

## سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری پویا بر اساس اطلاعات جغرافیایی و شبکه‌های 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 تئیترا 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-Cova et al., 2011; Zerger and heishy et al., 2012)، مدلسازی سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری پویا (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 قابل توجهی 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 خودسازمان‌ده و حمایت از سیستم‌های هشداردهنده قابل اطمینان، 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 چندگانه، 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 توئیت 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، هشدار 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 داده شده است. جامعه رهبران در مناطق مختلف شهر پادنگ با دایره آبی رنگ نشان داده شده‌اند و پیروان آن‌ها نیز با دایره سبز رنگ نشان داده شده 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 داده شده 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 داده شده 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 ذخیره شده 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 قابل اطمینان، 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.

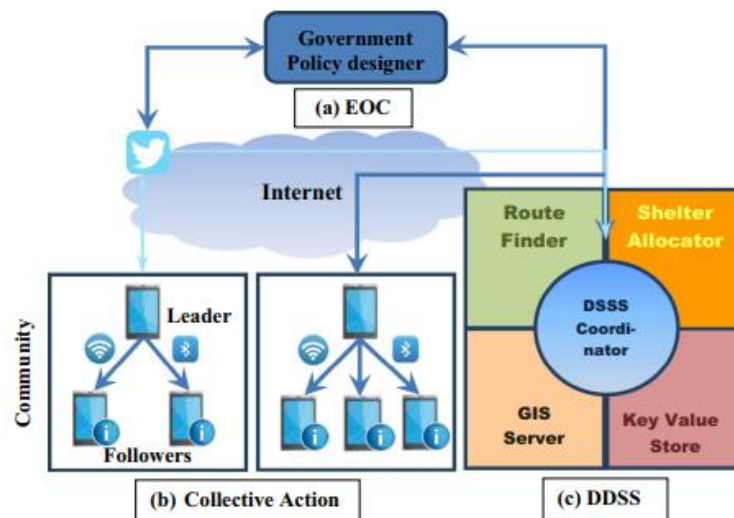
انتقال سریع اطلاعات مهم از دولت به سیاست‌گذاران و سپس به مدیران و مردم، به طور پیوسته توسط شبکه‌های اجتماعی از جمله توئیتر و شبکه‌های بی‌سیم در میان دستگاه‌های تلفن همراه (شکل 2) انجام می‌گیرد. تعامل بین همه ذینفعان، مدیریت بحران را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، فرآیند بازخورد چند مسیره، اطلاعات زمان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

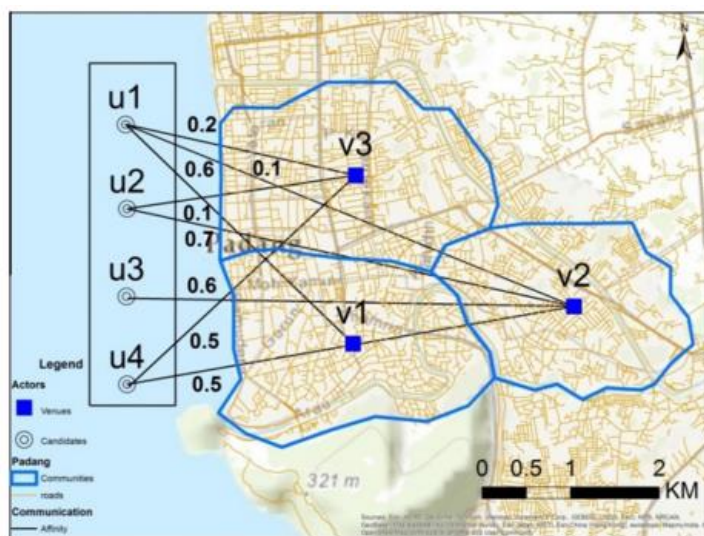
بر اساس آنچه در بالا ذکر گردید، مسئله انتخاب حداقل رهبر می‌تواند به صورت یک گراف دوبخشی بدون جهت  $G=(V,U,E)$  مدل‌سازی گردد. در این گراف،  $V(|V|=M)$  و  $U(|U|=N)$  مجموعه مکان‌ها، مجموعه کاندیدها



و مجموعه یال‌ها بین مکان‌ها و کاندیدها را به ترتیب نشان می‌دهند. هر یال  $(u,v,a_{u,v})$  بین مکان  $v \in V$  و کاندید  $u \in U$  با یک احتمال  $tgreshold$  است و  $a_{u,v} \in (0,1]$  وزن متعلق به  $(u,v)$  را نشان می‌دهد.

در مدل ما  $a_{u,v}$  احتمال کاندید  $u$  در برابر مکان  $v$  را در هر نقطه‌ای از زمان نشان می‌دهد. در عمل  $a_{u,v}$  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 4، 20، 30، 10، 10، 10 و 10 با مجموع 100 نشان داده‌شده است. این وزن‌ها می‌توانند برای محاسبه وابستگی هر رهبر کاندید  $u_i (1 \leq i \leq 4)$  در هر مکان  $v_j (1 \leq j \leq 3)$  استفاده شوند.

برای هر وزن  $v \in V$ ، مجموعه  $U_v = \{u: u \in U, (u,v,a_{u,v}) \in E\}$  نشانگر مجموعه کاندیدهایی برای یک مکان  $v$  است. برای مثالی که در شکل 3 نشان داده‌شده است،  $U_{v1} = \{u_1\}$  و  $U_{v2} = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$  و  $U_{v3} = \{u_1, u_2, u_4\}$  وقتی که هر کاندیدی در  $U_v$ ،  $v$  را با احتمال  $a_{u,v}$  ملاقات می‌کند. سپس با احتمال  $P_v(U_v)$  که مکانی هست که به وسیله تمام کاندیدها می‌تواند محاسبه گردد:  $P_v(U_v) = 1 - \prod_{u \in U_v} (1 - a_{u,v})$  به گونه‌ای که  $P_v(U_v)$  احتمال حداقل یک کاندید را در  $U_v$  در  $v$  نشان می‌دهد. در ساده‌ترین مورد شکل 3،  $P_{v1}(U_{v1}) = 0.6$ ،  $P_{v2}(U_{v2}) = 0.946$ ،  $P_{v3}(U_{v3}) = 0.64$



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

با توجه به نمودار  $G=(V,U,E)$ ، برای هر زیرمجموعه  $S \in U$ ، احتمال  $p_v(S)$  با مکان  $v$  که توسط کاندید موجود در  $S$  ملاقات می‌شود، می‌تواند به وسیله جایگذاری  $U_v$  در فرمول بالا با  $S$  محاسبه شود. نتیجه می‌شود که  $p_v(S) \leq p_v(U_v)$ . با توجه به **threshold** تعیین شده  $\pi$ ، اگر زیرمجموعه  $U_{lea} \in U$  برای هر  $v \in V$  است به این معنی که مکان ملاقات شده به وسیله کاندید  $U_{lea}$  با احتمال  $p_v(U_{lea}) \geq \pi$  است. بنابراین می‌توانیم ادعا کنیم که تمام مکان‌ها به وسیله  $U_{lea}$  پوشش داده می‌شوند.

مجموعه پوشش  $U_{lea}$  با احتمال  $\pi$  در هر زمانی و برای هر مکانی  $v \in V$  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 قابل اعتماد 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:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize}_{U_{lea} \subseteq U} |U_{lea}| \\ & \text{Subject to : } p_v(U_{lea}) \geq \tau, \forall v \in V, \end{aligned} \quad (1)$$

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

$$p_v(S) = 1 - \prod_{u \in S} (1 - a_{u,v}) \quad (2)$$

### 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  $u \in U$  و  $Vu = \{u, v \in V, (u, v, a_{u,v}) \in E\}$  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:

$$F(u) = \frac{\left(\sum_{v \in Vu} a_{u,v}\right)^2}{|Vu| \sum_{v \in Vu} (a_{u,v})^2}, \quad 0 < F(u) \leq 1. \text{ A larger } |Vu| \text{ and an un-}$$

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

$$F_u = \frac{A_u}{F(u)} = \frac{|Vu| \sum_{v \in Vu} (a_{u,v})^2}{\sum_{v \in Vu} a_{u,v}}$$

با مشاهده مکان‌ها، تعداد کاندیدهای وابسته ممکن است به طور چشمگیری برای هر محل متفاوت تغییر کند. همان طور که در شکل 3 نشان داده شده است، مکان  $v_1$  تنها کاندید  $u_1$  را با احتمال 0.6 دارد. وابستگی برای پوشش مکان  $v_1$  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.

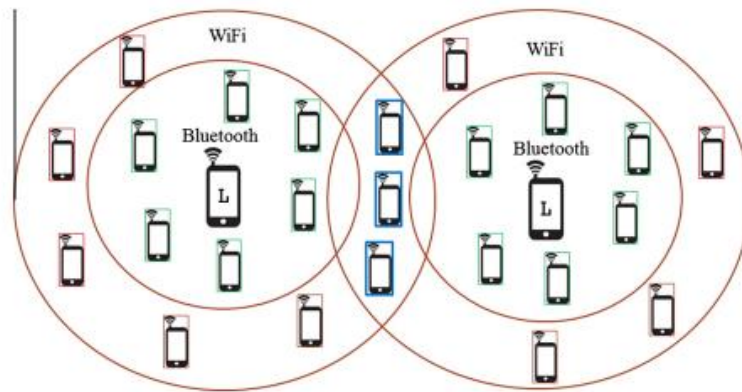
• سهم متناسب: در مجموعه کاندید وابستگی  $U_v$ ، مکان  $v$  که بخش بزرگی از کل وابستگی را دارد، به طور بالقوه

احتمال بیشتری دارد. برای هر جفت  $u$  و  $v$  داریم  $d_{u,v} = \frac{a_{u,v}}{\sum_{w \in U_v} a_{w,v}}$ . که مقدار مورد انتظار  $u$  را در برابر  $v$  نشان

می‌دهد. ما  $D_u = \sum_{v \in U_v} d_{u,v}$  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

Metrics	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	Leaders set
Number of visited venues $ V_u $	3	2	1	1	$\{u_1, u_2, u_4\}$
Total affinity $A_u$	0.9	0.8	0.6	0.1	$\{u_4, u_1\}$
Inverse fairness of affinity $F_u$	1.37	1.25	0.6	1.0	$\{u_1, u_2, u_4\}$
Proportional contribution $D_u$	1.30	0.49	0.32	0.89	$\{u_1, u_4\}$

---

**Algorithm 1: Metric-based algorithm**

---

Input: Affinity matrix  $AF(M, N)$ , Coverage threshold  $\tau$ ,  
Selection metric  $s$ ;

Output: Minimum coverage set  $U_{lea}^{min}$ ;

Operations:

1:  $U_{lea}^{min} = \Phi$ ;

2:  $CandidateSet = \{all\ candidates\}$ ;

3: while  $size(CandidateSet) > 0$

4:  $MetricValues = ComputeMetrics(AF, s)$ ;

5:  $Selected = RecordMaxMetric(MetricValues)$ ;

6:  $U_{lea}^{min} = U_{lea}^{min} \cup \{selected\}$ ;

7:  $CoverageProb = ComputeCoverage(AF, U_{lea}^{min})$ ;

8: if  $min(CoverageProb) > \tau$

9: return  $U_{lea}^{min}$ ;

10: end if

11:  $UpdateAffinity(AF, U_{lea}^{min})$ ;

12: end while

---

تابع  $Computemetric()$  مقادیر متریک را مطابق با متریک‌های انتخاب خاصی محاسبه می‌کند که دارای پیچیدگی  $O(N)$  انتخاب  $RecordMaxMetric()$  کاندیدها را با بالاترین مقدار در  $O(MN+N)=O(MN)$  است. تابع  $ComputeCoverage()$  احتمال پوشش را برای هر محل با پیچیدگی  $O(MN)$  محاسبه می‌کند. مجدداً 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 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 هماهنگ کننده سیاست، اساساً به عنوان "قطب اطلاعاتی انسان" عمل می کنند که در داخل زیرساخت فیزیکی فناوری اطلاعات برای حمایت از تعامل و تبادل اطلاعات بین EOC و مردم قرار گرفته اند. یک شهر متشکل از چندین جوامع کوچک، ممکن است شامل بیش از یک رهبر اجتماعی باشد که هر یک می خواهند به عنوان مرکز اطلاعات عمل کنند. تکیه بر رهبران متعدد برای پوشش یک جامعه کوچک، اطلاعات توزیع شده توسط EOC را تضمین می کند. زمانی که احتمال رخداد سونامی تعیین می شود، مسیر تخلیه و نقشه راه به وسیله EOC تعیین می گردند.

رهبران جوامع نیز می توانند به عنوان "سنسور انسانی" شبکه های حسگر مبتنی بر زمین را مشاهده کرده و گزارش تغییرات را از طریق تلفن های هوشمند و به روزرسانی مسیرهای تخلیه به صورت زمان واقعی در اختیار افراد قرار دهند. آن ها نه تنها مشتریان سیستم های پشتیبان تصمیم گیری هستند، بلکه درباره مدیریت بحران و اجرای برنامه تخلیه به شدت به این سیستم ها نیاز دارند. آتش نشانی و پلیس به احتمال زیاد اولین سنسورهای انسانی هستند که باید گزارش سقوط پل و ساختمان و آسیب های وارده را در مسیر برنامه ریزی شده برای تخلیه دریافت کنند.

ساکنان شهری به عنوان مخاطبان سیاست های عمومی و روش تخلیه، عامل های اجتماعی با توانایی عمل داوطلبانه هستند. آن ها به سیاست های عمومی برای هدایت آگاهانه تصمیم گیری و ارائه پشتیبانی برای تشخیص خطر و اقدام جمعی موثر هستند. انتشار به موقع دستورات تخلیه به خصوص برای افراد آسیب پذیر مانند کودکان، زنان، معلولان خیلی ضروری و مهم می باشد. رهبران جوامع با آموزش پیشرفته در انتشار EOC و رساندن مسیر تخلیه به افراد، موجب انعطاف پذیری بیشتر راه کار پیشنهادی می گردند.

طراحی وسایل فنی برای انتشار دستورات تخلیه به جوامع شهروندان، موضوعی چالش برانگیز است. هنگامی که اینترنت در دسترس باشد، اعضای جوامع می توانند از رسانه های اجتماعی مانند توئیتر برای دسترسی به اطلاعات سونامی استفاده کنند. اگر اینترنت غیرقابل دسترسی باشد، حوادث رخ داده باعث بیشترین آسیب در سیم ها و ارتباطات زیرساخت در شبکه های ad-hoc می گردد. ارائه یک راه حل مناسب برای انتشار اطلاعات و هماهنگی در میان مدیران فاجعه و اعضای جامعه می گردد.

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  $p(0 \leq p < 1)$  به همسایگان خود ارسال می‌کند و با احتمال  $1-p$  هیچ عملی را انجام نمی‌دهد.

مقدار احتمال سیل‌آسا  $p$  برای تعیین کارایی 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 پیام‌های 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 بهبود یافته 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): 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 قرار گرفته‌اند، 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 می‌کند. 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 توثیق 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، بهترین 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: ذخیره‌کننده 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 تخصیص یافته 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) سرور GIS 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.

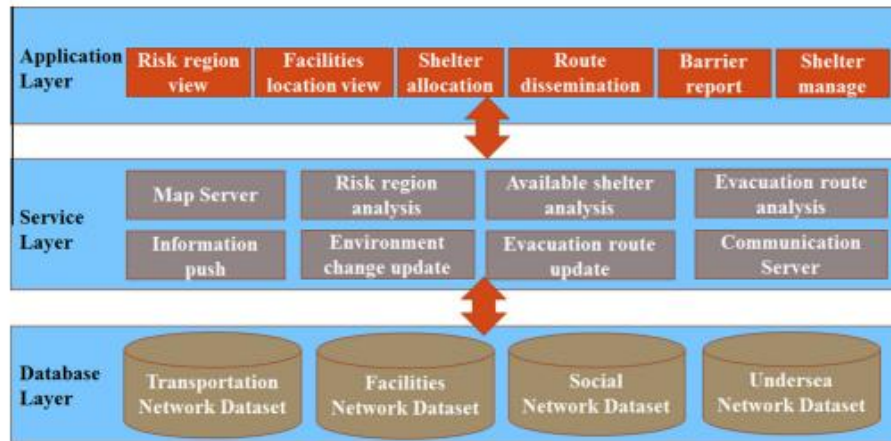
8) هماهنگ‌کننده اطلاعات رهبران را ذخیره می‌کند.

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 داده شده 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 انتقال یافته 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 ارتفاع 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 تخصیص یافته، 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 محاسبه شده 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 گزارش شده توسط رهبران جامعه در محیط فاجعه و به صورت زمان واقعی محاسبه می گردند. خروجی مسیر بین دو مکان با جاده‌های چند خطی یا جاده‌های باریک است. مسیر در یک جدول ارتباطی بین سرپناه-رهبر-مسیر ذخیره می گردد. شهروندان جامعه‌ی در معرض خطر، این مسیر را تا تخلیه پناهگاه دنبال می کنند.

#### 4.2.4. به‌روزرسانی تغییرات محیطی

همانگ‌کننده، مانیتورینگ تغییرات زیست‌محیطی و به‌روزرسانی خدمات را انجام می‌دهد. با توسعه یک فاجعه سونامی، محیط‌زیست و زیرساخت نظام شهری به احتمال زیاد تخریب شده 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 داده شده 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 توثیق 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.

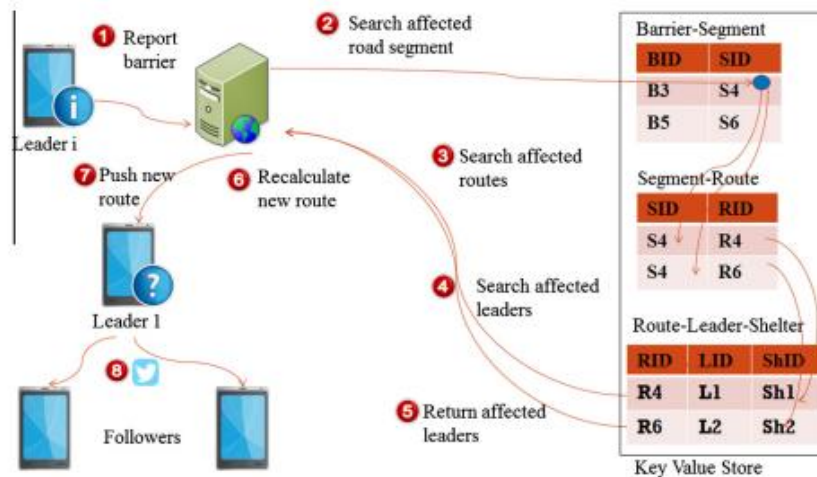
### 5. تخلیه سونامی پادانگ

در منطقه خطر شهر پادانگ اندونزی، تعداد توثیق 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 تولیدات شامل ابر داده برچسب جغرافیایی و اطلاعات تلفن‌های همراه کاربران است (Middleton et al., 2014). در آنجا تقریباً 8000 نفر از توثیق استفاده می‌کنند. شهر پادانگ یک بستر تست مناسب برای استفاده از DDSS برای هدایت جامعه جهت تخلیه در زمان رخداد سونامی است.

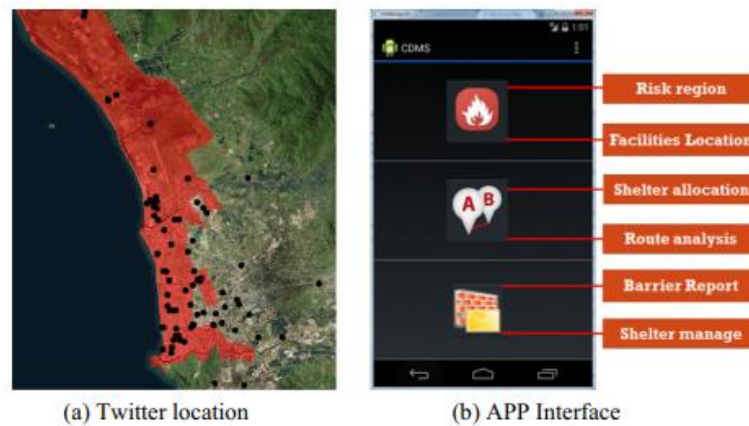
رهبران جامعه برنامه DDSS را بر روی گوشی‌های هوشمند خود نصب می‌کنند. آن‌ها نه تنها تهدیدات سونامی بلکه اطلاعات زمان واقعی مسیر تخلیه منتشرشده توسط EOC را نیز دریافت می‌کنند (اینترفیس این برنامه در قسمت b شکل 7 نشان داده شده است). این برنامه به رهبران جامعه کمک خواهد کرد تا در زمان واقعی، تخلیه را انجام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



(a) Twitter location

(b) APP Interface

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 هشدار 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 و 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

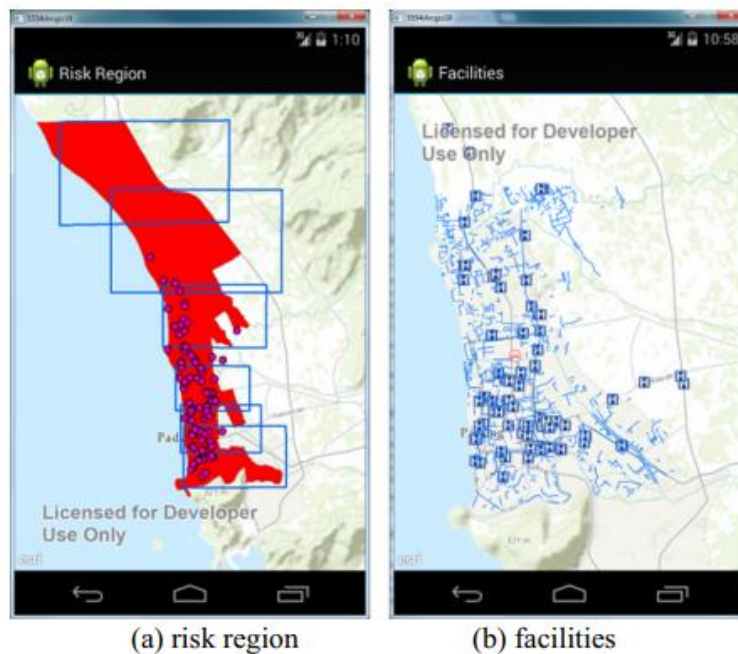
### 5.2.1. تخصیص پناهگاه

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 آن اختصاص یافته است، کاهش می‌یابد.

## 5.2.2. مسیر یاب 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 و 3).

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. به روزرسانی زمان واقعی مسیر

#### 5.3.1. گزارش سد

وقتی که پیروان رهبر مسیر تخلیه را دنبال می کنند، آن ها از مکان شروع حرکت می کنند (شکل 9 قسمت b) و به سمت مکان جدیدی می روند (شکل 9 قسمت c). جایی که یک پل خراب در مسیر تخلیه بیابند که به وسیله افتادن درخت خراب شده است، تابع وضعیت جدید را به EOC گزارش می دهد (شکل 10 قسمت a). سپس موانع را بر روی نقشه به صورت دقیق مشخص می کنند (شکل 10 قسمت b). این اطلاعات به پایگاه داده EOC در زمان واقعی گزارش داده می شود. روند گزارش باعث به روزرسانی مسیر آسیب دیده می گردد و مسیر دیگری انتخاب شده و ارسال می گردد.

جدول 2. جدول ارتباط رهبر و پناهگاه

Key	Values	
Leader ID	Shelter ID	Follow number
5	240	800

جدول 3. جدول ارتباط رهبر و مسیر

Key: Segment ID	Value: Leader ID
12363	5
12364	5
12368	5
12287	5
12647	5
9829	5
9880	5

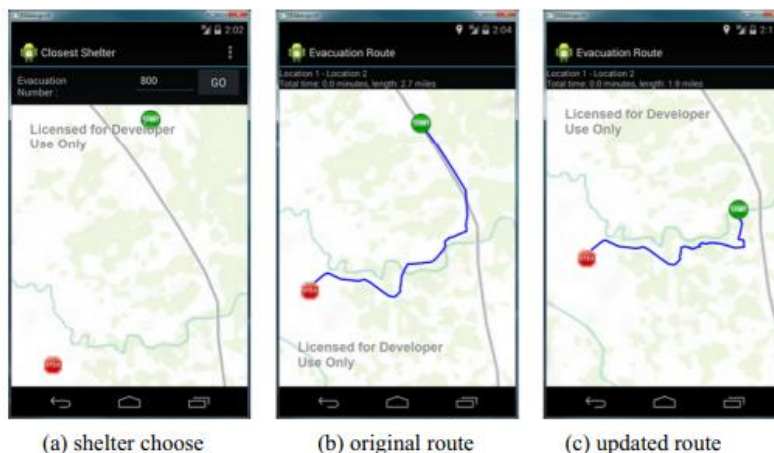
#### 5.3.2. مدیریت پناهگاه

سیستم DDSS وضعیت پناهگاه را به طور مستقیم مدیریت می کند وقتی که پناهگاه به رهبری اختصاص داده شد، رهبر با پیروانش به آنجا نقل مکان کرده و ظرفیت آن پناهگاه به طور اتوماتیک 800 نفر کمتر می شود. 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 به روزرسانی می کنند (شکل 10 قسمت d). برای اطمینان از اینکه آب و غذای کافی در هر پناهگاه برای حداقل 800 نفر وجود دارد (مردم

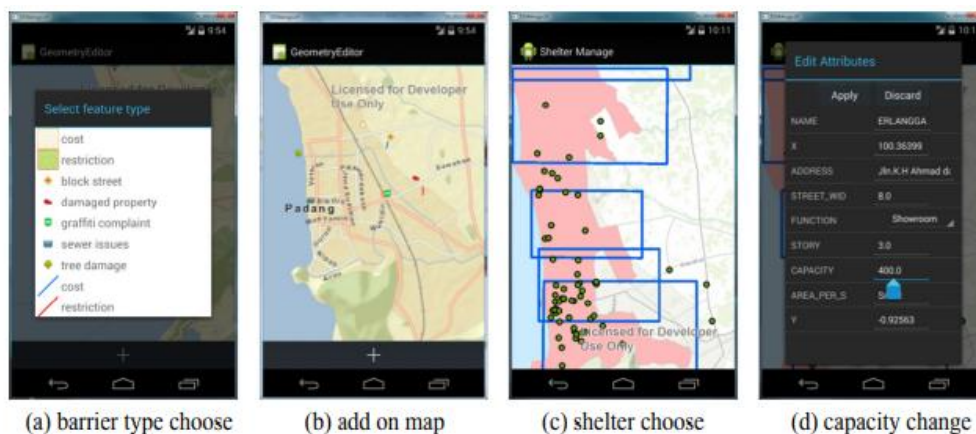
حداقل 2 روز باید آنجا بمانند) نیاز بلافاصله به EOC منتقل می‌گردد. اگر به خاطر برخی دلایل، پناهگاه آسیب‌دیده باشد یا به علت آسیب جاده در دسترس نباشد، آن پناهگاه از لیست سرپناه‌ها حذف‌شده و رهبران به پناهگاه‌های دیگری هدایت می‌شوند.

### 5.3.3. به‌روزرسانی مسیر

پس از اینکه رهبران آسیب‌درخت و تخلیه‌مسیر 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 توثیق می‌کنند (شکل 9 قسمت c و جدول 4)



شکل 9. نقشه مسیر تخلیه



شکل 10. گزارش سد و مدیریت پناهگاه

#### جدول 4. جدول به روزرسانی ارتباطات رهبر-مسیر

Key: Segment ID	Value: Leader ID
12284	5
12287	5
12647	5
9829	5
9880	5

#### 6. نتیجه گیری

سیستم GIS-SM-DDSS عملیاتی را برای تخلیه در مواقع خطر سونامی ایجاد می کند. Mobile-GIS، تجسم فضایی خطر سونامی را تهیه کرده و عملیات تجزیه و تحلیل مسیر تخلیه را به منظور ایجاد محیطی امن بررسی می کند. رهبران انتخابات بر اساس اطلاعات وابستگی بین کاندیدها و جامعه آنان ایجاد می گردند. وقتی که اینترنت در دسترس باشد، مدیران اورژانس، مسیر تخلیه تا محل جوامع را برای رهبران ارسال می کنند. این ارسال اطلاعات توسط شبکه های اجتماعی همانند توئیتر به شهروندان ارسال می گردند. وقتی که اینترنت در دسترس نباشد، شبکه های فرصت طلب، بر اساس پوشش به عنوان شبکه های موقت برای رسیدن به این هدف در نظر گرفته می شوند. رهبران تغییر شرایط زیست محیطی را به صورت زمان واقعی برای طراحی سیاست های مناسب به مراکز اصلی و مرکزی ارسال می کنند. در مورد پادانگ اندونزی، GIS-SM-DDSS یک شبکه ارتباطی بین دولت و ملت ایجاد کرد. همراه با شبکه های حسگر زیر آبی، یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری پویا برای انتقال داده از سنسور زیر آب به شبکه توئیتر زمینی برای تشخیص، کاهش و ایجاد مسیر در برابر خطرات سونامی تهیه می گردد.

#### 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-in-place 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.