زلزله یا لرزش زمین

ترجمه و نگارش :

همایون حقیقی

دکتر در بتن‌آرمه و مهندسی ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله

مقدمه :

حرکات زمین ناشی از زلزله بصورت‌های مختلف ازقبیل تکان شدید زمین ، ریزش آرام یا سریع بریدگی ، نشست زمین ریزش دامنه‌ها تظاهر مینماید. درك هریك‌از پدیده‌های فوق‌الذکر مستلزم‌دانش کافی در باره زلزله با توجه بعامل زمان است.

با توجه با طلاعاتیکه در باره زلزله‌های گذشته در دسترس است و با درنظرگرفتن اصولی که در اختیار داریم میتوان امیدوار بود درآینده بتوان زمان وقوع زلزله را در محل خاصی پیش‌بینی کرد. درحال حاضر پیش‌بینی زلزله با توجه بجنبه آماری آن امکان‌پذیر است. با پیشرفت دانش بشر دراین رشته میتوان اطمینان داشت که بمرور از مجهولات کاسته شود و با اطمینان‌بیشتری بتوان در باره احتمال حدوث زلزله در زمان و در مکان معین و همچنین از اثر آن برروی ساختمانها صحبت داشت.

در مبحث زیرین‌چنین فرض میشود که حرکات زمین مشخص‌شده‌اند زیرا دانستن چگونگی‌حرکات زمین برای بررسی واکنش ساختمان در برابر آن ضروری است و همچنین دانستن کیفیت حرکات زمین برای بررسی‌های مربوط بریزش دامنه‌ها و نشست زمین و سونامی لازم است (امواج حاصل از اثر زلزله را وقتی بساحل میرسند سونامی گویند).

هدف‌های فوق نوع اطلاعاتیکه در باره حرکات زمین نیاز داریم مشخص مینماید. زمین‌شناسان و زلزله شناسان‌نیز از نظرکارخود بمسئله حرکات‌زمین‌علاقمندند بدیهی است‌دلایلی نیز برای این‌علاقمندی وجود دارد. ولی‌آنچه بمهندسی زلزله مربوط میشود نیاز بتوجه خاص دارد. شکی نیست که پایه تحقیقات

مربوط بامور مهندسی باید توسط مهندسان گذارده شود امید است که دراین زمینه همکاری دسته جمعی بین زمین شناسان ، زلزله شناسان و کارشناسان فیزیک زمین بوجود آید .

زلزله شناسی و لرزش‌های شدید .

تا این اواخر مهندسان با مسئله طرح ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله دست و پنجه نرم میکردند بدون آنکه حتی یک اندازه گیری از حرکت زمین ناشی از زلزله های مخرب در اختیار داشته باشند . اولین ضبط مفیدی که از شتاب حرکت زمین برحسب زمان بدست آمد در سال ۱۹۳۳ مربوط بزلزله لانگ بیچ Long Beach بود . قبل ازاین تاریخ اطلاعات در باره زلزله های مخرب براساس مطالبی بود که افرادجان بدر برده از مهلکه بیان میداشتند و یا آنکه از چگونگی اثر زلزله برروی افراد و زمین و ساختمانها استنباط میگردید . بدیهی است که مسئله اثر حرکات زمین برروی ساختمانها با یک عدم اطمینانی توام است زیرا مشخصات دینامیکی ساختمانها هنوز بنحو منجز و قطعی معلوم نیست و دراین مورد خود نیزمشکلاتی وجود دارد . بسیار مشکل است در باره خسارت وارده بساختمانی بطور یقین اظهارعقیده کرد که خسارت وارده ناشی از حرکت شدید و استثنائی زمین بوده و یاآنکه درخود ساختمان یک نقطه ضعف و غیر قابل پیش بینی وجود داشته است .

از سال ۱۹۳۳ تاکنون از زلزله های رویداده در ٤٠ نقطه مختلف ٤٥ دیاگرام شتاب - زمان ضبط شده است بیشتر این دیاگرامها از ایالت کالیفرنیا و یا ایالت های مجاور اقیانوس آرام بدست آمده‌اند . اخیراً براین ذخائر نوارهائی از زلزله های ژاپن - مکزیک و شیلی افزوده گردید . چون بسیاری از نقاط زلزله خیز جهان هنوز هم فاقد دستگاههای شتاب سنج میباشند لذا متأسفانه از زلزله های مخرب مکزیکو ۱۹۵۷ ، شیلی ۱۹۶۰ ، اقادیر مراکش ۱۹۶۰ ،ایران ۱۹۶۲ اسکوپیه ۱۹۶۳ ، الاسکا ۱۹٦٤ ، ترکیه ۱۹٦٦ ، ونزوئلا ۱۹٦۷ و ایران ۱۹٦۸ نواری ضبط نشده است . عدم اطلاع از کیفیت و اساس زمین لرزه‌ها اگر بیان خصوصیت اساسی زلزله راغیر ممکن نسازد لااقل مشکل میسازد .

زلزله شناسی و مهندسی زلزله :

این سئوال ممکن است مطرح شود که باوجود شبکه وسیع موجود زلزله سنج در سراسر جهان چرا مهندسان نمیتوانند اطلاعات لازم از زلزله های شدید بدست آورند . باید بخاطر آورد که زلزله سنج ها دستگاههای حساسی هستند برای ضبط زلزله های کوچک که هزاران کیلومتر دورتر از ایستگاه زلزله نگار رخ میدهند . اگر زلزله شدیدی درنزدیکی ایستگاه زلزنه نگار روی دهد ممکن است نوسان اهرمهای زلزله نگار از حد مجاز تجاوز نماید و یا آنکه بدستگاه آسیبی برسد و در نتیجه ضبط لرزش زمین مسیر نخواهد شد .

در زلزله سال ۱۹٦٤ آلاسکا طبق اظهار نظر زلزله شناسان زمین دربرکلی کالیفرنیا بفاصله تقریبی ۳۰۰۰ کیلومتر از محل وقوع زلزله باندازه یک سانتیمتر درسطح افقی ودرسطح قائم در هنگام عبور امواج‌سطحی که بمدت ۱۷ ثانیه طول کشید نوسان کرده است ولی بااین همه زلزله شناسان از اظهار نظر درباره حرکت زمین در منطقه خسارت دیده آلاسکا عاجزند.

عامل دیگری نیز از ارزش زلزله سنج‌های موجود که دقت‌شان کمتر است میکاهد. باین معنی که زلزله شناسان دستگاهها را درقسمت‌های تحتانی زمین (Bed Rock) قرار میدهند درنتیجه از دقت دستگاه در باره اثریکه‌چینه‌های زمین و یا شرایط پی خواهند داشت میکاهد درحالیکه‌این امر برای مهندس در درجه اول اهمیت قرار دارد. مهندس میخواهد دقیقاً بداند زمینیکه ساختمان برروی آن قرار دارد و یا قرار خواهد گرفت در موقع حدوث زلزله چه واکنشی از خود نشان میدهد. وقتی مهندس متوجه میشود که مشخصات اولیه زلزله سنج‌های استاندارد مانند پریود وسرعت ضبط نوارهای اندازه‌گیری‌شتاب زمین مناسب نیست طبیعی است که باید خود مهندسان را مسئول واقعی بدست آوردن چنین اطلاعاتی دانست.

نباید فراموش کرد اطلاعاتیکه زلزله شناسان از دستگاهها کسب میکنند چندان مورد استفاده مهندسان نمیباشد مهندسان از طریق زلزله شناسان درباره زلزله خیزی نقاط مختلف زمین در زمانهای مختلف کسب اطلاع میکنند و احتمال حدوث زلزله بااندازه‌های مختلف‌را در نقاط مختلف ارزیابی میکنند.

بعضی از ایستگاههای زلزله نگار با نوارهای عریض با سیستم ضبط چندی Multi—gain Recording systems وگاهی با نوارهای مغناطیسی مجهز میباشند. این سیستم‌ها علی‌الاصول قادر باندازه‌گیری شتاب، سرعت و حرکت زمین ناشی از زلزله‌های خفیف تا زلزله‌های متوسط میباشند. ازدیاد این نوع دستگاهها از بسیاری لحاظ مفید خواهد بود.

انواع مختلف زمین لرزه :

چهار نوع زمین لرزه مخرب با توجه‌بمسائلی که از لحاظ اندازه‌گیری وخسارت وارده مطرح میشود تشخیص داده شده است.

۱ـ زلزله ممکن است سبب ریزش دامنه‌ها و یا حرکات سطحی شبیه آن گردد که درنتیجه از این راه بعلت حرکت پی بساختمان خسارت وارد گردد.

۲ـ تکان زمین ناشی از زلزله ممکن است سبب تراکم و یا روانی زمین گردد و درنتیجه بعلت تغییر شکل پی بساختمان آسیب وارد گردد.

۳ـ شتاب زمین ناشی از زلزله سبب ایجاد اینرسی زیان‌بخش درساختمان گردد.

٤- بریدگی ناگهانی در سطح زمین سبب جابجا شدن آن میشود.

کوشش بعمل‌آمده در باره دستگاههای‌اندازه‌گیری بیشتر مربوط به نوع سوم زلزله است‌زیرا اصول اطلاعاتیکه در باره نوع سوم زلزله بدینطریق بدست خواهد آمد در مورد زلزله‌های نوع اول و دوم نیز صادق است و با اطلاعات بدست آمده باید در باره نحوه اندازهٔ گیری شتاب زمین در آینده تجدید نظر بعمل آید.

اندازه‌گیری شتاب زمین :

دستگاههای ضبط لرزش‌های شدید زمین برای بررسی‌های مهندسان در بسیاری از کشورها پیشرفت قابل توجهی کرده است و بسیاری از این دستگاهها در دسترس مصرف کنندگان قرار دارد.

دستگاهی که بیش‌از همه در دسترس میباشد تکمیل شده دستگاهی است که از سال ۱۹۳۰ توسط «سازمان‌نظارت‌برساحل‌وحرکات‌آن‌درامریکا» بکار رفته‌است(The u.s.coast and Geodetic Survey). این دستگاه از سه مؤلفه شتاب بایک‌قسمت تبدیل کننده با پریود ۰۰۰ر. ثانیه و خفه کن‌الکترومغناطیسی با خصوصیت خفه کنندگی شصت درصد خفگی بحرانی که بدستگاه دقت کافی میدهد تا حرکت زمین را با پریودهای مختلف تا ۱ر. ثانیه را ضبط کند تشکیل شده است. اندازه‌گیری مستقیم شتاب حقیقی زمین با چنین دستگاهی مورد توجه مهندسان است زیرا از روی نتائج بدست آمده از این دستگاه میتوان با دقت کافی نیروی اینرسی دینامیکی که بساختمانها وارد میشود اندازه‌گیری کرد.

فیلم برداری از تعدادهای ضبط شتاب سنج‌های استاندارد معمولی که با سرعت ۲ سانتیمتر درثانیه حرکت میکند بقدرکافی از مشکلاتی که درشکل امواج برای اندازه‌گیری هریک از برجستگیها وجود دارد میکاهد و خصوصیات مختلف زمین لرزه را تعیین میکند با چنین سرعتی دستگاه نمیتواند دائماً در حرکت باشد بنابراین باید وسیله‌ای در دستگاه تعبیه کرد تا در اثر زمین لرزه‌های شدید دستگاه خودبخود بکار افتد و بعبارت دیگرامواج زلزله‌ایکه باید ضبط شود خود بایددستگاه‌را بکاراندازد این امر بوسیله حرکت‌پاندولی که اتصال جریان الکتریک را در اثر لرزش زمین موجب میگردد صورت میگیرد.

شبکه دستگاههای شتاب سنج :

در حال حاضر شبکه دستگاههای شتاب سنج که در اختیار U.S.C.G.S میباشد بالغ بر ۳۰۰ دستگاه است که اکثراً درسواحل اقیانوس آرام نصب‌شده‌اند. برای‌آنکه دستگاههای‌شتاب سنج بتوانند حداکثر اطلاعات لازم را بدهند باید در فاصله ۲۰ تا ۳۰ میلی مرکز زلزله‌های شدید قرارگرفته باشنداز اینرو برای آنکه فقط منطقه زلزله خیز ساحل اقیانوس آرام از دستگاههای فوق پوشانده شود باید قدمهای بزرگی در

اینراه برداشته شود. درحال حاضر در فاصله بین مرکز و سواحل شرقی ایالات متحدامریکا فقط یک‌دستگاه شتاب سنج وجود دارد. با توجه باین نکته هیچ قسمت از تمامی امریکا ازخطر حدوث زلزله درگذشته در امان نبوده است بسیار منطقی است که تعدادی از دستگاههای شتاب سنج درشهرهائی از قبیل دترویت، بستن و سن لوئی و چارلستون نصب گردد یعنی در نقاطی که در زمانهای قدیم و یا درسالهای اخیر از زلزله های شدید آسیب دیده‌اند.

سازمان U.S.C.G.S علاوه‌برامریکادر کشورهای کلمبیا، السالوادور، گواتمالا، پرووا کوادور، کوستاریکا، شیلی و نزوئلا هریک یکدستگاه شتاب سنج نصب کرده است.

در ژاپن شبکه بسیار وسیعی مرکب از ۵۰۰ دستگاه شتاب سنج ازسال ۱۹۵۱ نصب شده است. شبکه شتاب سنج مکزیک بالغ بر ۳۰ دستگاه است. شبکه های کوچکتری درکشورهای زلاند نو ـ کانادا و هند وجود دارد و در بعضی ازکشورها نیز یک تا چند دستگاه شتاب سنج مشغول کار است.

بهرحال میتوان گفت که هیچ کشوری در جهان بقدرکافی از دستگاههای فوق در اختیار ندارد بعلاوه بعضی ازکشورها باوجود آنکه درمنطقه زلزله خیز قرار دارند حتی فاقد یکدستگاه شتاب سنج میباشند !

برای مهندسان امریکا مانند سایر مهندسان جهان وجود دستگاههای شتاب سنج مشغول بکار بقدر کافی لااقل درمناطق زلزله خیز جهان کمال اهمیت را دارد. شکی نیست که سرویس و نگهداری مرتب این دستگاهها بنوبه خود باید مورد توجه کافی قرارگیرد.

گرچه هنوز بطور تعیین معلوم نیست که زلزله های شدید جهان تاچه‌اندازه بیکدیگر شباهت‌دارند بااین همه زلزله های شدید در هرنقطه ازجهان که‌رخ دهند مورد توجه دقیق مهندسان سراسرجهان میباشند مقایسه بین لرزش های ثبت شده زمین و طیف های حاصله از منحنی های ضبط شده نقاط مختلف جهان شباهت بین زلزله های شدیدرا از بسیاری جهات تأئید میکند وچگونگی ارزش های زمین و اثرات زلزله نیز بنوبه‌خود فکر فوق را تقویت میکند.

گرچه زلزله در بعضی از قسمت های جهان ممکن است دارای خصوصیات ویژه‌ای‌باشداز آنجائیکه هرمؤسسه مهندسی ممکن است ساختمانی را در نقطه‌ای‌ازجهان طرح و محاسبه نماید بنابراین مهندسان‌سراسر جهان بکار شبکه دستگاههای‌شتاب سنج تمام کشورها علاقمندند زیرا فقط با داشتن‌اطلاعات دقیق‌ازحرکات لرزش زمین میتوان اثر آنرابنحو صحیحی‌درساختمانهای مهندسی اعمال کرد. پیچیدگی مسائل مربوط‌بزلزله چنان است که باید از تمام تجارب کسب شده استفاده کرد.

حداقل دستگاههای شتاب سنج مورد نیازکه باید درسراسر جهان آماده بکار باشند توسط قسمت مهندسی زلزله و زلزله شناسی سازمان جهانی یونسکو برآورد وتعیین شده است. کمیته مشورتی قسمت زلزله

شناسی و مهندسی زلزله یونسکو در تاریخ ۱۳ اوت ۱۹۶۵ حداقل مبلغ مورد نیاز برای تهیه و نصب تقریباً ۸۰ دستگاه شتاب سنج و ۲۰۰ دستگاه زلزله سنج Seismos Cope درفاصله سالهای ۷۱-۱۹۶۶ رامعادل ۴۵۰۰۰۰ دلار و برای گسترش دستگاههای جدید درفاصله سالهای ۶۸ - ۱۹۶۶ ، ۶۰۰۰۰ دلار برای سال ۱۹۶۶ فقط ۲۰۰۰ دلار بمنظور تهیه یکدستگاه منوگراف شتاب سنج پیشنهاد کرده است تهیه چنین مبلغ ناچیزی برای یونسکو تاکنون فراهم نشده است لذا چنین نتیجه گرفته میشود که بقدرکافی اهمیت موضوع برای کسانیکه باید دراین باره اقدام کنند روشن نگردیده است.

شرایط محیط شتاب سنج :

نکته مهمی که درشبکه دستگاههای شتاب سنج سواحل اقیانوس آرام بچشم میخورد این است دستگاهها در شرایط بسیار متغیری از لحاظ ساختمان زمین و کیفیت خاك قرارگرفته‌اند. بعضی از دستگاهها در تخته سنگهای زیرین زمین Bed Rock و برخی از آنها در قشرهای الوویوم با ضخامت و مشخصات مختلف ودسته‌ای از دستگاهها نیز در سطح زمین قرارگرفته‌اند از نظر نتیجه‌ایکه‌از برنامه تهیه شده دراین باره منظور است‌واطلاعاتیکه از لحاظ طرح و محاسبه ساختمانها مورد نیاز مهندسی میباشد. همواره کوشش شده است تا محیط اطراف دستگاه شتاب سنج نمایشگر همان شرایط پی ساختمان باشد.

تغییرات شرایط محلی که در اندازه‌گیریهای سابق وجود داشته‌است آنطورکه بایستی متفاوت‌نبوده است بنابراین ضبط هرچه بیشتر لرزش‌ها در زمینهائی با شرایط محلی متغیر بویژه از لحاظ چینه شناسی حائز کمال‌اهمیت‌است. بعلت کمی‌دستگاههای شتاب سنج موجود درگذشته‌انجام چنین خواسته‌ای بسیارمشکل مینمود از ایزو بسیار منطقی است که در وحله‌اول بخواهیم‌شبکه‌دستگاههای‌شتاب‌سنج بمقداروسیعی گسترش یابد. درحال حاضر مطالعات درباره خاکهای مختلف وشرائط ژئولرژی متفاوت‌بحکم اجبارمحدود بمطالعه لرزش‌ها وزلزله‌های بسیار خفیف و ندرتاً زلزله‌های کوچک است. چنین تحریک‌هائی بقدرکافی در یک منطقه کوچک روی میدهد و از اینرو مطالعه این امر محدود بمقایسه موضوع در زمانهای مختلف منجر میگردد.

تعمیم نتیجه حاصله‌درباره‌زلزله‌های مخرب ویا آسیب رساننده با مقدار زیادی تردید و عدم‌اطمینان توام است. وقتی این امر ممکن است که بوسیله دستگاههای شتاب سنج مستقردرمنطقه مرکزی زلزله‌های مخرب و در شرایط مختلف محیط بتوان بقدرکافی نوارهائی ضبط کرد. این مسئله که چه رابطه‌ای بین زلزله‌های بسیار خفیف و زلزله‌های شدید و مخرب وجود دارد خود یکی از مشکلاتی است که در برابر مهندسان زلزله وجود دارد.

نصب دستگاههای شتاب سنج در روی یک محور باعماق مختلف زمین و نوارهائی که از این طریق بدست خواهد آمد اثر ساختمان زمین و همچنین خواص دینامیکی خاك را بیان و تشریح خواهد کرد

و بدیهی است کسب نوار از دستگاههائیکه در سطوح مختلف قشرهای متفاوت و مجاور یکدیگر نصب خواهد شد بسیار آموزنده خواهد بود چنین تجاربی در کالیفرنیا - ژاپن و مکزیکوبعمل آمده‌است‌ولی‌اطلاعات بدست آمده فقط شامل قسمت کوچکی از ساختمان زمین و شدت زلزله میگردد.

مسئله دیگر که بآن فقط اندك توجهی شده و یاآنکه اصلاً توجه نشده است موضوع مؤلفه دورانی و مؤلفه فضائی لرزش زمین و بویژه اثر جدائی ساختمان چینه های زمین در زلزله است. چنین مطالعاتی‌باید همزمان با برداشت‌هائی از زلزله در فواصل بسیار نزدیک و یا ازطریق نصب دستگاههای مخصوصی که بتواند مستقیماً مقدار شتاب دورانی را اندازه‌گیری کند بدست آورد. اینگونه اندازه‌گیریها باید توام با اندازه‌گیری تنش طولی باشد. اندازه‌گیریها و نتائج حاصله از آن در مورد واکنش ساختمانهای طویل ویا عریض که ابعاد آن در حدود طول موج زمین لرزه است دارای ارزش بسیار زیاد و عملی است.

توسعه شبکه شتاب سنج :

درحال حاضر تعداد دستگاههای شتاب سنج روبه‌افزایش است و دراین شرایط تولید دستگاههای ضبط شتاب با نوارهای مغناطیسی در درجه اول اهمیت قرار دارد. فعلاً چنین دستگاهی بطور نمونه‌ساخته شده است و امید میرود در آینده نزدیک بمقدار تجارتی ببازار عرضه گردد. این نوع تعداد ضبط‌امواج کلیه مسائل مربوط بچاپ و تکثیر دیاگرامهای زلزله را ساده خواهد کرد.

علاوه برصرف وقت زیاد بیشتر خطاهائی که امروزه افراد مسئول کارکردن با نوارها درموقع بیان عددی مقادیر منحنی‌های‌ضبط شده مرتکب میشوند ناشی ازآن است که‌امواج زلزله برروی کاغذهای‌عکاسی ضبط میشود. درگذشته این امر مسئله‌ای بوجود نمیآورد زیرا تعداد دستگاهها بقدری کم بود که امواج زلزله حداکثر روی یک یا دو دستگاه ضبط میشد. بمرور که شبکه دستگاهها توسعه یافت و در مناطق زلزله خیز جهان تعداد آن افزایش یافت در اثر حدوث زلزله تعداد بیشتری‌از دستگاهها در یک زمان امواج‌زلزله را ثبت و ضبط مینمایند دراینصورت نوارهای ضبط مغناطیسی این امکان را میدهند که بطورخودکار میتوان مقادیر خطی را با عداد تبدیل کرد و بالعکس وهمچنین محاسبات مختلف ازقبیل انتگراسیون شتاب بمنظور تعیین سرعت و تغییرمکان را انجام داد. پیشرفت‌فعلی یعنی بیان مقادیر خطی با عداد بایستی با آزمایشی برروی نمونه‌هائی که در اختیار داریم کنترل شود تا اطمینان لازم از صحت دستگاههای محاسبه حاصل گردد. بعلاوه تکنیک تبدیل و بیان مقادیر خطی بمقادیر عددی عاری از خطا نیست نحوه عمل دراین‌باره بایستی بصورت استاندارد درآید تا کلیه افراد بتوانند بدون آنکه مرتکب خطا شوند آنرا بکار برند.

پیشرفت دیگری که امید میرود در آینده نزدیک بدست آید ضبط و اندازه‌گیری مستقیم زمین لرزه بصورت مقادیر عددی است. اگر اساس دستگاههای شتاب سنج برپایه نمایش عددی گذارده شودازجهات

مختلف پیشرفت قابل توجهی در سادگی کار دستگاهها حاصل خواهد شد دستگاههای اندازه‌گیری که مقادیر عددی شتاب زلزله را مستقیماً میدهند برای منظورهای خاصی ساخته شده است. دستگاههای موجود که مقادیر خطی شتاب را میدهند ظاهراً قابل تبدیل بدستگاهی که مقادیر عددی شتاب را مستقیماً بدهد نمیباشند و دراین راه هنوز کوشش بسیاری باید بعمل آید. و همچنین بایستی در راه تقلیل و یا ازبین بردن عدم ضبط امواج اولیه زلزله در دستگاههای شتاب سنج مطالعه کرد شاید این منظور را بتوان با تعبیه دستگاه «حافظه» در شتات سنج عملی کرد بنحویکه تماس امواج یک زلزله بزرگ ضبط گردد. چند دستگاه شتاب سنج متضمن دستگاه «حافظه» ساخته شده است ولی این کار از حد آزمایشی تجاوز نکرده است.

تجربه نشان میدهد که زلزله‌های مخرب معمولاً با لرزش خفیف قبلی همراه هستند. مطالعه نوارهای ضبط شده موجود از زلزله‌های بزرگ ثابت میکند که قسمتی از امواج اولیه زلزله ضبط نشده است. هرگاه ضمیمه کردن دستگاه «حافظه» بدستگاههای شتاب سنج فعلی سبب پیچیدگی دستگاه و یا گران تمام شدن ساخت آن گردد میتوان از تعبیه دستگاه «حافظه» در دستگاههای شتاب سنج صرف‌نظر کرد. توصیه میشود که تعداد کمی دستگاه توأم با دستگاه حافظه در شبکه دستگاههای شتاب سنج کارگذارده شود تا اطلاعات کاملی از شرائط اولیه لرزش بتوان بدست آورد.

یکی از مزایائی که میتوان با نصب دستگاههای زلزله سنج با بزرگ نمائی کوچک بدست آورد. اطلاعاتی است که از مراحل اولیه زلزله‌های شدید بدست خواهد آمد و این خود کمک بزرگی برای دستگاههای شتاب سنج خواهد بود.

راه دیگری که میتوان قسمت اولیه امواج را در دستگاههای شتاب سنج ضبط کرد استفاده ازفاصله زمانی انتشار امواج میباشد بابرقراری ارتباطبین شتاب سنج‌ها که بفواصل چند کیلومتر از یکدیگرقرار گرفته‌اند هرگاه یکی از آنها در اثردریافت امواج زلزله متأثر گردد میتوان‌سایر دستگاههای‌شبکه شتاب سنج رابافرمان الکترونیکی از فواصل دور بکار انداخت تابتواند تمام امواج‌زلزله را ثبت نماید تجهیزات مربوط بچنین‌امری فعلاً وجود دارد و این کار بوسیله تلفن ویا رادیو امکان‌پذیر است.

امکان ضبط زلزله‌های شدید بقدری کم است که‌ازدست دادن ضبط‌آنها دراثرعمل‌نکردن‌دستگاهها قابل تحمل هست. در دستگاههای فعلی نقاط ضعف بسیاری وجود دارد که باید برای ازبین بردن آنها کوشش زیادی صرف گردد.

توسعه شبکه دستگاههای شتاب سنج در جهان ظاهراً منوط بخرید و نصب دستگاهها توسط سازمان‌ها و یا افراد است. بنابراین باید دستگاه مناسبی در بازار وجود داشته و در اختیار مصرف کنندگان قرارگیرد.

نبودن دستگاههای شتاب سنج در بازار سبب شد که دستگاههای شبکه شتاب سنج امریکا درمدت

زمان کمی توسط سازندگان مختلف تهیه گردد و در نتیجه دستگاهها در جزئیات با یکدیگر اختلافهائی دارند بدیهی است در چنین شرایطی میتوان اشکال بزرگی که در راه سرویس ویاتعمیر دستگاهها خودنمائی میکند مجسم کرد.

این نحوساختن دستگاهها خود سبب گران تمام شدن آنها شده است. بدیهی است هرگاه تعداد زیادی از دستگاهها بیک سازنده سفارش داده شود قیمت تمام شده آن کاهش زیادی خواهد یافت.

سخن کوتاه تکنیک دستگاههای شتاب سنج چنانچه باید و شاید از پیشرفتی که دراین عصر فضا نصیب تکنولوژی شده است برخوردار نگردیده است شکی نیست هرگونه اقدامی که در این زمینه بعمل آید بنوبه خود ارجمند است.

ضبط مستقیم سرعت و تغییرمکان زمین :

قبلاً در باره اهمیت اندازه گیری مستقیم شتاب بحث شد زیرا مقدار شتاب بستگی مستقیم به نیروی وارده بساختمان و بالنتیجه عکس العمل ساختمان دارد. دلایلی نیز برای دانستن سرعت و تغییرمکان زمین برحسب زمان وجود دارد. سرعت بستگی مستقیم بانرژی وارده بساختمان و درنتیجه خسارتیکه ممکن است ساختمان ببیند دارد. تغییرمکان نیز بنوبه خود بستگی مستقیم به تنش و درصورتیکه تنش از حد معینی تجاوزنماید بخسارت وارده بساختمان در اثر تغییر شکل زیادساختمان دارد.

بدیهی است سرعت و تغییرمکان را میتوان با انتگراسیون منحنی شتاب برحسب زمان ضبط شده در دستگاه شتاب سنج بدست آورد. درهرحال انتگراسیون دوگانه برای بدست آوردن تغییرمکان لازم است و احتمال خطا دراین انتگراسیون میرود و از اینرو صحت نتائج کارهائیکه دراین باره سابقاً بدست آمده است مورد تردید است. پیشرفت اصولیکه دستگاههای شتاب سنج برآن پایه ساخته شده‌اند و همچنین توسعه تکنیک انتگراسیون دقت محاسبات را بقدر لزوم تأمین کرده است معهذا دراین باره هنوز هم باید مطالعه و تحقیق بیشتری بعمل آید.

بعضی از دستگاههای شتاب سنج سازمان U.S.C.G.S علاوه برعامل پریود کوتاه شتاب سنج دارای عامل پریود بزرگ میباشند تا بتوانند همزمان با ضبط منحنی شتاب زمین تغییر مکان را نیز مستقیماً ضبط کنند. بعلت مشکلات مربوط بایستائی دستگاه عملاً امکان ضبط تمام پریودهای مهم نوسان زمین میسر نگردید امید است که در آینده با شناسائی کامل فرکانس ویژه دستگاههای ضبط تغییرمکان و تکمیل بتوان این مشکل را برطرف کرد. شاید بتوان دستگاه سرعت سنجی اختراع کرد که با کمک آن و فقط با یک مرتبه انتگراسیون مستقیماً تغییرمکان را بدست آورد بدون آنکه کارکردن با چنین دستگاهی مشکل شود و یا آنکه قیمت آن گران تمام شود. اگر بتوان نوار ضبط مغناطیسی برای اندازه گیری شتاب تولید

کرد دراینصورت امکان بررسی واندازه گیری سرعت و یا تغییرمکان بکمک تکنیک‌الکترونیک میسر خواهد بود. بکار بردن وسائل حساس که هم در برابر لرزش های خفیف متأثر گردد و هم دربرابرلرزش های‌شدید نقاط ماکزیمم آن از حد خارج نشود باید مورد مطالعه و تحقیق قرارگیرد.

سیسموسکپ :

بزرگترین نقطه ضعف دستگاههای شتاب سنج قیمت زیاد آن و همچنین نیاز آن به نیروی برق خارجی و تنظیم دستگاه هرچند ماه بکبار میباشد. فکر ساختن یک‌دستگاه ساده که بتواند اطلاعات محدود ولی مفید بدهد بدون آنکه قیمت آن زیاد باشد و یا آنکه در عمل ناراحتی بوجود آورد از زمان‌های اولیه علم زلزله شناسی وجود داشته است. سیستم سقوط پلاك های پیشنهادی توسط گالیتزین Galitzin و دستگاه تجزیه کننده نوسانات سویهیرو Suyehiro که در حقیقت بلحاظی باید آنرا «آنالیزکننده طیف‌های عکس‌العمل ساختمانها» دانست نمونه‌ای از فکر تهیه دستگاههای ساده است. اخیراً چند نوع دستگاه ضبط ساده بدون ضبط زمان در روسیه برای اندازه گیری شدت زلزله ساخته شده است. در اتازونی نیز دراین باره توسط U.S.C.G.S وانستیتوتکنولوژی کالیفرنیا مطالعاتی بعمل آمده و اسم دستگاه را سیسموسکپ «Seismoscop» نامیده‌اند.

سیسموسکپ پاندول کروی است که میتواند آزادانه درهرجهت افقی حرکت کند. در هنگام‌حدوث زلزله شدید سیسموسکپ برروی‌صفحه‌شیشه‌ای‌دوده‌ای‌اثری‌ازحرکت پاندول ناشی از تکان زمین راسیگذارد. پریود طبیعی این پاندول ۷۰ر. ثانیه است و بزرگی خفگی آن درحدود ۱۰ درصد خفگی بحرانی است. مقادیر فوق تقریباً نظیر پریود و خفگی بسیاری از ساختمانهای مهندسی است. از یک نظر سیسموسکپ میتواند «نمونه دیناسیکی» ساختمانهای تیپ باشه. ضبط سیسموسکپ میتواند بعنوان نمایش تغییرمکان‌این نوع ساختمانها درهنگام حدوث زلزله پذیرفته شود وازلحاظ دیگر مقدار حداکثری که در سیسموسکپ‌قرائت میگردد یک نقطه از «منحنی طیف» تغییرمکان را تشکیل میدهد هرگاه این نقطه را بنحو مناسبی لااقل بطور تقریب در منحنی‌های زلزله های گذشته پیدا کنیم میتوان سایر نقاط «منحنی طیف واکنش» را بطور تقریب بدست آورد.

برای آنکه بتوان چندین نقطه از «منحنی طیف» را بدست آورد میتوان یکدسته از سیسموسکپ با پریودو خفگی مختلف را بطور دسته جمعی نصب نمود. تعدادی از این گونه دستگاهها در هندوستان که در آن دستگاه شتاب سنج وجود ندارد نصب شده است. دستگاههائی شبیه آن که دامنه‌های مربوط به پریودهای طبیعی را در سه‌جهت عمود برهم ضبط میکند در مکزیکو واتحاد جماهیر شوروی ساخته شده است این دستگاهها در مناطقی که پریود حاکمه Dominant زمین قابل پیش‌بینی است مفید خواهد بود.

از آنجائیکه سیسموسکپ نیازی به نیروی خارجی و یا تنظیم مرتب ندارد نه تنها قیمت آن زیاد نیست بلکه نیازی بمراقبت و تنظیم دائم ندارد. قیمت ۲۰ سیسموسکپ معادل قیمت یک شتاب سنج است ودرنتیجه منطقه وسیعتری از سطح زمین را میتوان با سیسموسکپ تحت کنترل داشت. درهرصد میل مربع یک عدد شتاب سنج با دوازده عدد سیسموسکپ مورد نیاز است. از روی نوارهای ضبط شتاب جزئیات منحنی «طیف واکنش» را میتوان بررسی کرد. بوسیله سمیسموسکپ چگونگی تأثیر ساختمان زمین و شرائط خاك را برروی زلزله میتوان مطالعه کرد.

در اتازونی در حدود ۳۷۰ عدد سیسموسکپ در سواحل اقیانوس آرام نصب شده است. زلزله ۲۷ ژوئن ۱۹۶۶ کالیفرنیا دقت سیسموسکپ و مفید بودن علاوه کردن نتائج حاصله از آن برروی نتائج حاصله از شتاب سنج را ثابت کرده است.

دستگاههای واکنش ساختمانها :

از اندازه گیری مستقیم ساختمانها اطلاعات بیشتری میتوان درباره حرکات زمین بدست آورد. هرساختمان که تحت تأثیر زلزله قرارگیرد در حقیقت خود یکدستگاه اندازه گیری محسوب میشود. هرگاه دستگاه مخصوص اندازه گیری در ساختمان نصب گردد اطلاعات اولیه در باره حرکت زمین همانند اطلاعاتی درباره واکنش خود ساختمان میتوان بدست آورد. گرچه اندازه گیری واکنش ساختمان بیشتر مربوط بآزمایش قسمت های مختلف ساختمان است معهذا این دستگاهها میتوانند برای اندازه گیری تکان زمین نیز بکار برده شوند.

ضبط مستقیم تنش حاصله در ساختمان در مدت حدوث زلزله ارزش زیادی دارد. یکی از ساختمانهای دانشکده مهندسی دانشگاه کالیفرنیا با چنین وسائل اندازه گیری مجهز شده است. این ساختمان چهار طبقه بتن آرمه در موقع ساختمان با ۱۴ دستگاه اندازه گیری تنش بتن و چهل عدد اندازه گیر تنش فولاد و دو اندازه گیر تغییرمکان نسبی بین ساختمان فوق الذکر و ساختمان مجاور نصب شده است سیستم فوق بکمک نیروی اینرسی وارده بدستگاه استاندارد شتاب سنج ناشی از شتاب وارده زمین بساختمان بکار میافتد.

از زمان نصب تجهیزات اندازه گیری چندین زلزله کوچک روی داده است و تمام دستگاهها بخوبی عمل کرده اند و اندازه گیری تنش حاصله در ساختمان بسیار جالب بوده است. ساختمان دیگری که بوسائل اندازه گیری کاملاً مجهز شده است انستیتو پژوهشهای زلزله دانشگاه توکیو است. تردیدی نیست اگر ساختمانهای دیگری در سایر مناطق زلزله خیز با وسائل اندازه گیری مجهز گردند عملی بسیار ارزشمند صورت خواهد گرفت.

وسائل اندازه گیری مستقیم دیگری که برای اندازه گیری واکنش ساختمان بکار رفته است اندازه گیری تغییرمکان نسبی بین طبقات میباشد که در ساختمان Latino—Americano tower در شهر مکزیکو نصب شده است. وسائل اندازه گیری تغییر بطور دائم در طبقات یکم و بیست‌وپنجم و سی‌نهم و چهل‌سوم ساختمان نصب شده است. چندین نوع وسائل اندازه گیری با قید زمان نیز کار گذارده شده است. ساختمان در موقع حدوث زلزله مخرب ۲۸ ژوئیه ۱۹۵۷ بپایان رسیده بود و نوار بسیار خوبی ضبط گردیده است. مقدار تغییرمکان بین طبقه اول و دوم درحدود ۱۰ میلیمتر بوده است که بمقدار محاسبه دینامیکی ساختمان بسیار نزدیک است.

قرار دادن وسائل اندازه گیری تغییرمکان در ساختمان برج امریکای لاتین نمایشگر مسئله بسیارمهم آزمایش ساختمان میباشد که بایستی بمقدار زیادی از این تجهیزات علاوه بردستگاههای شتاب‌سنج درساختمانها بکار برده شوند اندازه گیری حداکثر شتاب طبقه فوقانی ساختمان برای مطالعات ضروری است.

قرار دادن شتاب سنج در زیر زمین و در محوطه ساختمان که از تأثیر توده عظیم ساختمان خارج میباشد نیز مفید است مقایسه بین نوارهای ضبط شده برای درك بهتر واکنش ساختمان و مطالعات مربوط بساختمان زمین و اثر دینامیکی آن برروی ساختمانها ضروری است. تعداد کم ولی بسیار مفید نوار دراین زمینه در ایالت کالیفرنیا و شهر مکزیکو تهیه شده است.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی خاك :

بعلت اهمیت اساسی که مسئله خاك و پی در تمام جنبه های مربوط بطرح ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله دارند بایستی توجه خاص باندازه گیری خواص مکانیکی خاك در مدت زلزله بعمل آید.

یکی از پدیده‌هائیکه در باره آن از نظر زلزله اطلاعات اندکی در دست میباشد فشار آبهای موجود بین ذرات خاك در موقع حدوث زلزله است. اندازه گیری دینامیکی فشار این آبها مسئله روانشدن «Liquefaction» خاك و واکنش بسیاری از ساختمانها مانند دیوارهای ساحلی و سدهای خاکی و سنگی را روشن مینماید.

چنین مطالعاتی مستلزم گسترش وسائل دقیق ضبط با فرکانس بلند میباشد. وجود این دستگاه مسئله خاص اثردستگاه را در اندازه گیری مطرح مینماید که باید سعی گردد تااین اثربحداقل تنزل یابد.

در مطالعات مربوط بمسائل حرکات زمین در اثر زلزله بسیار بجا خواهد بود که چندین دستگاه شتاب سنج را در اعماق مختلف نصب گردد و مستقیماً واکنش دینامیکی دارد تشکیل دهنده خاك را

اندازه‌گیری کرد. نصب دستگاهها در سطوح طبقات مختلف خاك نیز مفید است. نصب دسته‌ای از شتاب سنج در مجاورت یکدیگر که دارای یک زمان سنج مشترك باشند و علاوه کردن دستگاهی براین مجموعه که مؤلفه دوران حرکات زمین را ضبط نماید و خواص اساسی خاك و فشار دینامیکی جریانهای موئی آبرا در داخل خاك اندازه‌گیری کند موجب خواهد شد که براطلاعات فعلی ما بمقدار زیادی افزوده گردد.

بریدگیهای سطحی :

تغییرمکان ناگهانی در سطح زمین بوسیله بریدگی در مدت زلزله نمایشگریک‌امر مهندسی کاملاً جالب در منطقه فعال تکتونیک زمین است. نمونه این نوع فعالیت را درمنطقه بریدگی San Andreas میتوان دید. حداکثر تغییرمکان زمین در تاریخ زلزله درحدود ۱۲ متر تغییرمکان قائم و ۸ متر تغییرمکان افقی است. نکته جالب آنکه این تغییرمکان همیشه در امتداد بریدگی موجود و یا بریدگی که بوجود خواهد آمد قبل‌از حدوث زلزله رخ میدهد. بسیاری از تغییر مکانها در امتداد بریدگی که حدوث آن بزمانهای قبل‌از تاریخ و یا اوایل تاریخ میرسد رخ داده است. بهرحال مسئله بریدگیها و درجه فعالیت آن همچنان یک امر اساسی زمین شناسی است که نیاز به بحث وپژوهش‌های بیشتری دارد.

بریدگی زمین از لحاظ دیگری‌نیز مورد توجه شدید مهندسان‌است وآن امکان پاره شدن بریدگی در مدت زلزله بقطعات ریز و کوچکتر است. اختلاف عقیده دراین باره اهمیت موضوع را از لحاظ محل‌احداث راکتورهای اتمی بیشتر میکند و نیاز مبرمی به پژوهش بیشتر دراین باره احساس میگردد. در زلزله‌های گذشته کمترین توجهی باین موضوع از لحاظ زمین شناسی بعمل نیامده است تغییرمکان سطحی بریدگیها معمولاً محدود بزلزله‌هائی میگردد که بزرگی آنها از ۶٫۵ بیشتر است ولی اخیراً در اثر زلزله‌ای به بزرگی ۶٫۳ که از لحاظ مهندسی کمترین اهمیتی ندارد تغییرمکان در امتداد بریدگی Imperial واقع در جنوب کالیفرینا ملاحظه گردید.

اندازه‌گیری تغییرمکان زمین :

برعکس حرکات زمین که در بالا بحث گردید و با شتاب نسبةً بزرگی همراه است. چندین نوع حرکت دیگر هم وجود دارد که تقریباً عملاً جنبه استاتیکی دارد ولی بعلت‌آنکه با تغییرمکان دائمی‌زیادی توام میباشد موجب خسارت‌میگردد. از این حرکات میتوان نشست زمین ، ریزش زمین در دامنه کوهسارها و لغزش بریدگیها راکه همگی از لحاظ اندازه‌گیری مسائل خاصی را تشکیل میدهند نامبرد. تمام این حرکات خواه از لحاظ خود پدیده و خواه از نظر مکانیسم آن که سبب خسارت میگردد بمسئله زلزله بستگی نزدیک دارد.

نشست زمین ممکن است ناشی از حرکات کلی تکتونیکی و یا حرکات موادی مانند گاز، نفت و یا آب و بالاخره فشردگی زیاد زمین در اثر حرکات زلزله باشد. دراینصورت نشست، ریزش و فشردگی زمین را میتوان اثر ثانوی زلزله دانست. در منطقه لانگ بیچ Long – Beach زمین بشکل کاسه‌ای بشعاع چند کیلومتر و عمق حدود ۹ متر در مدت چند سال نشست کرد. بدیهی است چنین نشستی میتواند به تأسیسات ساختمانهای بزرگ و یا ساختمانهای مستحدثه در سطح زمین خسارت وارد آورد. اینگونه حرکات زمین با اندازه‌گیری دقیق و ترازیابی بکمک رپرها مستقیماً اندازه‌گیری میشود.

لغزش زمین بعلت خصوصیات محلی پدیده و معمولاً بسبب نبودن رپر قبل از حدوث حادثه خود مسئله خاصی از لحاظ اندازه‌گیری بوجود میآورد. منطقه‌ای که آمادگی لغزش دارد نسبت بمقدار زمینی که میلغزد معمولاً آنقدر وسیع است که عملاً تعیین نقاطی که احتمال لغزش در آن میرود غیر ممکن است. کارگذاردن وسائل اندازه‌گیری در محل مناسب بمنظور اندازه‌گیری لغزش دینامیکی عملاً میسر نیست. برای اینگونه اندازه‌گیریها باید راه حلی اندیشید و شاید فقط گرانومتری بتواند کمکی بحل این مسئله بنماید.

در سالهای اخیر معلومات ما در باره لغزش خفیف برید گیها افزایش یافت. تعدادی از برید گیهای منطقه کالیفرنیا دقیقاً مورد مطالعه قرار گرفت و چنین نتیجه گرفته شد که در بسیاری از مناطق مقدار قابل توجهی از برید گیهای غیر فعال از نظر زلزله بطور ملایمی حرکت کرده‌اند.

این حرکات خفیف در بعضی موارد سبب خسارت بساختمان‌ها شده است و در یک مورد حرکت ملایم برید گی ظاهراً سبب شکست یک سد خاکی گردید. مسئله اندازه‌گیری لغزش برید گیها ساده‌تر از لغزش زمین است زیرا محلی که احتمال لغزش میرود دراین مورد با دقت بیشتری مشخص است. مشکل مهم دراین است که برای اندازه‌گیری این گونه تغییرمکانهای کوچک بدستگاههای بسیار دقیق ومدت‌زمان طولانی و محل نصب پایدار نیاز داریم.

یکی از انواع اندازه‌گیری برای مطالعه حرکت خفیف برید گی که اخیراً بکار میرود میتوان کشش سنج Extensometer را که ازطرف ایستگاه زلزله شناسی دانشگاه کالیفرنیا درعرض برید گی San Andreas در نزدیکی Hellister نصب شده است نامبرد. دستگاهی هم برای ضبط حرکت نسبی بین تیرهای یک طبقه از ساختمان بابزرگ‌نمائی ۳۰ و بانواریکه باسرعت ۶۱۰ میلیمتر در هرروز حرکت میکند بکار برده شد و همچنین دستگاه دیگری با بزرگ نمائی ۱۴ که نوار ضبط آن با سرعت ۴۰ میلیمتر در روز حرکت میکند نصب شده است. با این وسائل توانستند تغییرمکان سقف را در مدت ۱½ سال معادل ۲۵ میلیمتر اندازه‌گیری نمایند.

پژوهشی نیز اخیراً درباره حرکت بریدگی Hay Ward بمنظور اندازه‌گیری نسبی در عرض شکافی واقع در زیر مجسمه یادبود دانشگاه برکلی کالیفرنیا بعمل‌آمد. دستگاه اندازه‌گیری با بزرگ‌نمائی ۳۰ و پا نواریکه با سرعت $\frac{1}{2}$ اینچ در ساعت حرکت میکرد بکار برده شد در مدت ۱۷ ماه تغییرمکان در حدود ۱۸ ر. اینچ ضبط شده است.

چون در بیشتر نقاطی که برروی بریدگیها قرارگرفته‌اند احتمال چنین حرکاتی میرود لذا اینگونه اندازه‌گیریها بدون شک مفید میباشد و درباره تهیه ساده‌ترین وسیله اندازه‌گیری باید مطالعات بیشتری بعمل آید.