

ارائه مدلی برای تقویت و پوشش دهی دکل های موبایل به منظور پابرجا بودن در زمان حوادث طبیعی

حدیثه اکبرپور،* علی بزرگی امیری،** نفیسه علی نژاد،*** مقدسه اکبرپور****

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۱۰

چکیده

تقویت و پوشش دهی دکل های تلفن همراه با ملاحظه بروز بلایای طبیعی، یکی از موضوعات مهم بشمار آمده چرا که در مواقع بحران تأمین ارتباطات بین تیم های امدادی و مردم از اهمیت زیادی برخوردار است. بلایای طبیعی مانند زلزله، طوفان، سیل و... بر روی جاده ها، پل ها، سیستم های ارتباطی، تأمین برق و دسترسی به تسهیلات تأثیر می گذارد. این بلایا اغلب در جوامعی که آمادگی رویارویی با آن را ندارند به بحران تبدیل می شود. هدف این مقاله ارائه مدلی جهت پیشینه سازی پوشش دهی تلفن همراه در مناطق مختلف، کمینه سازی خسارات ناشی از متوسط خرابی دکل ها و پیشینه سازی پوشش دهی در بدترین حالت خرابی دکل های تلفن همراه در هنگام بروز حوادث و بلایای طبیعی است. مدل ارائه شده دارای تفاوت هایی با مدل های پیشین در ادبیات است که می توان به پوشش پشتیبان و اضطراری در نظر گرفته شده و همچنین محدودیت برای هزینه جهت تقویت دکل ها و محدودیت ظرفیت پوشش دهی اشاره نمود. برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی یک مطالعه موردی مربوط به شهرستان قائم شهر ارائه شد که برای حل آن از نرم افزار LINGO 9.0 بهره برده شده است. نتایج محاسباتی نشان از اهمیت و کارایی مدل ارائه شده در تصمیم گیری های واقعی دارد، چرا که با احداث و تقویت ایستگاه های اصلی و آنتن ها، پوشش رادیویی به ویژه در مناطق سیگنال ضعیف و همچنین حجم ترافیک ایستگاه ها، در ساعت های شلوغ افزایش یافته است. مدل پیشنهادی در این مقاله تلاش می کند سیستم را در برابر بدترین حالت تلفات و همچنین متوسط تلفات پشتیبانی کند و تعداد مشتریانی که بعد از خرابی تسهیلات تحت پوشش تلفن همراه باشند را پیشینه کند.

واژگان کلیدی: مساله مکان یابی پوششی، دکل تلفن همراه، بلایای طبیعی، برنامه ریزی بلایا.

* کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه پردیسان فریدونکنار

** استادیار دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

alibozorgi@ ut.ac.ir

*** کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه پردیسان فریدونکنار

**** کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران

مقدمه

با توسعه و پیشرفت روزافزون فناوری موبایل، اهمیت صنعت ارتباطات و تجهیزات انتقال امواج مخابراتی بیشتر شده و هرروزه بر تعداد مشترکین این نوع ارتباطات افزوده می‌شود. مکان ایستگاه‌های پایه (دکل‌ها) برای عملکرد شبکه ارتباطات تلفن همراه از اهمیت خاصی برخوردار است، به همین دلیل تعیین مکان بهینه ایستگاه‌های پایه جهت پوشش دهی ضروری است. مکان‌یابی بهینه، به‌طورهمزمان باعث افزایش بهره‌وری و کارآیی می‌شود. شدت خسارت ناشی از عدم انجام صحیح آن برهمگان روشن بوده و در بسیاری از موارد جبران خسارات امکان‌پذیر نمی‌باشد.

کشور ایران به واسطه موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی و وضعیت زمین‌شناختی جزء ۱۰ کشور حادثه‌خیز جهان است. وقوع بحران‌های طبیعی سالانه بین سه تا پنج هزار میلیارد تومان به کشور خسارت وارد نموده و زندگی مردم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این میان نقش مهم و ارتباط تنگاتنگ شریان‌های حیاتی در فرآیند مدیریت جامع بحران شهری و تاثیرات اقتصادی آنها بر حساسیت عملکرد این سیستم می‌افزاید. همچنین آسیب‌پذیر بودن شریان‌های حیاتی موجب فلج شدن امدادسانی در زمان بحران و خسارات جبران‌ناپذیر می‌گردد. برای آمادگی هرچه بیشتر در مواقع بحرانی شناسایی نقاط قوت و تقویت نقاط ضعف جزء ارکان حیاتی چرخه مدیریت بحران می‌باشد.

مدیریت بحران دارای چهار رکن اصلی شامل کاهش خسارت‌ها، آمادگی، واکنش و بازسازی است. مدیریت بحران درواقع عبارت است از ایجاد آمادگی و فراهم کردن تمهیدات و تدارکات لازم برای رویارویی با بحران و یا به حداقل رساندن آثار تخریبی آن. آمادگی در برابر حوادث حتی به‌صورت نسبی و در حد تشریفات می‌تواند در صورت بروز فاجعه شرایط متفاوتی ایجاد کند، برای حفظ آمادگی باید از تمام وقایعی که هنگام بروز فاجعه روی می‌دهد، درک صحیح و کاملی داشته باشیم (بهرام‌پور و بمانیان، ۱۳۹۱).

بلاایای طبیعی مانند زلزله، طوفان، سیل و ریزش کوه بر روی جاده‌ها، پل‌ها، سیستم‌های ارتباطی، تامین برق و دسترسی به تسهیلات تاثیر می‌گذارد. این بلا یا اغلب درجوامعی که

آمادگی رویارویی با آن را ندارند به بحران تبدیل می شود. تلفات عظیم انسانی و خسارات زیاد اقتصادی بیانگر لزوم پیش بینی و برنامه ریزی برای رویارویی با این حوادث است تا از وقوع بحران جلوگیری شود (واسن هو، ۱، ۲۰۰۶).

نمونه های زیادی برای چنین شرایطی وجود دارد، یکی از این فاجعه ها زمین لرزه ای به اندازه ۸/۸ ریشتر در ۲۷ ام فوریه ۲۰۱۰ است که در شیلی رخ داد. این زمین لرزه جزء ۵ زمین لرزه بزرگ تاریخ است در این زمین لرزه بسیاری از پل ها خراب شدند، برق و سیستم های ارتباطی قطع و کارها در مناطق وسیعی برای یک مدت طولانی متوقف شدند، در بین این خرابی ها، کمبود ارتباطات تلفن بیشترین تاثیر را داشت (ایزلت و ماریانو، ۲، ۲۰۱۲).

در بسیاری از موارد، تسهیلات مناسب مانند آمبولانس، هلی کوپترهای فوریتی، مامورین آتش نشانی، پلیس و ارتش در حالت آماده باش هم نمی توانند با سرعت کافی به مکان مورد نظر (به ویژه مناطق روستایی) برسند. علاوه بر این، با توجه به قطع شدن ارتباطات، مردم نمی توانند با هم در ارتباط باشند یا به همدیگر کمک کنند. این خرابی ها دلایل متفاوتی دارند: مانند قطع ارسال برق، تغییر یافتن آنتن های ریزموج بین ایستگاه های اصلی، شکست خطوط فیبرنوری، خرابی میدان ایستگاه های اصلی و تراکم تماس های تلفنی که تا چند ساعت بعد از زمین لرزه ادامه دارد. این سیستم های ارتباطی باید با حداقل تاثیر در زمین لرزه های متوسط و بلایای مشابه تاسیس و یا تعدیل شوند.

احداث و تقویت ایستگاه های اصلی و آنتن ها به دو منظور انجام می شود: ۱- تامین پوشش رادیویی به ویژه در مناطقی که سیگنال ضعیف است ۲- افزایش حجم ترافیک ایستگاه ها، که مشکل تقاضای ترافیک در ساعت های شلوغ که از هر ۱۰۰ تماس، ۹۸ تماس سیستم قابل دسترسی است (ایزلت و ماریانو، ۲۰۱۲).

در این مقاله یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط که ابتدا خطی سازی شده جهت تعیین مکان و تقویت دکل های تلفن همراه ارائه شده است. مدل پیشنهادی یک مدل غیرخطی چندهدفه می باشد که علاوه بر بیشینه سازی پوشش خدمات، اهداف دیگر آن

-
1. Wassenhove, LNV
 2. Eiselt, H.A. Vladimir M

کمینه‌سازی خسارات ناشی از متوسط خرابی دکل‌ها و بیشینه‌سازی پوشش‌دهی در بدترین حالت خرابی دکل‌های تلفن همراه در هنگام بروز حوادث و بلایای طبیعی است، که این کار با استفاده از بررسی مکان و توانایی دکل‌های تلفن همراه و در نظر گرفتن محدودیت تعداد تسهیلات و فاصله بین آن‌ها صورت می‌گیرد. هم‌چنین در این تحقیق محدودیتی برای ظرفیت پوشش‌دهی آنتن‌ها و هزینه تقویت دکل‌ها و پوشش پشتیبان و اضطراری در شرایط وقوع بحران در نظر گرفته شده است.

در ادامه، مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است:

در بخش ۲ مبانی نظری و پیشینه پژوهش ارائه شده است. بخش ۳ به بیان تشریح مساله و مدل ریاضی می‌پردازد. بخش ۴ و ۵ مربوط به بکارگیری مطالعه موردی و داده‌های واقعی از یک منطقه در ایران و ارائه نتایج حاصل از حل آن است. در نهایت، بخش ۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی ارائه شده است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بررسی روی دکل‌های تلفن همراه و مسائل مربوط به آن از گذشته تا به امروز ادامه داشته است. اندرو^۱ در سال ۲۰۰۴، با بهبود ارتباطات مخابراتی ایده‌ای در مورد بیشینه‌سازی ارتباطات و شرکت‌پذیری ارائه داد (اندرو، ۲۰۰۴). بایز و همکارانش در سال ۲۰۰۹، نقشه مکان‌یابی جدید دکل‌های تلفن همراه و پوشش‌دهی آن‌ها را با توجه به جمعیت ارائه دادند (بایز و همکارانش^۲، ۲۰۰۹). وینو و همکارانش^۳ در سال ۲۰۱۱، ایده‌هایی در مورد بیشینه استفاده از امکانات ICT (تلفن همراه و اینترنت) را بیان کردند (وینو و همکارانش، ۲۰۱۱). متکور^۴ در سال ۲۰۱۱، در مورد مکان‌یابی با استفاده از تسهیلات مخابراتی مانند LBS و GPS^۱ بررسی -

1. Andrew, B
2. Buys, P., Dasgupta, S., Thomas, T.S., and Wheeler, D
3. Vinu, P.V., Sherimon P.C., and Reshmy K
4. Mathkour, H.I
5. Location Base Service

هایی را انجام داد که در این بررسی، سیستم‌های مکان‌یابی قابلیت تخمین فاصله دارند و مکان‌یابی براساس نزدیک‌ترین دکل مخابراتی تعیین می‌شود (متکور، ۲۰۱۱). ویلسون^۲ در سال ۲۰۱۲، مدل مکان‌یابی را با استفاده از تسهیلات مخابراتی (تلفن همراه) با در نظر گرفتن بیشینه ارتباطات بین نقاط مبدا و مقصد ارائه داد (ویلسون، ۲۰۱۲). ایزلت و ماریانو در سال ۲۰۱۲ مدلی در زمینه بیشینه‌سازی پوشش‌دهی دکل‌های تلفن همراه در هنگام بروز حوادث و بلایای طبیعی ارائه دادند که در این مدل، تسهیلات روی سطوح صاف قرار دارند (ایزلت و ماریانو، ۲۰۱۲).

دراکتر مدل‌های موجود در ادبیات جهت ساده نمودن فرضیات مدل، تقاضای قطعی برای مشتریان و خدمات یکسان جهت تسهیلات در نظر گرفته شده است در تحقیقات انجام شده توسط اسکندری و دارابی در سال ۱۳۹۱، آنها رویکردی نوین برای بهینه‌سازی مساله مدل پوششی مجموعه‌ها با سرویس دهی چندسطحی و تقاضای احتمالی ارائه نمودند (اسکندری و دارابی، ۱۳۹۱).

تعیین مکان ایستگاه‌های مورد نظر برای دادن سرویس مناسب از نظر خط‌دهی به تمامی مشترکین تلفن همراه یکی از مسائل مهم می‌باشد که با توجه به شعاع خط‌دهی متفاوت و شرایط جغرافیایی منطقه تقاضای مشترکین قطعی نمی‌باشد. خلفی و توکلی مقدم در سال ۱۳۹۲ در مقاله خود رویکردی نوین برای مکان‌یابی ایستگاه‌های مخابراتی تلفن همراه با سرویس دوسطحی و تقاضای احتمالی با مدل پوشش مجموعه‌ها که در آن استراتژی پوشش کلیه نواحی تقاضا به کار گرفته می‌شود ارائه دادند (خلفی و توکلی مقدم، ۱۳۹۲).

درن و ریون چرن در سال ۲۰۱۳، به بررسی حداقل فاصله بین نقاط مبدا و مقصد (فرستنده و گیرنده) برای پوشش‌دهی دکل‌های تلفن همراه پرداختند که در این بررسی با فرض اینکه نقاط تقاضا می‌توانند از یک مرکز نامحدود خدمت بگیرند مکان مرکز خدمت تعیین شد (درن و ریون چرن، ۲۰۱۳).

-
1. Global Positioning System
 2. Wilson, M.W

لمامو و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در مقاله خود مدلی جهت برنامه‌ریزی شبکه‌های موبایل پیشنهاد دادند. هدف از مدل ارائه‌شده کمینه‌سازی هزینه‌های نصب، عملیاتی و نگهداری شبکه درحالی‌که بیشینه‌سازی بقای آن در نظر گرفته شده است. هم‌چنین محدودیت‌هایی برای تخصیص، ظرفیت و کیفیت سیگنال دریافتی بیان شده است (لمامو و همکارانش^۱، ۲۰۱۳).
توحیدی نسب و همکارانش در سال ۱۳۹۵ در مقاله خود به دنبال استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار برای مدل مکانیابی پوششی برای آنتن‌ها و دکل‌های ارائه نمودند که با استوارسازی آن مدلی مناسب و جدید ارائه کردند. استفاده در این تحقیق شبکه‌های ارتباط تلفن-همراه، به شکل سلول‌هایی مدل‌سازی شده است که هرسلول یک منطقه را تحت پوشش قرار می‌دهد. شعاع خط‌دهی متفاوت این ایستگاه‌ها، مکان آنها و شرایط جغرافیایی منطقه باعث شده که در این مقاله مکانیابی این ایستگاه‌ها یک مساله بهینه‌سازی از نوع NP-Hard شود (توحیدی نسب و همکارانش، ۱۳۹۵)

در مقاله ارائه شده توسط علی‌نقیان و آخوندی در سال ۱۳۹۵ یک مسئله کلاسیک مکان‌یابی دوسطحی تک جریان با ظرفیت محدود برای سرویس دهندگان سطوح یک و دو را توسعه داده شد. در این مقاله جهت تعیین تعداد بهینه سرویس دهندگان در سطوح یک و دو تحت چهار سناریوی مختلف از برنامه‌ریزی استوار استفاده شده است. هدف این مقاله حداقل‌سازی هزینه کل شامل هزینه تاسیس سرویس دهنده در مکان‌های نامزد سطوح یک و دو، هزینه حمل و نقل از سرویس دهندگان تاسیس شده در سطح یک به مشتریان سطح صفر و از سرویس دهندگان تاسیس شده در سطح دو به سرویس دهندگان تاسیس شده در سطح یک و هزینه کمبود موجودی در هر سطح می‌باشد. در این مقاله تقاضای مشتریان، ظرفیت سرویس-دهندگان سطح یک، ظرفیت سرویس دهندگان سطح دو و هزینه انتقال بین سطوح به صورت نادقیق تحت چهار سناریو در نظر گرفته شده و همچنین در انتها جهت نمایش کارایی مدل ارائه شده و برای ارزیابی مدل، با طراحی مسائل تصادفی نتایج محاسباتی حاصل از حل مسائل

توسط نرم افزار GAMS و الگوریتم شبیه سازی تبرید مقایسه و نشان داده شده است. (علی-نقیان و آخوندی، ۱۳۹۵).

هدف بسیاری از مدل های مکان یابی ایستگاه پایه، تعیین مکان بهینه به منظور پیشینه سازی سطح پوشش است. در صورتی که اگر بخواهیم مدل جامع و نزدیک به واقعیت داشته باشیم باید محدودیت برای هزینه جهت تقویت دکل ها و محدودیت ظرفیت پوشش دهی در نظر گرفته شود هم چنین از تفاوت های دیگر مدل ارائه شده در این مقاله می توان به پوشش پشتیبان و اضطراری اشاره نمود در این مقاله نشان داده خواهد شد که تحت احتمال بالایی از تخریب دکل، روش مرسوم که پوشش را به حداکثر می رساند راه حل ضعیفی را در مقایسه با مدل ارائه شده در این مقاله پیشنهاد می دهد. مدل های موجود در ادبیات هر کدام تنها به بخشی از موارد فوق پرداخته اند و مدل جامعی که همه این موارد را باهم در نظر بگیرد تاکنون ارائه نشده است. در مدل پیشنهادی، سعی می شود مدل جامعی ارائه گردد تا ملاحظات فوق را پوشش دهد. هدف اصلی این مقاله، ارائه مدلی برا تقویت ایستگاه های پایه تلفن همراه است که در زمان وقوع بحران و شرایط اضطراری به منظور پوشش دهی ارتباطات، پابرجا ماندنشان ضروری است. به همین دلیل باید به درستی مکان یابی شده و باید برای پابرجا ماندن در زمان بحران تقویت و مستحکم شوند.

تشریح و مدل سازی مساله

تعریف مساله

هر مساله ای مکان یابی، در واقع یک مساله تصمیم گیری در مورد تعیین مکان تسهیلات است. بسیاری از مسائل تصمیم گیری در مورد تعداد و مکان تسهیلات عمومی نظیر بیمارستان ها، ایستگاه های پلیس، آنتن های رادار به عنوان مسائل پوشش فرمولاسیون می شوند (فرانسیس و همکارانش، ۱۹۷۴).

در هر مدل مکان‌یابی پوششی، ابتدا باید فاصله به درستی انتخاب شود؛ زیرا پوشش رادیویی به طور وسیعی به فاصله اقلیدسی بین فرستنده و دریافت کننده بستگی دارد و فرستنده‌ها (به-عنوان مثال آنتن و ایستگاه‌های اصلی) به برق و دسترسی کافی نیاز دارند. این ایستگاه‌های اصلی را فقط در تعداد محدودی از نقاطی که این تسهیلات در هزینه‌های منطقی قابل دسترس است مکان‌یابی می‌شوند که مسائل مکان‌یابی گسسته در سطح اقلیدسی را می‌سازد. دسترسی به هر فرستنده به صورت دایره‌ای است. برای به دست آوردن تعداد مشتریان ممکن، باید تعداد دایره‌های موجود مکان‌یابی شوند (ایزلت و ماریانو، ۲۰۱۲).

در این مدل فرض شده که، مشتریان در تعداد محدودی از مکان‌های شناخته شده به عنوان گره‌های تقاضای مدل حضور دارند. فرضیه‌هایی چون قرارگیری دکل‌ها روی سطوح صاف، توزیع مشخص مشتریان، محدود بودن تعداد تسهیلات برای تقویت شدن و هم‌چنین محدود بودن ظرفیت پوشش‌دهی آنتن‌ها در مدل‌سازی مساله لحاظ شده است.

در هنگام بروز بلایای طبیعی مانند زمین‌لرزه، رانش زمین و غیره و بحران‌های عمدی مانند حملات تروریستی به علت تنظیمات نادرست و مستحکم نبودن دکل‌ها، احتمال تخریب تعدادی از آن‌ها وجود دارد. با اضافه کردن تسهیلات پشتیبانی مقابل این حوادث ایستادگی کنند؛ در واقع اگر یکی از دکل‌ها دچار خرابی شود، مشتریانی که فقط تحت پوشش این دکل هستند، ارتباط آن‌ها قطع می‌شود، اما مشتریانی که علاوه بر دکل تخریب شده تحت پوشش تسهیل دیگری باشند، تماس آن‌ها از ایستگاه اصلی رادیویی دیگر عبور می‌کند.

مدل پیشنهادی در این مقاله تلاش می‌کند سیستم را در برابر بدترین حالت تلفات و هم‌چنین متوسط تلفات پشتیبانی کند و تعداد مشتریانی که بعد از خرابی تسهیلات تحت پوشش تلفن - همراه باشند را بیشینه کند.

از آنجایی که بلایای طبیعی مانند زلزله، محلی یا ناحیه‌ای رخ می‌دهد، بنابراین بیش از یک ایستگاه اصلی خراب می‌شود که خرابی و خسارت‌های ناشی از آن به فاصله از مرکز زلزله بستگی دارد، می‌توان گفت هرچه از مرکز زلزله دورتر باشیم خرابی و خسارات کمتر است.

اگر فرستنده ها دارای فاصله زیادی از هم باشند، شبکه تلفن همراه قدرتمند خواهد بود. این یک ایده کلی است که در روش های مختلف در نظر گرفته شده است (ایزلت و ماریانو، ۲۰۱۲).

تنظیم تابع هدفی برای بیشینه سازی باقی مانده تماس های مورد انتظار امکان پذیر است که نیاز به بیشینه سازی کوتاه ترین فاصله بین دو دکل می باشد و مستلزم آن است که حداقل فاصله جدایی بین دو دکل را در نظر گرفته شود.

بولینگرو همکارانش ۱ در سال ۱۹۹۳، مناطق آسیب و شعاع دایره معادل را برای مقادیر مختلف زمین لرزه با استفاده از سطوح VI (قوی) و VII (خیلی قوی) مرکالی به منظور تخمین خسارت برای سواحل غرب و شرق آمریکا مقایسه کردند؛ به عنوان مثال، برای ساحل غرب، متوسط شعاع سطح VII برای زمین لرزه هایی با بزرگی ۵، ۶ و ۷ به ترتیب ۵/۹۲، ۱۶/۸ و ۴۸ کیلومتر است؛ این بدان معنی است که اگر یک شبکه تلفن همراه برای پابرجاماندن در زمین لرزه ای به بزرگی ۵ طراحی شده باشد، نیاز به جدایی توسط یک فاصله حداقل ۵/۹۲ کیلومتری است (بولینگرو و همکارانش، ۱۹۹۳).

فرمول بندی مساله

اندیس ها، پارامترها و متغیرهای مساله به صورت زیر تعریف شده اند:

اندیس ها:

I: مجموعه نقاط تقاضا ($i \in I$)

J: مجموعه نقاط کاندید برای تقویت دکل ها ($l, j \in J$)

پارامترها:

k: کل تعداد دکل ها برای تقویت شدن.

B: حداکثر سرمایه در دسترس جهت تقویت دکل ها.

h_i : میزان تقاضای مشتری در مکان i

c_j : هزینه تقویت یک دکل در مکان j

q_i : احتمال خرابی یک تسهیل مستحکم در مکان i

$v_l \geq 0$: میزان تقاضای از دست رفته اگر تسهیل در مکان l **Bookmark not defined**. تخریب شده باشد.

d_{ij} : فاصله بین تقاضای گره i و دکل مکان j .

N_i : مجموعه‌ای از مکان‌های j که مشتری مکان i را تحت پوشش قرار می‌دهد؛ در واقع در صورتی که فاصله بین مشتری مکان i و دکل j کمتر مساوی ۱۵ کیلومتر باشد در این صورت دکل j می‌تواند به مشتری مکان i سرویس دهد؛ به بیان دیگر شعاع پوشش ۱۵ کیلومتر است.. (ایزلت و ماریانو، ۲۰۱۲).

(در این مقاله میزان شعاع پوشش برگرفته از تحقیقات انجام شده در مقاله ایزلت و ماریانو ۲۰۱۲ می‌باشد).

$$N_i = \{j \mid d_{ij} \leq 15\}$$

d_{jk} : فاصله بین دکلهای j و k

در مدل ارائه شده در این مقاله میزان جدایی دو دکل برای پابرجاماندن در زمین لرزه ۵ ریشتری، حداقل ۵/۹۲ کیلومتر در نظر گرفته شده است که اعتبار این اعداد باتوجه به تحقیقات انجام شده بولینگر و همکارانش می‌باشد.

$$M_j = \{k \mid d_{jk} \leq 5.92\}$$

متغیرها:

$$\begin{array}{l}
 y_j \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ اگر دکل مکان } j \text{ تقویت شود.} \\ 0 \text{ در غیر اینصورت} \end{array} \right. \\
 y_{ij} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ اگر تقاضای پوشش نیافته } i \text{ در حالت اضطراری توسط دکل مکان } j \\ \text{پوشش داده شود.} \\ 0 \text{ در غیر اینصورت} \end{array} \right. \\
 x_{ij} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ اگر تقاضای } i \text{ توسط دکل مکان } j \text{ پوشش داده شود.} \\ 0 \text{ در غیر اینصورت} \end{array} \right. \\
 z_{il} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ تحت پوشش باشد. } l \text{ حتی بعد از خرابی دکل در } i \text{ اگر مکان} \\ 0 \text{ در غیر اینصورت} \end{array} \right.
 \end{array}$$

مدل برنامه ریزی ریاضی چندهدفه مساله به صورت زیر خواهد شد:

$$\text{Max obj}_1 = \sum_i \sum_{j \in N_i} h_i x_{ij} \tag{1}$$

$$\text{Max obj}_2 = \sum_i \sum_{j \in N_i} h_i x_{ij} - \max\{v_l\} \tag{2}$$

$$\text{Min obj}_3 = \frac{1}{k} \sum_l v_l \tag{3}$$

s.t

$$\sum_j y_j = k \quad (۴)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \in N_i \quad (۵)$$

$$z_{il} \leq 1 - 2y_l + \sum_{j \in N_i} y_j \quad \forall i, l \in N_i \quad (۶a)$$

$$z_{il} = 1 \quad \forall i, l \notin N_i \quad (۶b)$$

$$v_l = \sum_{i: l \in N_i} h_i (1 - z_{il}) \quad \forall l \quad (۷)$$

$$y_k + y_j \leq 1 \quad \forall j, k \in M_j \quad (۸)$$

$$y_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \notin N_i \quad (۹)$$

$$\sum_i h_i y_{ij} + \sum_i h_i x_{ij} \leq cap_j \quad \forall j \quad (۱۰)$$

$$y_{ij} \leq (1 - z_{il}) \quad \forall i, l \in N_i, j \notin N_i \quad (۱۱)$$

$$\sum_j c_j x_j \leq B \quad (۱۲)$$

$$y_j, x_{ij}, y_{ij}, z_{il} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, l \quad (۱۳)$$

تابع هدف (۱) بیشینه سازی پوشش مرسوم است، در شرایطی که میزان تقاضا با یکدیگر متفاوت است. مشتریانی پوشش داده می شوند که در مجموع بیشترین میزان تقاضا را داشته باشند.

تابع هدف (۲) با بدترین حالت خرابی سروکار دارد، به منظور خطی سازی تابع هدف (۲)،

$$v = \max\{v_l\}$$
 قرار می دهیم در این صورت محدودیت (۱۴) به مدل اضافه می شود.

$$v \geq v_l \quad \forall l \quad (14)$$

تابع هدف (۳) حالت متوسط خرابی دکل ها را در نظر می گیرد، اگر احتمال خرابی دکل در

مکان l برابر با $q_l = \frac{1}{k}$ باشد بنابراین خرابی مورد

انتظار $\sum_l q_l v_l = \frac{1}{k} \sum_l v_l$ می شود (ایزلت و ماریانو، ۲۰۱۲). محدودیت (۴) تعداد دکل ها برای

تقویت شدن را نشان می دهد؛ یعنی می خواهیم دقیقا k تسهیل را تقویت کنیم. محدودیت (۵) بیان می کند که گره i توسط دکل مکان l پوشش داده می شود اگر و تنها اگر در مکان l دکل

تقویت شود. محدودیت (۶a) تحت پوشش بودن یا نبودن گره i را مشخص می کند. y_l^i در سمت راست این محدودیت، بیانگر آن است که تقاضای گره i توسط دکل مکان l !

تحت پوشش قرار می گیرد، در حالی که $\sum_{j \in N_i} y_j^i$ تعداد دفعاتی

که گره i از هر مکانی از جمله مکان l تحت پوشش است، را بیان می کند. محدودیت (۶b) بیان می کند که اگر دکل l ، مشتری i را تحت پوشش قرار ندهد، خرابی آن اثرگذار نخواهد بود.

محدودیت (۷) میزان خسارت در مورد دکل l ! تخریب شده را مشخص می کند. محدودیت (۸) به حداقل فاصله بین دکل ها تاکید می کند. دو دکل

واقع در مکان های k و l که در فاصله کمتر یا مساوی $5/92$ کیلومتر از هم قرار دارند، حداکثر باید یکی از آنها تقویت شود (بولینگر و همکارانش، ۱۹۹۳). محدودیت (۹) مشخص می کند

اگر دکل مکان l تقویت نشود در این حالت نمی تواند به تقاضای گره غیر همسایه i در شرایط

اضطراری پاسخ دهد. ولی اگر این دکل تقویت شود، این امکان را دارد که تقاضای گره i را پوشش دهد. در محدودیت (۱۰) تاکید می‌شود تقاضاهایی که در حالت عادی (گره همسایه) و اضطراری (گره غیر همسایه) توسط دکل واقع در مکان j پوشش داده می‌شوند باید کوچکتر مساوی ظرفیت دکل واقع در مکان j باشند.

محدودیت (۱۱) بیان می‌کند در صورتی که دکل همسایه i نتواند به تقاضای i پاسخ دهد باید از دکل غیر همسایه یعنی j برای پوشش دهی به تقاضای i استفاده کنیم. محدودیت (۱۲) بیانگر آن است که هزینه جهت تقویت دکل‌ها باید کوچکتر مساوی حداکثر سرمایه در دسترس باشد. محدودیت (۱۳) ویژگی متغیرها را در مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط بیان می‌کند.

روش حل

با توجه به محدودیت‌ها و هدف‌های بیان شده، مساله مورد نظر به یک مساله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه تبدیل شد. روش‌هایی مانند برنامه‌ریزی آرمانی، برنامه‌ریزی سازشی و روش نقطه مرجع ۱ سه مورد از روش‌های پرکاربرد در زمینه تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند (رومرو و همکارانش ۲، ۱۹۹۸).

برای حل مدل ارائه شده از روش LP متریک استفاده می‌شود. در این روش، اهداف را ابتدا به صورت جداگانه در نظر گرفته تا مساله بهینه شود، سپس با توجه به مقادیر به دست آمده برای هر کدام از اهداف، مساله تک هدفه که به دنبال کمینه‌سازی مجموع فاصله وزن دار نرمال شده از حالت ایده آل می‌باشد تشکیل می‌شود (بزرگی و همکارانش، ۲۰۱۱).

تابع هدف نهایی به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Min } Z = \left\{ \sum_{i=1}^3 w_i^p \left[\frac{\text{obj}_i^* - \text{obj}_i}{\text{obj}_i^*} \right]^p \right\}^{1/p} \quad (15)$$

1. Method reference point
2. Romero C, Tamiz M, and Jones DF

z : مجموع فاصله وزن دار نرمال شده از حالت ایده‌آل را نشان می‌دهد.

w_i : وزن یا ضریب متناظر با اهداف که $0 \leq w_i \leq 1$ می‌باشد.

obj_i^* : مقدار بهینه تابع هدف i ام

obj_i : تابع هدف i ام

در نتیجه مدل به دست آمده یک مدل تک‌هدفه عدد صحیح مختلط می‌باشد.

مطالعه موردی

به منظور درک بهتر و نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی، مطالعه موردی بیان می‌گردد. داده‌های این مطالعه موردی مربوط به یکی از شهرستان‌های استان مازندران به نام قائم‌شهر است که از مخابرات این شهرستان گرفته شده است.

شکل (۱) نقشه شهر قائم‌شهر را نشان می‌دهد که دارای ۳ شهر، ۲ بخش و ۶ دهستان و جمعیتی حدود ۳۰۰ هزار نفر می‌باشد. وجود بلایای طبیعی در این شهرستان عاملی برای تلاش بیشتر در جهت دستیابی عملی به راهکارهایی منسجم جهت مقابله و برخورد منطقی در به حداقل رساندن خرابی‌ها است، که در بین این خرابی‌ها، کمبود ارتباطات تلفن بیشترین تاثیر را دارد. پوشش‌دهی تلفن همراه در این منطقه توسط دکل‌های مخابراتی و آنتن‌ها ۱ صورت می‌گیرد که در ذیل توضیح داده می‌شود:

۱- دکل‌های مخابراتی

دکل‌هایی هستند که برای مقاصد مخابراتی از قبیل نصب دیش‌های ماکروویو، آنتن‌های رادیو، آنتن‌های بی‌سیم و... استفاده می‌شود. که این دکل‌ها خود انواعی دارند دکل‌های خودایستای چهارپایه، سه پایه، دکل‌های مهاری و غیره. دکل‌های مخابراتی نقش اصلی در پوشش‌دهی موبایل دارند. در شهرستان قائم‌شهر ۵ دکل مخابراتی نصب شده است.

۲- آنتن

آنتن موبایل همان فرستنده و گیرنده‌های کوچکی هستند که در نقاط مختلف شهر نصب می‌شوند و به کمک آن‌ها مشترکین آنتن‌دهی می‌شوند. تامین پوشش رادیویی در جاده‌ها یا مناطقی که سیگنال ضعیف است یکی از دلایل نصب آنتن‌ها است، یکی دیگر از اهداف نصب آنتن از بین بردن ترافیک شبکه می‌باشد.

در این مقاله تقویت و پوشش‌دهی این ۵ دکل مخابراتی مورد بحث قرار می‌گیرد.



شکل ۱. نقشه شهرستان قائم‌شهر

برای انجام محاسبات از نرم‌افزار LINGO9.0 در محیط Windows7 توسط Dell Laptop4050 با مشخصات CPU2.50GHz و 4.0GBRAM (DDR3) استفاده شده است.

در مکان مورد مطالعه، سه نقطه تقاضا و پنج مکان کاندید برای تقویت دکل‌ها داریم. هر نقطه دارای تقاضایی می‌باشد که میزان این تقاضاها و فاصله آن‌ها از نقاط کاندید دکل‌ها در جدول (۱) آمده است. هم‌چنین جدول (۲) ماکزیمم ظرفیت هر دکل را برای پوشش‌دهی نشان می‌دهد.

جدول ۱. میزان تقاضا و فاصله از نقاط کاندید دکل ها برای هر مشتری

i	میزان تقاضا (۱۰ ^۳ نفر)	فاصله تخمینی نقاط کاندید دکل ها از مشتری (کیلومتر)				
		۱	۲	۳	۴	۵
۱	۵۰	۱۵	۱۵ < d			
۲	۵۰	۱۸	۱۴	۱۵ < d		
۳	۲۰۰	۱۵ < d		d ≤ ۱۵		

جدول ۲. ظرفیت هر دکل

	نقاط کاندید برای دکل				
	۱	۲	۳	۴	۵
ظرفیت (۱۰ ^۳ نفر)	۶۵	۷۰	۱۰۰	۵۰	۸۰

جدول (۳) نتایج به دست آمده از این نرم افزار را در حالتی که فقط سه دکل تقویت شده داشته باشیم، برای هر یک از اهداف به صورت جداگانه نشان می دهد.

ردیف اول و چهارم جدول (۳)، نتایج را در حالتی که مساله فقط با تابع هدف اول یعنی بیشینه پوشش حل شده، نشان می دهد که در ردیف اول قسمت A، ۳۰۰ هزار نفر تحت پوشش خواهند بود، اگر هیچ کدام از دکل ها تخریب نشده باشند. فقط ۱۰۰ هزار نفر در بدترین خرابی دکل ها پوشش دارند، اگر دکل تخریب شده داشته باشیم؛ در واقع ارتباط بیشتر مردم قطع می شود و ۱۰۰ هزار نفر نیز در متوسط خرابی دکل ها، پوشش نخواهند داشت اگر یکی از دکل ها تخریب شده باشد. در ردیف چهارم قسمت B جدول (۳)، میزان پوشش به صورت درصدی از کل جمعیت بیان شده است، اگر دکلی تخریب نشود ۱۰۰٪ جمعیت پوشش خواهند داشت، ۳۳،۳۳٪ از کل جمعیت در بدترین حالت خرابی دکل ها تحت پوشش خواهند بود و اگر دکلی خراب شود ۳۳،۳۳٪ از جمعیت پوشش نخواهند داشت و ارتباطشان قطع می شود.

ردیف دوم و پنجم جدول (۳)، نتایج را در حالت حل مساله با تک هدفه بیشینه افراد تحت پوشش در بدترین حالت خرابی دکل‌ها (هدف دوم) نشان می‌دهد در ردیف دوم قسمت A، وقتی دکل‌ها تخریب نشده باشد ۲۵ هزار نفر تحت پوشش خواهند بود، ۲۰۰ هزار نفر در بدترین خرابی دکل‌ها پوشش دارند و ۳۳ هزار نفر نیز در متوسط خرابی دکل‌ها، ارتباطشان قطع خواهد شد. به صورت درصدی از کل جمعیت در ردیف پنجم حالت B می‌توان گفت که ۸۳٫۳۳٪ از جمعیت پوشش خواهند داشت، در بدترین خرابی دکل‌ها ۶۶٫۶۶٪ پوشش دارند، در صورت خرابی دکل‌ها ۱۱٪ از جمعیت تحت پوشش نخواهند بود. در نهایت ردیف سوم و ششم، بیانگر جواب‌های به دست آمده از حل مساله فقط با در نظر گرفتن تابع هدف سوم یعنی کمینه متوسط خرابی‌ها می‌باشد.

جدول ۳. مقایسه عملکرد سه تابع هدف در حالت $k=3$ بر حسب هزار نفر

		میزان پوشش افراد	میزان پوشش در بدترین حالت خرابی دکل‌ها	متوسط خرابی دکل‌ها
A	بیشینه پوشش	۳۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	بیشینه پوشش در بدترین حالت خرابی	۲۵۰	۲۵۰	۳۳
	کمینه متوسط خرابی	۲۰۰	۱۵۰	۱۶
B	بیشینه پوشش	٪۱۰۰	٪۳۳/۳۳	٪۳۳/۳۳
	بیشینه پوشش در بدترین حالت خرابی	٪۸۳/۳۳	٪۶۶/۶۶	٪۱۱
	کمینه متوسط خرابی	٪۶۶/۶۶	٪۵۰	٪۵/۳۳

جدول (۴) نتایج به دست آمده را در حالت $k=1$ نشان می‌دهد؛ یعنی فقط می‌خواهیم یک دکل را برای برقراری ارتباط در هنگام بلایای طبیعی تقویت کنیم. در حالت حل مساله با تک

هدفه بیشینه سازی پوشش، در صورتی که دکل تخریب شده نداشته باشیم ۲۰۰ هزار نفر پوشش خواهند داشت. در بدترین خرابی دکل ها، از آنجایی که بیشترین تقاضای از دست رفته بعد از

خرابی دکل یعنی $\max\{v_1, v_3\} = \max\{200, 50\} = 200$ هزار نفر می باشد،

$0 = \sum_l \sum_{j \in N_l} h_l x_{lj} - \max\{v_l\} = 200 - 200$ بنابراین پوششی نخواهیم داشت و در متوسط

خرابی دکل ها، $250 = \frac{1}{k} \sum_l v_l = v_1 + v_3 = 200 + 50$ هزار نفر پوشش خود را از دست خواهند

داد. ردیف دوم و پنجم جدول (۴)، نتایج را در حالت حل مساله با تک هدفه بیشینه سازی

پوشش افراد در بدترین حالت خرابی دکل ها بیان می کند و ردیف سوم و ششم نیز نتایج را در

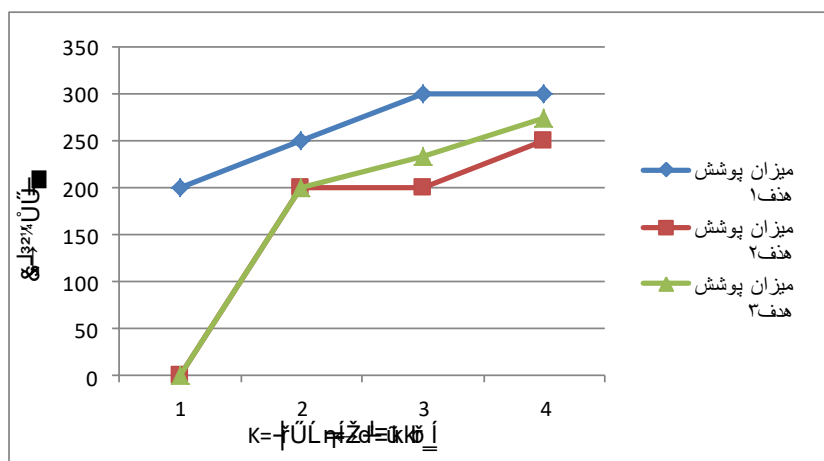
حالتی که مساله تنها با تابع هدف کمینه سازی متوسط خرابی دکل حل شده نشان می دهد.

جدول ۴. مقایسه عملکرد سه تابع هدف در حالت $k=1$ بر حسب هزار نفر

		میزان پوشش افراد	میزان پوشش در بدترین حالت خرابی دکل ها	متوسط خرابی دکل ها
A	بیشینه پوشش	۲۰۰	۰	۲۵۰
	بیشینه پوشش در بدترین حالت خرابی	۵۰	۰	۱۰۰
	کمینه متوسط خرابی	۵۰	۰	۵۰
	بیشینه پوشش	٪۶۶/۶۶	۰	٪۸۳/۳۳
B	بیشینه پوشش در بدترین حالت خرابی	٪۱۶/۶۶	۰	٪۳۳/۳۳
	کمینه متوسط خرابی	٪۱۶/۶۶	۰	٪۱۶/۶۶

شکل (۲) میزان پوشش را در حالت مختلفی از دکل های تقویت شده نشان می دهد. با توجه به این شکل در اکثر حالات، مدل با هدف ماکزیمم پوشش، عملکرد بهتری دارد در صورتی که می توان گفت میزان پوشش در دو حالت بدترین خرابی و متوسط خرابی دکل ها در بیشتر

مواقع با هم برابر است. در نهایت با افزایش تعداد دکل‌های تقویت شده میزان پوشش افراد افزایش و تفاوت بین میزان پوشش در حالت‌های مختلف کاهش می‌یابد.



شکل ۲. مقایسه میزان پوشش در حالت‌های مختلف

در ادامه، با قرار دادن هر یک از تابع هدف‌ها و مقدار بهینه آن‌ها در رابطه (۱۵)، مدل چند هدفه به مدل یک‌هدفه تبدیل می‌شود با توجه به اهمیت، هر یک از تابع هدف‌های مساله وزنی بین صفر و یک برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود، مقادیر w_i با توجه به اهمیت به صورت زیر می‌باشد:

w_1 مربوط به پوشش است ۰/۲،

w_2 مربوط به پوشش در بدترین حالت خرابی است ۰/۴ و

w_3 مربوط به متوسط خرابی دکل‌هاست که ۰/۴ در نظر گرفته شده است؛ در واقع هدف دوم

و سوم از اهمیت بیشتری نسبت به هدف اول برخوردارند.

در رابطه $p=1$ (۱۵) یعنی حالت خطی می باشد، در نهایت تابع هدف به دست آمده از رابطه (۱۵) را با در نظر گرفتن محدودیت های مساله با استفاده از نرم افزار LINGO حل شده است.

نتایج به دست آمده توسط LP متریک در جدول (۵) گزارش شده است این نتایج برای حالتی است که سه دکل تقویت شده داشته باشیم.

جدول ۵. نتایج به دست آمده از روش LP متریک

تابع هدف	تعداد (هزار نفر)
بیشینه پوشش	۳۰۰
بیشینه پوشش در بدترین خرابی	۱۰۰
کمینه متوسط خرابی	۲۳۳

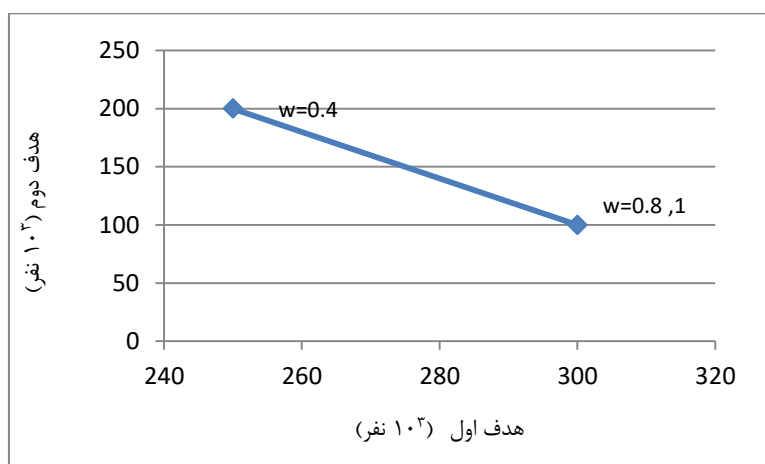
همان طور که در جدول (۵) نشان داده شده، بیشینه پوشش افراد ۳۰۰ هزار نفر می باشد، بیشینه پوشش در بدترین حالت خرابی نیز ۱۰۰ هزار نفر بوده و در کمینه متوسط خرابی ها ۲۳۳ هزار نفر تحت پوشش نخواهند بود.

به منظور یافتن راه حل های بهتر، مساله چند بار با تغییر در ضریب LP متریک (W) حل شده است، این تجزیه و تحلیل بین تابع هدف ها یک موضوع مهم برای تصمیم گیرنده است؛ زیرا به تصمیم گیرنده کمک می کند تا یک وضعیت مناسب را انتخاب کند.

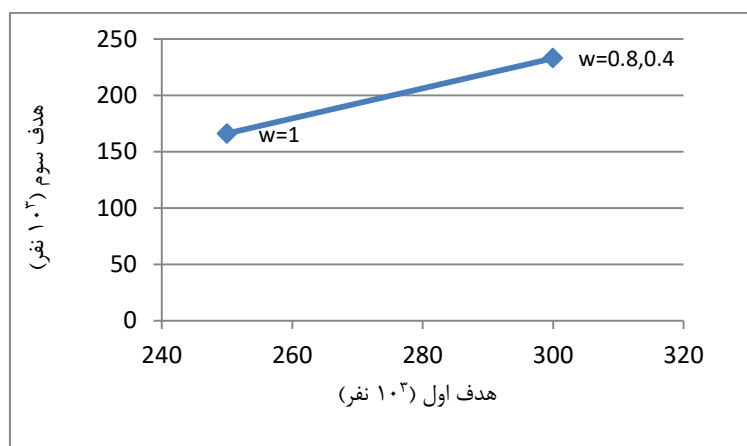
همان طور که در شکل (۳) مشاهده می شود با تغییر وزن تابع هدف بیشینه سازی پوشش از ۰/۴ به ۱، مقدار تابع هدف بیشینه سازی پوشش در بدترین حالت خرابی از ۲۰۰ هزار به ۱۰۰ هزار کاهش می یابد. بنابراین می توان گفت که کاهش وزن برای تابع هدف اول باعث افزایش مقدار تابع هدف دوم می شود؛ یعنی دو تابع هدف در تضاد با هم می باشند.

در شکل های (۴) و (۵) به ترتیب، با افزایش W برای تابع هدف اول از ۰/۸ به ۱، مقدار تابع هدف سوم از ۲۳۳ هزار به ۱۶۶ هزار کاهش خواهد یافت؛ یعنی افزایش وزن برای تابع هدف اول منجر به کاهش مقدار تابع هدف سوم می شود و افزایش وزن برای تابع هدف دوم، مقدار

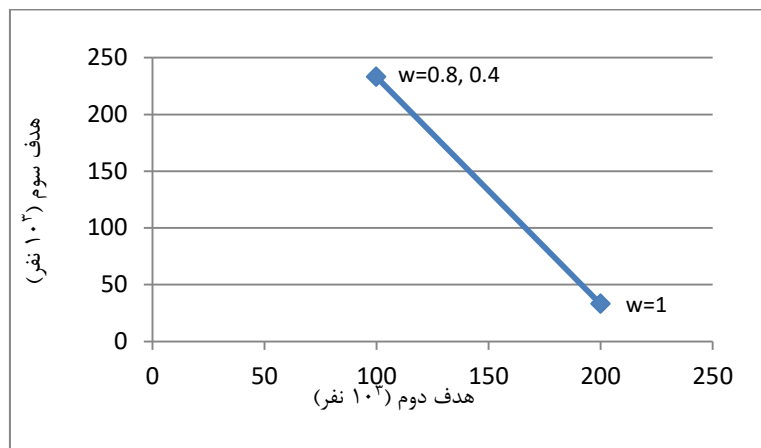
تابع هدف سوم را کاهش می‌دهد. متوسط خرابی دکل‌ها با کاهش پوشش افراد و هم چنین پوشش در حالت بدترین خرابی دکل‌ها افزایش می‌یابد. در نتیجه با توجه به این تحلیل حساسیت می‌توان گفت که سه تابع هدف در مساله پیشنهادی با هم در تضادند.



شکل ۳. تحلیل حساسیت برای ضریب LP متریک (w)



شکل ۴. تحلیل حساسیت برای ضریب LP متریک (w)



شکل ۵. تحلیل حساسیت برای ضریب LP متریک (w)

نتیجه گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله، یک مدل مکان‌یابی پوششی در جهت پوشش دهی دکل های تلفن همراه در هنگام بروز بلایای طبیعی توسعه داده شده است. این مدل به منظور بیشینه‌سازی پوشش دهی، حداکثر کردن پوشش دهی در بدترین حالت خرابی دکل ها و کمینه‌سازی خسارات ناشی از متوسط خرابی دکل های تلفن همراه، ارائه شده که پوشش پشتیبان و اضطراری رانیز شامل می‌شود، در شرایطی که دکلی تخریب شود، از آنجایی که مشتریان علاوه بر دکل خراب شده تحت پوشش تسهیل دیگری می‌باشند، تماس آن‌ها از ایستگاه اصلی رادیویی دیگر عبور می‌کند.

در این مدل فرض شده که، مشتریان در تعداد محدودی از مکان‌های شناخته شده به‌عنوان گره های تقاضای مدل حضور دارند. فرضیه‌هایی چون قرارگیری دکل ها روی سطوح صاف، توزیع مشخص مشتریان، محدود بودن تعداد تسهیلات برای تقویت شدن و هم‌چنین محدود بودن ظرفیت پوشش دهی آنتن‌ها در مدل‌سازی مساله لحاظ شده است.

با توجه به هدف‌های بیان شده، مساله مورد نظر یک مساله غیرخطی چندهدفه است که ابتدا خطی سازی شده و به‌منظور تبدیل مدل چند هدفه به یک هدفه از روش LP متریک استفاده شده است. در این تحقیق به‌منظور یافتن راه‌حل‌های بهتر، مساله چند بار با تغییر در ضریب LP متریک (w) حل شده است، این تجزیه و تحلیل بین تابع هدف‌ها یک موضوع مهم برای تصمیم‌گیرنده

است؛ زیرا به تصمیم گیرنده کمک می کند تا یک وضعیت مناسب را انتخاب کند در نتیجه با توجه به این تحلیل حساسیت می توان گفت که سه تابع هدف در مساله پیشنهادی با هم در تضادند.

مدل ارائه شده در این مقاله دارای تفاوت هایی با مدل های پیشین در ادبیات است که می توان به پوشش پشتیبان و اضطراری در نظر گرفته شده در مدل پیشنهادی و همچنین محدودیت برای هزینه جهت تقویت دکل ها و محدودیت ظرفیت پوشش دهی اشاره نمود. همچنین نشان داده خواهد شد که تحت احتمال بالایی از تخریب دکل، روش مرسوم که پوشش را به حداکثر می رساند راه حل ضعیفی را در مقایسه با مدل ارائه شده در این مقاله پیشنهاد می شود.

برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی یک مطالعه موردی مربوط به شهرستان قائم شهر ارائه شد که برای حل آن از نرم افزار LINGO9.0 بهره برده شده است.

نتایج محاسباتی نشان از اهمیت و کارایی مدل ارائه شده در تصمیم گیری های واقعی دارد، چرا که با احداث و تقویت ایستگاه های اصلی و آنتن ها، پوشش رادیویی به ویژه در مناطق سیگنال ضعیف و همچنین حجم ترافیک ایستگاه ها، در ساعت های شلوغ افزایش یافته است مدل پیشنهادی در این مقاله تلاش می کند سیستم را در برابر بدترین حالت تلفات و همچنین متوسط تلفات پشتیبانی کند و تعداد مشتریانی که بعد از خرابی تسهیلات تحت پوشش تلفن همراه باشند را بیشینه کند.

این مقاله از چندین جهت قابلیت گسترش دارد:

۱. در نظر گرفتن یک یا چند منطقه ممنوعه در این صورت مدل را بیش از پیش به دنیای واقعی نزدیک تر می سازد.

۲. در مدل ارائه شده در صورت وجود شرایط ابهام و نادقیق در پارامترهای ورودی مساله، می توان از رویکردهای مختلف مدل سازی عدم قطعیت نظیر برنامه ریزی سناریویی یا برنامه ریزی فازی بهره برد.

۳. جهت تحقیقات آتی نیز پیشنهاد می شود مسائل با ابعاد بزرگتر به کمک الگوریتم های ابتکاری یا فراابتکاری حل و مورد تحلیل قرار گیرد.

۴. شکل منطقه ممنوعه را می توان بجای چندوجهی، دایره، مستطیل و غیره در نظر گرفت.

۵. احتمالی در نظر گرفتن مکان منطقه ممنوعه.

منابع

- اسکندری، ح.، دارابی، ه.، (۱۳۹۱)، رویکردی نوین جهت حل مسئله مکان یابی پوششی مجموعه ها با خدمت دهی چندسطحی و تقاضای احتمالی، هشتمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- بهرام پور، م.، بمانیان، م.، (۱۳۹۱) تبیین الگوی جانمایی پایگاه های مدیریت بحران با استفاده از GIS؛ دو فصلنامه مدیریت بحران شماره ۳۸، صفحه ۵۱-۵۹.
- توحیدی نسب، پ. سیدبویر، سو طیبی عراقی م.، (۱۳۹۵)، ارائه مدلی جهت مکانیابی آنتن های مخابراتی با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت و تقاضای غیرقطعی مشترکان (مطالعه موردی: شهر اهواز)، دومین کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مکانیک، صنایع و هوافضا، تهران.
- خلفی، س. توکلی مقدم، ر.، (۱۳۹۲)، رویکردی نوین برای مکان یابی ایستگاه های مخابراتی تلفن همراه با سرویس دوسطحی و تقاضای احتمالی برای پوشش کامل مشترکین، دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم ها، نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، گروه مهندسی صنایع.
- علی نقیان، م.، آخوندی، اس.، (۱۳۹۵)، ارائه یک مدل بهینه سازی استوار برای مسئله مکان یابی سلسله مراتبی تک جریانه، کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت، تهران،
- Andrew, B., (2004) "Innovative regulatory and policy initiatives at increasing ICT connectivity in South Africa," *Telematics and Informatics*, 21, 49-66.
- Bollinger, G.A., Chapman, M.C., and Sibol, M.S., (1993) "A comparison of earthquake damage areas as a function of magnitude across the United States," *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83 (4), 1064-1080.
- Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S. and Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J. (2011) "A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty", *OR Spectrum*, DOI: 10.1007/s00291-011-0268-x.
- Buys, P., Dasgupta, S., Thomas, T.S., and Wheeler, D., (2009) "Determinants of a Digital Divide in Sub-Saharan Africa: A Spatial

Econometric Analysis of Cell Phone Coverage”, *World Development*, 37,9, 1494-1505.

Dorn, C., and Reuven, C.,(2013), “Optimal algorithms for the- α -neighbor p-center problem”, *European Journal of operational research*, 225, 36-43.

Eiselt, H.A. Vladimir M., (2012)., “Mobile phone tower location for survival after natural disasters”, *European Journal of Operational Research*, 216,563–572.

Francis, R. L., and White, J. A., (1974) “Facility layout and location an analytical approach (1sted.)”, *Englewood Cliffs, NJ, US*: Prentice-Hall.

Lemamou, E.A., Chamberland, S., Galinier, P.(2013) “A Reliable Model for Global Planning of Mobile Networks”. *Computers and Operations Research*. 40(10), pp. 2270-2282.

Mathkour, H.I, (2011). “A GPS-based Mobile Dynamic Service Locator System” *Applied Computing and Informatics*, 9, 95–106.

Romero C, Tamiz M, and Jones DF., (1998) “Goal programming, compromise programming and reference point method formulations: linkages and utility interpretations”. *The Journal of the Operational Research Society*, 49(9), 986–991.

Vinu, P.V., Sherimon P.C., and Reshmy K., (2011) “Towards pervasive mobile learning – the vision of 21 century”, *Procedia Social and Behavioral Sciences* 15, 3067–3073.

Wassenhove ,LNV., (2006). Humanitarian aid logistics; ‘supply chain management in high gear’. *The Journal of the Operational Research Society*,57(5), 475-489.

Wilson, M.W, (2012). “Location-based services, conspicuous mobility, and the location-aware future”, *Geoforum*, 43,1266–1275.