

**سیستم پشتیبان تصمیم گیری پویا بر اساس اطلاعات جغرافیایی و شبکه های اجتماعی موبایل:**

**مدلی برای کاهش ریسک سونامی در پادانگ، اندونزی**

**چکیده**

در شهرستان‎های ساحلی، جمعیت و ملک در مناطق کوچک متمرکز شده است که دارای منابع فراوان و حمل‌ونقل مناسبی هستند. اما خطرات حاصل از سونامی همواره این مناطق را تهدید می‏کند، همانند آنچه در سونامی سال 2004 و 2010 در اندونزی اتفاق افتاد. شهروندان مناطق ساحلی به هنگام رخداد سونامی نیاز دارند تا به زودی به مکانی امن نقل‌مکان کنند. زمان تخلیه برای آن‌ها بسیار مهم است، اما در عمل این زمان به علت فرآیند پیچیده انتقال به تأخیر می‎افتد. در طی سال‎های اخیر، اطلاعات مکانی به عنوان منبع مهمی در راه‎اندازی سیستم‎های پشتیبان تصمیم‎گیری تبدیل شده است تا سریعاً و به شکلی اورژانسی پاسخگو باشند و همچنین تلفن‎های هوشمند به ابزار ارتباط اجتماعی اولیه در مواقع اضطراری تبدیل شده است. این مقاله به تشریح و طراحی و توسعه یک نمونه اولیه سیستم اطلاعات جغرافیایی، سیستم پشتیبان تصمیم‎گیری پویا بر اساس رسانه‎های اجتماعی (GIS-SM-DDSS) پرداخته است که اطلاعات جغرافیایی را با تکنولوژی توئیتر برای فعال کردن شبکه‎های اطلاعاتی خودسازمان‎ده در شرایط اضطراری جمع‎آوری می‏کند. بازیگران عبارتند از سیاست‌گذاران دولت، مدیران سیاست، رهبران اجتماعی دارای نفوذ بالا در جوامع محلی و مجریان سیاست و شهروندان شهری تحت تأثیر حوادث. توابع سیستم اصلی شامل تجزیه و تحلیل خطر بلایای پویا، انتشار به موقع استراتژی تخلیه به جامعه ساکنان و تشخیص خطر زیست‌محیطی در زمان واقعی و پشتیبانی تخلیه است. این سیستم به عنوان یک آزمایش میدانی در پادانگ، اندونزی برای کمک به مردم در زمان رخداد سونامی طراحی شده است. این سیستم با ارزیابی مسیرها و انتقال مسیر انتقال بر روی نقشه، این اطلاعات را در اختیار رهبران همسایه‎های محلی که در معرض سونامی هستند، قرار می‎دهد. هر رهبر محله، پس از tweet کردن، جزئیات مسیر را به شهروندانی که در توئیتر آن‌ها را دنبال می‎کنند می‎رسانند. روش پیشنهادی با راهنمایی زمان واقعی تخلیه در جوامعی که در معرض خطر هستند، از استراتژی تخلیه در طول فاجعه حمایت می‎کند.

**کلمات کلیدی:** سیستم پشتیبان تصمیم‎گیری پویا، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، توئیتر، نقشه مسیر تخلیه اورژانسی، دستیابی به اطلاعات دقیق رهبر، انتخاب، حمل‌ونقل مبتنی بر پوشش، پخش پیام، پادانگ، اندونزی، خطر سونامی.

**1. مقدمه**

در هر رویداد سونامی، ساکنان شهری در شهرستان‏های ساحلی در معرض خطر بوده و نیاز به تخلیه مکان دارند. دولت محلی مسئولیت توسعه یک نقشه خطر سونامی و طراحی سیاست‏هایی را پیش از فاجعه برای هدایت فرآیند تخلیه (Billa et al., 2011) بر عهده دارد. زیرساخت زیر آبی آلمان، که در سونامی اندونزی در سال 2010 مورد استفاده قرار گرفت (Comfort et al., 2013) برای تهیه یک سیستم هشدار زمان واقعی طراحی شده است. اطلاعات هشدار، ابتدا به Meteorologi, Klimatologi, Dan Geoﬁsika(BMKG) و سپس به آژانس هواشناسی و سپس به آب و هواشناسی و ژئوفیزیک برای تفسیر اجتماعی ارسال می‏گردند. این اطلاعات سپس به عموم مردم منتشر می‎شوند. این گام‎ اضافی نیاز به زمان بیشتری برای اعتبارسنجی در زمان محدود برای هشدار و تخلیه دارد. این مقاله رویکرد متفاوتی را به منظور کاهش زمان حسابرسی برای انجام مراحل مورد نیاز سیستم‎های هشدار سونامی و انتشار اطلاعات هشدار و انتقال ارائه کرده است. اصل اساسی روش پیشنهادی توسعه سیستم هشداردهنده با تجمیع یک GIS با سنسور زیرساخت زیر آبی و رسانه‏های اجتماعی است تا پیام هشدار معتبری را به شهروندان جامعه به طور مستقیم . از مرکز محلی عملیات اضطراری (EOC) به منظور تخلیه مکان‎ها ارسال می‎کند.

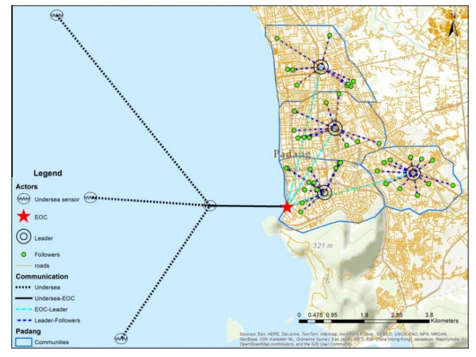
فناوری اطلاعات ابزاری امیدوارکننده برای سیستم پشتیبان تصمیم‎گیری در فعال کردن آگاهی و اقدامات عمومی در کاهش خطر فاجعه است. در بین ابزارهای فناوری اطلاعات در حال حاضر، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در خطر بلایای طبیعی (Sinaga et al., 2011; Bakar Sambah and Miura, 2014)، مدیریت ریسک (El-heishy et al., 2012)، مدلسازی سیستم پشتیبان تصمیم‎گیری پویا (Cova et al., 2011; Zerger and Smith, 2003) و سناریو شبیه‏سازی (de Silva and Eglese, 2010) استفاده می‎گردد. GIS به ویژه برای تخلیه جامعه در زمان فاجعه مفید است که از مردم به عنوان سنسور برای ساخت شبکه یا پایگاه داده مدیریت ریسک استفاده می‏کند و می‎تواند به صورت زمان واقعی پاسخ دهد (Laituri and Kodrich, 2008) و قبل از فاجعه، تخلیه اضطراری منطقه برای پیشگیری از فاجعه (Ye et al., 2012) و همچنین مسیریابی پویا را (Chitumalla et al., 2008) برای جوامع با تراکم جمعیت بالا با استفاده از تلفن‏های هوشمند انجام می‎دهد (Oxendine et al., 2012).

شهروندان در جوامع در معرض خطر به شدت نیاز دارند که به شبکه‎های اجتماعی و فنی برای برقراری ارتباط و سازمان‌دهی جمعی در حوادث اعتماد کنند. رسانه‎های اجتماعی مانند توئیتر، خدمات اطلاعات عمومی را ارائه می‎دهند. از جمله انتشار اطلاعات هشداردهنده از دولت به مردم (Chatﬁeld et al., 2013) و امکان ارتباط بین اعضای جوامع در معرض خطر را در وضعیت اورژانسی فراهم می‎سازد (Hossmann et al., 2011). استفاده با دستگاه تلفن همراه با برنامه‎های کاربردی خوب، شهروندان می‎توانند به صورت پویا بخشی از شبکه‏های اطلاعاتی خودسازمان‎ده باشند (Wukich and Steinberg, 2013) که می‎توانند تغییرات قابل‌توجهی را در رفتار و مدیریت فاجعه در جوامع در معرض خطر (Lu and Brelsford, 2014) ایجاد کنند. استدلال شده است که استفاده از شبکه‏های اطلاعاتی خود سازمان ده و حمایت از سیستم‎های هشداردهنده قابل‌اطمینان، منجر به کاهش عدم اطمینان در شرایط بحرانی و مسیریابی امن در جوامع در معرض خطر می‎شود (Umihara and Nishikitani, 2013). مسیریابی خوش‌بینانه (OR) در شبکه‏های ad-hoc فناوری بی‌سیم در حال ظهوری است که از ارتباطات دستگاه به دستگاه و سیستم‏های خودسازمان‎ده حمایت می‏کند. شبکه‎های ad-hoc کلاسی از شبکه‏های بی‌سیم است که نیازی به وجود یک زیرساخت سیمی ندارد و مانند تلفن همراه و یا نقاط دسترسی بی‌سیم، برای رسیدن به ارتباطات امن بین گره‏های مختلف تلاش می‎کند. چنین ویژگی مهمی تنها مزیت آن نیست، بلکه در شرایط اضطراری که در آن تجزیه ارتباطات ضروری به نظر می‏رسد، بلایای طبیعی مانند سونامی را نیز حمایت می‏کند. در حالت خوش‌بینانه، شبکه‏های ad-hoc چندگامه، انتقال بسته بر روی مسیرهای ارتباطی موجود، امکان انتشار سریع اطلاعات در میان دستگاه‏های بی‌سیم همسایه را (Biswas and Morris, 2004) ممکن می‏سازد.

در این مقاله ما به دنبال بهره‏برداری از ارزش واقعی و بالقوه رسانه‏های اجتماعی و بی‌سیم در مسیریابی خوش‌بینانه برای اتصال اعضای جامعه برای انتشار اطلاعات با توسعه یک سیستم پشتیبان تصمیم‏گیری مدیریت بحران هستیم. در پایان، ما یک چارچوب ادغام GIS و استفاده از تکنولوژی توئیتر را در روند رخداد سونامی برای اطلاع‌رسانی به مردم جامعه پیشنهاد کرده‏ایم (Middleton et al., 2014). GIS-SM-DDSS اطلاعات زمانی و فضایی را که شامل نوشته‏های دریافتی از اعضای جوامع در معرض خطر است جمع‌آوری کرده و تبادل اطلاعات بین دستگاه‏های تلفن همراه را برای حمایت از تصمیم‏گیری جمعی و اقدامات عمومی اولیه برای مدیریت فاجعه امکان‌پذیر می‏سازد.

وقتی که یک سونامی نزدیک شناسایی می‏گردد، سنسور زیر آب و سیستم هشدار مبتنی بر فیبر نوری، هشداری را در جهت رخداد سونامی صادر می‏کنند. در پاسخ، مدیران اورژانس (EM) نقشه مسیر تخلیه را با استفاده از DDSS و توئیت به موقع وضعیت تحت خطر ایجاد کرده و به رهبران جامعه ارسال می‏کنند. با استفاده از ارتباطات بی‌سیم بین دستگاه‏های موبایل، رهبران جامعه نقشه مسیر تخلیه را به پیروان خود در جهت هدایت و کمک به آن‌ها در تخلیه مکان و انتقال به پناهگاه امن ارسال می‎کنند. این فرآیند در شکل 1 نشان داده‌شده است. جامعه رهبران در مناطق مختلف شهر پادنگ با دایره آبی رنگ نشان داده‌شده‎اند و پیروان آن‌ها نیز با دایره سبز رنگ نشان داده‌شده است. در طول این تعامل، تغییرات محیطی بر روی این مسیر تخلیه تأثیر دارند، مانند فروپاشی یک پل در مسیر سرپناه در زمان واقعی توسط مدیران اورژانس و یا اعضای جامعه باید به ساکنان منتقل گردد. این اطلاعات باید همراه با مسیر انحرافی که آن‌ها را به سمت پناهگاه امن هدایت می‏کند ارسال گردند.

ادامه مقاله به این صورت سازمان‌دهی شده است: بخش 2 تمام معماری سیستم و ارتباطات کاربر را در یک شبکه اجتماعی بر اساس پوشش احتمالی حمل‌ونقل در مسیریابی نشان می‎دهد. بخش 3 رهبر جوامع را توضیح می‎دهد. بخش 4 ساختار لایه منطق سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری پویا را توصیف می‏کند. بخش 5 با استفاده از خطر سونامی در پادنگ اندونزی به عنوان یک مطالعه موردی برای نشان دادن کاربرد بالقوه DDSS برای هشدار سونامی و تخلیه ارائه شده است.



شکل 1. نظارت و شبکه‌های اجتماعی در منطقه مورد مطالعه

**2. زیرساخت‎های فرصت‌طلب برای مدیریت فاجعه سونامی**

معماری GIS-SM-DDSS در شکل 1 نشان داده‌شده است. GIS-SM-DDSS از سه نوع اصلی بازیگران حمایت می‎کند. یعنی سیاست‏گذاران که استراتژی تصمیم‎گیری و برنامه‏ریزی برای مدیریت تخلیه را انجام می‎دهند. هماهنگ‌کننده سیاست‏های ارتباطی که اطلاعات مربوط به تخلیه را مدیریت می‎کنند و مدیران موارد اضطراری که مستقیماً بر فرآیند تخلیه نظارت می‎کنند. در شرایط اضطراری این بازیگران باید بتوانند در زمان محدود باهم ارتباط برقرار کرده و نتیجه‏گیری کنند.

نمایندگان سازمان‎های مرتبط در سطوح بالاتر در شکل 2 نشان داده‌شده است. توابع اصلی آن‌ها شامل مدیریت منابع عملیاتی و سیاست تصمیم‎گیری در مواقع اضطراری است. آن‌ها به محض دریافت هشدار سونامی، سیاست‌گذاران دولت که توسط DDSS مدیریت می‎شوند (شکل 2)، سیاست طراحی و توسعه برای هدایت تخلیه عمومی را با در نظر گرفتن اطلاعات ذخیره‌شده در مورد آسیب‌پذیری عمومی و شبکه‌های اجتماعی انجام می‎دهند.

مدیران اورژانسی، مسئول توزیع اطلاعات تخلیه به مردم و رسانه‎ها هستند که در چارچوب GIS-SMDDSS به ارزیابی خطر سونامی بالقوه و شناسایی مسیرهای تخلیه با استفاده از نقشه فضایی راه‎ها می‎پردازد. آن‌ها در این زمینه از طیف وسیعی از ارتباطات از جمله توئیتر استفاده می‎کنند.

در طی تلاش‎ها به منظور رسیدن به ارتباطی قابل‌اطمینان، هدف مدیران، جامعه رهبران محلی بود تا بتوانند به راحتی مسیر تخلیه تا پناهگاه تا در اختیار آن‌ها قرار دهند. رهبران محلی این اطلاعات را به پیروان همسایه خود ارسال می‏کنند که آن‌ها هم به نوبه خود، این اطلاعات را به افراد دیگر ارسال می‏کنند. این روند همچنان ادامه دارد تا سیستم بتواند اطلاعات موجود را برای اقدام جمعی در اختیار همه افراد قرار دهد (شکل 2). اگر همسایگان محلی تحت تأثیر سونامی باشند، رهبران محلی هشدار را برای آن‌ها ارسال می‎کنند.

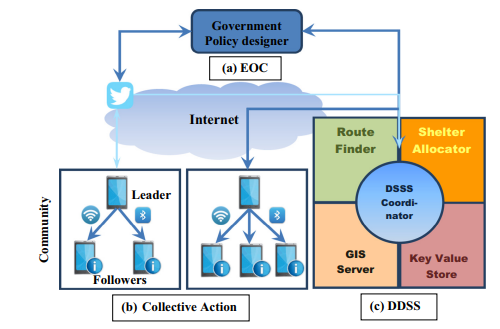
انتقال سریع اطلاعات مهم از دولت به سیاست‌گذاران و سپس به مدیران و مردم، به طور پیوسته توسط شبکه‌های اجتماعی از جمله توئیتر و شبکه‌های بی‌سیم در میان دستگاه‎های تلفن همراه (شکل 2) انجام می‎گیرد. تعامل بین همه ذینفعان، مدیریت بحران را بهبود می‎بخشد. علاوه بر این، فرآیند بازخورد چند مسیره، اطلاعات زمان واقعی را برای سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری به منظور افزایش انعطاف‎پذیری سیستم می‎دهد.

**3. توزیع اطلاعات سونامی مبتنی بر رهبر، آگاه از اجتماع**

شبکه‎های اجتماعی چارچوب انعطاف‎پذیر و مقرون به صرفه‎ای را برای تبادل پیام و انتشار محتوا در میان اعضای یک جامعه محلی تهیه می‎کند. توانایی استفاده از مسیریابی همتا به همتا و ارتباطات بی‌سیم برای توزیع هشدار سونامی و اطلاعات مربوط به تخلیه در مدیریت بحران بسیار مهم است. بدون تکیه به زیرساخت اختصاصی، انتشار محتوا در نواحی بزرگ جغرافیایی می‎تواند قابلیت اطمینان را کاهش دهد. چالش مهم توسعه یک رویکرد مقیاس‌پذیر و مقرون به صرفه برای رسیدن به جامعه انتشار محتوا است. برای این منظور ما یک روش رهبری برای توسعه یک اجتماع آگاه را که مبتنی بر انتشار محتوا در شرایط بحران است را ارائه کرده‎ایم.

ایده اصلی از لحاظ آگاه از اجتماع، انتشار محتوای زیرساخت برای تعیین رهبران منتخب در یک جامعه‎ی در معرض خطر به عنوان حامل اطلاعات سونامی و مهار قدرت اجتماعی است. این اطلاعات پس از دریافت توسط رهبران، توسط پیروان آن‌ها نیز دریافت می‎گردد. تحقق این هدف منجر به دو موضوع چالش‌برانگیز می‎گردد که نیاز به تحلیل دارند.

نخستین مرحله مربوط به چگونگی انتخاب رهبران است، درحالی‌که دومی به دنبال روشی برای انتشار قابل‌اعتماد و مقرون به صرفه اطلاعات است. در ادامه، ما ابتدا انتخاب رهبر را به عنوان فرد حامل اطلاعات مورد بررسی قرار داده‎ایم. ما سپس پروتکلی مقرون به صرفه و کارا برای انتشار اطلاعات سونامی در بین رهبران و پیروان آن‌ها در موقعیت اضطراری ارائه داده‎ایم.



شکل 2. معماری GIS-SM-DDSS

**3.1. انتخاب رهبر**

الزامات اصلی طراحی فرآیند انتخاب رهبر، شامل پوشش محلی همسایه‎ها و مقیاس‌پذیری است. به منظور دستیابی به جامعه اطلاعاتی مقیاس‌پذیر، پوشش محلی باید بهینه باشد. دستیابی به پوشش محلی مستلزم این است که هر یک از اعضای محلی، که احتمال بیشتری در انتخاب به عنوان رهبر دارد، در مدت زمان کوتاهی اطلاعات سونامی را دریافت می‎کند. قرار گرفتن در معرض یک حمل اطلاعات، منجر می‎گردد تا هر رهبر با یکی از اعضای جامعه به عنوان همکار عمل کرده و اطلاعات سونامی را انتقال دهند. این روند تا زمانی که اطلاعات به دست تمام اعضای جامعه‏ی در معرض خطر برسد، ادامه می‎یابد.

پوشش محلی به خصوص در جوامع بزرگ مسئله‎ی بسیار مهمی است. از یک طرف، تضمین قرار گرفتن اعضای جامعه در مسیر دریافت اطلاعات هشدار سونامی، نیازمند داشتن تعداد زیادی رهبر برای دستیابی به اطمینان بالا است. داشتن تعداد زیادی رهبر به عنوان عوامل انتقال اطلاعات به همسایه‌ها، تأثیر قابل‌توجهی بر روی هزینه و مقیاس‌پذیری اطلاعات سونامی دارد. برای تحلیل این مسئله و رسیدن به یک تجارت متعادل برای به حداقل رساندن حمل و به حداکثر رساندن پوشش محلی، مفهوم "وابستگی محلی" را به عنوان یک متریک در انتخاب حامل و تدوین مسئله انتخاب معرفی می‎کنیم. با معرفی این متریک، می‌خواهیم تعداد رد و بدل کردن پیام را کاهش داده و سطح پوشش محلی را به میزان مطلوبی برسانیم.

در ادامه، ما ابتدا مسئله انتخاب حداقل رهبر را به طور رسمی توصیف می‎کنیم. سپس روشی اکتشافی را برای شناسایی تعداد حداقل حاملان برای افزایش پوشش محلی ارائه می‎دهیم.

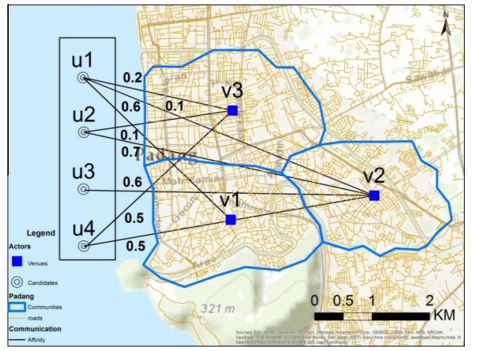
**3.1.1. مسئله انتخاب حداقل رهبر**

ما همسایگانی، مرکب از M مکان و N رهبر کاندید برای رسیدن به پوشش محلی را بررسی می‎کنیم. مؤلفه M به یک مکان فیزیکی در محله خطر تعلق دارد. اعضای جامعه شامل رهبران نامزد، این مکان‎ها را با درجه متنوعی از فرکانس ملاقات می‎کنند.

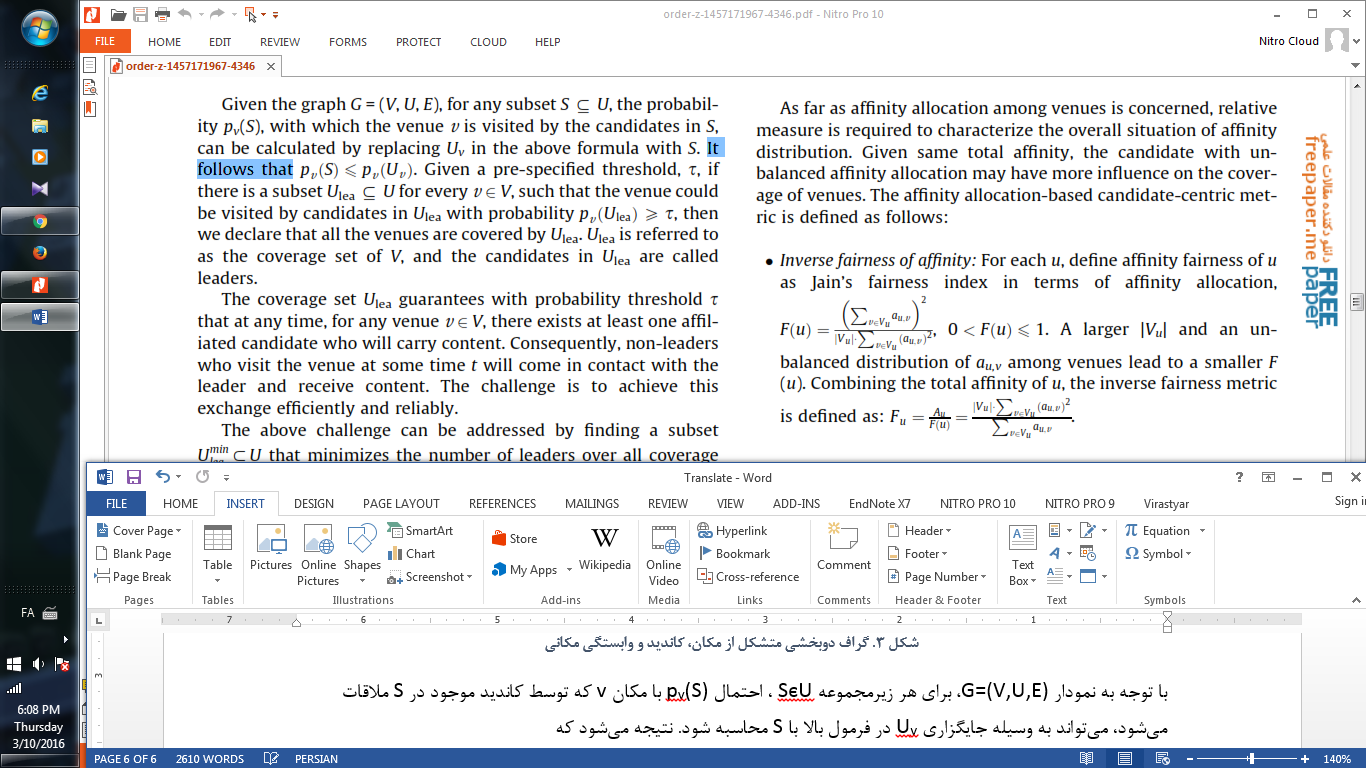
بر اساس آنچه در بالا ذکر گردید، مسئله انتخاب حداقل رهبر می‎تواند به صورت یک گراف دوبخشی بدون جهت G=(V,U,E) مدلسازی گردد. در این گراف، V(|V|=M) و U(|U|=N) و E مجموعه مکان‏ها، مجموعه کاندیدها و مجموعه یال‎ها بین مکان‏ها و کاندیدها را به ترتیب نشان می‎دهند. هر یال (u,v,au,v) بین مکان vєV و کاندید uєU با یک احتمال tgreshold است و au,vє(0,1] وزن متعلق به (u,v) را نشان می‎دهد.

در مدل ما au,v احتمال کاندید u در برابر مکان v را در هر نقطه‎ای از زمان نشان می‎دهد. در عمل au,v می‎تواند به عنوان نرخ کلی زمانی u تا v در طول مدت زمان مشاهده تخمین زده شود. چندین فاکتور می‎توانند برای محاسبه مکان کاندیدها در هر مکان استفاده شوند که شامل فرکانس ملاقات (تعداد ملاقات)، رهبری، وضعیت جامعه، دانش، اعتماد است. در گراف دوبخشی نشان داده‌شده در شکل 4، وزن به ترتیب با 20، 30، 10، 10، 10، 10 و 10 با مجموع 100 نشان داده‌شده است. این وزن‎ها می‎توانند برای محاسبه وابستگی هر رهبر کاندید ui(1=<i=<4) در هر مکان vj(1=<j=<3) استفاده شوند.

برای هر وزن vєV، مجموعه Uv={u:uєU,(u,v,au,v)єE} نشانگر مجموعه کاندیدهایی برای یک مکان v است. برای مثالی که در شکل 3 نشان داده‌شده است، Uv1={u1} و Uv2={u1,u2,u3,u4} و Uv3={u1,u2,u4}. وقتی که هر کاندیدی در Uv ، v را با احتمال au,v ملاقات می‎کند. سپس با احتمال Pv(Uv) که مکانی هست که به وسیله تمام کاندیدها می‎تواند محاسبه گردد: Pv(Uv)=1-πuєUv(1-au,v) به گونه‎ای که Pv(Uv) احتمال حداقل یک کاندید را در Uv را در v نشان می‎دهد. در ساده‎ترین مورد شکل 3، Pv1(Uv1)=0.6، Pv2(Uv2)=0.946، Pv3(Uv3)=0.64.



شکل 3. گراف دوبخشی متشکل از مکان، کاندید و وابستگی مکانی

با توجه به نمودار G=(V,U,E)، برای هر زیرمجموعه SєU ، احتمال pv(S) با مکان v که توسط کاندید موجود در S ملاقات می‎شود، می‎تواند به وسیله جایگذاری Uv در فرمول بالا با S محاسبه شود. نتیجه می‎شود که . با توجه به thresholud تعیین‌شده π، اگر زیرمجموعه UleaєU برای هر vєV است به این معنی که مکان ملاقات شده به وسیله کاندید Uled با احتمال pv(Uled)>=π است. بنابراین می‎توانیم ادعا کنیم که تمام مکان‎ها به وسیله Uled پوشش داده می‎شوند.

مجموعه پوشش Uled با احتمال π در هر زمانی و برای هر مکانی vєV تضمین شده است. در نتیجه، غیر رهبران که مکانی را در زمان t ملاقات می‎کنند، می‎توانند با رهبر در تماس بوده و محتوا را دریافت کنند. چالش موجود یافتن تغییرات کارا و قابل‌اعتماد است.

چالش فوق را می‎توان به وسیله یافتن یک زیرمجموعه که تعداد رهبران را در تمام مجموعه پوشش V حداقل می‎کند، ادرس‎دهی کرد. این مسئله به حداقل رساندن به عنوان انتخاب حداقل رهبران (MLS) می‌تواند به صورت زیر فرمول‌بندی گردد:



به گونه‎ای که pv(S) احتمال پوشش مکان v به وسیله اعضای مجموعه S را نشان می‎دهد. این احتمال می‎تواند به صورت زیر نمایش داده شود:



**3.1.2. متریک وابستگی برای انتخاب رهبر**

به طور مستقیم، کاندیدهایی که وابستگی بیشتری به مکان یا اجرای فعال‎تر بین مکان‎های مختلف دارند، باید به عنوان رهبران مناسب انتخاب شوند تا پوشش بهتری را بر روی مناطق به وجود آورند. گراف دوبخشی موجود در شکل 4 را مشاهده کنید، ما دو معیار انتخاب رهبر را شناسایی کرده‎ایم:

• تعداد بازدید مکان: برای هر uєU و Vu={u,vєV, (u,v,au,v)єE} مجموعه ملاقات شده کاندید u را نشان می‎دهد. |Vu| تعداد مکان‎های ملاقات شده است که به نودی در یک گراف مستقیم تعلق دارد. کاندیدهایی که تعداد ملاقات مکانی بیشتری دارند، درجه نود بیشتری هر دارند |Vu|.

• وابستگی کلی: برای هر u وابستگی کلی u به عنوان وابستگی آن به تمام مکان‎ها تعریف می‎شود . آشکار است که . کاندیدهایی که زمان بیشتری را در مکانی سپری می‎کنند، مقدار بالاتری در وابستگی کلی دارند.

تا آنجا که وابستگی مکانی بین مکان‏ها وجود دارد، نسبت اندازه‎گیری برای توصیف وضعیت کلی وابستگی جامعه مورد نیاز است. با توجه به وابستگی کلی، کاندیدهایی با تخصیص نامتعادل وابستگی ممکن است تأثیر بیشتری در پوشش داشته باشند. متریک کاندید مبتنی بر وابستگی به صورت زیر تعریف می‎گردد:

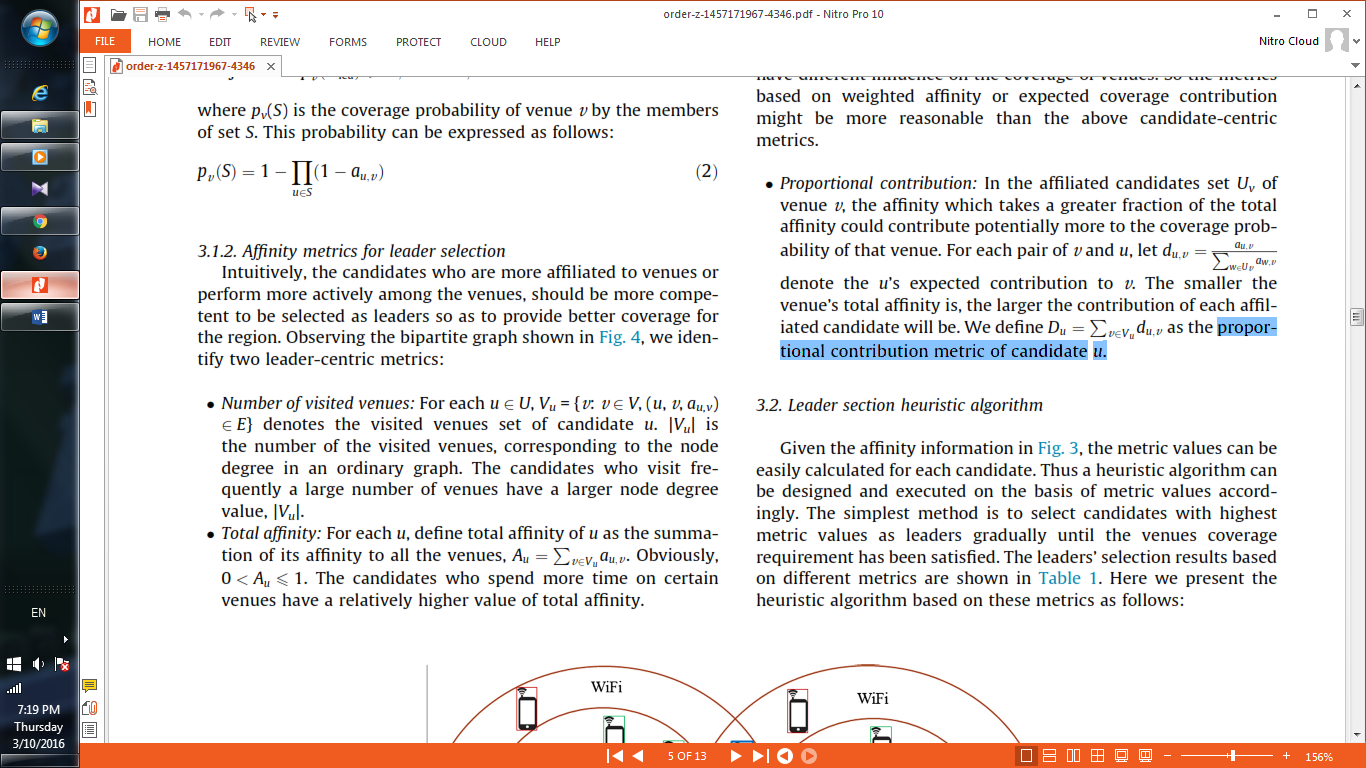
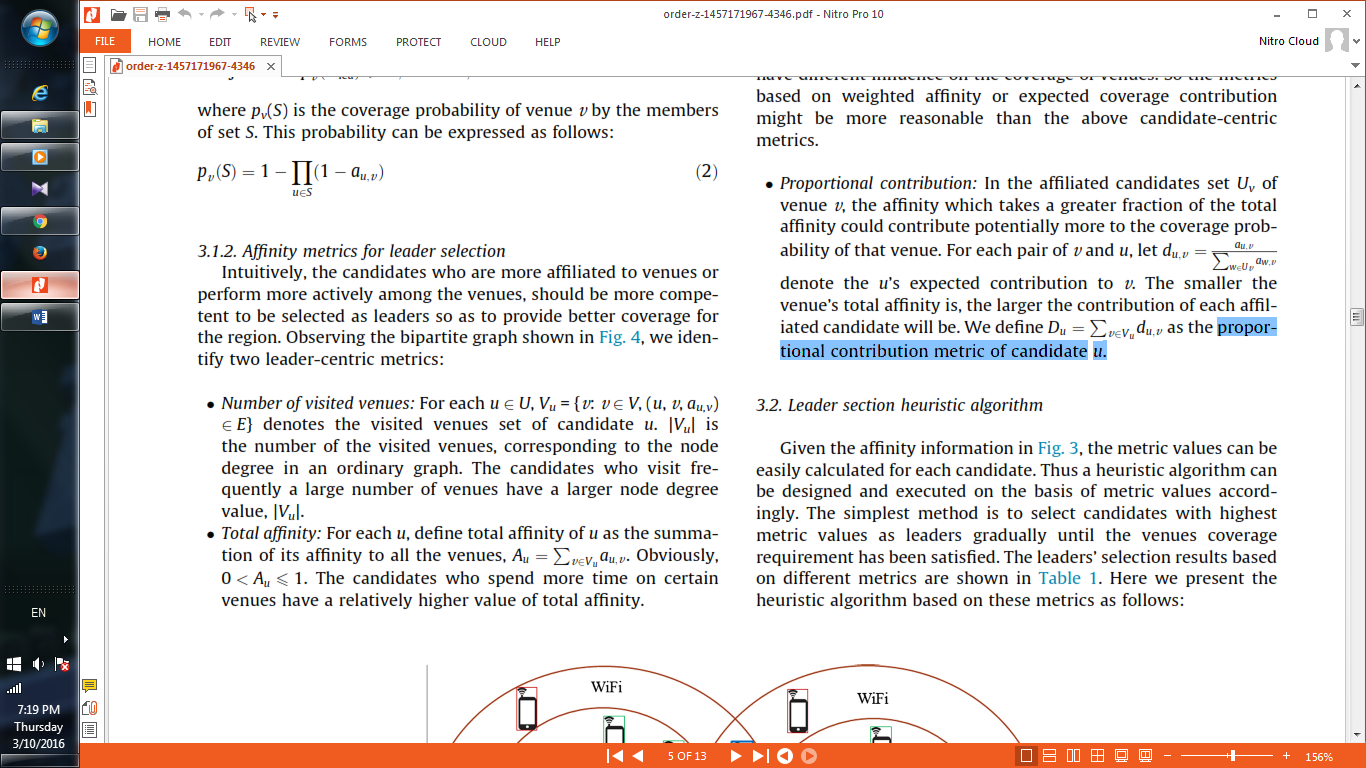
• معکوس وابستگی: برای هر u، وابستگی نامتعادل u به عنوان عدالت jain در مکان وابستگی تعریف شده است:



توزیع متعادل au,v بین مکان‎ها منجر به کاهش F(u) می‏گردد. ترکیب .وابستگی کلی u به این صورت تعریف می‎گردد:

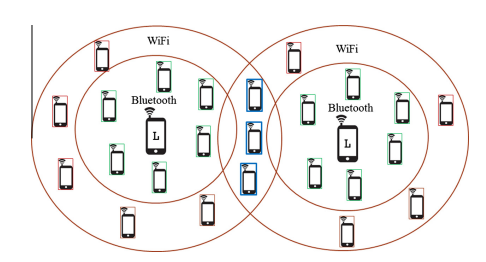


با مشاهده مکان‎ها، تعداد کاندیدهای وابسته ممکن است به طور چشمگیری برای هر محل متفاوت تغییر کند. همان طور که در شکل 3 نشان داده‌شده است، مکان v1تنها کاندید u1 را با احتمال 0.6 دارد. وابستگی برای پوشش مکان v1 ضروری است. ظاهراً وابستگی بین کاندیدها و مکان‏ها، تأثیر متفاوتی بر روی پوشش مکانی دارد. بنابراین متریک‎هایی بر اساس وزن وابستگی یا پوشش مورد انتظار ممکن است در مقایسه با معیارهای بالا مناسب‎تر باشد.

* سهم متناسب: در مجموعه کاندید وابستگی Uv، مکان v که بخش بزرگی از کل وابستگی را دارد، به طور بالقوه احتمال بیشتری دارد. برای هر جفت v و u، داریم  که مقدار مورد انتظار u را در برابر v نشان می‎دهد. ما  را به عنوان متریک متناسب با سهم کاندید تعریف کردیم.

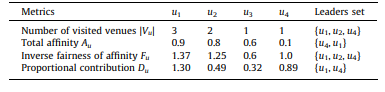
**3.2. الگوریتم اکتشافی بخش رهبر**

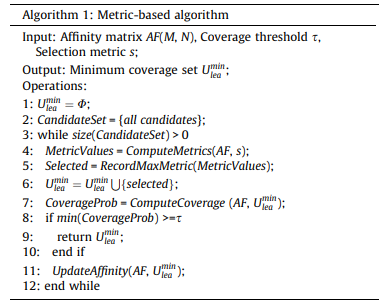
با توجه به اطلاعات وابستگی در شکل 3، مقادیر متریک می‎تواند به راحتی برای هر کاندید محاسبه گردند. بنابراین یک الگوریتم ابتکاری بر اساس مقادیر متریک طراحی و اجرا شده است. ساده‏ترین روش برای انتخاب کاندید، انتخاب کاندیدهایی با بالاترین مقادیر متریک به عنوان رهبران با بالاترین سطح پوشش است. نتایج انتخاب رهبر بر اساس معیارهای مختلف جدول 1 ارائه شده است. در اینجا ما الگوریتم ابتکاری را بر اساس این معیارها ارائه می‏دهیم. این معیارها عبارتند از:



شکل 4. سیاست‌های پخش در شبکه‌های ad-hoc

جدول 1. انتخاب رهبران بر اساس معیارهای مختلف انتخاب





تابع Computemetric() مقادیر متریک را مطابق با متریک‎های انتخاب خاصی محاسبه می‎کند که دارای پیچیدگی O(MN+N)=O(MN) است. تابع RecordMaxMetric() کاندیدها را با بالاترین مقدار در O(N) انتخاب می‎کند. مجدداً تابع ComputeCoverage() احتمال پوشش را برای هر محل با پیچیدگی O(MN) محاسبه می‎کند. تابع UpdateAfﬁnity() در سطر 11، ماتریس را با از بین بردن اطلاعات موجود در جامعه کاندید، بروز رسانی می‎کند. هدف اصلی این عملیات تطبیقی نه تنها کاهش اندازه ماتریس، بلکه تشخیص بیشتر کاندیدها برای داشتن پردازشی سریع و شناسایی کاندید بیشتر برای داشتن پوشش محلی بهتری است. این عملیات به‌روزرسانی می‎توانند در زمان O(MN) در بدترین حالت انجام شوند. لذا با توجه به حلقه بیرونی ترکیب، الگوریتم متریک مبتنی بر پیچیدگی کل اجرا می‎گردد.

**3.3. توزیع سونامی مبتنی بر پوشش**

ظرفیت اقدام جمعی جامعه (شکل 2 قسمت b)، شامل یک ویژگی قابل تمییز و انعطاف‎پذیر در مدیریت و هدایت فرآیند تخلیه است. این موارد ارتباط مستقیمی با سیستم پشتیبان تصمیم‎گیری دارد، رهبران جامعه در چارچوب GIS-SM-DDSS و اینترنت هوشمند (IOI) هستند که در آن از دانش و هوش برای حمایت از فاجعه سونامی (Huang, 2011) استفاده می‎کنند. آن‌ها به منظور تسریع عملیات هشدار دهی به عموم مردم از تکنولوژی فناوری اطلاعات و رسانه‏های اجتماعی استفاده کردند.

رهبران جامعه به عنوان هماهنگ‌کننده سیاست، اساساً به عنوان "قطب اطلاعاتی انسان" عمل می‎کنند که در داخل زیرساخت فیزیکی فناوری اطلاعات برای حمایت از تعامل و تبادل اطلاعات بین EOC و مردم قرارگرفته‌اند. یک شهر متشکل از چندین جوامع کوچک، ممکن است شامل بیش از یک رهبر اجتماعی باشد که هر یک می‎خواهند به عنوان مرکز اطلاعات عمل کنند. تکیه بر رهبران متعدد برای پوشش یک جامعه کوچک، اطلاعات توزیع‌شده توسط EOC را تضمین می‎کند. زمانی که احتمال رخداد سونامی تعیین می‎شود، مسیر تخلیه و نقشه راه به وسیله EOC تعیین می‎گردند.

رهبران جوامع نیز می‎توانند به عنوان "سنسور انسانی" شبکه‏های حسگر مبتنی بر زمین را مشاهده کرده و گزارش تغییرات را از طریق تلفن‎های هوشمند و به‌روزرسانی مسیرهای تخلیه به صورت زمان واقعی در اختیار افراد قرار دهند. آن‌ها نه تنها مشتریان سیستم‎های پشتیبان تصمیم‎گیری هستند، بلکه درباره مدیریت بحران و اجرای برنامه تخلیه به شدت به این سیستم‎ها نیاز دارند. آتش‎نشانی و پلیس به احتمال زیاد اولین سنسورهای انسانی هستند که باید گزارش سقوط پل و ساختمان و آسیب‎های وارده را در مسیر برنامه‌ریزی‌شده برای تخلیه دریافت کنند.

ساکنان شهری به عنوان مخاطبان سیاست‎های عمومی و روش تخلیه، عامل‏های اجتماعی با توانایی عمل داوطلبانه هستند. آن‌ها به سیاست‏های عمومی برای هدایت آگاهانه تصمیم‎گیری و ارائه پشتیبانی برای تشخیص خطر و اقدام جمعی موثر هستند. انتشار به موقع دستورات تخلیه به خصوص برای افراد آسیب‌پذیر مانند کودکان، زنان، معلولان خیلی ضروری و مهم می‏باشد. رهبران جوامع با آموزش پیشرفته در انتشار EOC و رساندن مسیر تخلیه به افراد، موجب انعطاف‌پذیری بیشتر راه‏کار پیشنهادی می‏گردند.

طراحی وسایل فنی برای انتشار دستورات تخلیه به جوامع شهروندان، موضوعی چالش‌برانگیز است. هنگامی که اینترنت در دسترس باشد، اعضای جوامع می‏توانند از رسانه‏های اجتماعی مانند توئیتر برای دسترسی به اطلاعات سونامی استفاده کنند. اگر اینترنت غیرقابل‌دسترسی باشد، حوادث رخ داده باعث بیش‌ترین آسیب در سیم‎ها و ارتباطات زیرساخت در شبکه‏های ad-hoc می‎گردد. ارائه یک راه‎حل مناسب برای انتشار اطلاعات و هماهنگی در میان مدیران فاجعه و اعضای جامعه می‏گردد.

جاری شدن سیل ساده‎ترین پروتکل قابل‌اعتماد برای گسترش اعتماد در سراسر شبکه است که در آن هیچ مسیر مستقیمی از منبع داده به مقصد وجود ندارد. با توجه به سادگی ذاتی این موارد، همراه با توانایی آن‌ها در توزیع محتوا در نواحی بزرگ جغرافیایی، یک راه‏حل مناسب برای انتشار اطلاعات، استفاده از شبکه‌های ad-hoc می‏باشد. هزینه سربار پروتکل شامل تعداد پیام منتقل شده است. به منظور کاهش پیچیدگی الگوریتم سیل‌آسا در انتقال اطلاعات به تمامی افراد، از روشی دیگر استفاده گردیده است که محدودیت‏های الگوریتم سیل‌آسا را پوشش می‎دهد. بر اساس این روش، هر منبعی پیام دریافتی را بلافاصله با احتمال p(o=<p=<1) به همسایگان خود ارسال می‎کند و با احتمال 1-p هیچ عملی را انجام نمی‏دهد.

مقدار احتمال سیل‌آسا p برای تعیین کارای پروتکل ضروری است. مقادیر پایین p پیام کمتری را ارسال همه پراکن می‎کنند که در معرض خطر عدم پوشش انتشار اطلاعات هستند. مقادیر بالاتر p پیام بیشتری را مخابره می‎کنند. با انتخاب یک مقدار آستانه برای p تعداد پیام ارسالی به تمام نودها دارای مقدار مناسبی بوده و پوشش مناسبی به دست خواهد آمد. در ادامه ما در مورد چهار روش اکتشافی مبتنی بر پوشش بحث خواهیم کرد. برای انعکاس پویایی در حال تغییر، سربار شبکه به طور موقت برای تضمین سیاست تخلیه کاهش خواهد یافت (شکل 4) (Ling et al., 2005). طرح‏های مختلف از روش‏های مختلفی برای رسیدن به الگوریتم سیل‌آسا بهبودیافته استفاده می‎کنند.

پوشش محلی بر اساس احتمال ارسال (ACPF) است. در یک شبکه بی‌سیم ad-hoc مناطق تحت پوشش یک گره همسایه معمولاً با همدیگر همپوشانی دارند، مناطق اضافی پوشش داده‌شده توسط یک گره، بخش کوچکی از طیف گسترده تحت پوشش است. فاصله نسبی بین گره‎ها، برای تعیین اندازه منطقه تحت پوشش کافی است. پروتکل ACPF از مناطق همپوشان بین منطقه تحت پوشش نود خود و مناطق تحت پوشش همسایگان استفاده می‎کند تا تعداد درخواست ارسال مسیر بین دو نود همسایه را کاهش دهد. در ACPF مقدار p به پوشش اضافی به دست آمده به وسیله ارسال همه پراکن پیام، بستگی دارد که مناطق تحت پوشش بزرگ‌تر، مقدار p بالاتری دارند. می‎توان مناطق تحت پوشش و اطلاعات محلی همسایگان را باهم ترکیب کرده و مسیر بهتری را با کاهش همپوشانی کشف کرد.

احتمال ارسال کپی مبتنی بر پوشش (CCPF). معمولاً افزایش سربار به دلیل افزایش ارسال مجدد پیام است که احتمال ارسال پیام در نودها را کاهش می‎دهد و نودها پیوسته به دنبال ارسال تکراری پیام‎های قبلی هستند. CCPF از یک عدد رندوم به عنوان بازه ارسال تکراری بسته‌ها استفاده می‎کند تا بسته‎ها را فقط با احتمال p و در بازه زمانی تعیین‌شده ارسال نماید و پس از آن از ارسال بسته‎ها به صورت تکراری خودداری می‎کند. برای مثال، وقتی که یک نود، پیامی را مبنی بر دریافت مسیر، دریافت می‎کند، آن نود تا مدت زمانی که توسط آن عدد رندوم تعیین می‎گردد، گوش می‎دهد (listen می‎کند). در طی این دوره، نود، تعداد ارسال همه پراکن را به وسیله همسایگانش شمارش می‎کند و از این عدد برای محاسبه احتمال ارسال p استفاده می‎کند.

احتمال ارسال مبتنی بر منطقه تحت پوشش و کپی (ACCPF): ACCPF ویژگی‎های اصلی ACPF و CCPF را ترکیب می‎کند. آن از مزایای هر دو پوشش منطقه انتقال و تعداد سربار از ارسال مجدد پیام یکسان برای تعیین مقدار p استفاده می‎کند. هر نود یک شمارنده و کوچک‌ترین منطقه تحت پوشش برای ارسال مجدد را نگه‎داری می‎کند. وقتی که یک نود یک پیام همه پراکن را از نودی دیگر دریافت می‎کند، ‎ابتدا احتمال ارسال مجدد p را محاسبه می‎کند.

احتمال ارسال مبتنی بر پوشش همسایگان (NCPF): NCPF می‎تواند ارسال همه پراکن نا لازم را به وسیله نگه‎داری اطلاعات همسایگان در هر نود، نادیده بگیرد. در NCPF هر نود تمام همسایگان خود را که به وسیله عمل همه پراکنی نودهای دیگر، اطلاعات مسیر را دریافت کرده‎اند، تعیین می‎کند. اطلاعات همسایگان برای کاهش همه پراکنی‎ها در آینده مورد استفاده قرار خواهند گرفت. وقتی که یک نود، تمام همسایگان خود را که قبلاً به وسیله نود دیگری تحت پوشش قرارگرفته‌اند، پیدا کند، آن نود نیازی به ارسال پیام مسیر به تمام همسایگان خود را ندارد. قبل از ارسال پیام مسیر، هر نود باید در ابتدا اطلاعات همسایگانش را جمع‌آوری کند. این اطلاعات سپس بعداً در مراحل ارسال همه پراکن مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

**3.4. تخصیص مسیر تخلیه و تجزیه و تحلیل مسیر**

DDSS (شکل 2) نقشه مسیر تخلیه سونامی را برای رهبران جامعه در مناطق در معرض خطر نشان می‎دهد تا موثرترین اقدام جمعی را سازمان‌دهی کنند. این مورد شامل 5 مؤلفه اصلی است، هماهنگ‌کننده، تخصیص پناهگاه، یافتن مسیر، ذخیره مقادیر کلیدی و سرور GIS. توابع دقیق هر یک از این مؤلفه‎ها و فرآیند ارتباط تعاملی بین آن‌ها برای ارزیابی مسیرهای تخلیه توسط رهبران جامعه و انتشار سیاست‎های تخلیه به پیروان آن‌ها به شرح زیر است:

هماهنگ‌کننده: هماهنگ‌کننده، عامل هماهنگ‌کننده ارتباط است که خدمات را ادغام کرده و بر تعامل و انتقال اطلاعات چهار عنصر دیگر نظارت می‎کند. نرم‎افزاری که بر روی تلفن همراه رهبران اجرا می‎گردد، درخواست مسیر تخلیه را در زمان رخداد سونامی ارسال می‎کنند. درخواست هر یک از رهبران، تهدید جدیدی را در DDSS ایجاد می‎کند. هر تهدید، خدماتش را با هماهنگی و انتقال اطلاعات انتقال بین سایر مؤلفه‎های شروع می‎کند تا بتواند نقشه مسیر تخلیه را به دست آورد. وقتی که محیط تغییر می‎کند، پایگاه داده هماهنگ‌کننده نیز به‌روز می‎شود و مسیرهای تحت تأثیر و رهبران باید مجدداً مسیر جدیدی را محاسبه کرده و برای رهبران توئیت کنند تا امنیت را در حین تخلیه و جابه‌جایی حفظ کنند.

تخصیص پناهگاه: تخصیص پناهگاه، بهترین پناهگاه را برای رهبران جامعه با توجه به مکان رهبر و تعداد پیروان و همچنین وضعیت شبکه و زیست‌محیطی اختصاص می‎دهد. این تابع، نزدیک‌ترین سرپناه موجود در نزدیک‌ترین مسیر را انتخاب کرده و معرفی می‎کند. این فرآیند یک شامل یک ارتباط یک به چند بین سرپناه و رهبران جامعه است.

یافتن مسیر: مسیریاب، بهینه‎ترین مسیر را از طریق برقراری ارتباط با GIS شبکه و تجزیه و تحلیل پارامترها، انتخاب کرده و تخصیص می‎دهد. سپس مسیر انتخابی را به رهبران جامعه ارسال می‎کند.

ذخیره مقادیر کلیدی: ذخیره کننده مقادیر کلیدی (KVS) شامل تعدادی جدول هش است که برای مدیریت ارتباط بین رهبر-سرپناه-مسیر مورد استفاده قرار می‎گیرند. در جدول‎ها، ID مسیر یک کلید است . همچنین هر رهبر و هر سرپناه نیز یک ID دارند تا فرآیند جستجوی DDSS را وقتی هزاران رهبر و مسیر وجود دارد، تسریع بخشند. هنگامی که رهبر یک مسیر تخلیه را دریافت می‎کند، KVS اطلاعات را برای رهبر جامعه ذخیره خواهد کرد. وقتی که مسیر تغییر می‎کند، KVS می‎تواند مسیر را مجدداً ایجاد کرده و به‌روز شده مسیر را ارسال کند (شکل 6).

سرور GIS: سرور GIS انواع خدمات را تأمین کرده و از DDSS حمایت می‎کند. سرویس نقشه جغرافیایی، خیابان‎ها و تصویر نقشه‎ها را نشان می‎دهد. سرویس ویژگی، ویژگی‎های بروز داده‏های مکانی را برای مدیریت داده‎ها نشان می‎دهد. سرویس تجزیه و تحلیل فضایی، تجزیه و تحلیل خطر منطقه را با اطلاعات دریافتی از سنسورهای زیر آبی را نشان می‎دهد و سرویس تجزیه و تحلیل، سرپناه‎های موجود و کوتاه‎ترین مسیر را برای رهبران جامعه نشان می‎دهد.

فرآیند چگونگی ارتباط بین این اجزا در فاجعه سونامی به صورت زیر خواهد بود:

1) هشدار تخلیه که سیستم DDSS تهدید جدیدی را برای رهبران به منظور جستجوی یک مسیر تخلیه به وسیله هماهنگ‌کننده ایجاد می‎کند.

2) هماهنگ‌کننده، درخواستی را مبنی بر جستجوی پناهگاه متناسب با درخواست رهبران ایجاد می‎کند که این درخواست بر اساس تعداد پیروان هر رهبر، ظرفیت پناهگاه و تقریب مکان رهبران، فیلتر می‎شود. DDSS سرپناه تخصیص‌یافته را به هماهنگ‌کننده برمی‎گرداند.

3) هماهنگ‌کننده، بهترین مسیر را بر اساس مکان رهبران و مکان پناهگاه‎ها پیدا می‎کند.

4) مسیر درخواستی از سرور GIS شبکه پیدا می‎شود.

5) سرورGIS بهینه‏ترین مسیر را به عنوان مسیر برمی‎گرداند.

6) مسیریاب، بهینه‏ترین مسیر را به هماهنگ‌کننده برمی‎گرداند.

7) هماهنگ‎کننده، اطلاعات را به عنوان کلید اصلی ذخیره می‎کند.

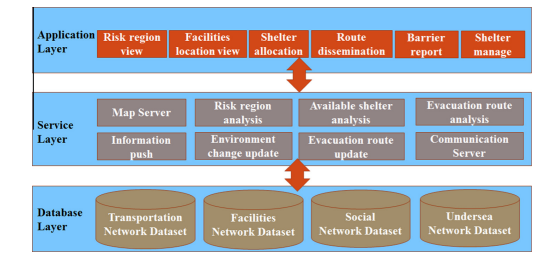
8) هماهنگ‌کننده اطلاعات رهبران را ذخیره می‎کند.

9) رهبر، اطلاعات موانع و سرپناه‎ها را به‌روزرسانی می‎کند.

10) هماهنگ‌کننده نقشه مسیر را به رهبران ارسال می‎کند.

**4. سیستم پشتیبان تصمیم‏گیری پویا**

بر اساس اطلاعات اولیه هشدار، اطلاعات جغرافیایی، اطلاعات شهری سیستم، فناوری تلفن همراه، رسانه‎های اجتماعی توئیتر و شبکه‏های فرصت‌طلب، سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS-SM-DDSS، شامل یک ساختار منطقی لایه‏ای است که شامل یک لایه سرویس و یک لایه کاربر است (شکل 5).



شکل 5. معماری منطقی سیستم

**4.1. لایه پایگاه داده**

لایه پایگاه داده، داده‏های فضایی و ارتباط بین لایه سرویس و لایه کاربرد را فراهم می‏کند. این لایه شامل ویژگی‏های طبیعی محیط‌زیست، مانند رودخانه، کوه، جزایر و خط ساحلی است. ویژگی‏های فیزیکی شهرستان، مانند جاده، پل‎ها و زیرساخت ارتباطی و امکانات سیستم خدمات شهری مانند بیمارستان، مدارس و ایستگاه‏های گاز است. مؤلفه‏های پایگاه داده به اختصار در زیر شرح داده‌شده است:

**4.1.1. مجموعه داده شبکه حمل‌ونقل**

مجموعه داده شبکه انتقال، بر اساس فعالیت‏های مسکونی شهر است. این مجموعه داده بر اساس لایه چند خطی شبکه جاده و شامل ویژگی‏های جاده (مسیرها/خطوط و تقاطع/ امتیاز) و اتصال ویژگی‏های منبع ایجاد شده است. شبکه انتقال شامل خواص دیگر جاده مانند پل‎ها، خیابان‎های یک طرفه، دوطرفه، پل هوایی/تونل، زمان سفر، هزینه انسداد، اتصال به شبکه و هزینه شرایط اضطراری است. اگر چراغ قرمز بیشتری وجود داشته باشد، زمان سفر طولانی خواهد بود. اگر یک مسیر توسط یک ماشین تصادف مسدود شود، این مسیر بسته بوده و در زمان حادثه در دسترس نخواهد بود.

**4.1.2. مجموعه داده امکانات شبکه**

امکانات مجموعه داده‏های شهری شامل بیمارستان، مدارس، بانک‎ها، سوپرمارکت‎ها، ارتباطات، ایستگاه‏‎های پلیس، ایستگاه‏های گاز، کلیساها، مساجد و غیره است. در وضعیت عادی، این امکانات اجزای شبکه‎های مختلف زیرسیستم شهری هستند. هر کدام سرویس‏های اختصاصی خود و قوانین خود را دارند. به عنوان مثال، در یک وضعیت عادی، سه بیمارستان، یک شبکه کوچک را در یک جامعه تشکیل می‎دهند. مکان فضایی و مقیاس ساخت‌وساز بر روی اندازه جمعیت جامعه بستگی دارد. در طی سونامی، این بیمارستان‏ها به عنوان تجهیزات پزشکی اورژانسی و با توجه به ظرفیت خود و ثبات ساختاری و استاندارد پزشکی به عنوان خدمات اصلی در اختیار افراد قرار می‏گیرند. هر یک از این بیمارستان‏ها موظف به خدمات‌دهی به بیماران نزدیک به آن منطقه هستند.

**4.1.3. مجموعه داده شبکه اجتماعی**

مجموعه داده شبکه اجتماعی، وظیفه برقراری ارتباط بین انسان‎ها و سازمان‏ها را در جامعه بر عهده دارد. مردم در جوامع ارتباطی در مناطق فضایی کوچکی زندگی می‎کنند. مجموعه داده شبکه اجتماعی شامل هر کسی است که در آن جامعه شهری زندگی می‎کند. در طول روز، ارتباط اجتماعی ممکن است بین همکاران و دانش‎آموزان و معلمان، بیماران و پزشکان باشد. اما در شب این روابط معمولاً بین دوستان، خانواده و همسایگان بیشتر است. این ارتباطات شبکه‏‏ای می‎توانند بر روی نقشه و بر اساس مکان و ارتباط بین مردم نمایش داده شوند. ساختار بسیار پیچیده‏ای به دست خواهد آمد. سه بازیگر اصلی -کارکنان دولت، رهبران منطقه و ساکنان جامعه و یا پیروان- با ابزارهای شبکه‎های اجتماعی برای مثال توئیتر از طریق تلفن هوشمند به هم ارتباط برقرار کرده و مسیرهای تخلیه و اطلاعات به‌روز را بین همدیگر ردوبدل می‎کنند. این سه بازیگر، ارتباطات اجتماعی را بر اساس تقاضای تخلیه و ساختار فضایی و ساختار درختی ایجاد می‎کنند. به این معنا که از عامل دولت به بسیاری از رهبران جامعه و از رهبران جامعه به پیروان آنان، پیام‏ها ارسال می‏گردند.

**4.1.4. مجموعه داده شبکه زیر آب**

مجموعه داده شبکه زیر آب برای مدیریت اطلاعات موجود در سنسورهای زیر آبی استفاده می‎شوند. مهندسان اقیانوس، می‎توانند با دریافت اطلاعات مربوط به امواج و گره‏های حسگر موجود در اعماق دریا، رخداد سونامی را تشخیص دهند. تجهیزات اصلی آنان، شامل شتاب سنج، سنسور فشار، سنسور ارتباطات و فیبر نوری و دروازه است. پهنای باند می‎تواند تصویربرداری واضحی را از سنسور فشار داشته باشد. هر کابلی در اقیانوس با داده‏های دریافتی از سنسور فشار () می‎توانند برای گزارش امواج و انحراف امواج و رخداد سونامی مورد استفاده قرار گیرند. اطلاعات به دست آمده از سیگنال‎ها در مجموعه داده شبکه زیر آب ذخیره خواهند شد. این مجموعه داده برای ارزیابی خطر سونامی به وسیله تجزیه و تحلیل امواج و از طریق اندازه‏گیری ارتباطات زیر آبی مورد استفاده قرار می‎گیرد. خطر سونامی مستقیماً به EOC انتقال‌یافته و از طریق مدیران اورژانس و از طریق شبکه‏های حسگر مبتنی بر زمین به سایر افراد منتقل می‎گردد.

**4.2. لایه سرویس**

لایه سرویس هسته سیستم GIS-SM-DDSS است. آن از داده‏های لایه پایگاه داده برای ارائه اطلاعات در زمان واقعی پویا استفاده می‎کند. سرویس‎های این لایه شامل تجزیه و تحلیل منطقه تحت خطر، شناسایی سرپناه‏های موجود، مسیرهای تخلیه امن، به‌روزرسانی تغییرات زیست‌محیطی، به‌روزرسانی مسیر تخلیه و توابع مرتبط است.

**4.2.1. تجزیه و تحلیل منطقه ریسک**

سرور GIS سرویس تجزیه و تحلیل ریسک منطقه را ارائه می‎دهد. توابع آن شامل تجزیه و تحلیل سونامی در منطقه است. از طریق دسترسی به داده‏های شبکه حسگر زیر آب، می‎توان اطلاعات سونامی را از سنسورهای موجود در زیر آب و سرعت امواج و ارتفاع آن‌ها به دست آورد. همراه با اطلاعات ترکیبی فیزیکی زمین و اطلاعات جغرافیایی، این مجموعه داده شامل مدل ارتقا دیجیتال زمین (DEM)، شبکه توزیع رودخانه، استفاده از مدل هیدرولوژیکی برای ارزیابی محدوده تحت خطر است. با دانستن همپوشانی حداکثر خطر منطقه و جامعه شبکه‏های اجتماعی، EMS می‎تواند تأثیر سونامی را بر روی جوامع و شهروندان تعیین کند.

**4.2.2. تجزیه و تحلیل پناهگاه‏های موجود**

تخصیص دهنده سرپناه، سرویس تجزیه و تحلیل پناهگاه‏های موجود را می‎دهد. در یک رویداد سونامی، امکانات اجتماعی مثل مدارس، کلیساها و مساجد به عنوان پناهگاه تعیین می‎گردند. بر اساس محل رهبران، جمعیت جامعه، ظرفیت پناهگاه و شرایط شبکه جاده‎ها، راه‏هایی به طور خودکار به عنوان راه تخلیه تعیین می‏گردند. هنگامی که پناهگاهی به یکی از رهبران تخصیص داده شد، ظرفیت پناهگاه مطابق با تعداد پیروان آن رهبر کاهش می‏یابد. اگر ظرفیت برای آن جمعیت کافی نبود، آن پناهگاه در لیست پناهگاه‏های پیشنهادی درج نخواهد شد. اگر پناهگاه تخصیص‌یافته، به عنوان سقوط کرده و یا سربار بیشتر گزارش شود، از لیست پناهگاه‏های موجود حذف خواهد شد و پناهگاه جدید به رهبر مورد نظر تخصیص داده خواهد شد و مسیر تا آن پناهگاه محاسبه‌شده و در اختیار آن رهبر قرار خواهد گرفت.

**4.2.3. تجزیه و تحلیل مسیر تخلیه**

مسیریاب، سرویس محاسبات مسیر تخلیه را ارائه می‎دهد. عملکرد آن شناسایی مسیر تخلیه‏ی بهینه از محل رهبر جامعه و اختصاص نزدیک‌ترین سرپناه به آنان است. در GIS ما مجموعه داده شبکه را بر اساس شبکه انتقال ساختیم. پارامترهای ورودی شامل مکان رهبر و سرپناه، شبکه انتقال و موانع است. در اینجا، موانع گزارش‌شده توسط رهبران جامعه در محیط فاجعه و به صورت زمان واقعی محاسبه می‏گردند. خروجی مسیر بین دو مکان با جاده‏های چند خطی یا جاده‏های باریک است. مسیر در یک جدول ارتباطی بین سرپناه-رهبر-مسیر ذخیره می‏گردد. شهروندان جامعه‏ی در معرض خطر، این مسیر را تا تخلیه پناهگاه دنبال می‎کنند.

**4.2.4. به‌روزرسانی تغییرات محیطی**

هماهنگ‌کننده، مانیتورینگ تغییرات زیست‌محیطی و به‌روزرسانی خدمات را انجام می‎دهد. با توسعه یک فاجعه سونامی، محیط‌زیست و زیرساخت نظام شهری به احتمال زیاد تخریب‌شده و این مورد فاجعه‌بار خواهد بود. ساختمان‎ها و پل‎ها نیز ممکن است خراب شوند، جاده‏ها نیز ممکن است با ازدحام خودروها روبرو شوند، تمام این تغییرات در انتخاب یک مسیر تخلیه مناسب تأثیرگذار است. در ابتدا، شرایط محیطی مشخص نیست، مسیر تخلیه بدون در نظر گرفتن چنین اطلاعاتی ممکن است برای محیط واقعی مناسب نباشد. با بررسی جزئیات بیشتر و تجربه، مردم، خطر محیط اطراف به ویژه جدیدترین شرایط نابودی را درک می‎کنند. رهبران جامعه، آتش‌نشان‌ها، پلیس‏ها این شرایط/ تغییرات را در EOC گزارش خواهند داد و EMS پایگاه داده را از طریق بازرسی دقیق به‌روز خواهد کرد. پارامترهای ورودی شامل سنسور انسانی، نوع و درجه تغییر است. خروجی بازخورد اطلاعات بروز شده توسط EOC و دریافت موفقیت‌آمیز اطلاعات است.

**4.2.5. به‌روزرسانی مسیر تخلیه**

ذخیره کننده مقادیر کلیدی، سرویس به‌روزرسانی را ارائه می‎دهد. در مورد پناهگاه‏های اختصاص داده‌شده و یا مسیرهای تخلیه، مورد دیگری وجود ندارد و ممکن است سایر پل‏ها شکسته باشند و یا خیابان‏ها بلاک شده باشند. بنابراین مسیر تخلیه و پناهگاه‏ها باید مجدداً تخصیص داده شوند. تابع مسیر تخلیه نیاز به پس و جو از رهبران از طریق جدول ارتباط رهبر-سرپناه-مسیر دارد تا مکان فعلی هر رهبر را شناسایی کرده و مسیر جدیدی را با آخرین و به‌روزترین اطلاعات ایجاد نماید. این تابع سپس مسیر دریافتی را بر روی نقشه نمایش داده و آن را به رهبران جامعه ارسال می‏کند. در همان زمان پناهگاه جدید و مسیر در جدول ارتباط مسیر-رهبر-پناهگاه به‌روز خواهند شد. مسیر شکسته ممکن است چند مسیر تأثیرگذار دیگر نیز داشته باشد، به طوری که تمام رهبران باید در اسرع وقت از آن تغییرات آگاه شوند. در این مورد، رهبران می‏توانند مسیر بروز شده را به پیروان خود توئیت کنند (شکل 6).

**4.3. لایه کاربرد**

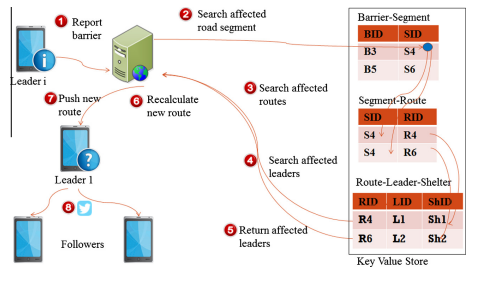
لایه کاربرد، داده‏های لایه پایگاه داده را از لایه سرویس تهیه‌کرده و جزئیات فرآیند تخلیه را تهیه می‏کند. جزئیات برنامه‏های کاربردی در بخش 5 توصیف داده خواهند شد که به تشریح یک آزمایش میدانی برای تخلیه در سونامی شهرستان پادانگ اندونزی پرداخته است.

**5. تخلیه سونامی پادانگ**

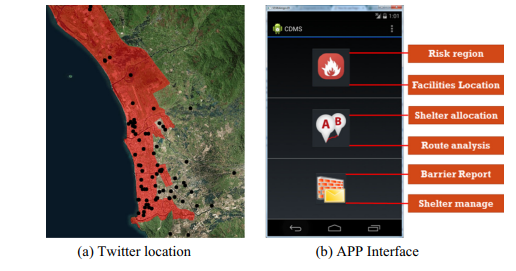
در منطقه خطر شهر پادانگ اندونزی، تعداد توئیت کاربران با اطلاعات مکانی در 79 مورد از 07-11-2014 و ساعت 00 (شکل 7) جمع‌آوری شد. این شکل به سادگی نشان می‏دهد که یک درصد از تمام تولیت‌ها شامل ابر داده برچسب جغرافیایی و اطلاعات تلفن‏های همراه کاربران است (Middleton et al., 2014). در آنجا تقریباً 8000 نفر از توئیتر استفاده می‎کنند. شهر پادانگ یک بستر تست مناسب برای استفاده از DDSS برای هدایت جامعه جهت تخلیه در زمان رخداد سونامی است.

رهبران جامعه برنامه DDSS را بر روی گوشی‏های هوشمند خود نصب می‏کنند. آن‌ها نه تنها تهدیدات سونامی بلکه اطلاعات زمان واقعی مسیر تخلیه منتشرشده توسط EOC را نیز دریافت می‏کنند (اینترفیس این برنامه در قسمت b شکل 7 نشان داده‌شده است). این برنامه به رهبران جامعه کمک خواهد کرد تا در زمان واقعی، تخلیه را انجام داده و شهروندان را سازمان‌دهی کنند.

با فرض هشدار از طرف مانیتورهای شبکه‏های حسگر زیر آبی، زلزله شدیدی در نزدیکی دریا در شهر پادانگ اتفاق افتاده است (شکل 1)، این امر موجب ایجاد امواج سونامی به سمت شهر کرده است. گام‏های زیر نشان می‏دهد که چطور رهبران از برنامه کاربردی در فرآیند تخلیه جامعه استفاده کرده‏اند.



شکل 6. به‌روزرسانی مسیر زمان واقعی



شکل 7. رابط اصلی و توئیتر مکان کاربر

**5.1. خطر انتشار اطلاعات**

**5.1.1. تجسم فضایی خطر**

به محض اینکه EOC اطلاعات هشدار زیر آبی را دریافت می‎کند، EMT خطر سیل سونامی را در مناطق ارزیابی کرده و جوامع در معرض خطر را با استفاده از تجزیه و تحلیل توابع و سیستم اطلاعات جغرافیایی شهری شناسایی می‎کند و دستورات تخلیه را به صورت اضطراری تهیه می‏کنند. سپس EMS خطر سونامی را به اطلاع عموم مردم می‏رساند و این اطلاعات را از طریق رسانه‏های اجتماعی و برنامه توئیتر نصب‌شده بر روی تلفن‏های هوشمند در اختیار افراد قرار می‏دهد. منطقه خطر در تلفن‏های هوشمند برای ساکنان مناطق به خوبی نمایش داده می‎شود.

رهبران منتخب در جوامع (شکل 8 قسمت a، مستطیل پنجم از بالای نقشه) ماموران دولت هستند. آن‌ها هشداری را در تلفن‏های هوشمند خود دریافت می‎کنند، سپس آن‌ها برنامه مورد نظر را در پس زمینه قرار می‏دهند تا همواره از تهدیدات موجود آگاه باشند. آن‌ها مناطق تحت خطر را (چندضلعی) مشاهده کرده و (مستطیل) مناطق سرپناه (نقاط) را نیز در نقشه مشاهده می‎کنند.

**5.1.2. تجسم امکانات محل**

به غیر از پناهگاه، آن‌ها می‎توانند امکانات اورژانسی موجود در منطقه مانند بیمارستان‏ها و ایستگاه آتش، شرایط جاده روی نقشه (شکل 8 قسمت b) را نیز مشاهده کنند. با این خطرات و امکانات، رهبران قادرند درجه سونامی را تشخیص داده ئ مناطق موجود را تعیین کنند. همچنین می‎توانند از عدم قطعیت در وضعیت واقعی و انطباق با استفاده از روش تخلیه برای جلوگیری از تلفات استفاده کنند.

**5.2. تجزیه و تحلیل مسیر تخلیه و انتشار**

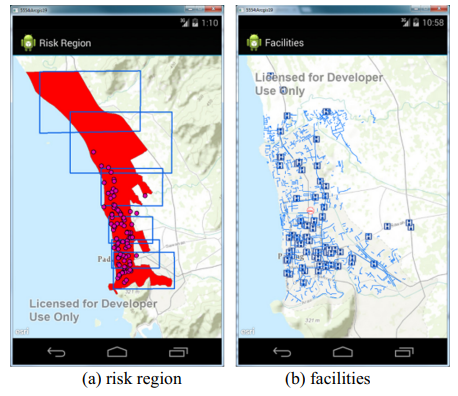
**5.2.1. تخصیص پناهگاه**

رهبران جامعه برای انتقال افراد و شهروندان تا پناهگاه به مسیری امن نیاز دارند. DDSS به طور اتوماتیک مکان فضایی رهبران را در جامعه آن‌ها می‎یابد (نقاط سبز شکل 9 قسمت a). سپس بر اساس جمعیت پیروان هر رهبر، ظرفیت پناهگاه و شرایط شبکه جاده‏ها، نزدیک‌ترین پناهگاه موجود یافته شده و بر روی صفحه نمایش تلفن (نقاط قرمز شکل 9 قسمت a) نمایش داده می‎شود. ظرفیت پناهگاه بر اساس افراد . پیروانی که آن پناهگاه به آن‌ها اختصاص یافته است، کاهش می‏یابد.

**5.2.2. مسیریاب و انتشار**

هنگامی که رهبر، پناهگاه را تأیید می‎کند، از نرم‏افزار برای تعیین مسیر استفاده می‎کند. آن کوتاه‏ترین و امن‏ترین مسیر را از مکان رهبر تا پناهگاه یافته و مسیر را برای مشاهده بر روی سرور GIS قرار می‎دهد (خط آبی شکل 9 قسمت b). مسیر شامل بخش‏های جاده، DDSS به طور خودکار جدول رهبر-مسیر-پناهگاه را به‌روزرسانی می‏کند (جدول 2 و3).

در مرحله اولیه، اینترنت در دسترس است و اگر چه ایستگاه تلفن به وسیله زلزله شدید نابود شود، رهبر جامعه مسیر را برای پیروان خود از طریق توئیت ارسال می‏کنند و اطلاعات برای رنج وسیعی از کاربران دریافت می‏شود. پس از مدت کوتاهی، اینترنت در دسترس نیست، زیرا سرویس ایستگاه پایه کاملاً سقوط کرده است و رهبر استفاده از انتقال مسیر مبتنی بر پوشش احتمالاتی شبکه‏های ad-hoc ترجیح می‏دهد. زیرا ارتباطات بی‌سیم در مقیاس‏های کوچک شدنی و قابل دستیابی است.



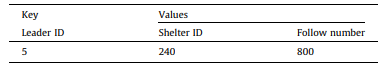
شکل 8. نقشه خطر سونامی

**5.3. به‌روزرسانی زمان واقعی مسیر**

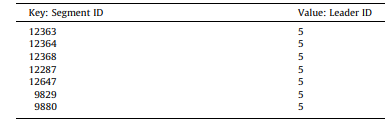
**5.3.1. گزارش سد**

وقتی که پیروان رهبر مسیر تخلیه را دنبال می‎کنند، آن‌ها از مکان شروع حرکت می‎کنند (شکل 9 قسمت b) و به سمت مکان جدیدی می‏روند (شکل 9 قسمت c). جایی که یک پل خراب در مسیر تخلیه بیایند که به وسیله افتادن درخت خراب شده است، تابع وضعیت جدید را به EOC گزارش می‎دهد (شکل 10 قسمت a). سپس موانع را بر روی نقشه به صورت دقیق مشخص می‏کنند (شکل 10 قسمت b). این اطلاعات به پایگاه داده EOC در زمان واقعی گزارش داده می‏شود. روند گزارش باعث به‌روزرسانی مسیر آسیب‌دیده می‏گردد و مسیر دیگری انتخاب‌شده و ارسال می‏گردد.

جدول 2. جدول ارتباط رهبر و پناهگاه



جدول 3. جدول ارتباط رهبر و مسیر

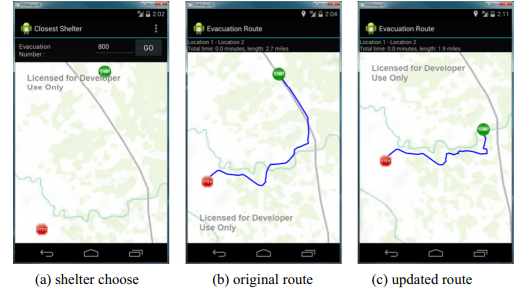


**5.3.2. مدیریت پناهگاه**

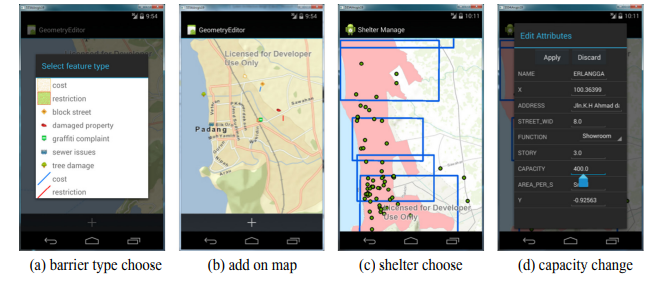
سیستم DDSS وضعیت پناهگاه را به طور مستقیم مدیریت می‏کند وقتی که پناهگاه به رهبری اختصاص داده شد، رهبر با پیروانش به آنجا نقل‌مکان کرده و ظرفیت آن پناهگاه به طور اتوماتیک 800 نفر کمتر می‏شود. همزمان با آن با مصرف منابع و تغییرات پویا، EMS نیاز به مدیریت پناهگاه‏ها دارد تا بتواند پناهگاه‏های نوظهور و پناهگاه‏هایی را که ظرفیتشان کمتر شده است را شناسایی کنند (شکل 10 قسمت c). سپس منابع و پناهگاه‏ها را به‌روزرسانی می‏کنند (شکل 10 قسمت d). برای اطمینان از اینکه آب و غذای کافی در هر پناهگاه برای حداقل 800 نفر وجود دارد (مردم حداقل 2 روز باید آنجا بمانند) نیاز بلافاصله به EOC منتقل می‏گردد. اگر به خاطر برخی دلایل، پناهگاه آسیب‌دیده باشد یا به علت آسیب جاده در دسترس نباشد، آن پناهگاه از لیست سرپناه‎ها حذف‌شده و رهبران به پناهگاه‏های دیگری هدایت می‏شوند.

**5.3.3. به‌روزرسانی مسیر**

پس از اینکه رهبران آسیب درخت و تخلیه مسیر را بیان کردند، سیستم DDSS سرپناه جدیدی را اختصاص داده و اطلاعات آن را در اختیار رهبران و پیروان آن‌ها قرار می‏دهد. پس از آن رهبران مسیر تخلیه و نقشه پناهگاه را برای پیروان خود توئیت می‎کنند (شکل 9 قسمت c و جدول 4)

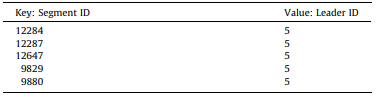


شکل 9. نقشه مسیر تخلیه



شکل 10. گزارش سد و مدیریت پناهگاه

جدول 4. جدول به‌روزرسانی ارتباطات رهبر-مسیر



**6. نتیجه‌گیری**

سیستم GIS-SM-DDSS عملیاتی را برای تخلیه در مواقع خطر سونامی ایجاد می‎کند. Mobile-GIS، تجسم فضایی خطر سونامی را تهیه‌کرده و عملیات تجزیه و تحلیل مسیر تخلیه را به منظور ایجاد محیطی امن بررسی می‎کند. رهبران انتخابات بر اساس اطلاعات وابستگی بین کاندیدها و جامعه آنان ایجاد می‎گردند. وقتی که اینترنت در دسترس باشد، مدیران اورژانس، مسیر تخلیه تا محل جوامع را برای رهبران ارسال می‎کنند. این ارسال اطلاعات توسط شبکه‏های اجتماعی همانند توئیتر به شهروندان ارسال می‎گردند. وقتی که اینترنت در دسترس نباشد، شبکه‏های فرصت‌طلب، بر اساس پوشش به عنوان شبکه‌های موقت برای رسیدن به این هدف در نظر گرفته می‎شوند. رهبران تغییر شرایط زیست‌محیطی را به صورت زمان واقعی برای طراحی سیاست‎های مناسب به مراکز اصلی و مرکزی ارسال می‎کنند.

در مورد پادانگ اندونزی، GIS-SM-DDSS یک شبکه ارتباطی بین دولت و ملت ایجاد کرد. همراه با شبکه‏های حسگر زیر آبی، یک سیستم پشتیبان تصمیم‎گیری پویا برای انتقال داده از سنسور زیر آب به شبکه توئیتر زمینی برای تشخیص، کاهش و ایجاد مسیر در برابر خطرات سونامی تهیه می‎گردد.

**References**

Bakar Sambah, A., Miura, F., 2014. Remote sensing and spatial multi-criteria analysis for tsunami vulnerability assessment. Disaster Prevent. Manage. 23 (3), 271–295.

Billa, L., Mansor, S., Mahmud, A.R., 2011. Pre-flood inundation mapping for flood early warning. J. Flood Risk Manage. 4 (4), 318–327.

Biswas, S., Morris, R., 2004. Opportunistic routing in multi-hop wireless networks. ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev. 34 (1), 69–74.

Chatfield, A.T., Scholl, H.J.J., Brajawidagda, U., 2013. Tsunami early warnings via Twitter in government: net-savvy citizens’ co-production of time-critical public information services. Gov. Inform. Quart. 30 (4), 377–386.

Chitumalla, P.K., Harris, D., Thuraisingham, B., et al., 2008. Emergency response applications: dynamic plume modeling and real-time routing. IEEE Internet Comput. 12 (1), 38–44.

Comfort, K.L., Brian, C., Voortman, M., et al., 2013. Real-time decision making in urgent events: modeling options for action. In: Comes, T., Fiedrich, F., Fortier, S., et al. (Eds.), Proceedings of the 10th International ISCRAM Conference. Baden, Germany, pp. 571–580.

Cova, T.J., Dennison, P.E., Drews, F.A., 2011. Modeling evacuate versus shelter-inplace decisions in wildfires. Sustainability 3 (10), 1662–1687.

de Silva, F.N., Eglese, R.W., 2010. Integrating simulation modelling and GIS: spatial decision support systems for evacuation planning. J. Oper. Res. Soc. 51 (4), 423–430.

El-heishy, S.S., Saleh, A.A., Asem, A., 2012. Managing evacuation process in urban areas using a GIS system: a case study on Mansoura city. Int. J. Comput. Appl. 57 (10).

Hossmann, T., Legendre, F., Carta, P., et al., 2011. Twitter in disaster mode: opportunistic communication and distribution of sensor data in emergencies. In: Proceedings of the 3rd Extreme Conference on communication. ACM, pp. 1–6.

Huang, C.F., 2011. Internet of intelligences in risk analysis for online services. J. Risk Anal. Crisis Resp. 1 (2), 110–117.

Laituri, M., Kodrich, K., 2008. On line disaster response community: people as sensors of high magnitude disasters using internet GIS. Sensors 8 (5), 3037–3055.

Ling, H., Mosse, D., Znati, T., 2005. Coverage-based probabilistic forwarding in ad hoc routing. In: Proceedings 14th International Conference on Computer Communications and Networks. ICCCN 2005, pp. 13–18.

Lu, X., Brelsford, C., 2014. Network structure and community evolution on Twitter: human behavior change in response to the 2011 Japanese earthquake and tsunami. Sci. Rep. 4, 6773.

Middleton, S.E., Middleton, L., Modafferi, S., 2014. Real-time crisis mapping of natural disasters using social media. IEEE Intell. Syst. 29 (2), 9–17.

Oxendine, C., Sonwalkar, M., Waters, N., 2012. A multi-objective, multi-criteria approach to improve situational awareness in emergency evacuation routing using mobile phone data. Trans. GIS 16 (3), 375–396.

Sinaga, T.P.T., Nugroho, A., Lee, Y.W., et al., 2011. GIS mapping of tsunami vulnerability: case study of the Jembrana regency in Bali, Indonesia. KSCE J. Civ. Eng. 15 (3), 537–543.

Steinmetz, T., Raape, U., Tessmann, S., et al., 2010. Tsunami early warning and decision support. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 10 (9), 1839–1850.

Tsushima, H., Hino, R., Fujimoto, H., Tanioka, Y., Imamura, F., 2009. Near-field tsunami forecasting from cabled ocean bottom pressure data. J. Geophys. Res. 114 (B6).

Umihara, J., Nishikitani, M., 2013. Emergent use of Twitter in the 2011 Tohoku earthquake. Prehosp. Disaster Med. 28 (5), 434.

Wukich, C., Steinberg, A., 2013. Nonprofit and public sector participation in selforganizing information networks: Twitter Hashtag and trending topic use during disasters. Risk Hazards Crisis Pub. Policy 4 (2), 83–109.

Ye, M., Wang, J., Huang, J., et al., 2012. Methodology and its application for community-scale evacuation planning against earthquake disaster. Nat. Hazards 61 (3), 881–892.

Zerger, A., Smith, D.I., 2003. Impediments to using GIS for real-time disaster decision support. Comput. Environ. Urban Syst. 27 (2), 123–141.