلف کوچک و بزرگ، ارزان و گران قیمت هشدار دهنده زلزله[†]، همه روزه صورت می‌پذیرد. تنوع ایده‌ها و طرح‌ها بسیار زیاد می‌باشد، اما در این بین روش و یا

[†] Earth quake detector

الگوریتمی که قادر باشد وقوع زلزله را قبل از ایجاد تخریب، تشخیص داده و به صدور هشدار یا فرمان بپردازد، کاربردی‌تر می‌باشد.

تجربه ثابت نمونه است که روش‌های پیشگیری و آمادگی نقش موثری در کاهش خسارات و تلفات ناشی از زلزله دارد و یکی از محورهای مهم برای تحقیق این امر، هشدار دهنده زلزله است.

۱- اطلاعاتی در مورد امواج زلزله

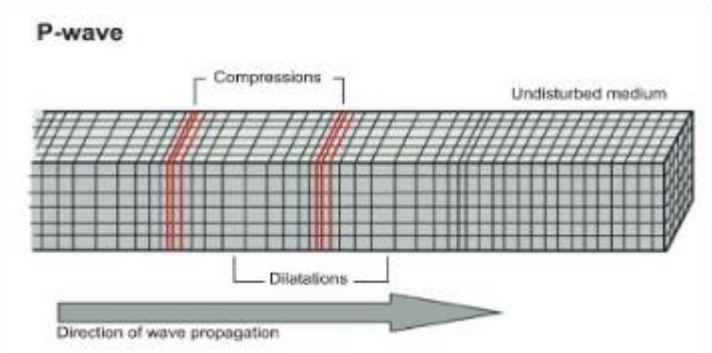
آزاد شدن ناگهانی انرژی انباشته شده در لایه‌های پوسته زمین را زلزله می‌نامند. این آزاد شدن انرژی به صورت امواج زلزله از نقطه‌ای به نام کانون زلزله آغاز و باعث لرزش سطح زمین می‌گردد.

دانشمندان برای علت وقوع زمین‌لرزه، چندین دلیل ذکر می‌کنند، برخی از زمین‌لرزه‌ها بر اثر فوران گدازه‌های آتشفشانی روی می‌دهند و تعدادی دیگر از زمین‌لرزه‌ها بر اثر فعالیت‌های مربوط به بشر روی می‌دهند، مانند انفجارات هوایی و یا ایجاد سدهای بزرگ در نواحی مختلف که به این نوع زمین‌لرزه‌ها، زلزله‌های القایی گفته می‌شود، اما مهمترین و اصلی‌ترین دلیل زمین‌لرزه‌ها حرکات مختلف پوسته نسبت به هم بوده که از قطعات مجزایی تشکیل شده است، این قطعات که بنام صفحه‌های زمین ساختی معروفند نسبت به یکدیگر در حال حرکت هستند، این حرکت از میلیون‌ها سال پیش آغاز شده و همچنان ادامه دارد.

شاید تصور اینکه در سالیان بسیار دور تمام خشکی‌های کره زمین به هم متصل بوده و به تدریج از یکدیگر فاصله گرفته تا شکل کنونی خود را بدست آورند، بسیار مشکل باشد، ولی هم‌اکنون این نظریه که به نام زمین ساخت صفحه‌ای شناخته می‌شود مورد قبول دانشمندان است.

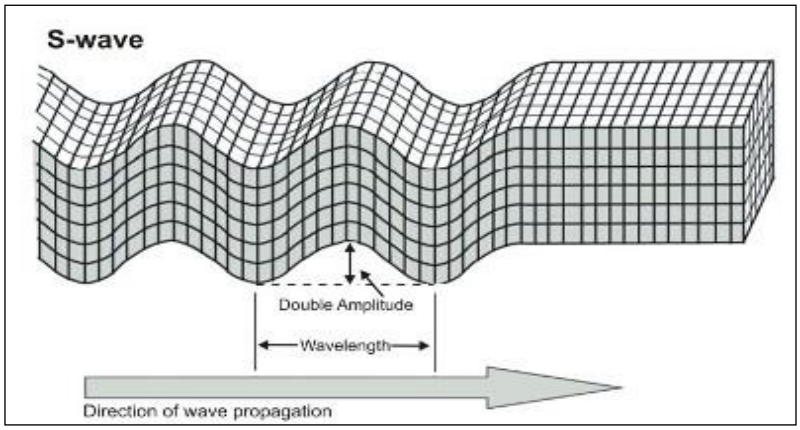
آزاد شدن ناگهانی انرژی ذخیره شده در مرز بین صفحات پوسته زمین پدیده‌ای است که از آن به عنوان زلزله یاد می‌شود.

مرز بین دو صفحه ناپیوستگی پوسته را اصطلاحا گسل می‌نامند، به عبارت دیگر، گسل‌ها شکستگی‌های پیوسته کره زمین هستند که در امتداد آنها جابجایی صورت می‌پذیرد. برخی از گسل‌ها در زمان‌های بسیار دور فعالیت داشته و دیگر فعال نبوده‌اند ولی برخی دیگر از آنها، در دوران اخیر فعالیت داشته‌اند که دسته دوم خطرناکتر محسوب می‌شوند. یکی از مهمترین ویژگی‌های شناخته شده زلزله، گسترش امواج آن است، دو نوع موج به نام‌های اولیه و ثانویه از کانون زلزله در تمام جهات ساطع می‌شود. موج اولیه یا P موج فشردگی[‡] موج ثانویه موج برشی[§] می‌باشد (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۱ – نحوه انتشار امواج P در پوسته زمین

[‡] S-wave
[§] P-wave (compressions)



شکل ۲ – نحوه انتشار امواج S در پوسته زمین

سرعت سیر امواج P تقریبا ۶/۴ Km/s (بسته به جنس لایه‌های زمین سرعت موج P متغیر است) بوده و انسان قادر به حس کردن آن نمی‌باشد. در ضمن این موج هیچ اثر تخریبی ندارد.

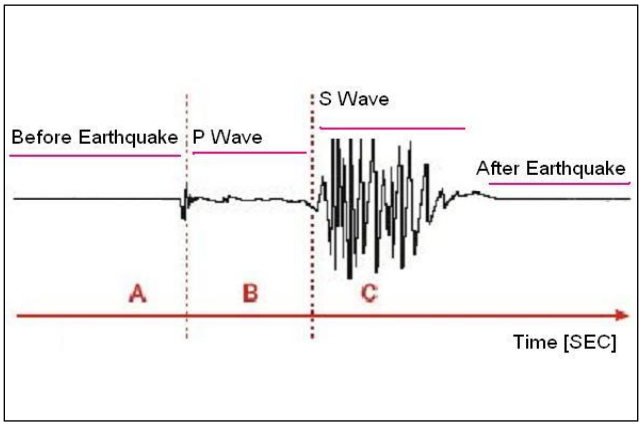
همان‌طور که می‌دانید قبل از وقوع زلزله بعضی از موجودات از خطر آن آگاه می‌شوند اما دلایل علمی که موجب واکنش حیوانات قبل از زلزله می‌شود، عبارتند از: حس ارتعاشات و امواج P که انسان قادر به حس آن نیست؛ شنیدن صدایی که از امواج درونی زمین برمی‌خیزد.

تغییرات در حوزه میدان الکتریکی که برای انسان نامحسوس است ولی حیوانات به راحتی ان تغییرات را درک می‌کنند.

بنابراین همیشه قبل از وقوع زلزله از جانب زمین امواجی با فرکانس‌های مشخص به اطراف ساطع می‌شوند و چون این فرکانس‌ها فرو صوت هستند (کمتر از ۲۰ Hz) از محدوده شنوایی انسان خارج می باشند.

فرکانس میانی امواج P در حد ۴-۶ Hz می‌باشد و فرکانس پایین یکی از عوامل موثر در آشکارسازی آن بوده است.

موج دیگر که موج S نامیده می‌شود دارای سرعت سیری در حد تقریبا نصف موج P (یعنی ۳/۸ Km/s) می‌باشد و بسیار مخرب است و شامل مولفه‌های عمودی و افقی و برشی، توامان می‌باشد. بنابراین ملاحظه می‌گردد که اگر زلزله‌ای مثلا در ۱۰۰ Km از یک ناظر رخ دهد (کانون زلزله) به ازای هر ۱۰ Km فاصله میان ناظر تا کانون زلزله موج P به اندازه تقریبی ۱/۲ ثانیه پیشتر به محل ناظر رسیده است و در این مثال در حدود ۱۲ ثانیه جلوتر. در شکل ۳ تاخیر زمانی میان امواج S و P ملاحظه می‌گردد.



شکل ۳ – شکل موج تاخیر زمانی میان امواج P و S

به عنوان مثال اگر زلزله‌ای مثلا در ۱۶۰ Km با شدت ۳ ریشتر اتفاق بیفتد تقریبا ۲۰ ثانیه طول می‌کشد تا اولین موج P زلزله به محل ناظر برسد و این امواج بقدری ضعیف خواهند بود که به هیچ‌وجه توسط شخص قابل تشخیص نخواهند بود و این تجهیز در حداکثر حساسیت می‌تواند، این امواج را تشخیص دهد.

۲-مکانیزم سنسور آشکارساز امواج P

۲-۱ توده جرم توزیع شده از جنس سرب نرم

وزن سرب همراه لوله توخالی برنجی آن بالغ بر مقدار کاملا معینی می‌باشد و لوله توخالی برنجی نقش افزایش‌دهنده جابجایی را عهده‌دار می‌باشد. ابعاد مکانیکی و موادی این قطعه براساس طراحی انجام گرفته ، ساخته شد. حفظ الزامات طراحی، وجود فرکانس طبیعی تشدید حول و حوش فرکانس میانی امواج P را به صورت فیلتر میان‌گذر تضمین می‌نماید، که در این فرکانس حداکثر انرژی امواج P نهفته می‌باشد. لذا حضور امواج P باعث افزایش دامنه نوسان پاندول معکوس سربی و نهایتا ایجاد تماس با کنتاکت زیرین می گردد .

۲-۲ کنتاکت زیرین

این کنتاکت از ورق برنجی نورد شده (دارای خاصیت ارتجاعی) بریده و قالب زده می‌شود و در قسمت بالا دارای سوراخی با سطح مقطع یک مثلث متساوی‌الاضلاع با لبه‌هایی که زاویه خمش آن دارای شعاع معین بوده (شعاع لوله برنجی تو خالی نیز به همان میزان می‌باشد) و آن هم بایستی کلا در تمامی قسمت‌ها آب طلاکاری گردد. فضای خالی به شکل مثلث متساوی‌الاضلاع در کنتاکت ثابت باعث می‌گردد که پاندول معکوس که بازوی آن در داخل آن فضا متحرک و در حال تعادل است به میدان زاویه‌ای ۶۰ درجه‌ای از ارتعاشات وارده پاسخ دهد.

همچنین کنتاکت ثابت زیرین از طریق ارتباط با یک پیچ تنظیم قابلیت جابجایی در راستای افقی داشته و کاربر با گرداندن آن می‌تواند با افزایش و یا کاهش فاصله بین کنتاکت ثابت و متحرک، حساسیت و آستانه عملکرد دستگاه را به طور نسبی کم و زیاد کند .

۳-مدارات الکترونیکی و PCB و شماتیک الکترونیکی

مدارات الکترونیکی شامل مدار آشکارسازی تریپ تماس لحظه‌ای کنتاکت ثابت و متحرک، مدارات مونیتورینگ وضعیت ولتاژی باطری و درجه حساسیت تنظیم شده می‌باشند. فرمان خروجی از نوع لچ یا نگهدارنده طراحی شده و این بدین معنی می‌باشد پس از قطع اتصال کنتاکت‌ها، این رله در وضعیت Set باقی ماند، تا از طریق مدار Reset طراحی شده توسط کاربر، به حالت اول برگردانده شود.

۴-نتایج آزمون هشداردهنده زلزله به مدل AF-EQD در سایت میز لرزان دانشگاه صنعتی شریف

آزمون شبیه‌سازی زلزله جهت ارزیابی عملکرد دستگاه هشدار دهنده زلزله به ازای داده‌های ورودی چهار زلزله شناخته شده شامل زلزله‌های ۱۳۵۶ طبس، ۱۳۶۹منجیل، ۱۳۸۲ بم و ۱۹۷۱ سانفرناندو و با درصدهای مختلف در آزمایشگاه میز لرزان دانشکده عمران دانشگاه شریف انجام گردید تحلیل نتایج ثبت شده نشان داد که دستگاه در آستانه تحریک امواج زلزله مطابق جدول ۱ ایجاد آلارم نمود.

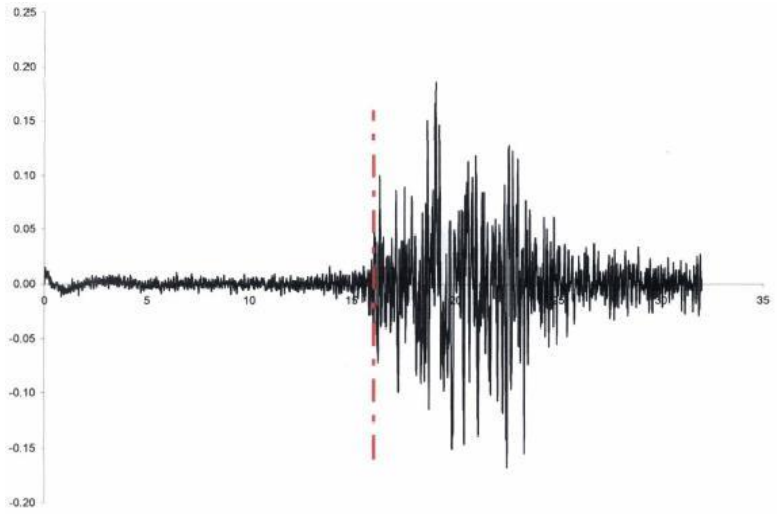
جدول ۱- حداقل دامنه شتاب امواج اولیه زلزله که موجب بروز علائم هشدار شد

زلزله های ورودی	سانفرناندو (%100)	سانفرناندو (%50)	منجیل (%35)	طبس (%10)	بم (%25)
دامنه شتاب امواج زلزله ورودی	0.04g	0.04g	0.03g	0.03g	0.03g

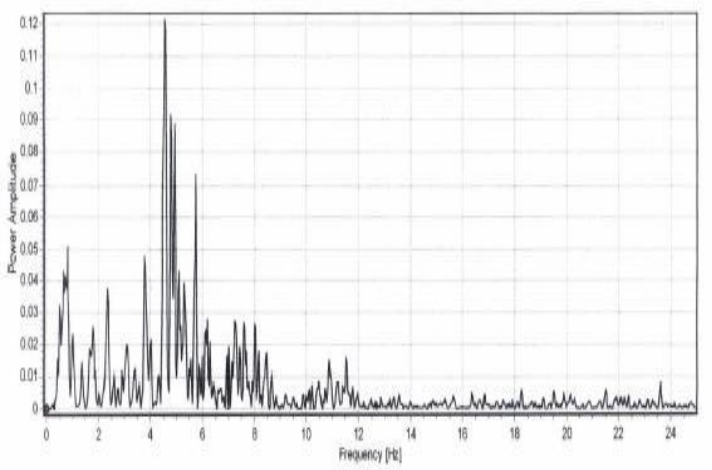
پاسخ‌های سازه‌ای هشداردهنده با استفاده از شتاب‌سنج‌های نصب شده برروی مدل اندازه‌گیری گردید (شکل ۴).

شکل ۴ – هشداردهنده زلزله نصب شده در ارتفاع ۱ متری برروی میز لرزان زلزله

همچنین تاریخچه زمانی شتاب ثبت شده در حسگرها و طیف توان دامنه فرکانسی در جهت X به طور نمونه‌ای برای امواج زلزله بم با دامنه ۲۵٪ در شکل‌های (۵ و ۶) ملاحظه می‌گردد.



شکل ۵- تاریخچه زمانی شتاب ثبت شده تحت اثر زلزله بم (%25) در جهت X



شکل ۶- طیف توان دامنه فرکانس استخراج شده از شتاب ثبت شده تحت اثر زلزله بم 25% در جهت X

در جدول (۲) مقادیر شتاب در حسگرهای X و Y را در لحظه شروع فعالیت دستگاه آورده شده است.

جدول ۳- زمان و مقدار شتاب در لحظه هشدار

ردیف	زلزله	مقیاس	زمان (sec)	Ax (g)	
1	بم	%25	16	0.02955	0.00049
2	طبس	%10	10.7	0.03326	0.00382
3	منجیل	%35	11.2	0.02547	0.00025
4	سانفرناندو	%50	10.8	0.03560	0.00980
5	سانفرناندو	%100	8.1	0.03823	0.00310

۵-مشخصات فنی هشداردهنده زلزله ساخته شده

گواهی آزمایش دستگاه در سایت میزان لرزان دانشگاه صنعتی شریف و مدیر تیم بین‌المللی امداد و نجات آمریکا برروی طرح آشکارسازی امواج P براساس پتنت آمریکایی و گواهی تحمل نفوذپذیری از نوع هدایتی تخلیه الکترواستاتیکی دست کاربر تا سطح ۴ (۱۵KV) و قدرت دی‌الکتریکی کنتاکت خروجی 2kV AC/50Hz و مصرف ۰/۰ µA دستگاه در حالت Stand by، سادگی نصب و سهولت کاربری از نقاط قوت طرح و نمونه ساخته شده می‌باشد. در شکل (۹) تصویر نمونه نهایی هشدار دهنده زلزله ساخته شده ملاحظه می‌گردد.

شکل ۹ – هشداردهنده زلزله نصب شده در ارتفاع ۱ متری برروی میز لرزان زلزله

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه با علم امروز امکان پیش‌بینی دقیق مکان و زمان وقوع زلزله میسر نمی‌باشد و از طرفی این پیش‌بینی می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از زلزله بسیار تاثیرگذار باشد، همواره بشر به دنبال راهکارهایی بوده که بتواند وقوع زلزله را قبل از آنکه اتفاق بیافتد تخمین زده و با تمهیدات لازم از خسارات احتمالی جلوگیری نمود. و یا حداقل از شدت آنها بکاهد. یکی از روش‌های متداول استفاده از دستگاه‌های هشداردهنده می‌باشد که اغلب با بهره‌گیری از اختلاف سرعت امواج P و S، متناسب با فاصله مرکز زلزله از ساختگاه مورد نظر، امکان هشدار یا ارسال دستورالعمل در مدت زمان کوتاهی قبل از رسیدن ارتعاش مخرب زلزله را فراهم می‌سازد. این تجهیز براساس سنسور مکانیکی و عناصر الکترونیکی موجود در بازار ایران طراحی و ساخته شد و پیش‌بینی می‌گردد قیمت تمام شده نهایی آن در پروسه تولید انبوه کمتر از مقدار مشابه ، موجود در آمریکا باشد.

حوزه مصرف آن مصارف عمومی و مصارف تخصصی در سطح بالاتر با امکان ایجاد شبکه و پیاده‌سازی پروتکل‌های خاص مد نظر هر سیستم و یا سازمانی می‌باشد.

همچنین امکان مدیریت بحران از طریق صدور فرمان نگهدارنده و امکان بی‌برقی تجهیزات پست‌های فشار قوی از توانمندی‌های این طرح می‌باشد، نظر به اینکه افزایش خسارت در اثر زلزله بیشتربه دلیل برقدار بودن تجهیزات و وقوع خطاهای الکتریکی شدید ناشی از فروپاشی سازه‌های تجهیزات فشار قوی می‌باشد.

همچنین در مصارف عمومی و خانگی با فرصت کوتاهی که در اختیار ساکنین قرار می‌دهد و با توجه به آموزش‌های داده شده به افراد در هنگام مواجه با هشدار زلزله می‌تواند به کاهش آمار تلفات کمک بسزایی بنماید.

۷- مراجع

[۱] ح شکیب، (۱۳۸۴)، "آمادگی زلزله" ، کتاب، تهیه و تدوین شورای اسلامی شهر تهران، سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران.

[۲] ع. بخشی، (۱۳۸۶)، گواهی آزمایش دستگاه هشداردهنده زلزله تحت اثر زلزله‌های شبیه‌سازی شده با میز لرزان، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران، ۲۲۰۰/۱۵۲۸

[۳] تاییدیه مدیر بین‌المللی امداد و نجات آمریکا (ARTT) - American Rescue Team InterNational، پروفسور Doug Copp

[4] Earthquake Detector Patent Number: 5001466
[5] Earthquake Detector Motion Sensitive Device Patent Number: 5475372.
[6] Discriminating Earthquake Detector Patent Number: 5760696.
[7] Sensor Apparatus And Method For Detecting Earthquake Generated P-Waves And Generating A Responsive Control Signal Patent Number: 7005993 B2
[8] Motion Detector Suitable For Detecting Earthquakes And The Like Patent Number: 4689997.
[9] Earthquake Sensor Patent Number: 5539387.
[10] Earthquake Detecting And Warning Device Patent Number: 7006000 B2.
[11] Earthquake Detector Patent Number: 5001466.
[12] Earthquake Alarm Patent Number: 5682834.
[13] Earthquake Detection Device Patent Number: 5725301.
[14] Earthquake Alarm Device Patent Number: 6342842b2
[15] Earthquake Detector Patent Number: 6121888.
[16] Earthquake–Alarm Device Patent Number: 6459379b1.
[17] Vibration Detection Apparatus Patent Number: 3709030.
[18] Seismic Trigger Patent Number: 4214238
[19] Seismic Tremor Sensor Alarm Patent Number: 4262289.
[20] Earthquake Alarm System Patent Number: 4297690.
[21] Alarming Seismometer Patent Number: 4364033.
[22] Electronic Signaling Level Patent Number: 4565010.
[23] Earthquake Recording Device Patent Number: 4117496.
[24] Earthquake Indicator Patent Number: 4484186.
[25] Earthquake Alarm Assembly Patent Number: 4764762.
[26] Earthquake Motion Detector Alarm Patent Number: 5418523.