فصلنامه علمی- پژوهشی
فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

سال هفتم، شماره‌های ۲۳ و ۲۴، بهار و تابستان ۱۳۹۴
صص: ۶۳- ۷۸

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

ارائۀ روشی بهینه در اعزام آمبولانس مبتنی برشبکه‌های پیچیده و هوش مصنوعی

[*]مهدی زرکش‌زاده [**]زینب الهدی حشمتی [**]هادی زارع [**]مهدی تیموری
*دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی فناوری اطلاعات پزشکی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران
** استادیار، گروه علوم و فناوری شبکه، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۲۵

چکیده

هدف سرویس‌های اورژانس پزشکی کاهش مرگ و میر و عوارض ناشی از بیماری‌ها و صدمات می‌باشد. اعزام سریع سرویس‌های اورژانس و کاهش زمان پاسخ، منجر به افزایش نرخ بقاء می‌شود. زمان پاسخ یکی از معیارهای مهم سنجش کارایی سرویس‌های اورژانس پزشکی می‌باشد. روش معمول در اعزام آمبولانس‌ها، فرستادن نزدیک‌ترین واحد در دسترس می‌باشد که این روش به کارایی در کوتاه مدت توجه می‌کند. یکی از روش‌هایی که اخیرا در زمینه اعزام آمبولانس بیان شده است، مبتنی بر تحلیل شبکه‌های پیچیده است. هدف این روش، اعزام آمبولانس مد نظر به تماسی می‌باشد که مرکزیت بیشتری نسبت به دیگر تماسها دارد، که منجر به کارایی بهتر در دراز مدت می‌شود. دیگر روش‌ها در اعزام آمبولانس مبتنی بر پیدا کردن بهترین مسیر مناسب برای ماشین‌های سرویس‌دهنده می‌باشد که پیچیدگی زمانی این روش‌ها بسیار بالا می‌باشد. در این مقاله با استفاده از رویکردی ترکیبی و به کارگیری معیارهای مرکزیت از تحلیل شبکه‌های پیچیده و روش‌های جستجو مبتنی بر هوش مصنوعی، روشی بهینه و نوین را برای کاهش زمان پاسخ سرویس‌های اورژانسی ارائه شده است. علاوه بر این در روش پیشنهادی، اولویت اورژانسی تماس‌ها نیز درنظر گرفته شده است، که متغیری مهم در تصمیم گیری ها می باشد. روش پیشنهادی نسبت به روش‌های قبلی از محدودیت‌های کمتری برخوردار بوده و نتایج شبیه سازی گسترده نیز بهبود معنی‌دار این روش را در مقایسه با روش های قبلی مانند روش مرکزیت و نزدیک‌ترین همسایه، مورد تایید قرار می‌دهد.

واژه های کلیدی: اعزام آمبولانس، زمان پاسخ، تحلیل شبکه های پیچیده، مرکزیت، جستجو، هوش مصنوعی

۱- مقدمه

سرویس‌های اورژانس پزشکی، مجموعه‌ای می‌باشد که مراقبت‌های اورژانس پزشکی را برای بیماران و مجروحان فراهم می‌کنند و در صورت نیاز، بیماران را به منظور ارزیابی بیشتر توسط پزشکان، به بیمارستان منتقل می‌کنند[1] . هدف سرویسهای اورژانس پزشکی نجات جان انسان‌ها می‌باشد اما این موضوع با آموزش امدادگران و زمانی که لازم است به صحنه تماس برسند رابطه دارد [2] .

اولین عملی که در هنگام برقراری تماس صورت می‌پذیرد، مشخص کردن سطح اورژانسی بیمار می‌باشد. بیماری‌های مهمی مانند حمله قلبی، سکته مغزی، خون‌ریزی و تروما نیاز به کمک‌رسانی سریع دارند و علت آن این می‌باشد که در زمان کوتاهی منجر به مرگ می‌شود[3].

معیاری که به عنوان شاخص کارایی در نظر گرفته شده است زمان پاسخ می‌باشد و از آنجایی که بطور مستقیم رفاه

نویسنده عهده‌دار مکاتبات: زینب الهدی حشمتی zheshmati@ut.ac.ir

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

و ایمنی را فراهم می‌کند، به عنوان یکی از معیارهای مهم به منظور سنجش کیفیت مراقبت‌های اورژانس پزشکی می‌باشد[4][3]. زمان پاسخ به مدت زمان سپری شده از موقع برقراری تماس تا لحظه رسیدن آمبولانس به بیمار گفته می‌شود، [6] ,[5] که به زمان پاسخ، مدت انتظار نیز گفته می شود [1]. مطالعات زیادی در زمینه رابطه بین زمان پاسخ و کاهش مرگ و میر انجام شده است که کاهش زمان پاسخ منجر به کاهش مرگ و میر می‌شود [7] [8] [9].

هر ساله در بریتانیا ۲۷۰۰۰۰ از مردم دچار حمله قلبی می‌شوند که نیمی از آن‌ها قبل از رسیدن به بیمارستان جان خود را از دست می‌دهند. در ۱۰ دقیقه اولیه که ایست قلبی رخ می‌دهد، هر یک دقیقه کاهش در زمان پاسخ، شانس زنده ماندن را در حدود ۱۰% افزایش می‌دهد [10]. کاهش یک دقیقه در زمان پاسخ، شانس زندگی را ۲۴٪ افزایش می‌دهد که هزینه یک دقیقه کاهش زمان پاسخ در ولز و انگلستان، در حدود ۵۴ میلیون یورو می‌باشد [11]. مطالعه‌ایی نیز در سال ۲۰۰۱ صورت گرفته است که تاثیر کاهش زمان روی ۱۴۰۰۰ بیمار قلبی را از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۸ در اسکاتلند بررسی کرد. هنگامیکه درصد تماس‌هایی که در ۸ دقیقه پاسخ داده می‌شوند از ۵۰٪ به ۷۵٪ افزایش پیدا کرد جان ۱۸۰۰ انسان نجات پیدا کرد و زمانیکه ۹۰٪ تماس‌های دسته A در زمان ۸ دقیقه پاسخ داده شد جان ۳۲۰۰ انسان نجات پیدا کرد [12].

تعداد ناوگان آمبولانس، مکان آن‌ها، شرایط ترافیکی نامشخص یا تاخیر در برقراری ارتباط با مرکز اورژانس از جمله فاکتورهایی می‌باشند که زمان پاسخ را تحت تاثیر قرار می دهند[13]. ۳ نوع از تصمیم‌گیری‌ها در سرویس‌های اورژانس پزشکی تاثیر مهمی در زمان پاسخ دارند :

- مکان آمبولانس [8] ,[1] :

  برای مشکل مکان آمبولانس به طور قابل توجهی مطالعات صورت گرفته است که تلاش شده مکان بهینه برای پایگاه‌های آمبولانس مشخص شود.

- جابه‌جایی آمبولانس [8]:

  تصمیم جابه‌جایی، مکان آمبولانس را براساس الگوهای تقاضای موقت و جغرافیایی، به نقاط مختلف تغییر می‌دهد تا پوشش افزایش پیدا کند.

- اعزام آمبولانس :

اعزام آمبولانس یکی از فاکتورهای مهمی می‌باشد که در زمان پاسخ تاثیر می‌گذارد [15] ,[14] ,[8]. کار یک اعزام‌کننده این می‌باشد که به تماس‌هایی که برقرار می‌شوند به صورت مناسب و براساس اولویت اورژانسی تماس‌ها و پارامترهایی که مرکز اورژانس تعیین می‌کند، آمبولانس اختصاص دهد. همچنین مطمئن شود شرایط برای سرویس‌دهی به تماس‌هایی که در آینده بر قرار می‌شوند در شرایط مطلوب می‌باشد که زمان پاسخ کاهش داده شود [8][1].

در [15] ,[14] تصمیم‌های اعزام به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. دسته اول در شرایطی می‌باشد که تعداد آمبولانس‌ها بیشتر از تعداد تماس‌ها می‌باشد و بار سیستم کم می‌باشد. در این شرایط در صورتیکه تماسی برقرار شود، یک آمبولانس در بین واحدهای آزاد به منظور اعزام و خدمت‌رسانی به تماس برقرار شده، انخاب می‌شود که به این حالت مبتنی بر تماس گفته می‌شود. دسته دوم در شرایطی است که تعداد آمبولانس‌ها از تعداد تماس‌های دریافتی کمتر می‌باشد و بار وارد به سیستم زیاد می‌باشد. در این شرایط تماس‌ها در صف انتظار قرار می‌گیرند تا آمبولانسی آزاد و به منظور خدمت‌رسانی اعزام شود که به این حالت مبتنی بر آمبولانس گفته می‌شود. این شرایط در حالتی اتفاق می‌افتد که فاجعه‌ایی انسانی یا طبیعی رخ دهد و منجر به افزایش ترافیک، تماس‌های اورژانسی، صدمات و مرگ و میر گردد [14].

فجایع شرایط بحرانی و غیر عادی می‌باشد که منجر به مرگ و میر و آسیب‌های فراوانی می‌شوند که نمی‌توان به طور موثر روش‌های معمول و ساده مدیریت نمود [16]. ۳۷۳ فاجعه طبیعی در سال ۲۰۱۰، ۲۹۶۸۰۰ نفر را از بین برد و نزدیک به ۲۰۸ میلیون انسان را تحت تاثیر قرار داد و هزینه‌ایی نزدیک به ۱۱۰ میلیارد دلار را بر جای گذاشت [17]. کمبود منابع معمولا موجب ضعف در آماده شدن در برابر فجایع می‌شود. در بین ۱۰ کشوری که در سال ۲۰۱۲

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

از نظر مرگ و میر در فجایع صاحب بیشترین کشته می‌باشند، ۶ کشور جزء کشورهایی می‌باشند که میزان درآمد آن‌ها کم یا متوسط رو به پایین می‌باشند و ۴ کشور جزء کشورهای پردرآمد می‌باشند [17]. به میزان زیادی قابل پیش‌بینی است که فاجعه‌های بیشتر و بیشتری در آینده به دلایل شهرنشینی بدون برنامه‌ریزی، تخریب محیط زیست، تغییرات آب و هوا و حملات تروریستی به وقوع خواهد پیوست [18]. کمبود منابع و افزایش وقوع فجایع، این نیاز را ایجاد می‌کند که می‌بایست قوانین موثری در اعزام آمبولانس وجود داشته باشد که براساس آن بتوان در زمان‌های بحرانی عملکرد مناسبی داشت [14].

۲- کارهای مرتبط

قاعده‌ایی که به طور معمول استفاده می‌شود، فرستادن نزدیک‌ترین آمبولانس در دسترس می‌باشد [23]–[19]. اعزام نزدیک‌ترین همسایه اگرچه زمان پاسخ را برای تماس فعلی کاهش می‌دهد اما ممکن است زمان پاسخ برای تماس‌های بعدی افزایش پیدا کند و این ممکن است در صورتی باشد که آمبولانس در ناحیه‌ایی با میزان تماس‌های بالا قرار داده شده باشد. در این صورت می‌توان به جای اعزام آمبولانسی که به طور ویژه‌ایی سطح مطلوبیت را در ناحیه‌ای کاهش می‌دهد، آمبولانس دیگری را از ناحیه دورتر با نرخ تماس‌های کمتر اعزام نمود [8].

روش‌هایی در زمینه اعزام ارائه شده‌اند که در آن‌ها همیشه نزدیک‌ترین واحد سرویس‌دهنده به تماس ارسال نخواهد شد [23] ,[15] ,[13] ,[8] ,[1]. در [1] تماس‌ها به سه دسته ۱، ۲ و ۳ تقسیم شده‌اند که نزدیک‌ترین آمبولانس‌ها به تماس‌های دسته ۱ فرستاده می‌شوند. تصمیم اعزام برای تماس‌های دسته ۲ و ۳ بر اساس معیار مطلوبیت می‌باشد که کدام آمبولانس به کدام تماس اعزام گردد. سپس در [8] مطلوبیت مورد بحث قرار گرفته است و کارایی این روش با نزدیک‌ترین همسایه در شرایطی که اولویت همه تماس‌ها برابر است بررسی شده است. یک رویکرد ترکیبی برای اصلاح تقویت روش مطلوبیت در [1] ارایه شده است که تا حدودی از مزایای مطلوبیت و نزدیک‌ترین همسایه بهره گرفته شده است و در ساختار الگوریتم از توابع رفاه اجتماعی استفاده می‌کند که در این شرایط خاص نتایج بهتری را به همراه دارد. در[13]و [23] نیز قوانینی در مورد اعزام آمبولانس بیان شده است.

مسائلی تحت عنوان *مشکل سفر تعمیرکار*[1] بیان شده است که در این نوع از مسائل یک تعمیرکار موجود می‌باشد و تعدادی ماشین به منظور تعمیر موجود می‌باشند که هدف از این نوع مسائل این می‌باشد که مسیری پیدا شود که زمان انتظار برای همه ماشین‌ها در کل کمینه گردد که این دسته از مسائل شبیه به مسئله مشکل حداقل تاخیر[2] یا مشکل فروشنده دورگرد[3] نیز می‌باشد [26]–[24]. این دست از مسائل جزء مسائلی می‌باشد که پیچیدگی زمانی بالایی دارند و غیر قطعی چند جمله‌ایی زمان سخت می‌باشند. در [27] روشی در اعزام ماشین تعمیر تجهیزات برقی ارائه شده است که هر بخش را برای هر ماشین تعمیر جدا نموده است و مسیری که کمترین هزینه را دارا می‌باشد انتخاب می‌شود و اگر خرابی جدیدی رخ دهد بر اساس [25] مسیر جدید را می‌سازد. در [14] روش جدیدی به منظور اعزام آمبولانس‌ها در شرایطی که فاجعه رخ داده است ارائه شده است که مرکزیت را با نزدیک‌ترین همسایه ترکیب کرده است و در [15] به مرکزیت نسبت به نزدیک‌ترین همسایه وزن داده و از معیارهای مختلف مرکزیت به منظور ارزیابی کارایی استفاده کرده است.

۳- اعزام آمبولانس مبتنی بر مرکزیت

۳-۱- مرکزیت :

مرکزیت یک راس در شبکه، نشان‌دهنده اهمیت آن راس در کارایی عملیاتی شبکه می‌باشد. هنگامیکه تماس‌ها بر اساس مرکزیت اولویت‌بندی می‌شود در این صورت آمبولانس‌ها به مرکزی‌ترین تماس اعزام می‌گردند و این فرصت را پیدا می‌کنند که بعد از سرویس‌رسانی به تماس مورد نظر، بتواند به تماس‌های دیگری که در آن نزدیکی می‌باشند

1 .Travelling Repairman Problem

2 .Minimum Latency Problem

3 .Travelling Salesman Problem

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

خدمت‌رسانی نمایند. بنابراین هنگامیکه مکان آمبولانس‌ها براساس مرکزیت مشخص می‌شود (به این معنی که آمبولانس‌ها به تماس‌های مرکزی‌تر اعزام می‌شوند) تمایل دارند که در نواحی با تعداد تماس بالا بمانند و در نتیجه قادر باشند به تماس‌هایی که در آینده می‌رسند به سرعت پاسخ دهند. به هر حال اگر تماس‌ها فقط براساس مرکزیت اولویت‌بندی شوند، آمبولانس‌ها بیش از حد به راس‌های مرکزی سفر می‌کنند و از تماس‌هایی که در مجاورتشان هستند بهره‌برداری کافی نمی‌کنند. از سوی دیگر نزدیکترین همسایه در بهره‌وری کارا از مناطق محلی قدرت بالایی دارد، اما ممکن است به دلیل نبود دید سراسری به ناحیه سرویس، در منطقه‌ایی که تعداد تماس کمی در آن موجود می‌باشد بماند. استفاده همزمان از سیاست مرکزیت و سیاست نزدیک‌ترین همسایه، منجر به اطمینان از داشتن کارایی بلند مدت به همراه کارایی کوتاه مدت می‌شود [14], [15].

۳-۲- بیان الگوریتم

معیار مرکزیت مورد استفاده در این مقاله، مرکزیت وزن‌دار می‌باشد و طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود[14], [15] :

$$WD_c = [\sum_{j\in C, j\neq c} \frac{1}{1+d_{jc}}]^{1-h} \qquad (۱)$$

مرکزیت به وسیله $1\text{-}h$ (که h احتمال بیمارستان رفتن می‌باشد) به توان رسیده است. بردار C شامل تماس‌هایی می‌باشد که آمبولانس به آنها اختصاص داده نشده است و d_{jc} فاصله (فاصله زمانی) بین تماس c و j است. از آنجاییکه وزن در شبکه تماس‌ها نشان دهنده فاصله می‌باشد و مرکزیت یک گره براساس جمع وزن یال‌های متصل به آن محاسبه می‌شود، به همین دلیل هر چقدر مقدار وزن برای راسی کمتر باشد، مرکزیت آن راس بالاتر است.

قانون اعزام مبتنی بر مرکزیت در پنج مرحله بیان شده است :

۱. در ابتدا هنگامیکه آمبولانس a آزاد می‌شود، همه تماس‌هایی که منتظر رسیدن آمبولانس می‌باشند در بردار C مشخص می‌شوند.
۲. سپس زمان t_{ac} که فاصله بین آمبولانس a و تماس c را برآورد می‌کند، محاسبه می‌شود که $c \in C$ می‌باشد.
۳. محاسبه مرکزیت WD_c برای هر کدام از تماس‌ها ($c \in C$) که براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود :
۴. محاسبه g_{ac} که براساس آن مشخص می‌شود کدام آمبولانس به کدام تماس اعزام شود و براساس رابطه (۲) می‌باشد :

$$g_{ac} = \frac{WD_c}{1+t_{ac}} \qquad (۲)$$

۵. آمبولانس آزاد a را به تماس a^* که بیشترین مقدارg_{ac} را دارا می‌باشد اعزام می‌شود که در رابطه (۳) نشان داده شده است.

$$c^* = \max g_{ac} \qquad (۳)$$

۴- ارائه رویکرد پیشنهادی

۴-۱- اصلاحات در روابط

در این بخش، برخی اصلاحات در روابط (۱) و (۲) انجام داده می‌شود. هدف از مقدار ۱ که در مخرج می‌باشد این است که در مواقعی که مقدار $\mathrm{t_{ac}}$ صفر می‌باشد (آمبولانس در محل تماس مورد نظر قرار دارد) منجر به تقسیم بر صفر نشود. از طرف دیگر اگر تماس دیگری از ناحیه‌ای با مرکزیت بیشتر گرفته شود در حالی که هم اکنون تماسی در همین محل کنونی وجود دارد، آمبولانس به محل مرکزی‌تر ارسال خواهد شد. برای جلوگیری از این سیاست اعزام اشتباه، مقدار $0<\varepsilon<1$ به جای ۱ قرار داده شده است تا مقدار g_{ac} برای این حالت که $\mathrm{t_{ac}} = 0$ است از تماس‌های دیگر با $\mathrm{t_{ac}} \geq 1$ همواره بیشتر باشد. به عبارتی دیگر وقتی آمبولانسی به ناحیه‌ای اعزام شده است و همزمان تماس دیگری نیز در همان ناحیه اتفاق می افتد، به همان تماس سرویس داده می‌شود زیرا در این حالت $0<\varepsilon<1$ وجود خواهد داشت به طوری‌که،

$$\frac{WD_c}{\varepsilon} > \frac{WD_C}{\varepsilon + t_{ac}}$$

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

شکل اصلاح شده فرمول در رابطه (۴) قرار داده شده است. مقدار ε بین صفر تا ۱ در نظر گرفته شده است که هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج بهتر می‌باشد. مقداری که برای ε در شبیه‌سازی‌ها نظر گرفته شده است ۰,۰۰۰۱ می‌باشد.

$$g_{ac} = \frac{WD_c}{\varepsilon + t_{ac}} \qquad (۴)$$

یکی دیگر از مسائلی که می‌بایست به آن توجه نمود هنگامی می‌باشد که یک تماس موجود می‌باشد و می‌بایست نزدیک‌ترین آمبولانس در بین آمبولانس‌های موجود به تماس اعزام شود. در فرمولی که به منظور محاسبه مرکزیت بیان شده است حالتی را که یک تماس موجود می‌باشد در نظر گرفته نشده است و طبق رابطه (۱) مقدار مرکزیت صفر در می‌آید و این موضوع باعث می‌شود که یکی از آمبولانس‌ها به صورت تصادفی انتخاب شود و در نتیجه معمولا آمبولانسی که نزدیک‌تر می‌باشد اعزام نمی‌شود. در این حالت می‌بایست زمانی که تعداد فقط یک تماس موجود می‌باشد یک مقدار ثابت (به عنوان مثال عدد ۱) را به جای مرکزیت قرار داد.

۴-۲- روش‌های جستجو

مسائلی تحت عنوان مشکل سفر تعمیرکار حل شده است که در این نوع از مسائل یک تعمیرکار موجود می‌باشد و تعدادی ماشین به منظور تعمیر موجود می‌باشند که هدف از این نوع مسائل این می‌باشد که مسیری پیدا شود که زمان انتظار برای همه ماشین‌ها در کل کمینه گردد که این دسته از مسائل شبیه به مسئله مشکل حداقل تاخیر یا مشکل فروشنده دورگرد نیز می‌باشد [25] ,[24]. حل این مسائل در مورد مسائل اعزام آمبولانس بغرنج‌تر و پیچیده‌تر می‌شود که این پیچیدگی شامل موارد زیر می‌باشد :

- احتمال بیمارستان رفتن :

  احتمال بیمارستان رفتن به عوامل مختلفی بستگی دارد که از جمله این موارد می‌توان به شدت بیماری یا صدمات اشاره کرد و به هر حال چیزی که مشخص است همه تماس‌ها نیاز به انتقال به بیمارستان ندارند [28]. درصد واقعی از تماس‌های اضطراری که در ایالات متحده نیاز به انتقال به بیمارستان دارند ۲۵٪ می‌باشد [15]. در مسائلی مانند مشکل سفر تعمیرکار، ماشین‌هایی که نیاز به تعمیر دارند در همان محل مورد نظر تعمیر می‌شوند ولی در مسائل اعزام آمبولانس مشخص نمی‌باشد که کدام تماس به بیمارستان منتقل خواهد شد و در نتیجه مشخص کردن یک مسیر بهینه تقریبا ناممکن می‌باشد و ممکن است آمبولانس به منظور خدمت‌رسانی به یک تماس، مجبور باشد که آن را به بیمارستان منتقل نماید، در نتیجه مکان آمبولانس تغییر پیدا می‌کند و بهینه نمی‌باشد.

- همکاری آمبولانس‌ها در نواحی سرویس :

  از دیگر تفاوت‌های مسائل اعزام آمبولانس در قیاس با مسائل حداقل تاخیر یا سفر تعمیرکار در این می‌باشد که در مسائل اورژانس پزشکی، بیش از یک سرویس‌دهنده موجود می‌باشد و این در صورتی می‌باشد که در مسائل دیگر فقط یک سرویس‌دهنده در نظر گرفته‌اند. حتی در [27] که بیش از یک سرویس‌دهنده موجود می‌باشد، نواحی سرویس هر کدام از خدمت‌گزارها از هم جدا شده است و شبیه به مسائل سفر تعمیرکار حل می‌شود. از آنجاییکه در این مسئله هر سرویس‌دهنده مسئول خدمت‌رسانی به یک منطقه می‌باشد این عمل در مورد اورژانس پزشکی نیاز به تغییراتی دارد تا بتوان از امکانات موجود بطور کارا استفاده کرد. علت آن این است که در صورتی که هر سرویس‌دهنده مسئول خدمت‌رسانی به یک ناحیه باشد ممکن است در یک منطقه تعداد تماس زیادی رخ دهد و در منطقه دیگر تعداد تماس‌ها کم باشد. در این شرایط ممکن است یک یا بعضی از آمبولانس‌ها بار زیادی بر آن‌ها اعمال شود و آمبولانس یا آمبولانس‌های دیگر به نسبت آزادتر باشند که خدمت‌رسانی با این شرایط معایبی دارد :

  - عدم توازن در مشغول بودن آمبولانس‌ها
  - افزایش زمان پاسخ تماس‌ها در مناطقی که تعداد درخواست‌های اورژانس پزشکی زیاد می‌باشد و به

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

علت جدا کردن نواحی خدمت‌رسانی، سرویس‌دهنده‌ها نمی‌توانند به تماس‌های منتظر در نواحی دیگر خدمت‌رسانی کنند.
وجود چندین سرویس‌دهنده منجر به این می شود که در ناحیه‌ایی مشترک می‌بایست برای هر کدام از آمبولانس‌ها مسیر بهینه را پیدا کرد که این موضوع منجر به پیچیدگی بیشتر مسئله اعزام آمبولانس می‌گردد.

- تعداد تماس‌های زیاد :
از موارد دیگر می‌توان به رخداد تعداد تماس‌های زیاد اشاره کرد و این در شرایطی که یک فاجعه رخ دهد اوضاع وخیم‌تر می‌باشد و می‌تواند شرایطی را ایجاد کند که حل مسئله بسیار مشکل گردد. تصور نمایید که آمبولانس به تماسی خدمت‌رسانی کند و چندین تماس دیگر میرسند و در این حالت ممکن است مسیر بهینه بطور کامل تغییر پیدا کند.

تمام این موارد ذکر شده منجر به این می‌شود که در صورتی که بخواهیم مسئله اعزام آمبولانس را با مسائلی مانند سفر تعمیرکار حل نماییم (مخصوصا در حالتی که تعداد تماس‌های در صف زیاد باشد) تقریبا غیر ممکن باشد.

۴-۳- روش ارائه شده

استفاده از معیار مرکزیت در اعزام آمبولانس‌ها ایده خوبی می‌باشد اما به منظور افزایش کارایی نیاز به تغییراتی دارد.
روشی که ما ارائه کرده‌ایم از ترکیب روش مرکزیت و الهام گرفته از مسائل سفر تعمیرکار می‌باشد. هدف از استفاده از معیار مرکزیت این می‌باشد که آمبولانس‌ها به سمتی بروند که بتوانند تماس‌های بیشتری را پاسخ دهند و آمبولانس‌ها از نقطه‌ای که قرار دارد به سمتی بروند که تماس‌های بیشتری حضور دارند و در واقع از یک نقطه به نقطه دیگر پرش می‌کند [15] ,[14]. درصد واقعی از تماس‌های اضطراری که در ایالات متحده نیاز به انتقال به بیمارستان دارند ۲۵٪ می‌باشد. بنابراین ممکن است که آمبولانس بتواند به چندین تماس قبل از نیاز به بیمارستان رفتن، خدمت‌رسانی نماید [15] .
هنگامی که آمبولانسی از ناحیه‌ایی به ناحیه مرکزی‌تر پرش می‌کند فقط علت آن این می‌باشد که به منطقه‌ایی برود که تماس‌های بیشتری را پوشش دهد و اولویت خاصی وجود ندارد. به جای اینکه آمبولانس از ناحیه‌ایی به منطقه‌ایی مرکزی‌تر (با توجه به محاسبات) پرش می‌کند می‌تواند در طول مسیری که به آن ناحیه حرکت می‌کند به تماس‌هایی که در طول مسیر قرار دارند خدمت‌رسانی نمایند. در واقع از آنجاییکه پیچیدگی زمانی روش‌هایی مانند مسئله سفر تعمیرکار بالا می‌باشد از مرکزیت به منظور مشخص کردن هدف استفاده می‌شود که منجر به این می‌شود هم از روش‌های جستجو با پیچیدگی زمانی پایین استفاده شود و هم آمبولانس‌ها به وسیله مرکزیت به نقاط متراکم‌تر هدایت شوند.

۴-۴- تشریح الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم ارائه شده به صورت زیر می‌باشد :

۱. در ابتدا مرکزیت همه تماس‌ها براساس رابطه (۱) مشخص می شود و می‌بایست به این موضوع توجه شود در شرایطی که یک تماس منتظر می‌باشد مقدار مرکزیت را برای تماس مورد نظر ۱ قرار دهیم.
۲. سپس فاصله تماس(ها) با آمبولانس(ها) را محاسبه می‌کنیم.
۳. با توجه به مقادیر بدست آمده در مراحل قبل، رابطه (۲) را برای هر زوج تماس و آمبولانس(آزاد) محاسبه می‌کنیم. در صورتی که یک تماس موجود باشد، آمبولانسی که مقدار f آن بیشتر باشد به منظور خدمت‌رسانی اعزام می‌شود(در واقع آمبولانسی که نزدیک‌تر باشد). در صورتی که بیشتر از یک تماس موجود باشد در این شرایط یک آمبولانس در دسترس می‌باشد. در این حالت مقدار f برای هر تماسی که بیشترین باشد را مرکز کنترل به عنوان مکان هدفی که آمبولانس می‌بایست اعزام گردد، انتخاب می‌کند.
۴. در مرحله بعد اگر بین مسیرهای رسیدن به تماس مورد نظر و آمبولانس، تماس یا تماس‌هایی منتظر خدمت‌رسانی باشند در این شرایط مرکز کنترل برای آمبولانس مسیریابی انجام می‌دهد [1]و اگر

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

تماسی موجود نباشد الگوریتم متوقف می‌شود و آمبولانس به تماس مورد نظر اعزام می‌شود که خدمت‌رسانی کند. مسیردهی مجدد آمبولانس در سرویس‌های اورژانس پزشکی در [23] ,[1] نیز بیان شده است. انتخاب مسیر مناسب برای آمبولانس‌ها براساس ۲ پارامتر می‌باشد:

- در ابتدا مسیرهایی انتخاب می‌شود که کوتاهترین مسیر باشد(در واقعیت ممکن است ۲ مسیری که کوتاهترین باشد وجود نداشته باشد که می‌توان مسیرهایی که تفاوت فاصله آن‌ها تا حد مشخصی فاصله داشته باشد را انتخاب نمود)
- در بین مسیرهای کوتاه‌تر، مسیری انتخاب می شود که بیشترین تعداد تماس را دارا می‌باشد.

۵. حال که مسیر مشخص شد آمبولانس در صورتی به تماس در طول مسیر مورد نظر خدمت‌رسانی می‌کند که نیاز به انتقال به بیمارستان نداشته باشد. وقتی که به تماسی خدمت‌رسانی نمود دوباره مسیریابی می‌شود که اگر مسیر پر ارزش‌تر تغییر پیدا کرده باشد (تماسی اضافه شده باشد) آمبولانس مسیردهی مجدد شود. اعزام مبتنی بر مسیردهی مجدد [29] قادر می‌سازد که ناوگان آمبولانس‌ها که به تماس‌هایی با اولویت پایین‌تر اختصاص داده شده‌اند به تماس‌های با اولویت بالاتراختصاص پیدا کنند و زمان پاسخ بهتری برای تماس‌های اورژانسی داشته باشند. در [1] اجازه داده می‌شود که آمبولانس از تماسی با اولویت پایین در شرایط خاصی، به تماسی با اولویت بالا اختصاص پیدا کند. این عمل تا جایی ادامه پیدا می‌کند که تماس به ناحیه هدفی که مرکز کنترل مشخص کرده است برسد و یا اینکه توسط آمبولانس دیگری خدمت‌رسانی شود. مکان آمبولانس از طریق سیستم موقعیت‌یاب جغرافیایی می‌تواند مشخص شود و توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی گزارش داده شود که این تجهیزات به مرکز کنترل کمک می‌کند که آمبولانس‌ها را به تماس ها و نواحی مختلف مسیریابی نماید.

Hybrid algorithm based on centrality and search:

1. if an ambulance gets freed {
   Waiting _Call // number of calls in queue
   Final_Goal // final location that ambulance should go
   Location_ambulance // current location ambulance
   If (Waiting_Call == 1)
   WD_c =1
   else
   Compute centrality (WD_c) of each call based on equation (1)
2. Compute the travel time (t_{ac}) between all calls and freed ambulances
3. Compute g_{ac} based on equation (4) for each pair freed ambulance (a) and call waiting (c).
   If (Waiting_Call >1)
   Set Final_Goal = call site that maximizes the g_{ac}
   Continue algorithm
   else
   Stop algorithm and dispatch the freed ambulance to the call that maximizes g_{ac}
4. Reapeat
5. Compute all shortest paths from ambulance site to call site
6. Calculate total number of calls in each shortest path.
7. Set best_path = find path that it has maximum number of call.
8. Set first_goal = select call in best_path that it doesn't need to transport to hospital and dispatch freed ambulance to call site.
9. Until (Location_ambulance == Final_Goal) }

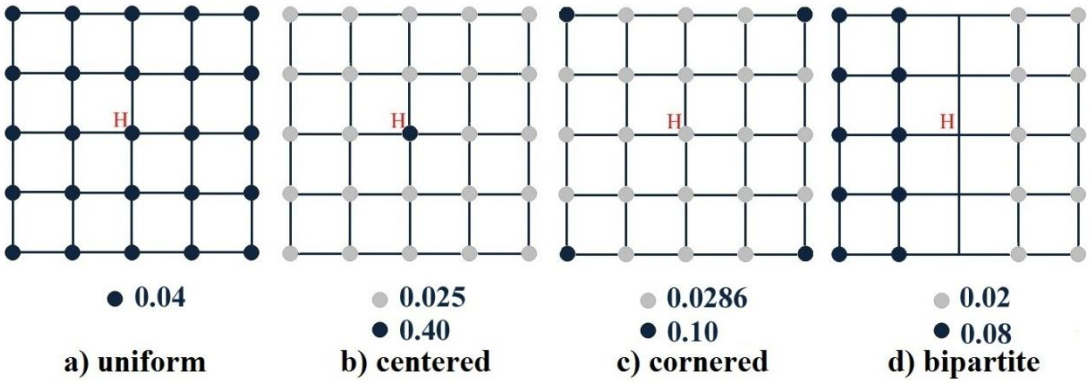
Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

۴-۵- محیط شبیه‌سازی

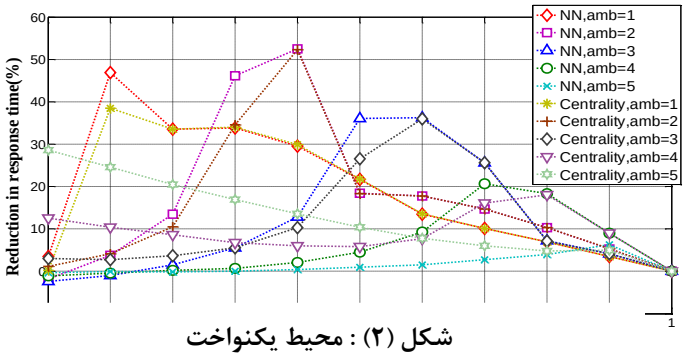
تماس‌ها براساس ۴ حالتی که در شکل (۱) نشان داده شده است در ناحیه سرویس توزیع می‌شود [15] ,[8]. تماس‌ها در هر راس تولید می‌شود و زمان سفر از هر راس به راس همسایه ۱ دقیقه می‌باشد. تعداد ۱۲۵۰۰ تماس و با میانگین ۱ تماس بر دقیقه و براساس توزیع نمایی تولید می‌شوند. زمان سرویس برای هر تماس به میزان ۰,۵ دقیقه و براساس توزیع نمایی می‌باشد. تعداد آمبولانس‌ها از ۱ تا ۵ می‌باشد. آمبولانس‌ها با احتمال‌های {۰، ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶، ۰,۷، ۰,۸، ۰,۹ و ۱} بیمار را به بیمارستان منتقل می‌کنند که بیمارستان در مرکز ناحیه مستقر شده است. ۲۲۰ حالت آزمایش انجام می‌شود که ۴ مدل الگوی تماس‌هامی‌باشد و ۵ حالت مربوط به تعداد آمبولانس‌هامی‌باشد و ۱۱ حالت احتمال بیمارستان می‌باشد که در مجموع هر کدام از این سناریوها ۵۰ بار اجرا می‌شود. از الگوریتم‌های مرکزیت [15] ,[14] و نزدیک‌ترین همسایه[23] ,[22] ,[15] ,[14] ,[1] به منظور بررسی کارایی روش ارائه شده استفاده می‌شود. نتایج به صورت میانگین زمان پاسخ مطابق رابطه (۵) می‌باشد:

$$RRT = \frac{t_P - t_O}{t_O} \qquad (۵)$$

که t_P میانگین زمان پاسخ الگوریتم ارائه شده می‌باشد و t_O میانگین زمان پاسخ الگوریتم‌های دیگر مانند نزدیک‌ترین همسایه و مرکزیت می‌باشد، که به منظور مقایسه با الگوریتم پیشنهادی می‌باشد.

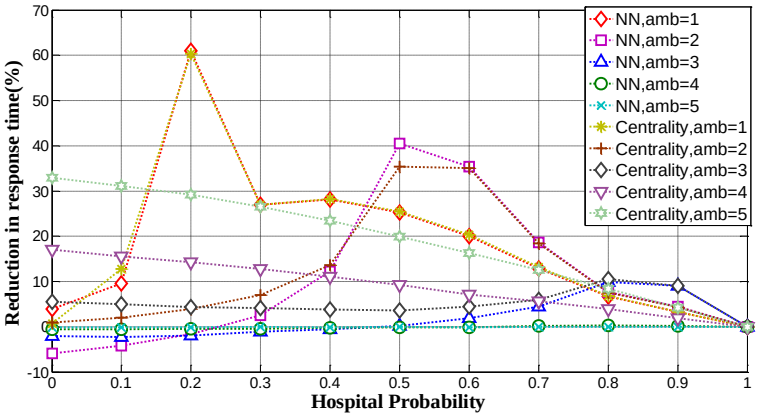


شکل (۱) : محیط‌های شبیه‌سازی

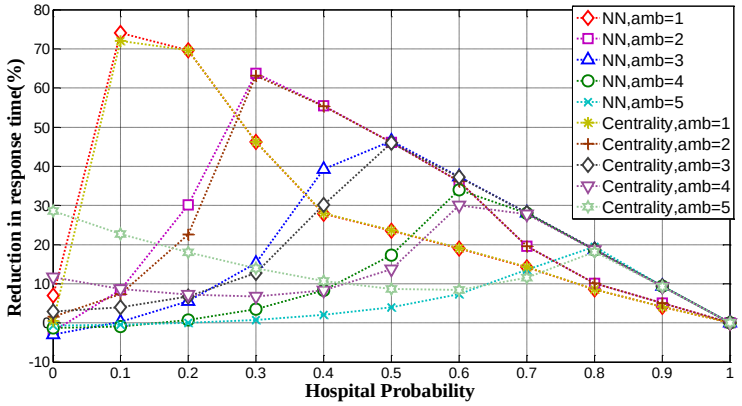


شکل (۲) : محیط یکنواخت

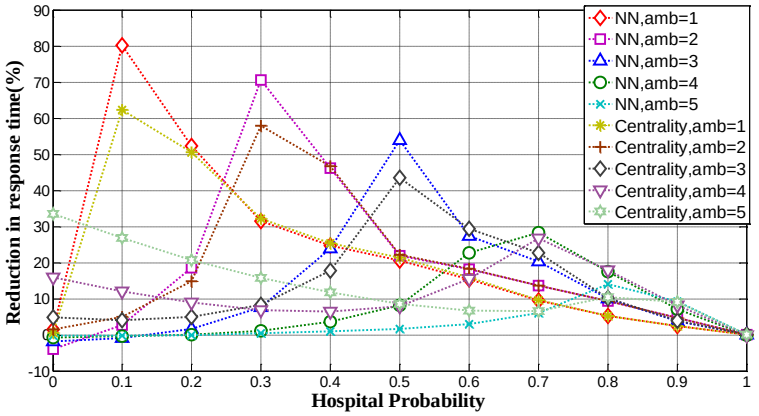
Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026



شکل (۳) : محیط متمرکز



شکل (۴) : محیط گوشه



شکل (۵) : محیط دو بخشی

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

۴-۶- نتایج شبیه‌سازی

در شکل‌های ۲ الی ۵ نتایج شبیه‌سازی نشان داده شده است که در همه شرایط نتایج روش ارائه شده نسبت به روش‌های نزدیک‌ترین همسایه و مرکزیت بهتر می‌باشد. نقاط اوج زمانیکه تعداد آمبولانس ۱ می‌باشد در احتمال‌های پایین بیمارستان رفتن رخ می‌دهد که بار سیستم متعادل می‌باشد. بعد از نقطه اوج احتمال بیمارستان رفتن بیشتر می‌گردد و بار سیستم به شدت افزایش پیدا می‌کند و کارایی روش‌ها به هم نزدیک می‌گردند. هر چه تعداد آمبولانس‌ها بیشتر می‌شود نقطه اوج در شرایطی که بار سیستم متعادل‌تر می‌باشد رخ می‌دهد. همچنین با افزایش تعداد آمبولانس‌ها کارایی روش ارائه شده نزدیک‌تر به ۲ روش دیگر می‌شود که در این حالت بار سیستم رو به کاهش است و نتایج تصمیم‌گیری‌ها به هم نزدیک می‌شوند.

۵- روش ارائه شده با اولویت تماس‌های مختلف به عنوان کار آینده

هدف از این بخش فقط بررسی اجمالی و ارائه راهکاری برای روش پیشنهادی با در نظر گرفتن اولویت اورژانسی تماس‌ها می‌باشد که می‌توان در این زمینه بررسی‌های جامعی انجام داد. انتخاب وزن اورژانسی تماس‌ها، تعیین معیار و تابع هدف به منظور بررسی کارایی، از مواردی می‌باشد که می‌توان به طور گسترده به عنوان کارهای بعدی بررسی شود.

۵-۱- اولویت اورژانسی تماس‌ها

تماس‌های اورژانسی که دریافت می شود به دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند [28] ,[9], [1] :

- تماس‌های دسته ۱ که زندگی را تهدید می‌کنند.
- تماس‌های دسته ۲ تماس‌های حادی می‌باشند که البته زندگی را تهدید نمی‌کنند.
- تماس‌های دسته ۳ زندگی را تهدید نمی‌کند و وخیم نمی‌باشند.

در جدول (۱) درصد تماس‌های اورژانسی هر سطح نشان داده است و همچنین مشخص شده است به چه میزانی در بیمارستان پذیرش می‌شوند[۳۰].

جدول (۱) : میزان بیمارستان رفتن تماس‌های هر سطح[۳۰]

سطح اورژانسی	تعداد	تعداد پذیرش بیمارستان	درصد پذیرش
۱	۲۸۶۳۰	۱۸۴۴۰	٪۶۴,۴
۲	۲۵۴۱۹	۱۳۱۹۰	٪۵۱,۹
۳	۱۱۱۲	۴۷۵	٪۴۲,۷
همه	۵۵۲۷۰	۳۲۱۳۹	٪۵۸,۱

جدول (۲) : وزن تماس‌های اورژانسی

سطح اورژانسی	وزن
۱	۳
۲	۲
۳	۱

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

در جدول (۲) نیز وزن تماس‌های هر سطح می‌باشد که در نظر گرفته‌ایم.

۵-۲- تشریح الگوریتم

الگوریتم ارائه شده به صورت زیر است :

۱. در این شرایط که اولویت اورژانسی تماس‌ها اضافه شده است، محاسبات مرکزیت تماس‌ها نیاز به تغییراتی دارد و می‌بایست وزن اورژانسی بودن تماس‌ها در محاسبه مرکزیت اعمال شود. همچنین می‌بایست وزن تماسی را که مرکزیت آن محاسبه می‌شود نیز به محاسبات اضافه کرد. قبلا چون اولویت تماس‌ها برابر بود در نظر گرفتن خود تماس در محاسبه مرکزیت مهم نبود اما چون در حالتی که اولویت اورژانسی تماس‌ها متفاوت می‌باشد می‌بایست در محاسبات در نظر گرفته شود. این تغییرات در رابطه (۶) نشان داده شده است و با استفاده از این رابطه مرکزیت وزن‌دار برای تماس c ام محاسبه می‌گردد. در این رابطه w_u وزن تماس j ام است که برحسب درجه اورژانسی بودن تماس مشخص شده است، d_{cj} فاصله بین تماس‌های c و j، C بردار تماس‌های در صف انتظار برای خدمت‌رسانی، و h احتمال بیمارستان رفتن می‌باشد.

$$D_c = [\sum_{j \in C, j \neq c} \frac{1}{1+w_u d_{jc}}]^{1-h}, \quad u = 1,2,3 \qquad (۶)$$

۲. سپس فاصله تماس(ها) با آمبولانس(ها) را محاسبه می‌کنیم.

۳. با توجه به مقادیر بدست آمده در مراحل قبل، رابطه (۴) را برای هر زوج تماس و آمبولانس(آزاد) محاسبه می‌کنیم. در صورتی که یک تماس موجود باشد، آمبولانسی که مقدار g_{ac} آن بیشتر باشد به منظور خدمت‌رسانی اعزام می‌شود (در واقع آمبولانسی که نزدیک‌تر باشد). در صورتی که بیشتر از یک تماس موجود باشد در این شرایط یک آمبولانس در دسترس می‌باشد. در این حالت مقدار g_{ac} برای هر تماسی c که بیشترین باشد را مرکز کنترل به عنوان مکان هدفی که آمبولانس a می‌بایست اعزام گردد، انتخاب می‌کند.

۴. در مرحله بعد اگر بین مسیرهای رسیدن به تماس مورد نظر و آمبولانس، تماس یا تماس‌هایی منتظر خدمت‌رسانی باشند در این شرایط مرکز کنترل برای آمبولانس مسیریابی انجام می‌دهد [1] و اگر تماسی موجود نباشد الگوریتم متوقف می‌شود و آمبولانس به تماس مورد نظر اعزام می‌شود که خدمت‌رسانی کند. مسیردهی مجدد آمبولانس در سرویس‌های اورژانس پزشکی در [23] ,[1] نیز بیان شده است. انتخاب مسیر مناسب برای آمبولانس‌ها براساس ۲ پارامتر می‌باشد:

۱. در ابتدا مسیرهایی انتخاب می‌شود که کوتاهترین مسیر باشد. در بین مسیرهای کوتاه‌تر، مسیری انتخاب می شود که ارزشمندتر باشد. ارزش مسیر براساس رابطه (۷) محاسبه می‌شود. در این رابطه w_u وزن تماس j ام در این مسیر می‌باشد و number_call_j شامل تعداد تماس‌ها در کوتاه‌ترین مسیرهای j ام می‌باشد. در نهایت ارزشمندترین مسیر در رابطه (۸) مشخص می‌شود. :

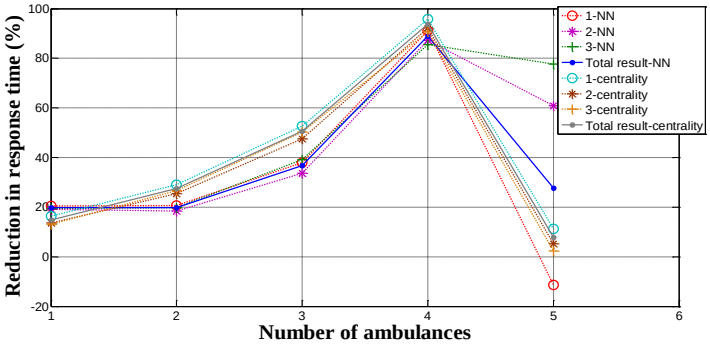
$$path_j = \sum_{i \in number_call_j} w_{ui}, \quad u = 1,2,3 \qquad (۷)$$

$$path^* = \arg\max_{j \in \min_path} path_j \qquad (۸)$$

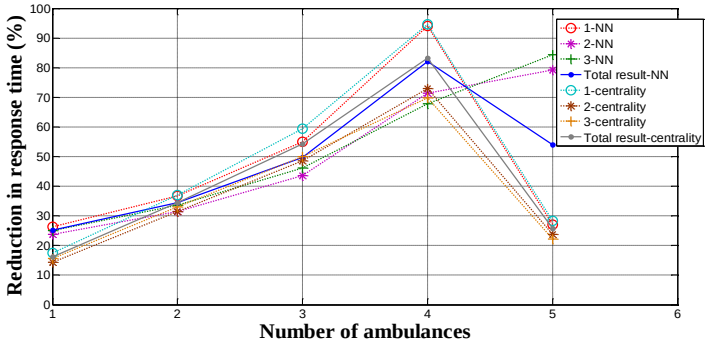
حال که مسیر مشخص شد، آمبولانس در صورتی به تماس در طول مسیر مورد نظر خدمت‌رسانی می‌کند که نیاز به انتقال به بیمارستان نداشته باشد. وقتی که به تماسی خدمت‌رسانی نمود دوباره مسیریابی می‌شود که اگر مسیر پر ارزش‌تر تغییر پیدا کرده باشد(تماسی اضافه شده باشد) آمبولانس مسیردهی مجدد شود. حال با توجه به شرایطی که بیان شده است شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. موضوعی که می‌بایست به آن اشاره نمود این می‌باشد که الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه در قبال تماس‌هایی با سطوح اورژانسی مختلف دچار تغییراتی می‌شود.

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

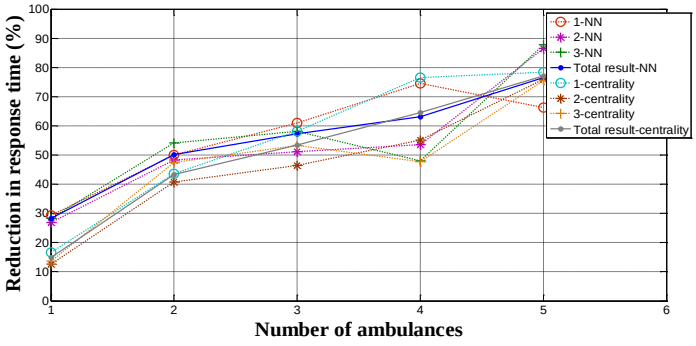
۶- نتایج شبیه‌سازی با اولویت تماس‌های مختلف



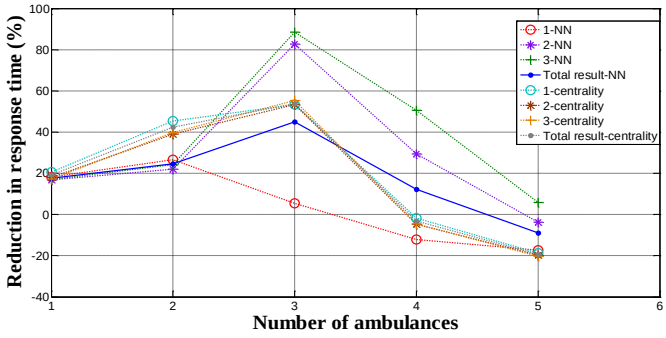
شکل (۶) : محیط یکنواخت با اولویت تماس‌ها



شکل (۷) : محیط متمرکز با اولویت تماس‌ها



شکل (۸) : محیط گوشه با اولویت تماس‌ها



شکل (۹) : محیط دو بخشی با اولویت تماس‌ها

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

حالتی را که ما فرض نموده‌ایم به این شکل است که در ابتدا تماس‌هایی را انتخاب می‌کنیم که در بین تماس‌های موجود بالاترین سطح اورژانس را دارند و سپس در بین مجموعه‌ایی از تماس‌ها با بیشترین سطح اورژانسی، آمبولانس به تماسی ارسال می‌شود که نزدیک‌تر می‌باشد.

نتایج نیز به صورت نسبی بیان شده است و این نتایج در شکل‌های ۶ الی ۹ نشان داده شده است. نتایج روش ارائه شده برای اولویت‌های مختلف اورژانسی مقایسه شده است. هم‌چنین نتیجه نهایی روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر نیز مقایسه شده است که نتیجه نهایی براساس وزن و تعدادی که هر کدام از تماس‌ها دارا می‌باشند تعیین می‌شود. با تغییر وزن سطوح اورژانسی هر کدام از تماس‌ها، می‌توان نتایج مربوط به آن سطح را بهبود بخشید. در شکل‌های ۶، ۷ و ۹ نتایج کاهش زمان پاسخ به حالت زنگوله‌ایی می‌باشد. در ابتدا از آنجایکه منابع بسیار کم می‌باشد نتایج روش‌های مختلف نتایج نزدیک به هم می‌باشند ولی با افزایش تعداد آمبولانس‌ها در این شرایط می‌توان برای آمبولانس‌ها طرح‌ریزی مناسب نمود و کارایی روش پیشنهادی نمایان می‌گردد. هنگامیکه تعداد آمبولانس‌ها نسبت به تعداد تماس‌ها بیشتر می‌شود، کارایی روش پیشنهادی نزدیک به الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه می‌شود و در این شرایط تفاوت زیادی با هم ندارند. در **Error! Reference source not found.** به علت الگوی خاص رسیدن تماس‌ها، مرکزیت و نزدیک‌ترین همسایه به سمت مناطق گوشه حرکت می‌کنند و به تماس‌ها در نقاط دیگر کمتر توجه می‌کنند ولی در روش پیشنهادی از آنجایکه به تماس‌ها در مسیرهای رسیدن به مناطق متراکم‌تر نیز توجه می‌کند در نتیجه کارایی این روش کاهش پیدا نمی‌کند و به صورت صعودی می‌باشد.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

در روش‌های مبتنی بر مرکزیت آمبولانس‌ها را به تماس‌هایی که نسبت به تماس‌های دیگر مرکزی‌تر می‌باشند، اعزام می‌کند و به تماس‌های محلی توجه کمی می‌کند، [14], [15].

زمانی‌که روش مرکزیت تماسی را به عنوان تماس مرکزی‌تر انتخاب می‌کند، در این شرایط به محل تماس پرش می‌کند و به تماس‌هایی که در مسیر قرار دارند توجه نمی‌کند. این در شرایطی می‌باشد که تماس مرکزی‌تر فقط در ناحیه‌ایی قرار دارد که تعداد تماس‌های منتظر به آن نزدیک‌تر نسبت به بقیه می‌باشند. روش نزدیک‌ترین همسایه نیز دید محلی دارد و به صورت حریصانه عمل می‌کند. علاوه بر این روش‌هایی مبتنی بر یافتن مسیر بهینه برای خدمت‌رسانی، [۲۷,۲۶,۲۵]، به علت پیچیدگی و پویایی بیشتر مسائل اعزام آمبولانس، نمی‌توانند در زمان چند جمله‌ایی به جواب برسند.

در این مقاله ما یک رویکرد ترکیبی بر اساس روش‌های جستجوی هوشمند و معیارهای مرکزیت از شبکه‌های پیچیده برای اعزام آمبولانس ارایه کرده‌ایم.

برای عملکرد بهتر در این شرایط از مرکزیت به عنوان تعیین هدف دوم آمبولانس استفاده می‌شود که آمبولانس قرار است در نهایت به آن قسمت اعزام شود. سپس پر ارزش‌ترین و کوتاه‌ترین مسیر برای آمبولانس با استفاده از الگوریتم‌های جستجو مشخص می‌شود و تماس‌هایی که در مسیر قرار دارند را پاسخ می‌دهد. این الگوریتم باعث می‌شود که آمبولانس به تماس‌های محلی توجه بیشتری داشته باشد به طوریکه ضعف‌های روش‌های قبلی پوشانده شود و موجب کارایی بهتر گردد.

برای ارزیابی رویکرد پیشنهادی از آزمایشهای شبیه‌سازی وسیعی استفاده شد که نتایج به دست آمده نشانگر برتری این روش نسبت به روش‌های قبلی مبتنی بر مرکزیت و نزدیکترین همسایه می‌باشد. در حقیقت استفاده از ترکیب دید سراسری و محلی به ناحیه سرویس، موجب بهبود و افزایش عملکرد شده است. به عبارت دیگر آمبولانس‌ها هم به سمت نواحی متراکم حرکت می‌کند که دید سراسری به ناحیه سرویس دارد و هم به تماس‌هایی که در مسیر قرار دارند پاسخ می‌دهد. علاوه بر این، از اولویت تماس‌ها نیز به منظور واقعی‌تر بودن نتایج و بررسی بیشتر کارایی روش ارائه شده، استفاده نمودیم.

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

منابع

1.T. Andersson and P. Värbrand, “Decision support tools for ambulance dispatch and relocation,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 58, no. 2, pp. 195–201, 2007.

2.M. Gendreau, G. Laporte, and F. Semet, “A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation,” *Parallel Comput.*, vol. 27, no. 12, pp. 1641–1653, 2001.

3.E. T. Wilde, “Do Emergency Medical System Response Times Matter for Health Outcomes?,” *Health Econ.*, vol. 22, no. 7, pp. 790–806, 2013.

4.S. Lee, “Centrality-based ambulance dispatching for demanding emergency situations,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 64, no. 4, pp. 611–618, Jul. 2012.

5.R. P. Gonzalez, G. R. Cummings, H. a Phelan, M. S. Mulekar, and C. B. Rodning, “Does increased emergency medical services prehospital time affect patient mortality in rural motor vehicle crashes? A statewide analysis.,” *Am. J. Surg.*, vol. 197, no. 1, pp. 30–4, Jan. 2009.

6.J. D. Mayer, “Emergency medical service: delays, response time and survival,” *Med. Care*, vol. 17, no. 8, pp. 818–827, 1979.

7.E. T. Wilde, “Do emergency medical system response times matter for health outcomes?,” *Health Econ.*, vol. 22, no. 7, pp. 790–806, 2013.

8.S. Lee, “The role of preparedness in ambulance dispatching,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 62, no. 10, pp. 1888–1897, 2011.

9.K. Peleg and J. S. Pliskin, “A geographic information system simulation model of EMS: reducing ambulance response time,” *Am. J. Emerg. Med.*, vol. 22, no. 3, pp. 164–170, 2004.

10. “Police improve heart attack survival rates,” 21-Dec-2013. [Online]. Available: http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/2188852.stm.

11.C. O’Keeffe, J. Nicholl, J. Turner, and S. Goodacre, “Role of ambulance response times in the survival of patients with out-of-hospital cardiac arrest,” *Emerg. Med. J.*, vol. 28, no. 8, pp. 703–706, 2011.

12.D. of Health, “Healthcare output and productivity: Accounting for quality change,” 07-Dec-2005. [Online]. Available: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20081105143757/dh.gov.uk/en/Publicationsandstatistics/Publications/PublicationsPolicyAndGuidance/DH_4124266. [Accessed: 12-Nov-2014].

13.J. F. Repede and J. J. Bernardo, “Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 75, no. 3, pp. 567–581, 1994.

14.S. Lee, “Centrality-based ambulance dispatching for demanding emergency situations,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 64, no. 4, pp. 611–618, 2012.

15.S. Lee, “The role of centrality in ambulance dispatching,” *Decis. Support Syst.*, vol. 54, no. 1, pp. 282–291, 2012.

16.M. Hoard, J. Homer, W. Manley, P. Furbee, A. Haque, and J. Helmkamp, “Systems modeling in support of evidence-based disaster planning for rural areas,” *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 208, no. 1, pp. 117–125, 2005.

17.D. Guha-Sapir, F. Vos, R. Below, and S. Ponserre, “Annual Disaster Statistical Review 2011: The Numbers and Trends, published by the Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) Brussels,” 2012.

18.L. V. Green and P. J. Kolesar, “Anniversary article: Improving emergency responsiveness with management science,” *Manag. Sci.*, vol. 50, no. 8, pp. 1001–1014, 2004.

19.J. D. Mayer, “Emergency medical service: delays, response time and survival,” *Med. Care*, pp. 818–827, 1979.

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026

20.M. S. Maxwell, M. Restrepo, S. G. Henderson, and H. Topaloglu, "Approximate dynamic programming for ambulance redeployment," *Inf. J. Comput.*, vol. 22, no. 2, pp. 266–281, 2010.
21.S. F. Dean, "Why the closest ambulance cannot be dispatched in an urban emergency medical services system," *Prehospital Disaster Med.*, vol. 23, no. 02, pp. 161–165, 2008.
22.J. Hayes, A. Moore, G. Benwell, and B. W. Wong, "Ambulance dispatch complexity and dispatcher decision strategies: implications for interface design," in *Computer Human Interaction*, 2004, pp. 589–593.
23.C. S. Lim, R. Mamat, and T. Braunl, "Impact of ambulance dispatch policies on performance of emergency medical services," *Intell. Transp. Syst. IEEE Trans. On*, vol. 12, no. 2, pp. 624–632, 2011.
24.A. Garcia, P. Jodrá, and J. Tejel, "A note on the traveling repairman problem," *Networks*, vol. 40, no. 1, pp. 27–31, 2002.
25.M. Gendreau, A. Hertz, and G. Laporte, "New insertion and postoptimization procedures for the traveling salesman problem," *Oper. Res.*, vol. 40, no. 6, pp. 1086–1094, 1992.
26.S. Arora and G. Karakostas, "Approximation schemes for minimum latency problems," *SIAM J. Comput.*, vol. 32, no. 5, pp. 1317–1337, 2003.
27.A. Weintraub, J. Aboud, C. Fernandez, G. Laporte, and E. Ramirez, "An emergency vehicle dispatching system for an electric utility in Chile," *J. Oper. Res. Soc.*, pp. 690–696, 1999.
28.J. Nicholl, P. Coleman, G. Parry, J. Turner, and S. Dixon, "Emergency priority dispatch systems—a new era in the provision of ambulance services in the UK," *Pre-Hosp. Immed. Care*, vol. 3, pp. 71–5, 1999.
29.M. Castrén, R. Karlsten, F. Lippert, E. F. Christensen, E. Bovim, A. M. Kvam, I. Robertson-Steel, J. Overton, T. Kraft, L. Engerstrom, and others, "Recommended guidelines for reporting on emergency medical dispatch when conducting research in emergency medicine: the Utstein style," *Resuscitation*, vol. 79, no. 2, pp. 193–197, 2008.
30.M. S. Andersen, S. P. Johnsen, J. N. Sørensen, S. B. Jepsen, J. B. Hansen, and E. F. Christensen, "Implementing a nationwide criteria-based emergency medical dispatch system: A register-based follow-up study.," *Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–8, Jul. 2013.

Downloaded from jor.iranaict.ir at 0:12 +0330 on Monday November 23rd 2026