فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ هشتم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۳۹۷
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 8, No. 2, Serial 28 (Summer 2018)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۸

بررسی پتانسیل اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه، بر طراحی و ایجاد سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زمین‌لرزه

عیسی خوشوقت سویری[۱] و محمد قیصری[۲]

۱. مدیر پروژه مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء، تهران، ایران (نویسنده مسئول) Khoshvaght@iotiran.com

۲. دبیر اجرایی مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء، تهران، ایرانinfo@iotiran.com

چکیده

زمینه و هدف: یکی از راه‌حل‌های کارامد جهت کارکردهای پیش‌بینی، تشخیص و اعلام وقوع بحران و همچنین خودکار سازی اقدامات بعد از هریک از کارکردهای فوق، بهره‌گیری از سامانه‌های هشدار سریع است. هدف از این مقاله، بررسی قابلیت فناوری اینترنت اشیاء و معرفی مناسب‌ترین معماری کنونی از فناوری مذکور با نام «معماری مبتنی بر رایانش مه» به عنوان ابزاری جهت ایجاد و پشتیبانی از سامانه‌های هشدار و پاسخ سریع در حوزه زلزله نگاری است.

روش: در این پژوهش با بهره‌گیری از تجارب شخصی پژوهشگران، به‌واسطه فعالیت پنج ساله در حوزه اینترنت اشیاء در کشور و استفاده از روش کتابخانه‌ای و جستجو در بیش از ۴۰ مقاله داخلی و خارجی و انتخاب ۱۵ مورد از آنها، جهت نگارش این مقاله، و نیز تلفیق نتایج به‌دست آمده از مرور ادبیات موجود در مقالات انتخابی، تفسیر و درک جدیدی جهت یافتن پاسخ این سؤال که آیا معماری اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه، پتانسیل کافی برای ایجاد و پشتیبانی از یک سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زمین‌لرزه را دارد یا خیر، ایجاد شود. لذا حاصل این ذهنیت جدید در قالب ارائه مدلی بومی و مفهومی جهت طراحی، ایجاد و پیاده‌سازی یک سامانه هشدار سریع زلزله در بخش یافته‌های پژوهش ارائه شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از مرور این مقالات نشان داد که فناوری اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه، قابلیت ایجاد سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی در حوزه زلزله‌نگاری و ظرفیت پشتیبانی از چرخه فرایندی این سامانه را دارد. لذا با بهره‌گیری و الگو برداری از پروژه‌های موفق مطرح شده در کشورهایی نظیر ژاپن، مکزیک، آمریکا و غیره، و در راستای پاسخگویی به سؤال و تأمین اهداف تعیین شده در این پژوهش، معماری بومی پیشنهادی در سه لایه که مبتنی بر معماری اینترنت اشیاء ارائه شده توسط شرکت سیسکو است، مطرح و الگوی پیاده سازی آن تشریح شد.

نتایج: تقریباً می‌توان گفت که هیچ کدام از مناطق زلزله‌خیز کشور ایران، مجهز به سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زلزله نبوده و در این رابطه تنها به تعدادی طرح دانشگاهی اکتفا شده است. همچنین با توجه به اینکه هشتاد درصد از شهرهای ایران در معرض خطر زلزله قرار دارند و حدود ۲۸ درصد از جمعیت ایران در مناطق پر ریسک زلزله زندگی می‌کنند، ازاین رو طراحی، ایجاد و پشتیبانی از سامانه هشدار و پاسخ سریع زلزله با بهره‌گیری از ابزارهای منعطفی نظیر اینترنت اشیاء، جهت پشتیبانی از چرخه مدیریت بحران و آمادگی شهرها، به‌ویژه کلان‌شهرها به شدت احساس می‌شود، تا در آینده شاهد تلفات جبران ناپذیر جانی و مالی در حوادثی همچون زلزله رودبار، بم و کرمانشاه نباشیم.

واژه‌های کلیدی: مدیریت بحران، اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه، سامانه هشدار و پاسخ سریع زلزله

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** خوشوقت، عیسی؛ قیصری، محمد، (تابستان، ۱۳۹۷)، بررسی پتانسیل اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه، بر طراحی و ایجاد سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زمین‌لرزه. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۸* (۲)، ۱۷۳-۱۸۶.

Investigating the potential of the Internet of Things Things Based on Fog Computing, on the design and creation of an earthquake detection, warning and response system

Eisa Khoshvaght Soveiri[1], Mohammad Gheysari[2]

1- Iran IoT Research Center Project Manager

2- Iran IoT Research Center Executive director

ABSTRACT

Purpose and context: One of the effective solutions to predict, detection and declaration of crisis as well as automated actions following each of the mentioned functions, is the use of rapid alert systems. The objective of this paper is to consider the Internet of Things technology and introducing the best current architecture of this technology called “Fog Computing Architecture” as a tool to install and supporting warning and immediate reaction systems in the field of seismography.

Method: This study is based on 5years experiences of researches in the field of internet of things as well as library-based methodology. More than 40 articles have been studied and 15 cases were selected in order to write the article. By compiling the results and studied papers make a new perceive in internet of things architecture based on fog computing to create and supporting the detection, warning and immediate response to earthquake. Thus, the result presented as a local and conceptual model in order to design, install and execute an immediate alert system of earthquake in findings.

Findings: The results of studying the articles show that Internet of things technology based on Fog computing has the ability to create a system of detection, warning and immediate response in seismography and the system capacity to support different process cycles. Therefore the successful projects in countries such as Japan, Mexico, America, etc. were choose as a model in order to answer the questions and meet the objectives set out in this study, vernacular proposed architecture is provided in three layers based on Internet of things (IoT) architecture introduced by Cisco and its implementation pattern was discussed.

Conclusion: It is almost safe to say that none of earthquake zones in Iran, is equipped with a detection, warning or immediate response earthquake system and only a limited number of academic projects has been done in this regard. Considering the fact that 80 percent of Iranian cities are at risk of earthquakes and almost 28 percent of the population live in these high-risk areas, designing, developing and supporting of the earthquake early warning and response system with utilizing flexible tools, such as the Internet of Things, to support the cycle of crisis management and preparedness of cities, especially metropolises is felt; So that in the future irreparable human and financial losses by the disasters such as the earthquake in Rudbar, Bam and Kermanshah shall not be experienced again.

Keywords: Crisis Management, Internet of Things based on Fog computing, Earthquake Early Warning and Respond Systems

▶**Citation (APA 6th ed.):** Khoshvaght E, Gheysari M. (2018, Summer). Investigating the potential of the Internet of Things Things Based on Fog Computing, on the design and creation of an earthquake detection, warning and response system. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 8*(2), 173-186.

مقدمه

کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی آن، از جمله ده کشور سانحه خیز جهان به شمار می‌آید. دست کم ۸۶ درصد از خاک ایران در مناطق زلزله خیز واقع شده است. وقایع شش ماه دوم سال ۹۶ شاهد آن است که در اکثر نقاط کشور امکان وقوع زلزله‌های مخرب وجود دارد. تخریبی که افزون بر خسارات جانی و روانی برای خانواده‌ها، منجر به خسارات اقتصادی و اجتماعی شده و در آبان ماه سال ۹۶ شاهد بودیم که به‌واسطه عدم وجود سیستم‌های هشدار سریع و متعاقبا عدم اطلاع رسانی به موقع به خانواده‌ها، بسیاری از هموطنانمان جان باخته و آسیب‌های شدید روانی و فرهنگی دامنگیر حادثه‌دیدگان و حتی دولت و متولیان امر شد. ازاین رو تلاش برای کاهش اثرات جانی، مالی و زیست محیطی به عنوان مهمترین هدف مدیریت بحران در تمام جوامع به ویژه جوامع توسعه یافته، شناخته شده است. کاهش معنادار آثار بلایای طبیعی در بسیاری از کشورهای درگیر با این حوادث، مبین و مؤید این مقوله مهم و حیاتی است. از سوی دیگر تلاش برای ایجاد اقدامات ایستا و پویا به عنوان زیرشاخه‌های تأثیرگذار در مرحله پیشگیری چرخه مدیریت بحران نیز می‌تواند برای دستیابی به یک جامعه آماده در برابر حوادث احتمالی کمک شایانی کند. در حال حاضر یکی از مهمترین موضوعات در حوزه سوانح و بلاهای طبیعی به موضوع سیستم هشدار سریع اختصاص یافته است. پیشرفت فناوری‌های نوین در چند سال اخیر از یک سو و استفاده از اطلاع‌رسانی سریع و مؤثر از دیگر سوی، سبب کاهش خسارات جانی و مالی فراوان شده است. همچنین افزایش ریسک مخاطرات طبیعی و بروز حوادثی از قبیل ریزگردها و ذرات گرد و غبار، آتش‌سوزی‌های گسترده در جنگل‌ها و مراتع، خشکسالی و بروز کم آبی شدید، سیل، موج‌های گرما و سرما، طوفان‌ها و زلزله‌ها که باعث ایجاد خسارات زیاد زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی شده است، نقش سیستم‌های هشدار سریع را در مدیریت بحران‌ها برجسته‌تر از پیش کرده است. (طحام و سوگیو ایماموراً، ۱۳۹۴).

هدف اصلی پژوهش:

بررسی پتانسیل اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه جهت طراحی و ایجاد سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زمین‌لرزه.

اهداف فرعی پژوهش:

معرفی سامانه هشدار سریع، چارچوب و چرخه فرایندی آن؛

معرفی معماری مه- محور اینترنت اشیاء جهت پوشش‌دهی جنبه‌های عملکردی سامانه‌های هشدار و پاسخ سریع: پیش، هنگام و بعد از وقوع زلزله؛

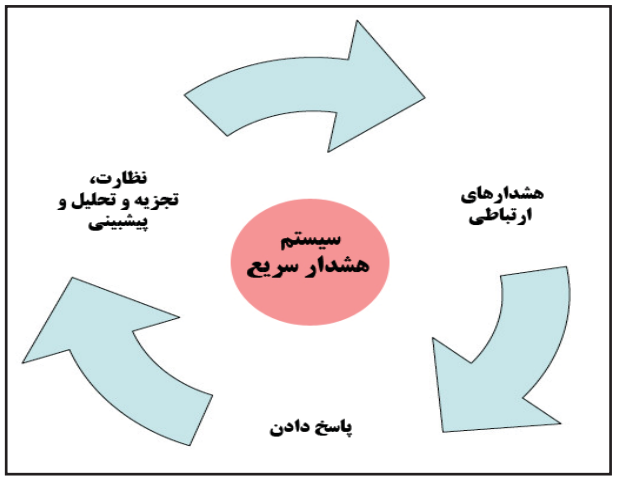
پیشنهاد یک معماری بومی جهت پیاده سازی سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زلزله، بر مبنای اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه.

سامانه‌های هشدار سریع[1]

تعاریف زیادی از سامانه هشدار سریع وجود دارد که برای هدایت فعالیت افراد، گروه‌ها و دولت‌ها استفاده می شود. تعریف رسمی سازمان ملل به شرح زیر است

«هشدار سریع عبارت است از فراهم کردن به موقع و مؤثر اطلاعات از طریق نهادهای مشخص که به افراد در معرض مخاطره کمک می‌کند از ریسک اجتناب کنند، یا آن را کاهش دهند و برای واکنش مؤثر به آن آماده باشند» (گلانتز، ۲۰۰۳).

مطابق با شکل(۱) به طور معمول، سامانه‌های هشدار دهنده مؤثر شامل جنبه‌های: تجزیه و تحلیل ریسک، نظارت و پیش بینی موقعیت و شدت فاجعه، اطلاع رسانی به مقامات و کسانی که به طور بالقوه تحت تأثیر قرار می‌گیرند، و پاسخ به فاجعه است.



شکل ۱. جنبه‌های عملکردی سیستم هشدار سریع (گراسو، ۲۰۱۶، ص ۷)

در سیکل مدیریت ریسک بلایا سه فاز مشخص، شامل قبل،

1. Early Warning System (EWS)

حین و بعد از بلایا وجود دارد. سامانه هشدار سریع، به طور کلی، بر گام‌های جلوگیری، تعدیل و آمادگی از سیکل مدیریت بلایا تأکید دارد. این تعریف دامنه‌ای از عوامل ضروری برای دستیابی به هشدارهای به موقع برای واکنش مؤثر را در بر می‌گیرد. یک سیستم هشدار سریع مردم محور، لزوماً چهار مؤلفه اصلی دارد:

- آگاهی از ریسکها؛
- پایش، تجزیه و تحلیل؛
- پیش‌بینی خطرات، ارتباط یا انتشار اعلام خطر و هشدارها؛
- ظرفیتهای محلی برای واکنش به هشدارهای دریافت.

سازمان ملل در اعلام استراتژی کاهش اثرات بلایای طبیعی، چهار مؤلفه‌ی اصلی سامانه‌های هشدار سریع را این‌گونه نام می‌برد:

دانش ریسک: ارزیابی ریسک اطلاعات ضروری را برای تنظیم اولویت‌ها برای استراتژی‌های کاهش و پیشگیری و طراحی سیستم‌های هشدار اولیه فراهم می‌کند.

پایش، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی: سیستم‌های با قابلیت‌های نظارت و پیش‌بینی برآوردهای به موقعی از خطرات در کمین جوامع، اقتصادها و محیط زیست تهیه کرده و ارائه می‌دهند.

اطلاعات توزیع شده: سیستم‌های ارتباطی برای ارائه هشدار مورد نیاز هستند. برای ارسال پیام‌ها به مکان‌های بالقوه آسیب دیده برای اطلاع‌رسانی به سازمان‌های دولتی محلی و منطقه‌ای. پیام‌ها باید قابل اعتماد، مصنوعی و ساده باشند که توسط مقامات و مردم قابل درک باشد.

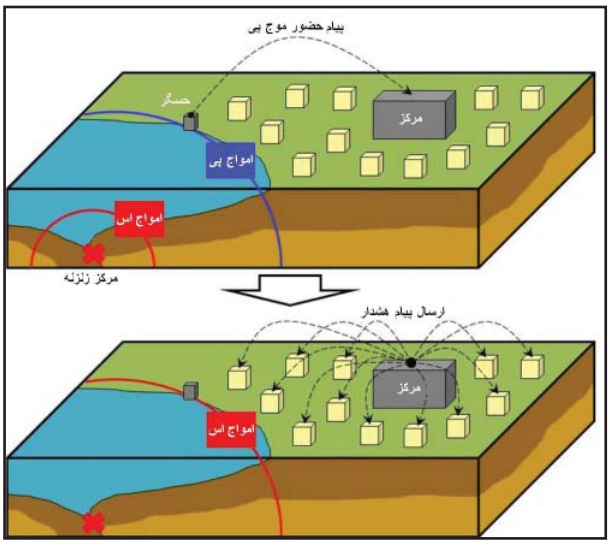
پاسخ: هماهنگی، حکومتداری خوب و برنامه‌های عملی مناسب، نقطه مهمی در هشدار مؤثر زود هنگام است. به همین ترتیب، آگاهی عمومی و آموزش و پرورش، جنبه‌های حیاتی کاهش آسیب پذیری هستند (گراسو، ۲۰۱۶، ص ۴).

سامانه هشدار سریع زمین لرزه[1]

این فناوری هم‌اینک تنها سامانه دارای قابلیت پیش‌بینی زمین‌لرزه در لحظاتی پیش از وقوع آن است. شکل‌های اولیه این فناوری تنها در کشورهایی مانند ژاپن، تایوان، رومانی و مکزیک پیاده‌سازی شده‌است و کشورهای دیگر از جمله چین، ایتالیا، ایران و ایالات متحده آمریکا، در حال پیاده‌سازی آن هستند.

1. Earthquake Early Warning System (EEWS)

در هنگام وقوع زمین‌لرزه، از کانون آن چندین موج با سرعت‌های مختلف منتشر می‌شود (در هر زلزله‌ای، ۴ نوع اصلی از امواج ارتجاعی، قابل احساس بوده و قادر به ایجاد خسارت است). امواج سریع‌تر یا امواج P[2] با سرعتی حدود ۷ کیلومتر بر ثانیه منتشر می‌شوند. این امواج به طور کلی آسیب کمی می‌رساند. امواج مخرب یا امواج S[3] با سرعتی حدود ۴ کیلومتر بر ثانیه منتشر می‌شوند (تالبوت، ۲۰۰۸). بنابراین در اغلب زمین‌لرزه‌ها موج P زودتر از موج S قابل حس است. یک حسگر، رخ دادن زمین لرزه را در نزدیکی مرکز آن حس می‌کند و از آنجایی که سرعت حرکت سریعترین امواج حجمی زلزله یا امواج P، از سرعت حرکت امواج رادیویی کمتر است، بنابراین، اختلاف زمانی بین رسیدن امواج P و S و سرعت بالاتر امواج رادیویی نسبت به امواج زلزله، سبب می‌شود تا هشدار مربوط به وقوع حادثه را، چند ثانیه پیش از رسیدن امواج S، به ساکنین و مسئولین محلی اطلاع دهیم (ناکاو و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۲. سامانه تشخیص فوری زلزله و هشدار با استفاده از روش شناسایی جبهه، ژاپن ۱۹۸۲ (ویکی‌پدیا فارسی ، ۲۰۱۰)

مطابق شکل(۲) اولین سامانه هشدار زمین لرزه در جهان با نام «روش شناسایی جبهه»[4] که از مفهوم امواج P استفاده می‌کند جهت قطارهای شینکانسن کشور ژاپن به صورت عملی به اجرا درآمده و

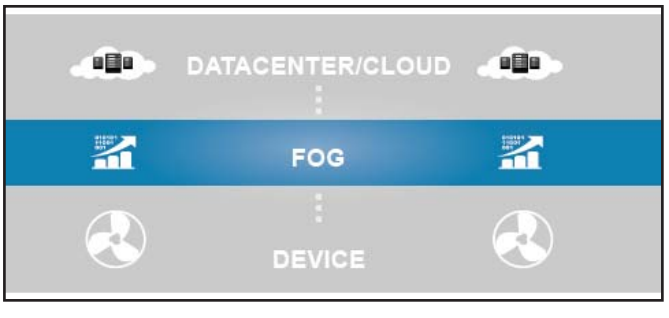
2. Primay
3. Secondary
4. Front Identification Method

مورد استفاده قرار گرفت. بعد از آن اولین سامانه هشدار زمین‌لرزه برای عموم مردم در سال ۱۹۹۵در مکزیکو سیتی پیاده‌سازی شد. این سامانه قادر است سه ثانیه پس از دریافت امواج P زنگ خطر را به صدا در بیاورد. از آنجایی که این سامانه قادر به پردازش گام به گام شکل موج‌ها بدون ذخیره‌سازی آنها بود و میزان پردازش، چه در زمان وقوع و چه در زمان عدم وقوع زلزله به یک میزان می‌بود، به همین دلیل، در هنگام وقوع زلزله، سامانه به علت بار اضافه دچار نقص فنی نمی‌شد (گاسپرینی و همکاران[1]، ۲۰۰۷)

معماری محاسبات مه:

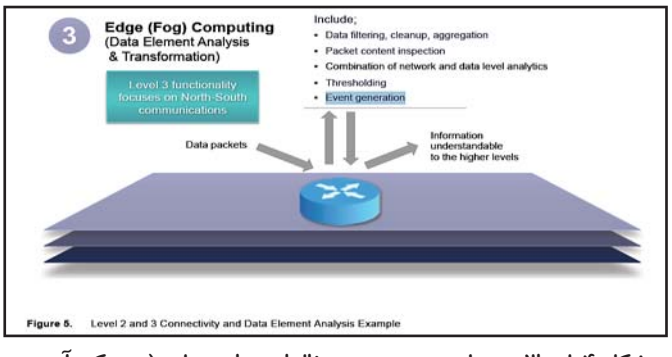
کنسرسیوم مه باز[2] محاسبات مه را اینگونه تعریف می‌کند: «محاسبات مه، یک معماری افقی سیستم محور است که منابع و خدمات ذخیره سازی محاسبات، کنترل و شبکه‌بندی را در هرجایی از زنجیره تامین ابری از اشیاء[3] فراهم می‌کند».

لایه محاسبات مه معرفی شده توسط شرکت سیسکو ، فضای ابر را همانند شکل سه به نزدیکترین محلی که داده‌های اینترنت اشیاء تولید و روی آنها عمل می‌شود گسترش می‌دهد.



شکل ۳. موقعیت مه نسبت به فضای ابر و نزدیکی آن به اشیاء اینترنت اشیاء (سیسکو، ۲۰۱۵)

این محل «نودهای مه»[4] نامیده می‌شود. هر وسیله‌ای با قدرت محاسبه، ذخیره سازی و ارتباطات شبکه می‌تواند یک نود مه باشد. مانند کنترل کننده‌های صنعتی، سوییچ‌ها، مسیریاب‌ها، سرورهای به کار گرفته شده در مراکز درمانی، بیمارستان‌ها و دوربین‌های نظارت تصویری و غیره. نرم افزارهای کاربردی مه دارای تنوع مختلفی هستند. اما آنچه که در میان آنها مشترک است، پایش و تجزیه و تحلیل بدون وقفه داده از اشیاء متصل به شبکه و شروع یک عمل واکنشی بعد از تجزیه و تحلیل است. این عمل می‌تواند «ارتباطات ماشین به ماشین»[5] و یا «تعاملات انسان به ماشین»[6] را ساماندهی کند. محاسبات مه که محاسبات لبه هم نامیده می‌شود، اساساً به این معنا است که داده‌ها می‌تواند به جای اینکه جهت پردازش به فضای ابر ارسال شوند، در وسایل هوشمند پردازش شوند. این رودیکرد در مفهوم اینترنت اشیاء بسیار جذاب است. زیرا اجازه واکنش در زمان واقعی (بلادرنگ) را بر روی داده‌های ورودی می‌دهد و با پهنای باند محدود هم کار می‌کند. این استراتژی منجر به کاهش هزینه و بهبود بازدهی می‌شود (جیوردانو، ۲۰۱۶). در شکل (۴) جزئیات لایه شبکه و لایه محاسبات مه نشان داده شده است.



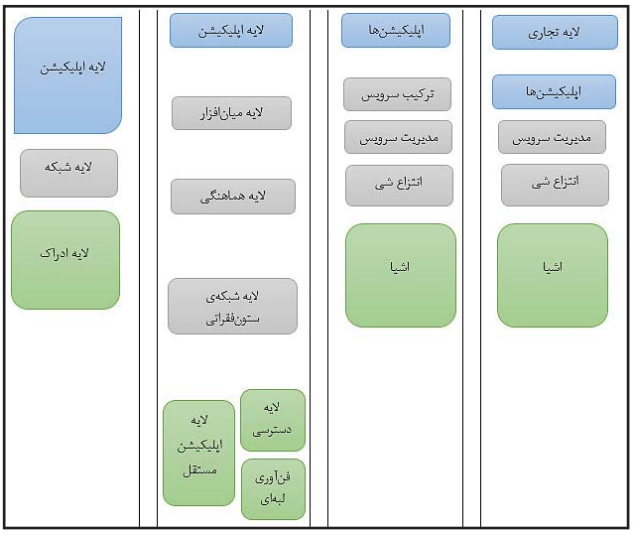
شکل ۴. اتصالات سطح دوم و سوم و مثالهای عناصر داده (سیسکو، آی بی ام و اینتل، ۲۰۱۵)

معماری نقش تعیین کننده‌ای در تعیین موفقیت یک سیستم دارد. به همین ترتیب، تلاش‌های زیادی اعم از پروژه‌های عمومی تا انجمن‌های صنعتی استاندارد و مؤسسات علمی وجود دارد که معماری اینترنت اشیاء مؤثر را تنظیم می‌کند (جیانگ و همکاران[7]، ۲۰۱۴). در شکل(۵) انواع معماری سه و پنج لایه اینترنت اشیاء از دید (رحمانی و همکاران، ۲۰۱۷، ص ۵) نمایش داده شده است. در معماری اینترنت اشیاء سه لایه مبتنی بر مه، سرویس‌های رایانش، شبکه و ذخیره سازی را به گره‌های انتهایی اینترنت اشیاء نزدیک‌تر می‌کند. این لایه رایانش، به شدت توزیع شده است و سرویس‌هایی اضافی را برای دستگاه‌های پایانی واقع در لایه‌ی ادراک، تحمیل می‌کند (فن و همکاران[8]، ۲۰۱۴).

1. Gasparini
2. The OpenFog Consortium
3. Cloud to Things
4. Fog Nods
5. Involve Machine-to-Machine (M2M)
6. Human-Machine Interaction (HMI)
7. Jiang et al.
8. Fan et al.

جدول ۱. مکان های مناسب جهت ارسال داده‌های دریافتی برای تجزیه و تحلیل از لبه شبکه (سیسکو، آی بی ام و اینتل، ۲۰۱۵)

فضای ابر	گره‌های مجتمع مه	نودهای مه که نزدیک دستگاه‌های iot هستند	مولفه
دقیقه، روز، هفته‌ها	ثانیه به دقیقه	میلی ثانیه به زیر مجموعه‌های کوچکتر	زمان پاسخگویی
تحلیل داده‌های بزرگ	تجسم- تصویر سازی	ارتباط غیر کلامی[1] ماشین به ماشین	برنامه کاربردی
داشبرد گرافیکی	تحلیل ساده	آموزش و دوراپزشکی	مثال ها
ماه‌ها یا سال ها	شاید ساعت_ها، روزها یا هفته‌ها	کوتاه	زمان دخیره سازی داده‌های iot
جهانی	گسترده	خیلی محلی: نظیر یک بخش از شهر	پوشش جغرافیایی



شکل ۵. معماری اینترنت اشیاء سه و پنج لایه (رحمانی و همکاران[1]، ۲۰۱۷، ص ۵)

محاسبات مه اغلب در هنگامی که تجزیه و تحلیل داده و واکنش بعد از آن در کمتر از ثانیه و یا در مدت زمان بسیار کم فوریت داشته باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. نودهای مه نزدیکتر به لبه‌های شبکه، داده‌های خروجی از وسیله‌های اینترنت اشیاء را مصرف می‌کنند. سپس این نرم افزارها، انواع مختلف داده را به سمت مکان مناسب جهت تجزیه و تحلیل، همانطور که در جدول(۲) نشان داده شده است، ارسال می‌کنند.

در نهایت پذیرش و استفاده از محاسبات مه منجر به ایجاد بینش سریع و عمیق از کسب و کار شده و چالاکی سازمان، سطح خدمات بالاتر و بهبود ایمنی را به ارمغان می آورد (سیسکو، ۲۰۱۵).

پیشینه

گراسو[2](۲۰۱۶)، در گزارشی تحت عنوان "سیستم‌های هشدار سریع: آخرین پیشرفت‌های پژهشی و دستورالعمل‌های آینده مربوط به طرح پیش نویس برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد[3] به ارزیابی آخرین وضعیت سیستم سیستم‌های هشدار سریع پرداخت؛ همچنین به تشریح مفاهیم اساسی سیستم‌های هشدار سریع اولیه می‌پردازد. او در ادامه عنوان می‌کند که به طور معمول جنبه‌های عملکردی سیستم‌های هشدار سریع باید شامل: تجزیه و تحلیل ریسک، نظارت و پیش‌بینی موقعیت و شدت فاجعه، اطلاع رسانی به مقامات و کسانی که به طور بالقوه تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند؛ و پاسخ به فاجعه باشد. او همچنین جهت اطمینان از انجام تصمیم سازی درست سامانه هشدار سریع، روش تجزیه و تحلیل هزینه-سود را پیشنهاد می‌دهد.

آلفونسا و راوی[4](۲۰۱۶) در مقاله با عنوان «سیستم اخطار زودهنگام زلزله توسط اینترنت اشیاء با استفاده از شبکه‌های سنسور بی سیم[5]» سامانه هشدار زود هنگام زلزله مبتنی بر اینترنت اشیاء را با استفاده از قدرت معماری شبکه‌های سنسور بی‌سیم[6] پیشنهاد می‌کنند. در شبکه پیشنهادی، سنسورها موج P را تشخیص داده و قبل از رسیدن موج مخرب S هشدارهای لازم را به ذی‌نفعان ارسال می‌کنند. در این پژوهش آنها از قدرت پروتکل زیگ‌بی[7] برای برقراری ارتباط بین سنسورهای شبکه بی‌سیم جهت انتقال سیگنال هشدار به دروازه انتقال[8] بهره برده‌اند، تا بتوانند هشدار را به گوشی‌های هوشمند منتقل کنند. این هشدار پیامی است در ارتباط با موقعیت، زمان و پارامترهای دیگر زلزله رخ داده است. نرم افزار مورد استفاده در این پژوهش LABVIEW بوده است.

1. Rahmani et al.
2. Grasso
3. UNEP
4. Alphonsa & Ravi
5. Wireles Sensors Networks
6. WSN
7. ZigBee
8. Gateway

زامبرونو و همکارانش(۲۰۱۶)، در مقاله‌ای تحت عنوان «فناوری اینترنت اشیاء اعمال شده به یک سیستم پیش‌بینی و هشدار زمین لرزه» با اشاره به بهره گیری از سنسورهای جاسازی شده در گوشی‌های هوشمند جهت نظارت بر محیط زیست، یک معماری سلسله مراتبی از گوشی‌های هوشمند را برای به دست آوردن اطلاعات لرزه‌ای در زمان واقعی جهت کشور اکوادور ارائه داده‌اند. آنها در این مقاله از چارچوب سنسور وب فعال[1] و پیام ترافیکی حمل و نقل پیام (MQTT)[2] جهت دستیابی به یک سامانه هشدار اولیه مبتنی بر شبکه حسگر بیسیم بهره برده‌اند.

پروفسور ویمر[3] (۲۰۱۶) آز دانشگاه ETH زوریخ، در مقاله‌ای تحت عنوان «چالش‌های آینده در کاهش خطر زلزله در زمان واقعی» به حداقل آمادگی کشورهای اروپایی در برابر زلزله اشاره کرده و علم پیش‌بینی زلزله را کودکی در ابتدای راه می‌داند. همچنین اشاراتی به سیستم‌های قدیمی هشدار دهنده زلزله کرده و عنوان می‌کند که کشورها به جهت کاهش خسارات ناشی از زلزله به زودی خواهان سیستم‌های هشدار فوق سریع خواهند بود. که از طریق میلیون ها سنسور، پیگیری زلزله در زمان واقعی امکان‌پذیر بوده و مردم برای آمادگی قبل و هنگام وقوع و برای بازسازی و بهبود بعد از وقوع آن استفاده خواهند کرد. او اینترنت اشیاء را ابزاری برای دستیابی به این مهم عنوان می‌کند. همچنین عنوان می‌کند که به کارگیری این روش قبل از پیاده سازی نیازمند تست و اعتبارسنجی است.

میر[4] (۲۰۱۵) پایان‌نامه دکتری خود تحت عنوان «پیشگیری از ریسک خطرات لرزشی زمان واقعی: هشدارهای زلزله احتمالی و مدل‌های راه انداز زلزله مبتنی بر فیزیک» را در دو بخش ارائه کرده است. یک بخش اشاره به ابزار زلزله شناختی سامانه هشدار سریع زلزله به عنوان روشی مفید برای تشخیص لرزش و اعلام هشدار جهت کاهش تلفات و ارتقای سیستم فعلی و بخش دوم را به مدل‌های تحریک زلزله و روش‌های ارتقای آن اختصاص داده است. اما او سامانه‌های هشدار سریع زلزله را کافی ندانسته و همچنان مهمترین استراتژی‌های کاهش خطر ناشی از زلزله را اجرا و پیروی از استانداردهای کیفیت ساخت و آموزش عمومی می‌داند.

آژانس کمک رسانی بشر دوستانه جهانی کراپس[5] در سال ۲۰۱۰ در کتابچه راهنمایی، روش‌های کاهش خطر بحران، سامانه‌های هشدار دهنده اولیه مبتنی بر جامعه[6] و مزایای آن‌را که شامل نجات جان انسان‌ها و کاهش زیان‌های اقتصادی است را بررسی کرده و عنوان می‌کند که یک سیستم هشداردهنده مبتنی بر جامعه باید همه اعضای آن به ویژه قشر آسیب پذیر را پوشش داده و شامل مدل‌هایی برای دریافت پیام‌های هشدار و پاسخ به آن باشد. در قسمتی از این کتابچه راهنما چارچوب عملی Hyogo برای اقدام پیشگیرانه و فرهنگ پیشگیری جهت حصول پاسخ مؤثر و به موقع به هشدار زود هنگام در زمان‌های مختلف پیشنهاد شده است (ص ۹).

طحام و سوگیو ایماموراً (۱۳۹۴) در مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی سیستم‌های هشدار سریع حین بحران» توضیح می‌دهند که به منظور شناسایی و ارزیابی اطلاعات مورد نیاز کاربران، سیستم هشدار سریع باید یک ارتباط تنگاتنگ، هم با بخش‌های خصوصی و هم با بخش‌های عمومی برقرار کند. از دیدگاه آنها این ارتباطات باید مشتمل بر سازمانهای زیر باشد:

- مؤسساتی که وظیفه آنها شامل حفظ سلامت افراد و اموال آنها است که به سطح ملی، منطقه‌ای و محلی تقسیم می‌شود؛
- رسانه‌ها؛
- سازمان‌های غیردولتی؛
- سازمان‌های امدادی و بشردوستانه مانند صلیب سرخ و جمعیت هلال احمر؛
- مراکز تحصیلی و مدارس؛
- داوطلبان آموزش دیده که به سیستم‌های هشدار سریع کمک می‌کنند، در فعالیت‌هایی مانند گروه‌های دیده بانی همکاری دارند.

که متأسفانه در حال حاضر و با وجود زیرساخت‌های مناسب، در کشور ایران سامانه هشدار سریع زلزله وجود ندارد.

سوال پژوهش: آیا معماری اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه، پتانسیل کافی برای ایجاد و پشتیبانی از یک سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زمین لرزه را دارد؟

1. Enablement Web Sensor
2. Message Queuing Telemetry Transport
3. Wiemer
4. Meier
5. Corps
6. CBEWS

روش

در این پژوهش با بهره‌گیری از تجارب شخصی پژوهشگران به واسطه فعالیت پنج ساله در حوزه اینترنت اشیاء در کشور و استفاده از روش کتابخانه‌ای و جستجو در بیش از ۴۰ مقاله داخلی و خارجی و انتخاب ۱۴ مورد از آنها جهت نگارش این مقاله و همچنین تلفیق نتایج به دست آمده از مرور ادبیات موجود در مقالات انتخابی، تفسیر و درک جدیدی جهت یافتن پاسخ این سؤال که آیا معماری اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه، پتانسیل کافی برای ایجاد و پشتیبانی از یک سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زمین‌لرزه را دارد؟ ایجاد شود.

ازاین رو حاصل این ذهنیت جدید در قالب ارائه مدلی بومی و مفهومی جهت طراحی، ایجاد و پیاده‌سازی یک سامانه هشدار سریع زلزله در بخش یافته‌های پژوهش ارائه شد.

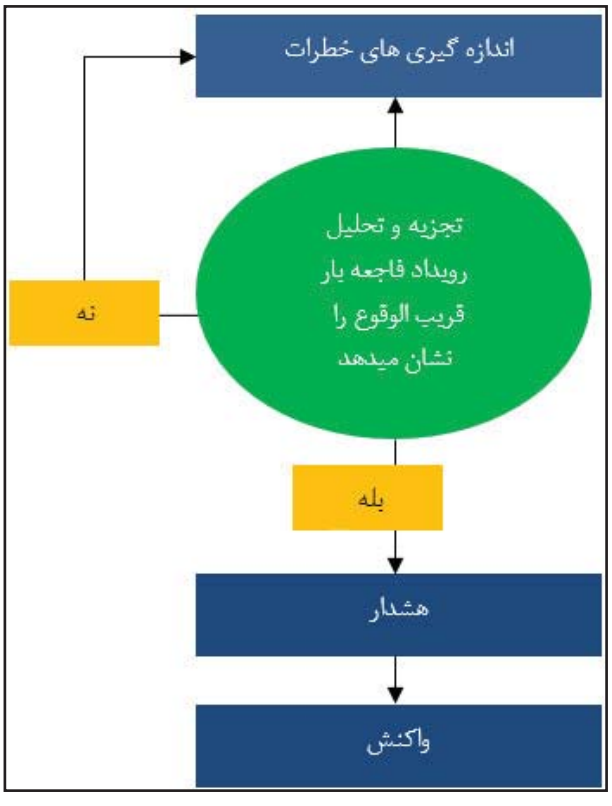
اهمیت سامانه‌های هشدار سریع:

- امکان‌پذیری کسب اطلاعات قبل از وقوع حادثه؛
- سیستم‌های هشدار سریع می‌تواند به کاهش تلفات و خسارات کمک کند؛
- مردم آسیب‌پذیر در مناطق حساس به حوادث طبیعی به موقع مطلع شده به نحوی که بتوانند منطقه خطر را ترک کنند و به یک مکان امن برای دوری از تلفات بروند؛
- می‌تواند اقلام قابل جابجایی را به زمین‌های امن‌تر منتقل کند؛
- جان انسان‌ها را در موارد فوریتی نجات دهد؛
- سامانه هشدار سریع در حمایت و پشتیبانی از توسعه اقتصادی و اجتماعی پایدار نقش دارد؛
- جامعه از یک سیستم هشدار سریع نفع می‌برد.

چارچوب بهبود یافته سیستم‌های هشدار سریع مطابق جدول(۲) و شکل(۶) از چهار فاز تشکیل شده است:

جدول ۲. فازها و مولفه‌های کلیدی سیستم های هشدار سریع

ر	فاز	مولفه کلیدی
۱	پایش خطر (اندازه گیری خطرات)	دانش ریسک
۲	پیشبینی نشانه‌های حوادث و بلایا	سرویس پایش وهشدار
۳	هشدار یا اعلام خطر	ارتباط و انتشار
۴	عکس‌العمل(واکنش)	ظرفیت واکنش



شکل ۶. چارچوب بهبود یافته سیستم‌های هشدار سریع (کراپس، ۲۰۱۰)[1]

سیستم‌های هشدار سریع باید مبنای تبادل اطلاعات در مورد ابزارهای ارزیابی، پایش، پیش‌بینی، هشدار یا اعلان خطر و پشتیبانی تصمیم‌ها باشد. تمام این اقدامات را می‌توان با استفاده از ابزارهای تهیه شده توسط نتایج تحقیقات علمی فراهم نمود. برای استقرار سیستم‌های توانمند هشدار سریع نیاز به اجرای اقدامات زیادی است که عبارت‌اند از:

- ارزیابی تخریب منابع طبیعی باید بر مبنای عوامل و فرآیندهای اصلی انجام شود، نه علائم تخریب؛
- به منظور تامین داده‌های مورد نیاز برای ردگیری، تعقیب و درک تغییرات منابع طبیعی، شبکه پایش درازمدت باید راه‌اندازی شده و امکانات جدید مستقر شوند؛
- مکانیزم و فرآیندهای انتقال اطلاعات باید برای رسیدن به جوامع هدف به شیوه‌ای صحیح و به هنگام تهیه شود؛
- همکاری نزدیک بین عناصر و اجزای اعلان هشدار و تصمیم سازی باید برقرار شود؛
- باید ارتباط بین کارهای آینده در زمینه شاخص‌ها و معیارها،

1. Mercy Corps and Practical Action

ارزیابی و پایش عرصه‌های طبیعی، سیستم‌های هشدار سریع توسط کارگروه‌های تخصصی تشکیل شود (جهدی و همکاران، ۱۳۹۵).

مشخصات و نحوه عملکرد سامانه هشدار سریع زمین لرزه: به عنوان نمونه، مشخصات سامانه ارسال هشدار بر روی تلفن همراه ژاپن به شرح زیر است:

زمان و مکان توزیع: مرکز هواشناسی ژاپن، کشور را به ۱۸۶ منطقه هشدار تقسیم کرده است. پیام هشدار به مناطقی ارسال خواهد شد که قدرت لرزش، ۴ ریشتر یا بیشتر تخمین زده شود.

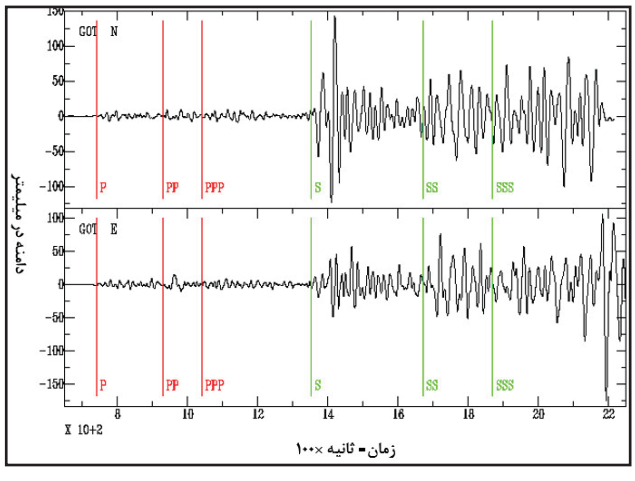
به چه کسی و چه زمانی توزیع شود: کاربرانی که در منطقه هستند و تلفن همراه آنها قابلیت دریافت پیام هشدار را دارد، باید آن را در اولین فرصت ممکن دریافت کنند، چون هر چه کاربران به مرکز زلزله نزدیک‌تر باشند، ممکن است حرکات زمین، کمی قبل از زمان مشخص شده شروع شود.

محتویات پیام ارسالی: تا آنجا که ممکن است از متن‌های مشخص و یکسانی استفاده شود و پیام ارسالی بر تلفن‌های همراه با متن نمایش داده شده در تلویزیون یکسان باشد. متن پیش فرض به شرح زیر است: «هشدار زود هنگام زلزله و یا زلزله قوی در منطقه (ناکاو و همکاران، ۲۰۰۷).

نسل جدیدتر این سامانه‌ها می‌توانند هشدار را یک ثانیه پس از رسیدن امواج p صادر کرده، و همچنین در یک ثانیه ویژگی‌های زمین‌لرزه را نیز تخمین بزنند. این سامانه‌ها در سال ۲۰۰۵ در اداره آتش‌نشانی ژاپن پیاده‌سازی شد تا به آتش‌نشانان آمدن پس‌لرزه را هشدار دهد. در تجربه‌ای قدیمی‌تر، مأموران آتش‌نشانی از پس‌لرزه‌های زلزله آسیب دیده بودند و از آن واهمه داشتند. در سال ۲۰۰۷، این سامانه‌ها جایگزین سیستم‌های قدیمی‌تر «سامانه تشخیص فوری و هشدار» در متروی توکیو شدند (گاسپرینی و همکاران، ۲۰۰۷).

شکل هفت نحوه عملکرد این سامانه را نشان می‌دهد:

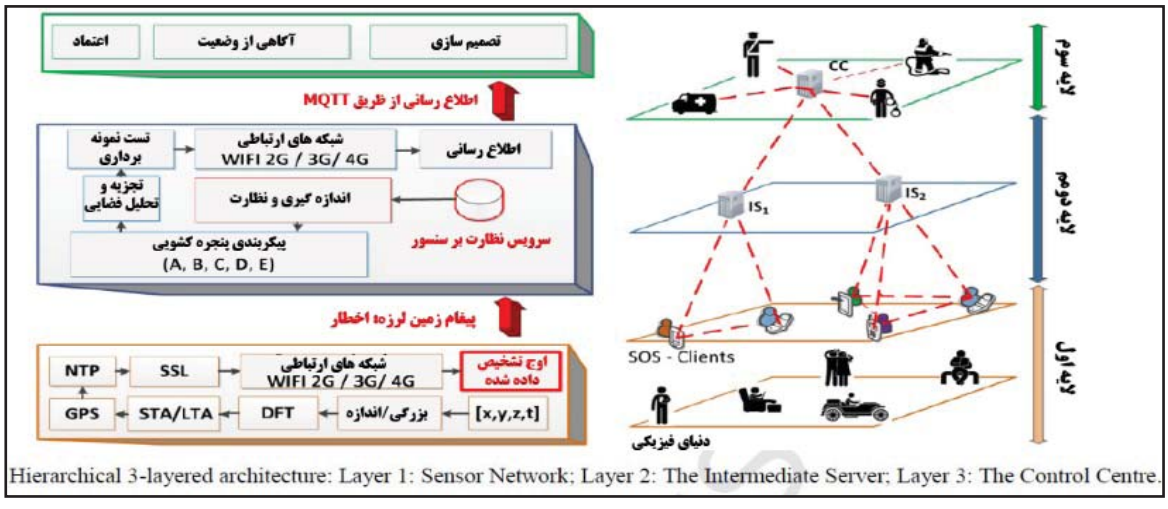
یکی از حسگرها، رخ دادن زمین‌لرزه را در نزدیکی مرکز آن حس می‌کند و از آنجایی که سرعت حرکت سریعترین امواج حجمی زلزله یا امواج P، از سرعت حرکت امواج رادیویی کمتر است، بنابراین، اختلاف زمانی بین رسیدن امواج P و S و مهمتر از آن سرعت بالاتر امواج رادیویی نسبت به امواج زلزله، سبب می‌شود تا هشدار مربوط به وقوع حادثه، چند ثانیه پیش از رسیدن امواج S، به ساکنین و مسئولین محلی اطلاع داده شود و در صورتی که تحلیل اطلاعات دریافتی، امکان تعیین پارامترهای زلزله و برآورد خطرناک بودن آن را بدهد، فرایند هشداردهی تسریع می‌شود (کیرکلند، ۲۰۱۰)



شکل ۷. نحوه عملکرد سامانه تشخیص فوری زلزله و هشدار (ویکی‌پدیا فارسی، ۲۰۰۸)

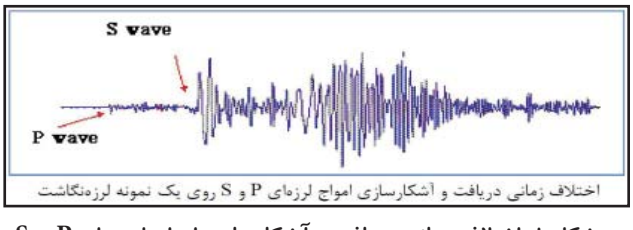
جهت بهبود دقت سامانه می‌توان از شبکه‌های حسگر استفاده کرد. این روش سامانه در محل نامیده می‌شود. نحوه عملکرد سامانه‌های هشدار زمین‌لرزه که برای یک مکان خاص - و نه یک ناحیه بزرگ - استفاده می‌شوند می‌تواند ساده‌تر باشد. کافی است که موج P در همان مکان را جهت ارسال هشدار مورد استفاده قرار داد بدون اینکه نیازی به ارسال اطلاعات به نقاط دور، تخمین محل مرکز زلزله یا بزرگی آن باشد (گاسپرینی و همکاران، ۲۰۰۷).

در توضیحی خلاصه می‌توان گفت که دو نوع موج اولیه P و ثانویه S با سرعت‌های متفاوت از چشمه زمین لرزه به تمام جهات کره زمین گسیل می‌شوند. طبق شکل هشت موج S دارای سرعتی کمتر از سرعت موج P و بیشترین تخریب را در ماهیت خود دارد. هر چه چشمه زمین لرزه از نقطه هدف فاصله بیشتری داشته باشد، پس‌افتادگی موج S بیشتر می‌شود. سرانجام اختلاف زمانی مناسب، فرصت محاسبه مکان و بزرگای زمین‌لرزه برای یک سامانه پردازشگر دارای تجهیزات لازم و ارتباط مناسب با ایستگاه‌های لرزه‌نگاری را فراهم می‌کند. این سامانه خودکار قادر



شکل ۹. معماری سه لایه سلسله مراتبی: لایه ۱: شبکه سنسور؛ لایه۲: سرورهای میانی؛ لایه۳: مرکز کنترل (زامبرونو و همکاران، ۲۰۱۷)

است پس از دریافت موج P در ایستگاه‌های نزدیک چشمه به صورت آنی[1] با سرعت امواج رادیویی و در کمتر از ۱ ثانیه آنرا به سامانه مرکزی پردازش موج منتقل کند. در سامانه اخیر در حدود ۳ تا حداکثر ۵ ثانیه موج P تحلیل، و بزرگای زمین لرزه در راه و محل وقوع آن محاسبه می شود پس از تعیین مکان و بزرگی زمین لرزه، سناریوهای از پیش تدوین شده و قراردادی، ارزیابی شده و سامانه مرکزی، هشدار خطر مربوطه را صادر می‌کند (عباسی و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۸. اختلاف زمانی دریافت و آشکارسازی امواج لرزه ای P و S روی یک نمونه نگاشت (عباسی و همکاران، ۲۰۱۰)

زامبرونو و همکارانش[2](۲۰۱۶)، در مقاله‌ای تحت عنوان" فناوری اینترنت اشیاء اعمال شده به یک سیستم پیش‌بینی و هشدار زمین لرزه" همانند شکل نه یک معماری سلسله مراتبی از گوشی‌های هوشمند را برای به دست آوردن اطلاعات لرزه‌ای در زمان واقعی ارائه داده‌اند. این پژوهش جهت ارائه راه حلی برای دریافت اطلاعات لرزه‌ای کشور اکوادور، با میانگین تعداد شش زمین لرزه در روز انجام گرفته است. آنها در این پژوهش از فناوری‌های زیر مجموعه اینترنت اشیاء مانند چارچوب توانمند ساز سنسورهای تحت وب[3] و پروتکل ارتباطی اینترنت اشیاء با نام MQTT[4] جهت دست‌یابی به یک سیستم هشدار اولیه که قادر است تا حداکثر دوازده ثانیه حداکثر اوج لرزه‌ای را در منطقه از طریق گوشی‌های هوشمند پیش‌بینی کند، بهره بردند. این سیستم توسط یک شبکه حسگر بی سیم پشتیبانی می‌شود و اجزای اصلی آن، الزامات و تصمیمات طراحی توصیف شده است. سیستم مذکور زمان و تجزیه و تحلیل فضایی را مورد بررسی قرار داده، ساختار دقیق و قابل تنظیم داشته و سازگاری آن با ویژگی‌های منطقه جغرافیای مناسب است (شکل ۹).

چهار سامانه‌ای که باید در ایران مورد استفاده قرار گیرد، سامانه هشدار سریع زلزله، سیستم هشدار شدت زلزله، سامانه تخمین خسارات و تلفات و سیستم هشدار پس از زلزله است که اینها دارای زمان‌بندی دقیق برای انجام کار هستند. عملکرد مورد انتظار از این سیستم در بهترین شرایط این است که طی دو ثانیه از محل تشخیص زلزله هشدار ارسال شود. از سویی اولین پیام هشدار به صورت تخمینی می‌تواند در حدود چهار ثانیه قدرت و شدت زمین‌لرزه را نشان دهد و اگر بخواهیم این چهار ثانیه را با هشدار آژانس هواشناسی ژاپن مقایسه کنیم، می‌بینیم که آنها در طی ۱۰ ثانیه هشدار را ارسال می‌کنند و از این‌رو سیستم فعلی که برای ایران نصب شده از سیستم ژاپن بهتر عمل خواهد کرد. البته در ژاپن

1. Realtime
2. A.M. Zambrano, I. Perez, C. Palau, M. Esteve
3. Sensor Web Enablement Framework (SWE)
4. Message Queue Telemetry Transport

سه گروه برای امر تشکیل می‌شود. یکی مسئول پردازش اطلاعات، دیگری استفاده کاربردی و سومی نیز ایجاد آمادگی عملیاتی است (طحام و سوگیو ایماموراء ۱۳۹۴).

اما چگونه عملکرد لایه محاسبات می‌تواند باعث بهبود فرایندهای سامانه هشدار سریع شود؟ نکته این است که آیا معماری سه لایه اینترنت اشیاء مه محور، توانایی پاسخگویی به سه مؤلفه مهم چرخه سامانه هشدار سریع یعنی اندازه‌گیری، تصمیم و عمل را دارد یا خیر؟ برای پاسخ به این سؤال به بررسی پتانسیل لایه‌های معماری سه لایه اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه در پژوهش‌های مرتبط می‌پردازیم. اساس کار سامانه هشدار خطر زمین لرزه بر پایه رفتارسنجی و کنترل این پدیده در منطقه هدف است، که پایش نامیده می‌شود (لی و اسپینوزا، ۱۹۹۶). بخش‌های گوناگون یک سامانه شامل ایستگاه‌های لرزه‌نگاری برخط، تجهیزات تله- متری برای برقراری ارتباط و انتقال داده‌ها، مرکز دریافت کننده داده‌های برخط، پردازشگر مرکزی و ابزارهای ارتباطی با کاربر می‌باشند. تمامی سامانه‌های هشدار زمین‌لرزه باید به گونه‌ای طراحی شود که قدرت پیش‌بینی و تشخیص سریع زمین‌لرزه را داشته باشد و تمام مراحل مدیریت نیز به صورت خودکار انجام پذیرد؛ زیرا قضاوت انسان ممکن است زمان‌بر و آمیخته به خطا باشد.

برخی از کاربردها و فواید مهم استفاده از سامانه تشخیص و هشدار سریع زلزله به قرار زیر است:

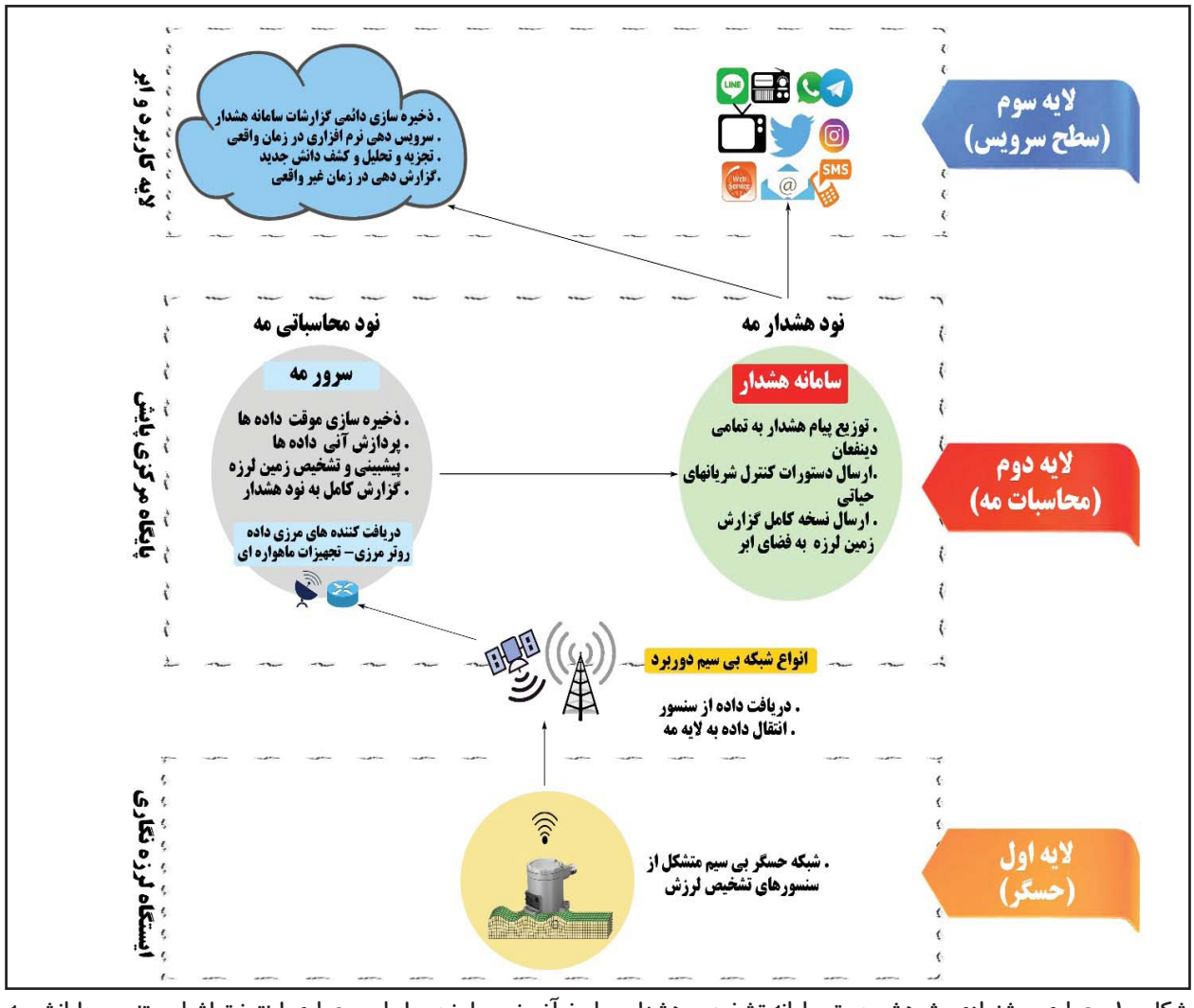
- کنترل شریان‌های حیاتی نظیر: آب، برق، گاز، مترو، بزرگراه‌ها، تونل‌ها، راه آهن، پل‌ها و غیره؛
- کنترل قطارها جهت جلوگیری از مرگ مسافران و آسیب دیدگی بیشتر تجهیزات ریلی؛
- کنترل خطوط تولید کارخانجات برای کاهش اثرات تخریب؛
- جلوگیری از حوادث ترافیکی نظیر: تصادفات شدید، چپ کردن و سقوط در دره؛
- کنترل آساسنسورها جهت جلوگیری از گیر افتادن مردم؛
- تسریع در انجام حفاظت شخصی در اماکن مسکونی، تجاری و اماکن عمومی؛
- تعلیق فعالیت‌های در حال انجام به منظور کاهش اشتباه‌های هولناک نظیر: عمل‌های جراحی خیلی حساس و قطع عملیات فرودگاه‌ها؛
- اعلام هشدار به جلوگیری از آسیب دیدگی در انجام کارهای با ریسک بالا، نظیر: پاکسازی شیشه‌های ساختمان‌های بلند مرتبه و برج‌ها به شیوه معلق؛
- تخلیه زود هنگام اماکن آموزشی و سالن‌های گردهمایی جهت حفظ جان دانش‌آموزان، اساتید، پرسنل و غیره.

یافته‌ها

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که در مدیریت بحران ناشی از بلایای طبیعی نظیر زلزله، مهمترین عامل تعیین کننده، که نقشی حیاتی در جلوگیری از خسارات جانی و مالی ایفا می‌کند، متغیر زمان است. بهترین مثال در این زمینه را می‌توان سامانه هشدار سریع لرزه‌ای مکزیک دانست که در زلزله ۸٫۱ ریشتری سال ۲۰۱۵ که در شهر بیست میلیون نفری مکزیکوسیتی رخ داد، توانست جان میلیون‌ها نفر را در کمتر از یک دقیقه نجات دهد. این سیستم هشدار سریع شامل بیش از ۸۲ هزار سنسور لرزه‌ای است که در فعال‌ترین مناطق زلزله خیز مکزیک جاگذاری شده است و می‌توان آن‌را یکی از پروژه‌های اولیه شبیه به اینترنت اشیاء در حوزه مدیریت بحران دانست.

همچنین یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که در حال حاضر مناطق زلزله خیز کشور ایران، مجهز به سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زلزله نبوده و اخبار جسته و گریخته در این رابطه نشان از وجود تعداد محدودی ایستگاه لرزه‌نگاری مجهز به سنسورهای شتاب سنج که بیشتر در گسل‌های شمال تهران کار گذاشته شده‌اند، می‌باشد و به هیچ سیستم هشدار سریعی متصل نیستند.

از این‌رو با توجه با مواردی که در پیشینه تحقیق مطرح شد و همچنین با بهره‌گیری و الگوبرداری از پروژه‌های موفق مطرح شده در کشورهایی نظیر ژاپن، مکزیک، آمریکا و غیره، و در راستای پاسخ‌گویی به سؤال و تأمین اهداف تعیین شده در این پژوهش، معماری‌ای بومی جهت طراحی، ایجاد و پیاده‌سازی سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زمین لرزه، بر مبنای معماری اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه مطابق با شکل ده ارائه می‌گردد.



شکل ۱۰. معماری پیشنهادی پژوهش جهت سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زمین لرزه بر اساس معماری اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه

روش کارکرد معماری پیشنهادی تحقیق

چگونگی کارکرد هر طرح اجرایی شده مبتنی بر معماری فوق و الگوی ذکر شده جهت پیاده‌سازی آن به شرح ذیل است:

لایه اول(حسگر): در ابتدا موج P توسط دستگاه‌های لرزه نگاری یا سنسورهای لرزش موجود در یک شبکه حسگر بی‌سیم تشخیص داده می‌شود.

مرز لایه اول و دوم(ارتباطات): داده‌های حاصل از این تشخیص، توسط کانال‌های ارتباطی بی‌سیم برد بلند نظیر: شبکه‌های ارتباطی گسترده بی‌سیم کم مصرف، ماهواره‌ها، شبکه‌های سلولی و ... به مرکز پیش‌بینی و پایش زمین‌لرزه ارسال می‌شود.

لایه دوم (میان افزار): داده‌های دریافتی از کانال‌های ارتباطی به عنوان ورودی‌های نود محاسبات مرکز پایش محسوب شده و با بهره‌گیری از فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، سیستم خبره، سیستم تصمیم‌گیر، سیستم داده کاو و غیره به سرعت تجزیه و تحلیل شده و پارامترهایی نظیر بزرگا، مکان، شتاب، شدت، آسیب‌پذیری و غیره را مشخص و به صورت آنی آن‌را برای نود هشدار موجود در همین لایه ارسال می‌کنند. سامانه هشدار مقیم در مرکز پایش کار خود را آغاز کرده و با بهره‌گیری از فناوری‌ها و تکنیک‌هایی نظیر عامل‌های هوشمند، وب معنایی و ... اقدام به انجام فرایندهایی نظیر:

- ارسال فرمان‌های از پیش تعیین شده جهت سامانه‌های حمل و نقل و کنترل شریان‌های حیاتی (اتصالات ماشین به ماشین)[1] مانند بستن خودکار شیرهای اصلی گاز، آب، نفت، غیره؛
- به صدا درآوردن زنگ‌های خطر و نمایش‌های تصویری با

1. Machine to Machine

مضمون هشدار زلزله، جهت انواع اماکن عمومی و خصوص؛

- ارسال پیام‌های هشدار تعریف شده برای حاکمیت، دولت، سازمان‌های امدادرسان و پشتیبان و به طور کلی همه دی‌نفعان از پیش تعیین شده این سامانه؛
- ارسال یک نسخه کامل به همراه تمام جزئیات از هشدار اخیر به فضای ابر در لایه سوم.

مرز لایه دوم و سوم (ارتباطات): این میان لایه، وظیفه ارسال فرمان‌های کنترلی و پیام‌های هشدار بر یک بستر ارتباطی بسیار ایستای میان برد و برد بلند، نظیر: شبکه‌های گسترده بی‌سیم کم مصرف، ماهواره‌ها و شبکه‌های سلولی را بر عهده دارد.

لایه سوم (کاربرد): این لایه شامل دو بخش است. بخش کاربرد و بخش ابر.

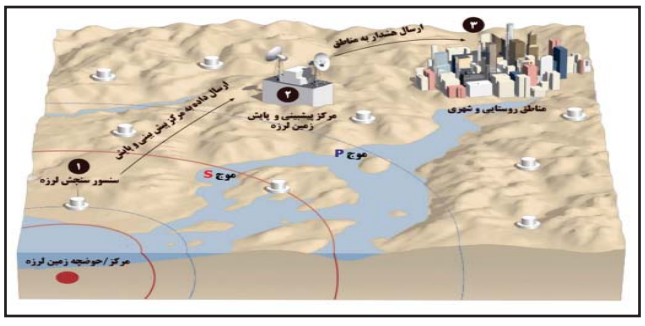
بخش کاربرد به صورت بلا درنگ:

- تمامی سامانه‌ها و سرویس‌هایی که برای دریافت و باز پخش پیام هشدار قابل تعریف باشند، نظیر: سرویس پیام‌کوتاه، سامانه‌های تحت وب، انواع کانال‌های ارتباطی فضای مجازی (اینستاگرام، تلگرام، لاین، توییتر، گوگل پلاس و غیره)، سرویس ایمیل، رادیو و تلویزیون؛
- تمامی دستگاه‌ها و کنترلرهایی که قابلیت دریافت فرامین و دستورات کنترلی از قبل تعیین شده مرکز هشدار را داشته و بتواند واکنش مناسب با فرامین صادر شده از طرف مرکز هشدار را به اجرا در آورد.

بخش سرویس‌های ابری:

- ذخیره‌سازی دائم تمام گزارش‌های آنی مربوط به زلزله‌نگاری جهت بهره‌برداری در آینده؛
- سرویس‌دهی نرم‌افزاری جهت اموری نظیر: داده‌کاوی و تجزیه و تحلیل رکوردهای ثبت شده و موجود از گذشته، جهت کشف دانش جدید درحوزه زلزه‌شناسی و زلزله‌نگاری؛
- پاسخگویی سریع به درخواست‌های افراد و سازمان‌های ذی‌ربط جهت گزارشات مدیریتی.

همچنین در شکل یازده پیشنهاد چگونگی پیاده سازی معماری پیشنهادی پژوهش در کاربرد واقعی نشان داده شده است.



شکل ۱۱. الگوی پیاده سازی معماری پیشنهادی پژوهش

لازم به ذکر است که از بین معماری‌های پایه و مرجع در زمینه فناوری اینترنت اشیاء، معماری پیشنهادی فوق بر مبنای معماری سه لایه ارائه شده توسط شرکت سیسکو در سال ۲۰۱۵ که در آن برای اولین بار محاسبات مه[1] در نزدیکی لایه اول جهت سیستم‌های هشدارسریع[2] را مطرح کرد، طراحی شده است.

تجزیه و تحلیل موارد مطرح شده در این بخش از مقاله نشان می‌دهد که معماری اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه، پتانسیل ایجاد و پشتیبانی از یک سامانه هشدار و پاسخ آنی زمین لرزه را داشته و در صورت ایجاد و پیاده‌سازی منجر به کاهش خسارات جانی، مالی شده و فشارهای فرهنگی و اجتماعی ناشی از بروز این خسارات را از دوش متولیان بر می‌دارد. همچنین پیاده‌سازی این سامانه گامی مثبت در جهت محقق سازی مدیریت بحران یکپارچه[3] خواهد بود.

نتیجه گیری

بر مبنای اهداف فرعی تعیین شده در این پژوهش، ابتدا سامانه هشدار سریع، چارچوب و چرخه فرایندی آن معرفی و در ادامه معماری اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه، جهت پوشش‌دهی جنبه‌های عملکردی سامانه‌های هشدار و پاسخ سریع: پیش، هنگام و بعد از وقوع زلزله بررسی شد.

نتایج حاصل از این بررسی‌ها منجر به پیشنهاد یک معماری بومی سه لایه، جهت پیاده‌سازی سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زلزله، بر مبنای اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه شد که در بخش یافته‌ها به طور کامل به تشریح آن پرداختیم. بر اساس یافته‌های

1. Fog Computing
2. Early Warning Systems (EWS)
3. Integrated crisis management (ICM)

حاصل از این پژوهش که یک جمع‌بندی کلی بر اساس پژوهش‌های اخیر انجام شده در ارتباط با موضوع پژوهش است، می‌توان گفت که معماری اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش مه، پتانسیل مستعدی برای ایجاد و پشتیبانی از یک سامانه تشخیص، هشدار و پاسخ آنی زمین لرزه را دارد. همچنین می‌توان ادعا کرد که معماری سه لایه اینترنت اشیاء انتخاب شده در این پژوهش قابلیت تعمیم به حوزه‌های دیگری از مدیریت بحران نظیر:

- حوادث و فوریت‌های پزشکی؛
- سامانه هشدار سریع سیل؛
- سامانه تشخیص، پیش بینی و اعلام حریق؛
- سامانه پایش لحظه‌ای اسکلت ابنیه (ساختمان، برج، پل)... دارد.

نتیجه نهایی از این پژوهش بر این مطلب دلالت دارد که: در حال حاضر به‌واسطه مهارت‌های بالای متخصصان حوزه فناوری اطلاعات و حوزه زلزله‌نگاری در کشور و همچنین وجود زیرساخت‌ها مناسب فعلی، به راحتی می‌توان سامانه‌هایی را در حوزه یکپارچه‌سازی فرایندهای مدیریت بحران با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین نظیر اینترنت اشیاء، شبکه‌های ارتباطی برد بلند کم مصرف، هوش مصنوعی، کلان داده‌ها و غیره که به عنوان مهمترین پیش‌رانهای انقلاب دیجیتالی در عصر حاضر شناخته می‌شوند، طراحی و توسعه داد.

پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده

از آنجا که سامانه‌های هشدار سریع به طور مستقیم بر نجات جان انسان‌ها متمرکز است، پیشنهاد می‌گردد در راستای محقق‌سازی ایمنی در شهرهای هوشمند با بهره‌گیری از فناوری منعطف اینترنت اشیاء، در سایر زمینه‌هایی که این سامانه می‌تواند کاربرد داشته باشد: نظیر سامانه‌های بهداشت و ایمنی اجرایی، پیش بینی، تشخیص و اطفای حریق و ... تحقیقاتی به عمل آید تا در آینده شاهد حوادثی همچون حادثه معدن یورت و پلاسکو نباشیم.

منابع

طحام، مجتبی. ایمامورا، سوگیو (۱۳۹۴). بررسی سیستمهای هشدار سریع حین بحران، زنگهایی برای هشدار. مجله طرح نو، جمعیت جهانی شهروند، سال سوم، شماره ۶۵۸، ص ۱

ویکی‌پدیا فارسی (۲۰۱۰). نحوه عملکرد سامانه هشدار سریع زلزله. بازیابی شده از وبسایت ویکی‌پدیا فارسی در تاریخ ۱۷ اسفند ۱۳۹۶ به آدرس:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/fa/6/61/Earthquake_warning_system.JPG

ویکی‌پدیا فارسی(۲۰۰۸). نمودار لرزش زمین بر حسب زمان، برای زلزله‌ای در سان فرانسیسکو در سال ۱۹۰۶ میلادی. بازیابی شده در تاریخ ۱۶ اسفند ۱۳۹۶ از وب‌سایت ویکی پدیا به آدرس:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1906_San_Francisco_earthquake_seismograph.png?uselang=fa

جهدی، رقیه. بدری پور، حسین. اسفندی، ناصر.(۱۳۹۵) . ایجاد سیستم هشدار سریع مردم محور در مدیریت بحران برای مخاطرات طبیعی، هشتمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران،
https://www.civilica.com/Paper-INDM08-INDM08_176.html

Abbassi, A., Nasrabadi, A., Tatar, M., Yaminifard, F., Abbassi, M. R., Hatzfeld, D., & Priestley, K. (2010). Crustal velocity structure in the southern edge of the Central Alborz (Iran). Journal of Geodynamics, 49(2), 68-78. https://doi.org/10.1016/j.jog.2009.09.044

Rahmani, A. M., Liljeberg, P., Preden, J. S., & Jantsch, A. (Eds.). (2017). Fog Computing in the Internet of Things: Intelligence at the Edge. Springer.p5. https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-57639-8

Grasso, F.V .(2016). Early Warning Systems: State-of-Art Analysis and Future Directions. Draft report United Nations Environment Programme (UNEP), p4,7 https://www.researchgate.net/publication/265110767_Early_Warning_Systems_State-of-Art_Analysis_and_Future_Directions

Talbot, D. (2008). A technology review published by Massachusetts Institute of Technology on 2008-05-14. Retrieved on 2008-06-29.

Gasparini, P., Manfredi, G., & Zschau, J. (2007). Earthquake early warning systems (p. 350). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72241-0

Zambrano, A. M., Perez, I., Palau, C., & Esteve, M. (2017). Technologies of internet of things applied to an earthquake early warning system. Future Generation Computer Systems, 75, 206-215. https://doi.org/10.1016/j.future.2016.10.009

Corps, M., & Action, P. (2010). Establishing Community Based Early Warning System-Practitioner's Handbook. http://repo.floodalliance.net/jspui/handle/44111/1085

Wiemer, Stefan (2016) Future challenges in real-time earthquake risk reduction.ETH Zurikh University. www.europarl.europa.eu/cmsdata/130582/RealTimeRisk_Bruessel_2016_Wiemer.pdf

Meier, M. A. (2015). Advancing Real-Time Seismic Risk Mitigation: Probabilistic Earthquake Early Warning and Physics Based Earthquake Triggering Models (Doctoral dissertation, ETH Zurich). https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.../eth-48767-02.pdf

Alphonsa, A., & Ravi, G. (2016, March). Earthquake early warning system by IOT using Wireless sensor networks. In Wireless Communications, Signal Processing and

Networking (WiSPNET), International Conference on (pp. 1201-1205). IEEE. DOI: 10.1109/WiSPNET.2016.7566327. http://ieeexplore.ieee.org/document/7566327/

Fan, Y. J., Yin, Y. H., Da Xu, L., Zeng, Y., & Wu, F. (2014). IoT-based smart rehabilitation system. IEEE transactions on industrial informatics, 10(2), 1568-1577. DOI: 10.1109/TII.2014.2302583. http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6722995/

Jiang, L., Da Xu, L., Cai, H., Jiang, Z., Bu, F., & Xu, B. (2014). An IoT-oriented data storage framework in cloud computing platform. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10(2), 1443-1451. DOI: 10.1109/TII.2014.2306384. http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6742584/

Nakao, M., Onogi, M., Sugiyama, K., Hayashi, T., & Sakuramoto, H. (2008). Emergency information broadcasting distribution system. NTT DoCoMo Technical Journal, 9(4), 4-10. https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/tech/main/emergency_info/vol9_4_04en.pdf

Glantz, M. H. (2003, October). Usable science 8: early warning systems: do's and don'ts. In Report of workshop (pp. 20-23).