روشهای برآورد سریع خطرپذیری و خسارت لرزه‌ای بر مبنای پایش شهری

بابک منصوری/ کامبد امینی‌حسینی، استادیاران پژوهشکده مدیریت خطرپذیری پژوهشگاه

۱- چکیده

مدیریت اطلاعات مربوط به جنبش لرزه‌ای، آسیب‌پذیری ساختمانها و شریانهای حیاتی و اقدامات واکنش اضطراری، در برنامه‌ریزی مدیریت بحران ناشی از زلزله و تخصیص به موقع امکانات و اعتبارات نقش بسیار مهمی دارد. تأخیر در دسترسی به این اطلاعات، به از دست رفتن فرصت حساس بعد از وقوع زلزله برای نجات جان محبوسین در زیر آوار منجر می‌گردد و برنامه‌ریزیهای عملیات مدیریت بحران را مختل می‌کند. روشهای سنتی جمع آوری اطلاعات و برآورد اثرهای زلزله با توجه به مشکلات اجرایی و زمان‌بر بودن آنها همواره اشکالات زیادی را در اقدامات به موقع واکنش اضطراری ایجاد نموده‌است. از این رو، امروزه روشهای پیشرفته نظیر سنجش از دور یا پایش سیستم شبکه لرزه‌نگاری و شریانهای حیاتی، به‌منظور برآورد سریع خطرپذیری و اثرهای زلزله در اغلب کشورهای پیشرفته جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله، برخی از روشهای متداول برآورد سریع خطرپذیری و خسارات ناشی از زمین‌لرزه معرفی و بررسی گردیده‌است.

کلید واژه‌ها: خطرپذیری لرزه‌ای، برآورد خسارت، سنجش از دور، GIS، پایش شهرها و مناطق

۲- مقدمه

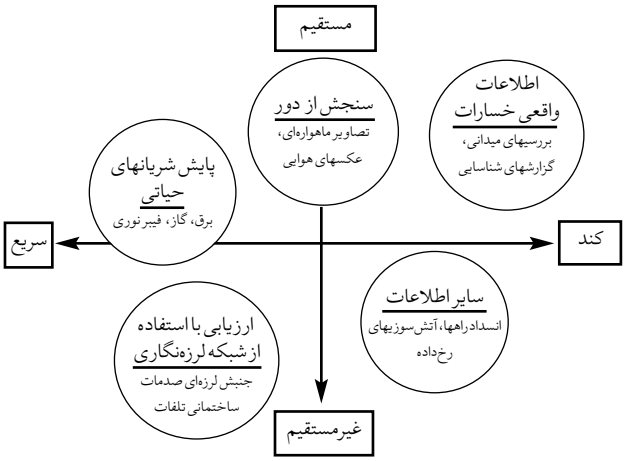
کشور ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و وضعیت زمین‌شناختی، از جمله کشورهای لرزه‌خیز جهان محسوب می‌شود. همه ساله به‌طور میانگین به واسطه وقوع رخدادهای لرزه‌ای متوسط تا بزرگ، خسارات و تلفات قابل ملاحظه‌ای به کشور وارد می‌شود. از سوی دیگر، بسیاری از بخشهای شهرها و مناطق روستایی کشور به واسطه ساخت و ساز در مناطق خطرناک، ضعف سازه‌ها و تأسیسات حیاتی، وجود ساختارهای ناهمگون و فرسوده و ...، بسیار آسیب‌پذیر ارزیابی می‌شود.

به‌منظور کاهش خسارات لرزه‌ای و ارتقای ایمنی شهرهای کشور، لازم است در تدوین برنامه‌های توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای به مخاطرات ناشی از زلزله و برآورد اثرهای آنها توجه ویژه‌ای مبذول گردد. بدین منظور، لازم است میزان خطرپذیری و خسارات براساس انجام مطالعات مختلف برآورد گردد. در این راستا، امکان ارزیابی اثرهای سوانح بر اساس استفاده از روشهای پیشرفته و سریع می‌تواند اهمیت زیادی در مدیریت بهینه خطرپذیری و بحران ایفا نماید.

۳- روشهای برآورد سریع اثرهای زلزله

به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری مستحدثات و برآورد تلفات

و خسارات ناشی از زلزله، روشهای مختلفی وجود دارد که بر حسب دقت و سرعت تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۱). شکل (۱) مبیّن آن است که میزان دقت و سرعت برآورد اثرهای زلزله، تابعی از نوع روش است.



شکل (۱): تقسیم بندی روشهای ارزیابی اثرهای زلزله برحسب دقت و سرعت

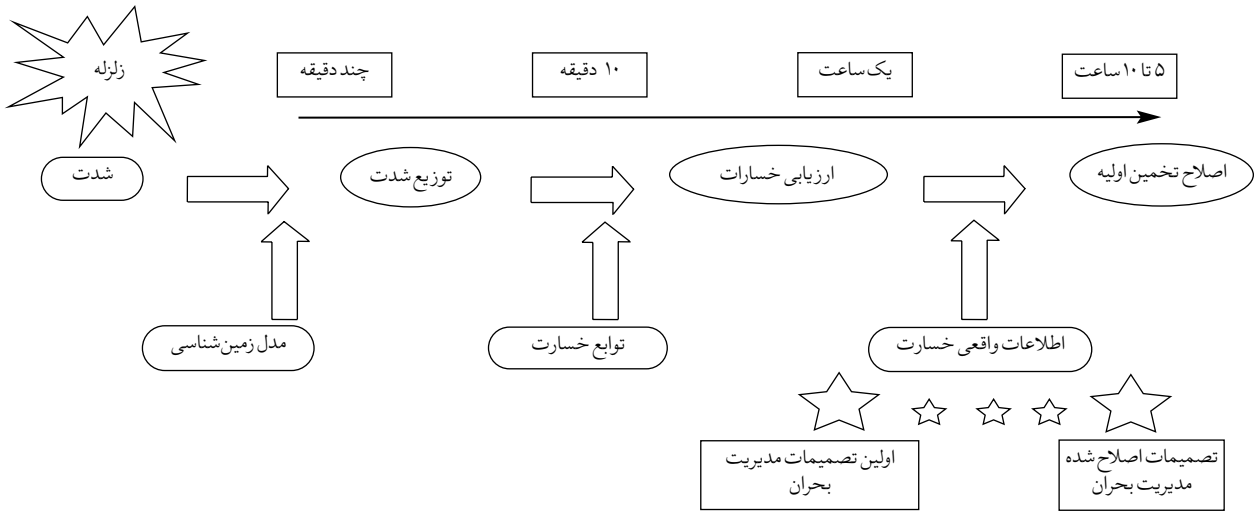
ارزیابی غیرمستقیم اثرهای زلزله با استفاده از داده‌های شبکه لرزه‌نگاری و یا سایر اطلاعاتی نظیر انسداد راهها و آتش سوزیهای رخ داده پس از وقوع زلزله، قابل انجام می‌باشد. مورد اول سریع و مورد دوم با سرعت کمتر قابل اجراست. در روش استفاده از شبکه لرزه‌نگاری، ابتدا با استفاده از تحلیل اطلاعات مرتبط با زمین‌لرزهٔ به‌وقوع پیوسته، شدت و گسترهٔ آن برآورد می‌گردد و سپس امکان برآورد اثرهای ناشی از آن با استفاده از بانکهای اطلاعاتی و الگوهای آسیب‌پذیری موجود فراهم می‌شود.

یکی دیگر از این روشها، پایش و بررسی عملکرد شریانهای حیاتی است که می‌توان با استفاده از آن، توزیع مکانی شدت زلزله را برآورد نمود. با روش مذکور، برآورد خسارات شریانهای حیاتی نیز امکانپذیر خواهد بود. این روش در زمره روشهای سریع قرار می‌گیرد.

روش دیگر، استفاده از فنّاوری پیشرفته سنجش از دور است که این امکان را فراهم می‌سازد تا از طریق مشاهده مستقیم بتوان تغییرات ایجادشده در سطح زمین (شامل تغییرات هندسی و طیفی ساختمانها و...) را ثبت و میزان خسارات را برآورد نمود. در بخشهای بعد این روشها به‌طور اجمال شرح داده شده‌اند.

۳-۱- ارزیابی اثرهای زلزله با استفاده از شبکه لرزه‌نگاری

در این روش، ارزیابی اثرهای زلزله با استفاده از داده‌های شبکه لرزه‌نگاری و یا حس‌گرهای مرتبط از پیش نصب‌شده مانند حس‌گرهای شدت طیفی (Spectral Intensity)، حس‌گرهای روانگرایی و... انجام می‌شود. با این روش محل، گستره و شدت زلزله را می‌توان بلافاصله بعد از وقوع زلزله برآورد نمود. شکل (۲)، مبیّن فرآیند ارزیابی اثرهای زلزله با روش مذکور است.



شکل (۲): ساز و کار ارزیابی اثرهای زلزله با استفاده از شبکه لرزه‌نگاری

برخی از سیستم‌های متداول که در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

جدول (۱): برخی از سیستم‌های تعیین گستره وشدت واقعی زلزله در نقاط مختلف جهان

ردیف	نام سیستم	کشور
۱	Tri-Net	آمریکا
۲	ROSE (NIED) Real-time Operation System for Earthquakes (ROSE)	ژاپن
۳	SUPREME Super-dense Real-time Monitoring of Earthquakes	ژاپن
۴	EPOS Earthquake Phenomena Observation System	ژاپن
۵	KCDMSS Kawasaki City Disaster Management Support System	ژاپن
۶	UrEDAS Urgent Earthquake Detection and Alarm System	ژاپن
۷	READY (Real-time Assessment of Earthquake Disaster in Yokohama)	ژاپن
۸	TREIRS Taiwan Rapid Earthquake Information Release System	تایوان
۹	Istanbul EQ Rapid Response and the Early Warning System	ترکیه
۱۰	SAS Seismic Alert System for Mexico City	مکزیک

۳-۱-۱- سیستم ترای نت (Tri -Net)

این سیستم، طی یک طرح پنجساله در سال ۱۹۹۷ در کالیفرنیای جنوبی با مشارکت دانشگاه کالیفرنیا (Caltech)، سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) و بخش زمین‌شناسی و معادن ایالت کالیفرنیا راه‌اندازی شده‌است. هدف این طرح، گردآوری داده‌های لرزه‌نگاری، ارزیابی اثرها و برآورد واکنش اضطراری مورد نیاز بعد از وقوع زلزله می‌باشد. حس‌گرهای مورد استفاده در این سیستم شامل شتابنگارهای جنبش شدید زمین و لرزه‌نگارهای باند پهن می‌باشند که توسط اتصالات مایکروویو، اینترنت، امواج رادیویی و تلفن‌های دیجیتال اطلاعات را مخابره می‌کنند. سپس اطلاعات ارسالی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا اثرهای احتمالی ناشی از زلزله براساس بانکهای اطلاعاتی موجود برآورد گردد.

۳-۱-۲- شبکه رز (ROSE)

هدف از نصب و راه‌اندازی این سیستم در سال ۲۰۰۴، گردآوری اطلاعات مربوط به زلزله‌های رخ داده در کشور ژاپن (شامل بزرگا، رومرکز، زمان وقوع، شتاب، شدت و ...) در زمان واقعی می‌باشد. این سیستم مشتمل بر چهار دسته لرزه‌نگار می‌باشد:

الف ـ شبکه لرزه‌نگار زمان تناوب کوتاه (Hi-Net)، شامل حدود ۱۰۰۰ ایستگاه لرزه‌نگاری پریود کوتاه (1Hz)، که با فواصل حدود ۲۵ کیلومتر توزیع شده‌است. دستگاههای موجود در این سیستم، شامل سرعت سنجهای سه‌بعدی زیرسطحی با حساسیت زیاد، لرزه‌نگارهای جنبش قوی زمین زیرسطحی سه‌بعدی و شیب سنجهای (Inclinometer) زیرسطحی دو بعدی با حساسیت زیاد می‌باشند.

ب ـ شبکه لرزه‌نگاری باند پهن (F-Net)، شامل ۷۵ ایستگاه در کشور ژاپن است و مشتمل بر سرعت سنجهای باند پهن و سرعت سنجهای جنبش شدید زمین می‌باشد که با فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتر از یکدیگر واقع شده‌اند.

پ ـ شبکه لرزه‌نگاری جنبش قوی زمین (Kik-Net)، مشتمل بر ۶۶۰ ایستگاه با لرزه‌نگارهای جنبش قوی زمین، زیرسطحی و روسطحی می‌باشد.

ت ـ شبکه لرزه‌نگاری حرکت قوی کیوشین (K-Net) که مشتمل بر ۱۰۳۰ شتابنگار است و در روی سطح زمین به فواصل تقریبی ۲۵ کیلومتری هم نصب شده‌اند. هر ایستگاه شامل یک لرزه‌نگار حرکت قوی باند پهن (با محدوده دینامیک وسیع) می‌باشد. در محل هر ایستگاه، ساختار سرعتی موج P و S و شرایط زمین‌شناسی با حفر گمانه‌هایی با اعماق مختلف مطالعه شده‌است.

داده‌های مربوط به سیستم اف ـ نت و های ـ نت در زمان واقعی و به‌طور پیوسته به مؤسسه تحقیقات ملی علوم زمین و

پیشگیری از سوانح ژاپن (NIED) ارسال می‌شوند. داده‌های ثبت‌شده توسط سیستم کیک ـ نت وکی ـ نت نیز به‌صورت موردی پس از رخداد زمین‌لرزه توسط خطوط تلفنی یا تله متری به مرکز کنترل واقع در شهر سکوبا (Tsukuba) مخابره می‌شوند. سیستم ROSE کلیه این اطلاعات را به‌صورت سریع و دقیق پردازش می‌کند و سرعت بیشینه و شدتها در هر ۳۰ تا ۶۰ ثانیه گزارش می‌شود. این سیستم همچنین به‌طور خودکار صفحه گسلها و توزیع جغرافیایی حرکت توانمند زلزله را تعیین می‌کند و نمایش می‌دهد و گزارش خسارات و تخریب ساختمانها را نیز بر اساس بانکهای اطلاعاتی موجود در محیط GIS مهیا می‌سازد.

۳-۱-۳- سیستم متراکم پایش همزمان زلزله ساپرم (Supreme)

سیستم ساپرم توسط شرکت گاز توکیو برای قطع جریان گاز شبکه انتقال کم فشار در سال ۱۹۹۴ راه‌اندازی و در سال ۱۹۹۸ ارتقا داده‌شد. این سیستم که به‌صورت همزمان آثار زلزله‌ها را پایش می‌کند، مشتمل بر حدود ۳۸۰۰ لرزه‌نگار (حس گرهای SI) است که می‌تواند با دقت زیاد مکانهای تخریب شده در شبکه را نشان دهد تا نسبت به برنامه‌ریزی واکنش اضطراری اقدام شود. با استفاده از این سیستم، پس از تشخیص به‌موقع گستره و میزان خرابی و به‌منظور جلوگیری از سوانح ثانویه مانند انفجار و آتش‌سوزی، از طریق پایش و کنترل از دور، می‌توان جریان گاز را توسط شیرهای کنترل واقع در مسیر لوله‌ها قطع نمود. البته در شرایط وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ، سیستم سریعاً به‌طور خودکار جریان گاز را در محله‌ها قطع خواهدکرد. داده‌ها در این سیستم از طریق خطوط تلفن یا سیستم بی‌سیم منتقل می‌شوند.

۳-۱-۴- سیستم رصد پدیده‌های مرتبط با زلزله (EPOS)

این سیستم، به‌منظور اعلام همزمان شدت زلزله توسط سازمان هواشناسی ژاپن (JMA) در سال ۱۹۸۷ راه‌اندازی و در سالهای ۱۹۹۵ و ۲۰۰۳ تکمیل گردید. در این سیستم، حدود ۶۰۰ ایستگاه شتاب‌سنج و ۱۸۰ ایستگاه سرعت‌سنج با حساسیت زیاد تعبیه شده‌است. سیستم مذکور، اطلاعات مربوط به ۲۸۰۰ شدت‌سنج زلزله را که توسط دولتهای محلی در شبکه رز نصب شده‌اند، اخذ می‌نماید. کلیه این اطلاعات در سیستم EPOS ذخیره و تحلیل می‌گردند و از نتایج تحلیل، اطلاعاتی نظیر کانون، بزرگا، توزیع فضایی و شدت زلزله تهیه می‌گردد.

۳-۱-۵- سیستم پشتیبانی مدیریت بحران شهر کاواساکی (KCDMSS)

این سیستم به‌منظور ارزیابی سریع صدمات احتمالی ناشی از زلزله در شهر کاواساکی ژاپن در سال ۱۹۹۴ ایجاد شده‌است و مشتمل بر هفت ایستگاه لرزه‌نگاری است که در کلیه مناطق شهر توزیع شده‌اند. اطلاعات مربوط به این سیستم‌ها که مورد استفاده شهرداری قرار می‌گیرد، پس از تحلیل توسط شبکه رادیویی اضطراری شهر مخابره می‌گردد. این اطلاعات (رومرکز، بزرگا، توزیع شدت، توزیع صدمات ساختمانها، توزیع تلفات و مکانهای آتش‌سوزی)، در شبکه‌هایی به ابعاد ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر تعیین می‌گردند. با استفاده از نتایج این سیستم می‌توان اقدامات لازم در بخش واکنش اضطراری را ارزیابی نمود.

۳-۱-۶- سیستم هشدار و آشکارسازی فوری زلزله اورداس (UrEDAS)

سیستم اورداس تنها سیستم هشدار عملیاتی در جهان و مبتنی بر موج P زلزله است. این سامانه برای محافظت از خطرهای ناشی از زلزله‌های بزرگ ژاپن در سیستم خطوط راه‌آهن سریع‌السیر (شین‌کانسن) این کشور طراحی شده‌است و قابلیت کند نمودن سرعت و یا حتی توقف قطارهای سریع‌السیر را پس از وقوع زلزله و تحلیل امواج P داراست. این سیستم اولین بار در سال ۱۹۹۲ در خط راه‌آهن شین‌کانسن توکایدو مورد استفاده قرار گرفت و از سال ۱۹۹۶ برای کلیه خطوط شین‌کانسن کاملاً

عملیاتی شد. از سال ۲۰۰۲ استفاده آزمایشی از این سیستم برای خطوط متروی توکیو نیز آغاز شده‌است. سیستم مذکور شامل ۸۲ واحد لرزه‌نگاری (بجز متروی توکیو) است که محدوده‌ای به شعاع ۲۰ تا ۲۰۰ کیلومتر را پوشش می‌دهند. در این سیستم، محاسبات رقومی بر روی داده‌ها به‌طور مستمر انجام و ارسال داده‌ها توسط سیستم مخابراتی قطارها صورت می‌گیرد و اخطارها نیز به‌طور مستقیم به قطارهای محدوده خطر ارسال می‌شود. چنین سیستمی در کالیفرنیا در شهرهای برکلی و پاسادنا با مشارکت دانشگاه کالیفرنیا و کلتک نیز راه‌اندازی و عملیاتی شده‌است.

۳-۱-۷- سیستم ارزیابی همزمان سوانح لرزه‌ای شهر یوکوهاما (Ready)

این سیستم به‌منظور ارتقای تصمیم‌گیری مدیران بحران بعد از وقوع زلزله در شهر یوکوهامای ژاپن در سال ۱۹۹۸ ایجاد شده‌است. سیستم مذکور مشتمل بر ۱۴۰ ایستگاه لرزه‌نگاری جنبش قوی زمین رو سطحی و ۱۰ ایستگاه لرزه‌نگاری جنبش قوی زمین نصب شده بر روی سنگ بستر می‌باشد. داده‌ها با استفاده از سیستم ارتباطی خطی یا ماهواره‌ای (برای ۱۸ ایستگاه) به مرکز کنترل ارسال می‌گردند. در این سیستم، پس از وقوع زلزله در کمتر از پنج دقیقه امکان برآورد شتاب، فرکانس، دوام و شدت زلزله وجود دارد و در کمتر از بیست دقیقه توزیع شدت، شتاب و سرعت در سطح منطقه، خسارات ساختمانی و پتانسیل روانگرایی در شبکه‌ای به ابعاد ۵۰ متر در ۵۰ متر ارزیابی می‌گردد. نتایج این ارزیابی‌ها به‌طور مستقیم مورد استفاده شهرداران، مدیران بحران و واکنش اضطراری قرار می‌گیرد.

۳-۱-۸- سیستم سریع ارسال اطلاعات لرزه‌ای تایوان (TREIRS)

سیستم ارائه سریع اطلاعات زلزله تایوان، مشتمل بر ۷۲ ایستگاه شتابنگاری رقومی می‌باشد و از سال ۱۹۹۵ عملیاتی شده‌است. این سیستم، پس از وقوع زلزله‌های شدید بسرعت، شتابنگاشت و موقعیت ایستگاه ثبت‌کننده آن را ارائه می‌نماید. این شبکه از پوشش دقیقی بخصوص در مناطق پرجمعیت (با فواصل پنج کیلومتر) برخوردار است. در این سیستم، همچنین قابلیت تهیه نقشه سریع و دقیق توزیع مکانی اثرهای زمین‌لرزه در دقایقی پس از وقوع زمین‌لرزه پیش‌بینی شده‌است. علاوه بر آن، اطلاعات مربوط به توزیع PGA و PGV نیز از پردازش اطلاعات جمع‌آوری شده در این سیستم قابل‌دستیابی است.

۳-۱-۹- سیستم هشدار و پاسخ سریع لرزه‌ای شهر استانبول

سیستم مذکور با صد شتابنگار جنبش قوی زمین در سطح شهر پرجمعیت استانبول با پوششی به وسعت ۵۰ در ۳۰ کیلومتر نصب شده‌است. با استفاده از این شبکه، می‌توان سریعاً نقشه توزیع بیشینه شتاب را تهیه و خسارت مرتبط با یک زلزله مخرب را برآورد نمود. پس از فعال شدن هر ایستگاه توسط زلزله، شتابنگاشت ذی‌ربط پردازش و طیف شتاب بر حسب زمان تناوب به‌صورت پیامهای SMS از راه شبکه مخابراتی GSM به مراکز ارسال می‌شود. در این مرحله، نقشه جنبش زمین (Map Shake) تهیه و آسیبها به‌طور خودکار برآورد می‌شود. این اطلاعات به کاربران ذی‌ربط مخابره می‌شود و از طریق اینترنت قابل دسترسی خواهدبود. علاوه بر آن، برای اطلاعات هشدار سریع زلزله، ده ایستگاه جنبش قوی زمین در نزدیکی گسل مارمارا قرار گرفته‌اند تا سریعاً اطلاعات مربوط به زلزله‌های مخرب را اخذ و در اختیار کاربران قرار دهند.

۳-۱-۱۰- سیستم هشدار لرزه‌ای مکزیکوسیتی (SAS)

این سیستم از سال ۱۹۹۱ با هزینه‌ای بالغ بر ۱/۲ میلیون دلار و هزینه نگهداری سالانه ۲۰۰ هزار دلار احداث شده‌است. سیستم هشدار زلزله مکزیکوسیتی شامل چهار قسمت آشکارسازی زلزله، مخابرات دوگانه، کنترل مرکزی و شبکه رادیویی هشدار برای کاربرها می‌باشد. سیستم آشکارسازها ۱۲ ایستگاه شتابنگاری

دارد که در یک محدوده ۳۰۰ کیلومتری ساحلی با فواصل ۲۵ کیلومتر نصب شده‌اند. در هر ایستگاه یک میکروکامپیوتر، داده‌ها را به‌طور مداوم پردازش می‌کند که منعکس‌کننده فعالیتهای زمین‌لرزه تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری می‌باشد. سیستم مخابراتی شامل یک ایستگاه مرکزی VHF نزدیک شهر آکاپولکو و سه ایستگاه UHF در مسیر تا مکزیکوسیتی می‌باشد. دو ثانیه زمان لازم است که اطلاعات رقومی از این طریق به مکزیکوسیتی برسد. ایستگاه مرکزی به‌طور مداوم اطلاعات پایشی را از زمین‌لرزه‌ها و چگونگی کارکرد سیستم دریافت و به‌طور خودکار پردازش می‌کند. سپس تصمیمات مقتضی در خصوص اطلاع‌رسانی گرفته‌می‌شود. در شبکه رادیویی هشدار برای کاربران، آژیر مخصوصی از طریق ایستگاههای رادیویی تجاری، شهروندان و مسؤولین را مطلع می‌سازد. در زمانهای پررفت و آمد، جمعیتی بالغ بر ۴/۴ میلیون نفر تحت پوشش این سیستم می‌باشد.

۳-۲- برآورد اثرهای زلزله از طریق پایش عملکرد شریانهای حیاتی

در این روش غیرمستقیم، پایش، روی شبکه توزیع شریانهای حیاتی انجام می‌گیرد. با از کار افتادگی گرهها و قطع شدن لینکهای شبکه، میزان مصرف و اختلالات به‌وجود آمده و اعلام نشت توسط حسگرهای ذی‌ربط، می‌توان بزرگا و گستره زلزله را برآورد نمود. در ادامه به برخی از این سیستم‌ها اشاره شده است.

۳-۲-۱- سیستم نظارت، گردآوری داده‌ها و کنترل اسکادا

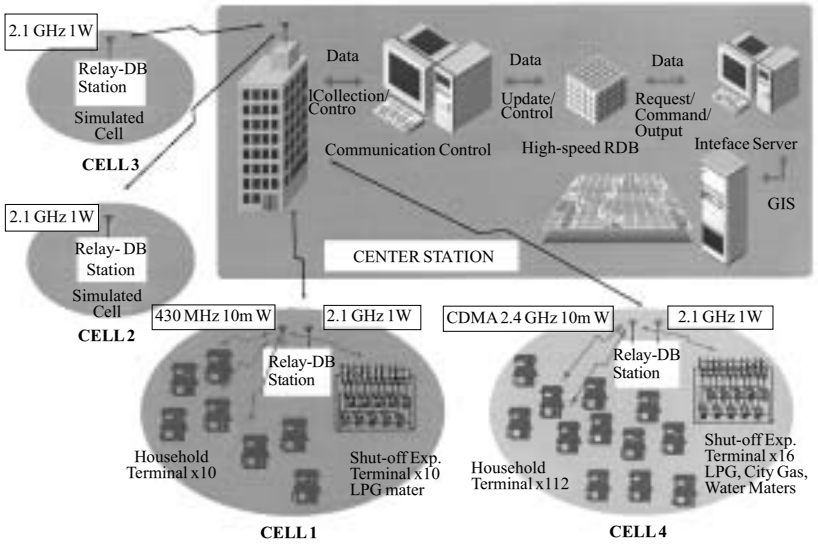
تاریخچه استفاده از اسکادا (Supervisory Control and Data Acquisition) به دهه ۱۹۶۰ باز می‌گردد. این سیستم شامل یک (یا بیشتر) رایانه با نرم‌افزارهای مناسب است که به‌منظور گردآوری و تحلیل داده‌ها به‌صورت همزمان طراحی می‌شود. علاوه‌برآن، شامل یک مرکز یا ایستگاه اصلی (MTU)، یک یا چند واحد گردآوری داده‌های میدانی و واحدهای کنترل (RTU) و یک مجموعه نرم‌افزارهای استاندارد یا تخصصی برای پایش و کنترل داده‌های میدانی از راه دور می‌باشد. این سیستم در پایش و کنترل صنعتی، مخابرات، آب و فاضلاب، انرژی، نفت و حمل و نقل، کاربردهای زیادی دارد. به‌عنوان مثال، نشتهای موردی از یک شبکه شریانهای حیاتی به‌واسطه وقوع زلزله توسط حس‌گرهای سیستم به مرکز کنترل گزارش می‌شود تا ضمن انجام تحلیل‌های لازم، محل و گسترهٔ نقص، آشکارسازی شود و به تبع آن اقدامات لازم انجام پذیرد. اخیراً کاربرد این سیستم در برآورد اثرهای زلزله بر روی شریانهای حیاتی گسترش بیشتری یافته‌است.

۳-۲-۲- سیستم نظارت بر سیستم‌های شریان حیاتی در شهر هاماماتسو (HLRC)

در این روش، از پایش و بررسی عملکرد شریانهای حیاتی به‌عنوان معیاری برای تعیین شدت زلزله به‌وقوع پیوسته و برآورد خسارات مستقیم، غیرمستقیم و ثانویه (آتش‌سوزی) زلزله استفاده می‌شود. با توجه به اینکه شریانهای حیاتی به‌طور وسیع در سطح شهرها توزیع شده‌اند و عموماً در کلیه ساختمانها دارای انشعاب می‌باشند و با توجه به احتمال آسیب‌پذیری این شبکه‌ها بر اثر زلزله، بررسی جامع عملکرد اجزای آنها در زلزله، نمودی از خسارات شهری (شامل ساختمانها، مراکز و خطوط توزیع آب، برق، گاز ....) را ارائه می‌نماید. به‌عنوان نمونه، در سیستم نظارت بر شریانهای حیاتی در شهر هاماماتسو برای تخمین سریع خرابی، شبکه‌های توزیع آب، گاز و برق با حس‌گرهای شدت‌سنج لرزه‌ای و نشانه‌های روانگرایی تجهیز شده‌اند. ارتباط بین کنتورها، حس‌گرها، مرکز کنترل و پایگاهها، توسط بی‌سیم انجام می‌شود. اطلاعات کنتورها (شامل شماره مشخصه و نشانی، کارکرد پیشین، کارکرد کنونی)

و نیز اطلاعات مربوط به زلزله و اثرهای آن (شدت، PGA، نشت و ...) از ۲۶۰,۰۰۰ خانه در زمان حدود ۷ دقیقه گردآوری می‌شود. در این سیستم، همچنین امکان قطع جریان گاز در مواقع بحرانی در شیرهای اصلی توزیع گاز منطقه‌ای تعبیه شده‌است (تصویر ۱) [۱ و ۲].

و خودکار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بسیار زیاد، تخمین میزان تخریب پس از زلزله با روش تشخیص Object-Based، اندازه‌گیری تغییر شکل هم‌لرزه‌ای با استفاده از تصاویر اپتیکی SPOT، تهیه بانکهای اطلاعات ساختمانها و ارتفاع برای برآورد خسارت، تولید نقشه‌های خطرپذیری زلزله و ....



تصویر (۱): سیستم مخابراتی بی‌سیم کنترل و نظارت شریانهای حیاتی در شهر هاماماتسو [۱]

۳ - ۳ - برآورد اثرهای زلزله با استفاده از فنّاوری سنجش از دور

استفاده از فنّاوری سنجش از دور (تصاویر اپتیکی و راداری هوایی، فضایی، لایدار و ...)، امروزه به‌عنوان یکی از متداولترین روشهای ارزیابی سریع خسارات زلزله مورد توجه قرار گرفته است. در این روش، با مقایسه نشانه‌هایی که از پیش و ترجیحاً در زمان کافی تهیه و ذخیره شده‌است با نشانه‌های مشابه پس از رویداد می‌توان گستره صدمات، میزان تغییرات و تخریب شهری را ارزیابی نمود. برخی از کاربردهای فنّاوری سنجش از دور در برآورد اثرهای زلزله عبارتند از: تغییرسنجی مربوط به زلزله‌های اخیر توسط ماهواره‌های اپتیکی، تخمین سریع آسیب با استفاده از تصاویر شبانگاهی DMSP/OLS، تغییرسنجی لرزه‌ای با تصاویر TERRA-ASTER، تغییرسنجی بصری

۳ - ۳ - ۱ - تصاویر اپتیکی هوایی یا ماهواره‌ای

در حال حاضر اغلب کشورها به سیستم‌های عکسبرداری اپتیکی هوایی مجهزند. امروزه عکسبرداریهای هوایی اغلب به‌طور رقومی و با کیفیت بسیار خوب انجام می‌گیرند که چنین تصاویری در سوانح طبیعی، کاربرد بسیار زیادی دارند. به‌عنوان نمونه، می‌توان به کاربرد فراوان عکسهای هوایی تهیه‌شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور بعد از زلزله ۱۳۸۲ بم اشاره نمود.

با فراهم آمدن شرایط استمرار صنعت ماهواره‌ای در بخش تجاری در سال ۱۹۹۴، کاربردهای صنعت سنجش از دور در کاربردهای غیرنظامی مورد توجه قرار گرفت. اولین ماهواره تجاری با وضوح بسیار خوب آیکونوس در سال ۱۹۹۹ در مدار قرار گرفت. نمونه‌ای از تصاویر ماهواره Quickbird که قبل و بعد از زلزله بم گرفته‌شده، در تصویر (۲) نشان داده شده‌است.

الف: قبل از وقوع زلزله

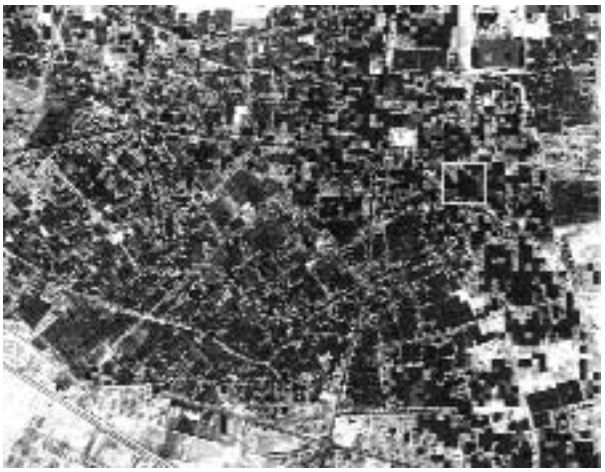
ب: بعد از وقوع زلزله

تصویر (۲): استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قبل و بعد از زلزله ۱۳۸۲بم برای ارزیابی اثرهای زلزله عکس رنگی ترکیبی (Pansharpened) از حس‌گر اپتیکی ماهواره Quickbird [۳]

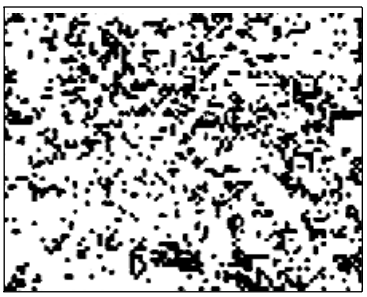
کاربردهای فنّاوری دورکاوی هوایی یا ماهواره‌ای اپتیکی در برآورد اثرهای زلزله و کاربردهای آن پس از وقوع سانحه را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی نمود:

الف ـ برآورد میزان خرابی پس از زلزله: عکسهای اپتیکی (هوایی یا ماهواره‌ای) و تعبیرات مربوط به آن، روشی متداول در جمع آوری و تحلیل داده‌های پس از وقوع سوانح بزرگ طبیعی و ساخته بشر می‌باشند. این روش قادر است اطلاعات مختلفی را بسرعت حاصل نماید. به‌عنوان مثال، برآورد اولیه خرابی مستحدثات و نواحی شهری در این روش، بسیار سریعتر از روش مشاهدات زمینی محقق می‌شود. نمونه‌ای از برآورد خسارات انجام شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای شهر بم در تصویر (۳) نشان داده شده‌است.

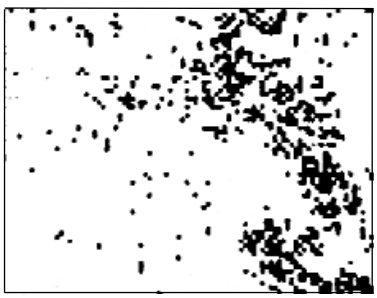
ب ـ ناپایداریهای ژئوتکنیکی ناشی از زلزله: معمولاً زمین‌لغزشها و یا سایر ناپایداریهای ژئوتکنیکی ناشی از زلزله را می‌توان با عکسهای هوایی یا ماهواره‌ای شناسایی نمود. همچنین با اطلاعات شیب، مورفولوژی و عوارض منطقه می توان



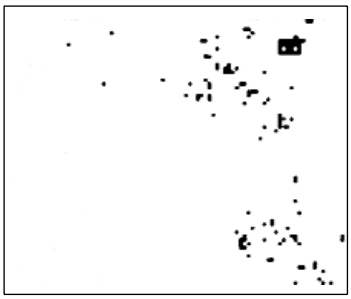
الف: تصویر ماهواره‌ای شهر بم



ب: پهنه تخریب ساختمانها به‌میزان ۴۰٪ تا ۶۰٪



پ: پهنه تخریب ساختمانها به‌میزان ۶۰٪ تا ۸۰٪



ت: پهنه تخریب ساختمانها به‌میزان ۸۰٪ تا ۱۰۰٪

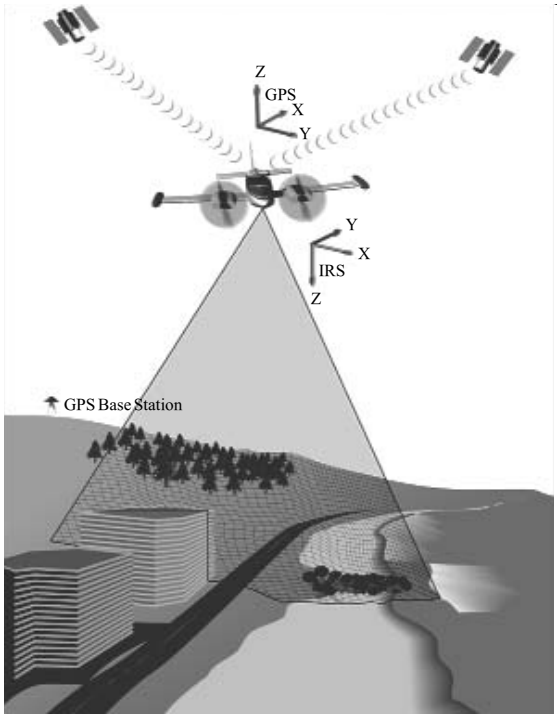
تصویر (۳): نمونه‌ای از نقشه میزان تخریب از شهر بم با استفاده از اطلاعات ماهواره اپتیکی Quickbird [۴]

مناطق محتمل وقوع زمین‌لغزش را نیز از قبل مشخص کرد تا نسبت به پایدارسازی آنها اقدام شود.

پ- آشکارسازی نشت مواد خطرناک: نشت مواد خطرناک می‌تواند به‌دلیل وقوع سوانح طبیعی نظیر زلزله یا حوادث بشر ساخت ایجاد شوند. اصولاً، نشت مایعات سمی و شیمیایی در رودخانه‌ها، سدها و دریاچه‌ها قابل مشاهده در عکسهای هوایی یا ماهواره‌ای هستند. این عکسها میزان و مسیر انتقال نشت را نشان می‌دهند. عکسها وسعت، جهت و مناطق خطرناک احتمالی را نشان خواهندداد.

۳-۳-۲- سیستم‌های هوایی لیزری

برداشت سه‌بعدی شهری با استفاده از سیستم‌های هوایی لیزری، اجزای شهری را از قبیل ساختمانها، بزرگراهها، پلها، پارکینگ‌ها، پارک‌ها و زمینها در محیط رایانه‌ای به تصویر می‌کشد. مدلسازی سه‌بعدی شهرها، وضعیت ساختاری یک شهر (بافت و توپوگرافی) را نشان می‌دهد و چنانچه اطلاعات ساختمانها و تغییرات شهری مرتباً به بانک اطلاعاتی وارد و تصحیح شود، وضعیت حاضر و تغییرات حادث شده را می‌تواند گزارش نماید. امروزه، اکثر شهرهای پیشرفته در حال تدوین و تکمیل نقشه‌های خطر و خطرپذیری سه‌بعدی‌اند. این نقشه‌ها، ارتباط بصری قوی و تأثیرگذاری بر مردم و مسؤولین دارد. با تلفیق اطلاعات دو بعدی زمین با اطلاعات ارتفاعی با استفاده از روشهای مختلف می‌توان نقشه‌های سه‌بعدی در محیط رقومی تولید نمود. چنانچه نقشه‌های سه‌بعدی که ماهیتاً مجموعه‌ای از عکس می‌باشند، قبل و بعد از زلزله، پردازش و تولید شوند، میزان تغییرات و خرابی را مشخص می‌کنند؛ لذا در برآورد سریع خسارت، مدیریت بحران و بازسازی نیز می‌توان از این نقشه‌ها استفاده کرد. این نقشه‌ها در برنامه‌ریزی توسعه شهری و منطقه‌ای در مناطق لرزه‌خیز نیز اهمیت زیادی دارند (تصویر ۴).

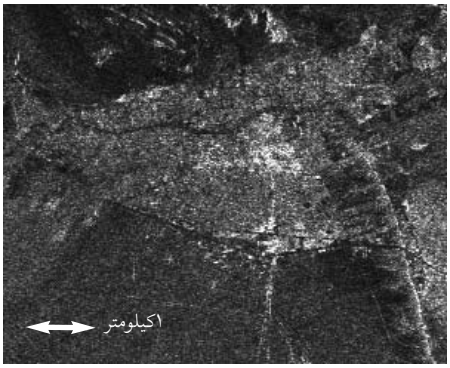


تصویر (۴): نمایی مجازی از یک سیستم سنجش از دور LIDAR، برگرفته از سایت Airborne 1. تصویر پایین، تصویربرداری سه‌بعدی شهر کلن را که توسط شرکت Hansa luftbild گرفته‌شده نشان می‌دهد [۵].

۳-۳-۳- سیستم‌های هوایی و فضایی راداری

سیستم‌های هوایی راداری غیرنظامی با قابلیتهای انترفرومتریک مختلفی در آمریکا، ژاپن و اروپا به‌منظورهای آموزشی و تحقیقاتی - توسعه‌ای در دهه اخیر طراحی و ساخته شده‌اندکه در کاربردهای شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. از میان این سیستم‌ها می‌توان به سیستم‌های BYU-SAR، GeoSAR، Intermap، DLR آلمان و ... اشاره نمود. امور انجام شده با

سیستم‌های مذکور و مشابه اجمالاً عبارتند از: تولید نقشه، اندازه‌گیری پراکنش راداری بافتها و سطوح زمینی/شهری، اندازه‌گیری سطح مقطع راداری، توپوگرافی، پوشش گیاهی و کشاورزی، آشکارسازی اجسام، آشکارسازی سرعت حرکت اجسام، اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و بسیاری موارد دیگر. سیستم‌های راداری، مزیتهای ویژه‌ای را در مقایسه با سیستم‌های اپتیکی دارند. رادارها قابلیت کار در روز و شب و در هر شرایط آب و هوایی را دارند و در مواقع اضطراری، می‌توان خرابی شهری را آشکارسازی کرد تا تصمیمات لازم برای شرایط مذکور گرفته شود. تاکنون، چندین ماهوارهٔ موفق راداری با روزنه ترکیبی SAR به فضا پرتاب شده‌اند که می‌توان به ماهواره‌های ژاپنی JERS، اروپایی ERS و ENVISAT و کانادایی RADARSAT اشاره کرد. تصویر (۵) تصویر راداری ENVISAT است که از شهر بم پس از زلزله ۱۳۸۲ گرفته شده است.



تصویر (۵): نمونه‌ای از تصویر راداری ماهواره Envisat شهر بم پس از زلزله ۱۳۸۲. آشکارسازی راداری عوارض شهری در تصویر مشهود می‌باشد [۶].

آشکارسازی مکانهای اسکان، برآورد جمعیت، برآورد تأثیرات عملکرد بشر در محیط فیزیکی، نقشه‌برداری، شناخت مشخصات اجتماعی ـ اقتصادی، تغییرسنجی کاربری زمین و ...[۷] برخی از کاربردهای داده‌های راداری می‌باشند. شاخصها و پردازشهای تصاویر راداری اجمالاً عبارتند از:

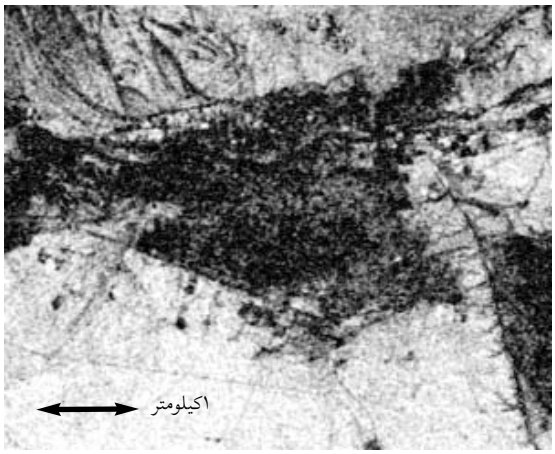
الف ـ سطح مقطع راداری: سطح مقطع راداری (Radar Cross Section)، عددی است که میزان بازگشت انرژی امواج پراکنش شده از اجسام به سمت آنتن گیرنده را به نسبت انرژی فرستاده شده از آنتن فرستنده رادار نشان می‌دهد. سطح مقطع راداری نسبت به شکل هندسی اجسام و سپس به خواص الکترومغناطیس و زبری اجسام بسیار حساس است. در نتیجه، تغییرات قابل توجه در RCS مربوط به دو تصویر قبل و بعد از سانحه از یک شهر را می‌توان در درجه اول به تغییرات وابسته به تغییرات هندسی اجسام دانست.

ب ـ کورولیشن تصاویر: نقشه کورولیشن از دو تصویر شدت به‌دست می‌آید. نقشه کورولیشن دو تصویر مربوط به قبل از سانحه را می‌توان با نقشه کورولیشن که از یک زوج تصاویر قبل و بعد به‌دست می‌آید مقایسه کرد. میزان تغییرات این دو نقشه، حاکی از تغییرات به‌وجود آمده در منطقه می‌باشد. البته باید خطاها و علل مختلف ایجاد این تغییرات در سنجش را شناخت. استفاده از این روش، در تغییرات وسیعتر و منطقه‌ای مناسب است.

پ ـ نقشه همدوسی: تصویر کورولیشن که در قسمت قبل ذکر شد بر پایه تصاویر شدت دو بعدی SAR است. شاخص همدوسی (Coherence) از اعداد مختلط حاصل از حس‌گر راداری نتیجه می‌شود و اطلاعات فازی موج مایکروویو را نیز در نظر می‌گیرد. می‌توان گفت که محاسبات، عملاً از اطلاعات سه‌بعدی منتج می‌شود. نقشه همدوسی تولید شده از زوج تصاویر به‌دست آمده در زمانهای مختلف، مشابه با آنچه که در مورد نقشه کورولیشن گفته شد، میزان تغییرات سطحی منطقه‌ای را نشان می‌دهد (تصویر ۶).

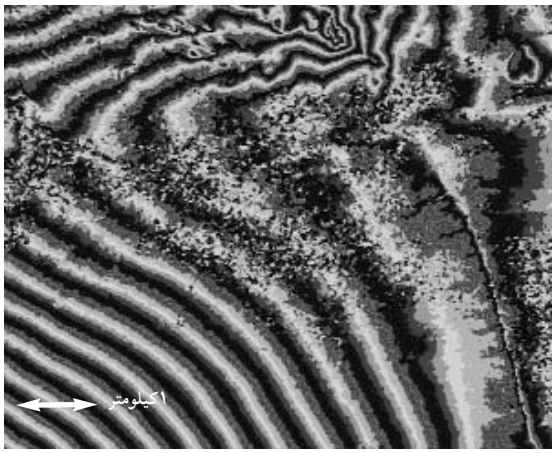
از ترکیب زوجهای مختلف و تولید تصاویر Cross-Power مربوط به قبل و بعد از زلزله و مقایسه با تصاویر Self-Power نیز

شناسه‌ای از میزان تغییرات هندسی لرزه‌ای به‌دست می آید که متعاقباً باید بر حسب حساسیت شاخص پراکنش راداری با زوایای سمت گیری ساختمانها کالیبره گردد[۸].



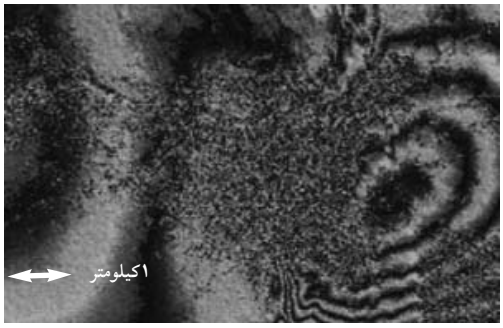
تصویر (۶): نمونه‌ای از نقشه همدوسی راداری ماهواره Envisat شهر بم [۶]

ت ـ تداخل سنجی راداری (انتر فرومتری راداری): تداخل دو موج هم فرکانس (اختلاف فرکانس بسیار ناچیز باشد) وقتی به‌وجود می آید که این دو موج با هم ترکیب شوند. منابع موج باید نسبت به یکدیگر همدوس و تاریخچه فازی آنها به نسبت یکدیگر حفظ شود. تصویر (۷)، انترفروگرام حاصل از یک زوج تصویر SAR است که در آن، نوارهای تاریک و روشن توسط هندسه و عوارض مدوله شده‌اند. در حالت کلی، اطلاعات توپوگرافیک را می توان از انترفروگرام‌ها استنتاج کرد.



تصویر (۷): نمونه‌ای از انترفروگرام راداری ماهواره Envisat شهر بم. نوارها بر حسب توپوگرافی و مدل سطح زمین مدوله شده‌اند [۳].

ث ـ تداخل سنجی دیفرانسیلی راداری: اگر حداقل دو سری نقشه تداخل سنجی (انتروگرام) از یک منطقه وجود داشته باشد و بتوان آثار مشترک را به آنها نسبت داد، آشکارسازی تغییرات بسیار کوچک (در حد سانتیمتر یا کسری از طول موج رادار) در جهت دید ماهواره و در منطقه وسیعی امکانپذیر خواهد بود. این روش در مشاهدات جابه‌جایی پوسته زمین از دهه پیش مورد استفاده قرار گرفته و تداخل سنجی دیفرانسیلی راداری (DINSAR) نام گرفته‌است. در حال حاضر، این روش در شهرها نیز اعمال شده‌است و به‌عنوان مثال توانسته‌اند نوسانات ارتفاعی یا فرونشست سطح زمین را اندازه‌گیری نمایند. همچنین این روش در کاربرد تغییرات هندسی در بافتهای شهری کاربرد داشته‌است (تصویر ۸).



تصویر (۸): نمونه‌ای از انترفروگرام دیفرانسیلی راداری ماهواره Envisat شهر بم. نوارها جابه‌جایی نسبی سطح زمین در راستای دید آنتن را بر اثر زلزله مشخص می‌کند [۳].

طرحهای مهم متداول و مرتبط سنجش از دور راداری عبارتند از:

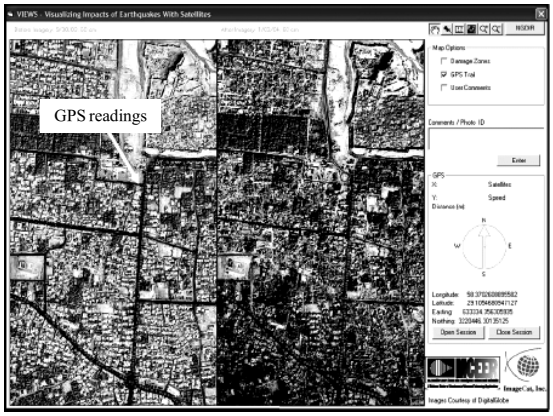
تغییرسنجی در شهرهای آسیب‌دیده بر اثر زلزله، تغییرسنجی مربوط به زلزله‌های اخیر توسط ماهواره‌های راداری، کاربرد فنّاوریهای راداری و سنجش از دور برای مدلسازی ارتفاع ساختمانها، استفاده از میزان شدت در تصاویر راداری در آشکارسازی تخریب در زلزله، تحلیل مختلط داده‌های راداری ENVISAT برای تغییرسنجی لرزه‌ای، اندازه‌گیری تغییرشکل هملرزه‌ای با استفاده از تصاویر انترفرومتریک راداری، تولید

نقشه‌های سه‌بعدی خطر و خطرپذیری زلزله با GIS & RS، مدیریت خطرپذیری و نقشه خطرپذیری و نقشه خرابی از RS، توسعه صنعت ماهواره‌ای در خدمت سوانح طبیعی، استفاده از INSAR برای تعیین میزان نشست یا بالا آمدگی در گسلها، حرکت Plateها در نزدیکی گسل، تغییر سنجی و سنجش میزان ویرانی ساختمانها ـ منطقه‌ای ـ پلها... تخمین خسارت، کاربری و پوشش زمین، مسائل مقیاس‌بندی و مرتبط ساختن پارامترهای اندازه‌گیری شده به میزان تغییرات و خرابی، بررسی آشکارسازی تخریب به روش فرآیندهای اتفاقی و ....

۳ - ۳ - ۴ - سیستم‌های گردآوری اطلاعات بر پایه GPS، سنجش از دور و GIS

پس از وقوع زلزله‌های سهمگین، گردآوری سریع و برآورد میزان تخریب بسیار مهم است. گردآوری اطلاعات دقیق و سریع در مورد گستره و شدت خسارت در شهرها از ملزومات تصمیم‌گیرندگان مدیریت بحران، گروههای نجات، گروههای شناسایی دولتی و تحقیقاتی ... می‌باشد. معمولاً این اطلاعات در طول هفته‌ها و ماهها ثبت می‌گردد و روند مراحل بعد از زلزله بایگانی می‌شود. سنجش از دور در این زمینه کارآیی بسیار جدید و قابل‌توجهی را از خود نشان داده‌است. به‌عنوان مثال، می‌توان از سیستم‌های ویوز (Visualizing Impacts of Earthquakes With Satellites) و وی. آر. اس. (Virtual Reconnaissance System) نام برد.

ویوز، سیستم قابل‌حمل انفرادی و ابزاری است که برای نظارت، ثبت وقایع و آثار سوانح، تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی عملیات طراحی شده‌است. این سیستم برای اولین بار در زلزله بم مورد استفاده قرار گرفته‌است [۹]. اطلاعات زمین مبنا شده (Georeference)، عکسهای اپتیکی ماهواره‌ای (یا عکسهای هوایی) را که از قبل و بعد از واقعه تهیه شده‌است به‌عنوان مقایسه به‌طور همزمان در روی صفحه نمایشگر رایانه‌های Tablet، Laptop و یا Pocket pc نمایش می‌دهد. یک دستگاه GPS دستی کوچک که دقتهای مناسبی دارد، به سیستم وصل شده و مکان زمینی کاربر مرتباً روی تصاویر مذکور نشان داده‌شده، ثبت می‌گردد. علاوه بر آن، کلیه اطلاعات خواسته‌شده را می‌توان در روی صفحه نمایشگر، در جعبه‌های مرتبط شده با هر وضعیت اطلاعات و مشاهدات نوشت (تصویر ۹). در سیستم وی. آر. اس، اطلاعات عکسها و فیلمبرداری رقومی را می‌توان حتی با ثبت زاویه دید دوربین نسبت به یک جهت مبدأ در این بایگانی به‌طور خودکار ذخیره کرد.



تصویر (۹): سیستم VIEWS، نمایشگری تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات مکانی GPS روی صفحه نمایشگر رایانه همراه، بکار گرفته‌شده در شهر بم [۹]

امروزه سیستم‌های Mobile-GIS با یک رایانه بسیار کوچک دستی و قابلیت GPS، این امکان را فراهم آورده تا به‌طور مؤثر بتوان برحسب مورد و نیاز با برنامه‌نویسی در محیط GIS یک سیستم تخصیص یافته را راه‌اندازی کرد. یکی از کاربردهای مهم پس از وقوع زلزله‌ها، گردآوری اطلاعات توصیفی مرتبط با نوع سازه، گستره و میزان تخریب ساختمانها و منتصب نمودن تصاویر رقومی و فیلم به محلهای آسیب‌دیده است که به‌منظور تولید توابع خسارت محلی و ملی بسیار ضروری می‌نماید.

۴ - بررسی و مقایسه روشها

در مقایسهٔ کلی یک روش برآورد با روشی دیگر (جدول ۲)

و حتـی در مقایسه راههای گـوناگونـی کـه بـه منظـور فنّاوری به‌کار رفته و یا نگـرش علمی متفاوت قابل اعمال در یک روش خاص و بسته به میـزان تنوع، کثرت و پیشرفتـه بودن ابـزار و تجهیـزات سیستم پایش موردنظـر، دقت، سرعت و هزینه‌ها متغیـر خواهنـدبود. به‌منظـور امکان‌سنجـی بکارگیـری ایـن فنّاوریها، باید برای شهر یا منطقه مورد نظر، بررسی همه جانبه‌ای (شامل مطالعات اقتصادی) انجام پذیرد. ادغام دو یا چند روش ذکـر شده نیـز میسّر می‌باشد که در تکمیل یکدیگـر می‌تواننـد مؤثر باشند.

دور، سیستم‌های هوایی و فضایی متنوعی به‌کار گرفته شده‌اند. در ایـن ارتباط، به سیستـم‌های عکس برداری هوایـی سازمان نقشه‌برداری و سازمان جغـرافیای ارتش کشور می‌تـوان اشاره کرد که اکنون هم تراز با سایر کشورهای موفق در این زمینه قابلیت ارائـه خـدمات را دارند. با پیشرفتهای بین‌المللی دهه اخیر مرتبط با سیستـم‌های ماهـواره‌ای سنجش از دور، کاهش هزینـه‌های پرتاب ماهـواره‌ای و عملیاتـی ساختن ایـن گونـه مأموریتها، امکانات بیشمار و ارزانی در خصوص اخذ داده‌های سنجنده‌های گوناگون (از نظر قدرت تفکیک و تنوع باندها)

جدول (۲): بررسی و مقایسه کارآیی روشهای سریع برآورد خسارات

ردیف	روش برآورد سریع خسارات	دقت	سرعت	هزینه نسبی	امکانات موجود در کشور	امکانات مفید جانبی سیستم روش برآورد
۱	پایش شریانهای حیاتی	خوب تا متوسط	زیاد	زیاد	بسیار محدود	ـ کنترل سوانح ثانویه مرتبط با شریانهـا (قطع بـرق، آب، گاز در صورت لزوم و ....)
۲	پایش شبکه توزیع شده لرزه‌نگاری و حسگرهای مرتبط	خوب	زیاد	زیاد	بسیار محدود	ـ در برخی سیستم‌های مرتبط، کارآیی هشدار زلزله و آشکارسازی اثرهای ثانویه مانند روانگرایی را دارد.
۳	روشهای سنجش از دور	خوب	زیاد تا متوسط (بر حسب سیستم بکار گرفته شده)	کم تا متوسط	خوب نسبی	ـ امکـان سنجـی در هشدار قبل از زلـزلـه و نیـز آشکارسازی پیش نشانه‌های در حال مطالعه و در مواردی موفقیت حاصل شده‌است. ـ قابلیت انجام برآوردها بدون اطلاعات قبل از زلزله.
۴	پایشهای مرتبط دیگر شهری (آتش سوزیها، انسداد راهها ...)	کم	متوسط	کم	خوب نسبی	ـ بـر اساس گونـه‌های مختلف اطلاعـات شامل دوربینهای ثابت شهـری/ترافیکی، گـزارشهای محلی، سنجش از دور و تلفیق سایر اطلاعات، ذکر شده است که در مدیریت فوریتها و مرتبط با پدیده‌های ثانویه لازم و کارآ می‌باشد.
۵	برداشتهای میدانی	زیاد	کم	زیاد تا متوسط	خوب	ـ این بررسیها از جوانب مختلفی انجام می‌گیرد و در تکمیل و تدوین توابع آسیب‌پذیری سازه‌ای و انسانی شهری و مملکتی بسیار حائز اهمیت است

روشهـای پایش شریانهـای حیاتـی و نیـز پایش شبکـه توزیع شده لرزه‌نگاری و حسگرهای مرتبط (ردیفهای اوّل و دوم جدول ۲) می‌تواننـد در سطوح، گستردگی و با پیچیـدگیهای متفاوتـی انجام پذیرنـد. هزینـه‌های ایجاد این سیستـم‌ها غالباً زیاد و بـرای کار ممتـد و بلنـد مدت در نظـر گرفتـه می‌شوند. همچنین هزینه دائم عملیاتـی و سازمانی، تعمیر، نگهداری و ارتقاء سیستم اجتناب‌ناپذیر است. در روشهای سنجش از

در جهان حاصل شده‌است؛ حتی برخی از کشورهای آسیایی مانند هندوستان، تایوان، مالزی و... دارای فنّاوریهای روز در کاربـردهای غیر نظامی می‌باشنـد. یکـی از مسائلـی که همواره درکارآیی فنّاوری سنجش از دور ماهواره‌ای در مدیریت بحران بحث بـرانگیـز بـوده‌است، سرعت در پـوشش و تکـرار تصویر بـرداری از یک منطقه خاص بـوده‌است. کشور چیـن اعلام نموده‌است که تا سال ۲۰۱۰ میلادی، چهار ماهواره اپتیکی

و چهارماهواره راداری برای مدیریت بحران با زمان بازگشت مداری دوازده ساعته (بسیار مناسب) عملیاتی خواهد نمودکه باب جدیدی را در پیشرفت این گونه روشهای پایشی در برآورد خسارات می‌گشاید. دو روش آخر ذکر شده در جدول نیز مرهون پیشرفتهای مرتبط در فنّاوری دیسپاچینگ، ذخیره و بهنگام‌سازی اطلاعات، مخابرات و سیستم‌های گردآوری اطلاعات برمبنای GIS و GPS می‌باشند و قابلیت ادغام را با سایر روشهای گفته شده دارند.

۵ - نتیجه‌گیری

در این مقاله، خلاصه‌ای از روشهای ارزیابی و برآورد اثرهای زمین‌لرزه‌ها با استفاده از فنّاوریهای پیشرفته ارائه گردید. استفاده از این روشها بخصوص در دهه اخیر در اغلب کشورهای پیشرفته رو به گسترش است. استفاده از داده‌های شبکه‌های لرزه‌نگاری و پردازش آنها روشی بسیار متداول در خصوص برآورد سریع گستره و بزرگای زمین‌لرزه در جهان می‌باشد. با ادغام بانکهای اطلاعاتی از ساختمانها، مستحدثات و وضعیت آسیب‌پذیری آنها و استفاده از مدل‌های خطرپذیری شهری برآورد خسارت امکانپذیر می‌گردد. پایش شریانهای حیاتی نیز به‌صورت غیرمستقیم آثار زمین‌لرزه و میزان خسارات در شهرها را تخمین می‌زند. شبکه‌هایی نظیر SCADA در بسیاری از کشورهای جهان در حال فعالیت می‌باشند. روش دیگر بحث شده استفاده از فنّاوری سنجش از دور می‌باشد که به‌طور مستقیم قابلیت مشاهدات و زلزله را دارد؛ ولی سرعت اخذ اطلاعات بعد از زلزله معمولاً از روشهای مذکورکندتر می‌باشد؛ در حالی که دقتهای مناسبتری را معمولاً حاصل می‌نماید. در پایان تأکید می‌شود که بکارگیری این روشها و ابزار در ارتقای مدیریت خطرپذیری و بحران در سطوح اجرایی کشور ضروری می‌باشند.

اخیراً در برخی مراکز مرتبط با مدیریت بحران در کشور فعالیتهایی در راستای استفاده از این روشها به‌منظور استفاده همه جانبه و بهینه از منابع مختلف در دست انجام می‌باشد.

۶ - مراجع

1. Mizushina S., & et al. (2000). Wireless data acquisition and assessment of post-earthquake lifeline performance. *MEDAT - 1 Conference.* Los Angeles, USA.
2. Shinozuka, M., Mansouri, B., Mizushina, S., Sugiura, M., Ito, S., Adachi, A., Watanabe, T. (2000). Wireless supervisory control and data acquisition for assessment of lifeline seismic performance. *IEICE 2000 general conference.* Hiroshima, Japan: Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.

۳. منصوری، بابک؛ غفوری آشتیانی، محسن. (۱۳۸۶). نتایج به‌دست آمده در پروژه پژوهشی کد ۸۳۰۲ - ۳۲۷ برآورد آسیبهای ناشی از زلزله در شهرها با استفاده از *GIS* تصاویر ماهواره‌ای اپتیکی و راداری. تهران: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

4. Rathje, E. M., Crawford, M., Woo, K, Neuenschwander, A. (2005). Damage patterns from satellite images of the 2003 Bam, Iran, earthquake. *Earthquake Spectra, Special Issue 1, 21,* S295. Oakland, CA: Earthquake Engineering Research Institute (EERI).
5. www. airborne1.com & www.hansa luftibild.de
6. Mansouri, B., Shinozuka, M., Huyck, C., Houshmand, B. (2005). Earthquake-induced change detection in Bam, Iran, by complex analysis using Envisat ASAR Data. *Earthquake Spectra, Special Issue 1, 21,* S275. Oakland, CA: Earthquake Engineering Research Institute (EERI).
7. Henderson, F. M., Lewis, A. J. (1998). *Principles*

& applications of imaging radar - manual of remote sensing (3rd Edition), *vol. 2*. John Wiley & Sons.

8. Mansouri, B., Shinozuka, M. (2005). SAR image calibration by urban texture: Application to the BAM earthquake using Envisat satellite ASAR data. *3rd International workshop on remote sensing for post-disaster response.* Chiba, Japan.

9. Adams, B. J., Mansouri, B., Huyck, C. K. (2005). Streamlining post-earthquake data collection and damage assessment in Bam, Iran, using VIEWS (Visualizing Impacts of Earthquakes With Satellites). *Earthquake Spectra, Special Issue 1, 21, S213.* Oakland, CA: Earthquake Engineering Research Institute (EERI).