Archive of SID

فصلنامه علمی مطالعات مدیریت صنعتی – سال هفدهم، شماره ۵۳، تابستان ۹۸
صفحات ۱۸۴-۱۵۹

ارائه مدلی برای تقویت و پوشش‌دهی دکل‌های موبایل به منظور پابرجا بودن در زمان حوادث طبیعی

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

تاریخ دریافت:۹۵/۶/۲۶
تاریخ پذیرش:۹۷/۹/۱۰

چکیده

تقویت و پوشش‌دهی دکل‌های تلفن‌همراه با ملاحظه بروز بلایای طبیعی، یکی از موضوعات مهم بشمار آمده چرا که در مواقع بحران تأمین ارتباطات بین تیم‌های امدادی و مردم از اهمیت زیادی برخوردار است. بلایای طبیعی مانند زلزله، طوفان، سیل و... بر روی جاده‌ها، پل‌ها، سیستم‌های ارتباطی، تامین برق و دسترسی به تسهیلات تاثیر می‌گذارد. این بلایا اغلب درجوامعی که آمادگی رویارویی با آن را ندارند به بحران تبدیل می‌شود. هدف این مقاله ارائه مدلی جهت بیشینه‌سازی پوشش‌دهی تلفن‌همراه در مناطق مختلف، 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. مدل ارائه شده دارای تفاوت‌هایی با مدل‌های پیشین در ادبیات است که می‌توان به پوشش پشتیبان و اضطراری در نظر گرفته شده و هم‌چنین محدودیت برای هزینه جهت تقویت دکل‌ها و محدودیت ظرفیت پوشش‌دهی اشاره نمود. برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی یک مطالعه موردی مربوط به شهرستان قائم‌شهر ارائه شدکه برای حل آن از نرم‌افزار LINGO9.0 بهره برده‌شده است. نتایج محاسباتی نشان از اهمیت و کارایی مدل ارائه شده در تصمیم‌گیری‌های واقعی دارد، چرا که با احداث و تقویت ایستگاه‌های اصلی و آنتن‌ها، پوشش رادیویی به ویژه در مناطق سیگنال ضعیف و هم‌چنین حجم ترافیک ایستگاه‌ها، در ساعت‌های شلوغ افزایش یافته است. 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 تلفن‌همراه باشند را بیشینه کند.

واژگان کلیدی: مساله مکان‌یابی پوششی، دکل تلفن‌همراه، بلایای طبیعی، برنامه‌ریزی بلایا.

---

* کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه پردیسان فریدونکنار
** استادیار دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 وکارآیی 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 امدادرسانی در زمان بحران و خسارات جبران ناپذیر 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).

بلایای طبیعی مانند زلزله، طوفان، سیل و ریزش‌کوه بر روی جاده‌ها، پل‌ها، سیستم‌های ارتباطی، تامین برق و دسترسی به تسهیلات تاثیر می‌گذارد. این بلایا اغلب درجوامعی که

www.SID.ir

Archive of SID

آمادگی رویارویی با آن را ندارند به بحران تبدیل می‌شود. تلفات عظیم انسانی وخسارات‌زیاد اقتصادی بیانگر لزوم پیش‌بینی و برنامه‌ریزی برای رویارویی با این حوادث است تا از وقوع بحران جلوگیری شود(واسن‌هو۱، ۲۰۰۶).

نمونه‌های زیادی برای چنین شرایطی وجود دارد، یکی از این فاجعه‌ها زمین‌لرزه‌ای به اندازه ۸/۸ ریشتر در ۲۷ ام فوریه ۲۰۱۰ است که در شیلی رخ داد. این زمین‌لرزه جزء ۵ زمین‌لرزه بزرگ تاریخ است در این زمین‌لرزه بسیاری از پل‌ها خراب شدند، برق و سیستم‌های ارتباطی قطع وکارها در مناطق وسیعی برای یک مدت طولانی متوقف شدند، در بین این خرابی‌ها، کمبود ارتباطات تلفن بیشترین تاثیر را داشت(ایزلت و ماریانو ۲، ۲۰۱۲).

در بسیاری از موارد، تسهیلات مناسب مانند آمبولانس، هلی‌کوپترهای فوریتی، مامورین آتش‌نشانی، پلیس و ارتش در حالت آماده‌باش هم نمی‌توانند 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 خرابی‌ها دلایل متفاوتی دارند: مانند قطع ارسال برق، تغییر یافتن آنتن‌های ریزموج بین ایستگاه‌های اصلی، شکست خطوط فیبرنوری، خرابی میدان ایستگاه‌های اصلی و تراکم تماس‌های تلفنی که تا چند ساعت بعد از زمین‌لرزه ادامه دارد. این سیستم‌های ارتباطی باید با حداقل تاثیر در زمین‌لرزه‌های متوسط و بلایای مشابه تاسیس و یا تعدیل شوند.

احداث و تقویت ایستگاه‌های اصلی و آنتن‌ها به دو منظور انجام می‌شود:۱- تامین پوشش رادیویی به ویژه در مناطقی که سیگنال ضعیف است ۲- افزایش حجم ترافیک ایستگاه‌ها، که مشکل تقاضای ترافیک در ساعت‌های شلوغ که از هر ۱۰۰ تماس، ۹۸ تماس سیستم قابل دسترسی است(ایزلت و ماریانو، ۲۰۱۲).

در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط که ابتدا خطی‌سازی شده جهت تعیین مکان و تقویت دکل‌های تلفن همراه ارائه شده است. مدل پیشنهادی یک مدل غیرخطی چندهدفه می‌باشد که علاوه بر بیشینه‌سازی پوشش خدمات، اهداف دیگر آن

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

www.SID.ir

Archive of SID

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 درنظرگرفتن 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 بخش۲ مبانی نظری و پیشینه پژوهش ارائه شده است. بخش۳ به بیان تشریح مساله و مدل ریاضی می‌پردازد. بخش ۴و۵ 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 نتیجه گیری و پیشنهادات آتی ارائه شده است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بررسی روی دکل‌های تلفن‌همراه و مسائل مربوط به آن از گذشته تا به امروز ادامه داشته است. اندرو[1] 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 تلفن‌همراه وپوشش‌دهی آن‌ها را با توجه به جمعیت ارائه دادند(بایز و همکارانش[2]، ۲۰۰۹). وینو و همکارانش[3] در سال ۲۰۱۱، ایده‌هایی در مورد بیشینه استفاده از امکانات ICT (تلفن همراه و اینترنت)را بیان کردند(وینو و همکارانش، ۲۰۱۱). متکور[4] در سال ۲۰۱۱، در مورد مکان‌یابی با استفاده از تسهیلات مخابراتی مانند LBS[5]وGPS[1] 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 [2]در سال ۲۰۱۲، مدل مکان‌یابی را با استفاده از تسهیلات مخابراتی (تلفن‌همراه) با در نظر گرفتن بیشینه ارتباطات بین نقاط مبدا و مقصد ارائه داد(ویلسون، ۲۰۱۲). ایزلت و ماریانو در سال ۲۰۱۲مدلی 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).

دراکثر مدل‌های موجود درادبیات جهت ساده نمودن فرضیات مدل، تقاضای قطعی برای مشتریان و خدمات یکسان جهت تسهیلات درنظرگرفته شده ا ست 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 موردنظر برای دادن سرویس مناسب ازنظر خط‌دهی به تمامی مشترکین تلفن‌همراه یکی ازمسائل مهم می‌باشد که باتوجه 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 تلفن‌همراه با سرویس دوسطحی و تقاضای احتمالی با مدل پوشش مجموعه‌ها که درآن استراتژی پوشش کلیه نواحی تقاضا به کارگرفته 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 تلفن‌همراه پرداختندکه 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 گرفته‌شده است. هم‌چنین محدودیت‌هایی برای تخصیص، ظرفیت و کیفیت سیگنال دریافتی بیان‌شده است(لمامو و همکارانش[1]،۲۰۱۳).

توحیدی نسب و همکارانش در سال ۱۳۹۵ در مقاله خود به دنبال استفاده از رویکرد بهینه-سازی استوار برای مدل مکانیابی پوششی برای آنتن‌ها و دکل‌های ارائه نمودند که بااستوار سازی 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 بهینه سازی از نوع NP-Hard شود(توحیدی نسب و همکارانش، ۱۳۹۵)

در مقاله ارائه شده توسط علی‌نقیان و آخوندی درسال ۱۳۹۵یک مسئله کلاسیک مکان‌یابی دوسطحی تک جریانه باظرفیت محدود برای سرویس دهندگان سطوح یک و دو را توسعه داده‌شد. در این مقاله جهت تعیین تعداد بهینه سرویس‌دهندگان در سطوح یک و دو تحت چهار سناریوی مختلف از برنامه ریزی استوار استفاده شده است. هدف این مقاله حداقل‌سازی هزینه کل شامل هزینه هزینه تاسیس سرویس‌دهنده درمکان‌های نامزد سطوح یک و دو، هزینه حمل ونقل از سرویس‌دهندگان تاسیس شده در سطح یک به مشتریان سطح صفر واز سرویس‌دهندگان تاسیس شده در سطح دو به سرویس‌دهندگان تاسیس شده در سطح یک و هزینه کمبود موجودی در هر سطح می‌باشد. در این مقاله تقاضای مشتریان، ظرفیت سرویس-دهندگان سطح یک، ظرفیت سرویس‌دهندگان سطح دو و هزینه انتقال بین سطوح به صورت نادقیق تحت چهار سناریودرنظر 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

1. Lemamou, E.A., Chamberland, S., Galinier, P

www.SID.ir

Archive of SID

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

هدف بسیاری از مدل‌های مکان‌یابی ایستگاه پایه، تعیین مکان بهینه به‌منظور بیشینه‌سازی سطح پوشش است. درصورتی‌که اگر بخواهیم مدل جامع و نزدیک به واقعیت داشته باشیم باید محدودیت برای هزینه جهت تقویت دکل‌ها و محدودیت ظرفیت پوشش‌دهی در نظر گرفته شود هم‌چنین از تفاوت‌های دیگر مدل ارائه شده در این مقاله می‌توان به پوشش پشتیبان و اضطراری اشاره نمود در این مقاله نشان داده خواهد شدکه تحت احتمال بالایی از تخریب دکل، روش مرسوم که پوشش را به حداکثر می‌رساند راه حل ضعیفی را در مقایسه با مدل ارائه شده در این مقاله پیشنهاد می‌دهد. مدل‌های موجود در ادبیات هرکدام تنها به بخشی از موارد فوق پرداخته‌اند و مدل جامعی که همه این موارد را باهم در نظر بگیرد تاکنون ارائه نشده است. در مدل پیشنهادی، سعی می‌شود مدل جامعی ارائه گردد تا ملاحظات فوق را پوشش دهد. هدف اصلی این مقاله، ارائه مدلی برا تقویت ایستگاه‌های پایه تلفن همراه است که در زمان وقوع بحران و شرایط اضطراری به‌منظور پوشش دهی ارتباطات، پابرجا ماندنشان ضروری است. به همین دلیل باید به‌درستی مکان‌یابی شده و باید برای پابرجا ماندن در زمان بحران تقویت و مستحکم شوند.

تشریح و مدل‌سازی مساله

تعریف مساله

هرمساله‌ی مکان‌یابی، درواقع یک مساله تصمیم‌گیری در مورد تعیین مکان تسهیلات است. بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری در مورد تعداد و مکان تسهیلات عمومی نظیر بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های پلیس، آنتن‌های رادار به‌عنوان مسائل پوشش فرمولاسیون می‌شوند(فرانسیس و همکارانش[1]، ۱۹۷۴).

1. Francis, R. L., and White, J. A

www.SID.ir

Archive of SID

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 (به‌عنوان 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 به‌صورت دایره‌ای است. برای به‌دست 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 اضافه‌کردن تسهیلات پشتیبانی مقابل این حوادث ایستادگی کنند؛ در واقع اگر یکی از دکل‌ها دچار خرابی شود، مشتریانی که فقط تحت‌پوشش این دکل هستند، ارتباط آن‌ها قطع می‌شود، اما مشتریانی که علاوه بر دکل تخریب شده تحت‌پوشش 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 تلفن‌همراه باشند را بیشینه کند.

از آنجایی‌که 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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

تنظیم تابع هدفی برای بیشینه‌سازی باقی‌مانده تماس‌های مورد انتظار امکان‌پذیر است که نیاز به بیشینه‌سازی کوتاه‌ترین فاصله بین دو دکل می‌باشد و مستلزم آن است که حداقل فاصله جدایی بین دو دکل را درنظرگرفته شود.

بولینگرو همکارانش۱ در سال ۱۹۹۳، مناطق آسیب و شعاع دایره معادل را برای مقادیر مختلف زمین‌لرزه با استفاده از سطوحVI(قوی) و VII(خیلی قوی) مرکالی به‌منظور تخمین خسارت برای سواحل غرب و شرق آمریکا مقایسه کردند؛ به‌عنوان مثال، برای ساحل غرب، متوسط شعاع سطح VII برای زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ۵، ۶ و۷ به ترتیب ۵/۹۲، ۱۶/۸و ۴۸ کیلومتر است؛ این بدان معنی است که اگر یک شبکه تلفن همراه برای پابرجاماندن در زمین-لرزه‌ای به بزرگی ۵ طراحی شده باشد، نیاز به جدایی توسط یک فاصله حداقل ۵/۹۲ کیلومتری است(بولینگر و همکارانش، ۱۹۹۳).

فرمول‌بندی مساله

اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مساله به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

اندیس‌ها:

I: مجموعه نقاط تقاضا ($i \in I$)

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

پارامترها:

k :کل تعداد دکل‌ها برای تقویت شدن.

B :حداکثر سرمایه در دسترس جهت تقویت دکل‌ها.

1. Bollinger, G.A.,Chapman, M.C., and Sibol, M.S

www.SID.ir

Archive of SID

h_i: میزان تقاضای مشتری در مکان i

c_j: هزینه تقویت یک دکل در مکان j

q_l: احتمال خرابی یک تسهیل مستحکم در مکان l

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

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

N_i: مجموعه‌ای از مکان‌هایj که مشتری مکانi را تحت پوشش قرار می‌دهد؛ در واقع درصورتی که فاصله‌ی بین مشتری مکانi و دکلj کمتر مساوی ۱۵ کیلومتر باشد دراینصورت دکلj می‌تواند به مشتری مکانi سرویس دهد؛ به‌بیان‌دیگر شعاع پوشش ۱۵کیلومتر است.. (ایزلت و ماریانو، ۲۰۱۲).

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

$$N_i = \left\{ j \middle| d_{ij} \leq 15 \right\}$$

d_{jk}: فاصله بین دکل‌های j وk

در مدل ارائه شده در این مقاله میزان جدایی دو دکل برا پا برجاماندن در زمین‌لرزه ۵ ریشتری، حداقل۵/۹۲ کیلومتر در نظرگرفته شده است که اعتبار این اعداد باتوجه به تحقیقات انجام شده بولینگر و همکارانش می‌باشد.

$$M_j = \{k \middle| d_{jk} \leq 5.92\}$$

www.SID.ir

Archive of SID

متغیرها:

y_j { **اگر دکل مکان j تقویت شود.** ۱ ; **در غیر اینصورت** ۰ }

y_{ij} { **اگر تقاضای پوشش‌نیافته i در حالت اضطراری توسط دکل مکان j پوشش داده شود.** ۱ ; **در غیر اینصورت** ۰ }

x_{ij} { **اگر تقاضای i توسط دکل مکان j پوشش داده شود.** ۱ ; **در غیر اینصورت** ۰ }

z_{il} { **اگر مکان i در دکل تحت‌پوشش باشد. l حتی بعداز خرابی** ۱ ; **در غیر اینصورت** ۰ }

مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه مساله به‌صورت زیر خواهد شد:

$$Max\ obj_1 = \sum_i \sum_{j \in N_i} h_i x_{ij} \qquad (۱)$$

$$Max\ obj_2 = \sum_i \sum_{j \in N_i} h_i x_{ij} - \max\{v_l\} \qquad (۲)$$

$$Min\ obj_3 = \frac{1}{k} \sum_l v_l \qquad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

s.t

$$\sum_j y_j = k \quad (۴)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\sum_j c_j x_j \le B \quad (۱۲)$$

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

www.SID.ir

Archive of SID

تابع‌هدف(۱) بیشینه‌سازی پوشش مرسوم است، در شرایطی که میزان تقاضا با یکدیگر متفاوت است. مشتریانی پوشش داده می‌شوند که در مجموع بیشترین میزان تقاضا را داشته باشند.

تابع‌هدف(۲) با بدترین حالت خرابی سروکار دارد، به‌منظور خطی‌سازی تابع‌هدف(۲)، $v = \max\{v_l\}$ قرارمی‌دهیم در اینصورت محدودیت (۱۴) به مدل اضافه می‌شود.

$$v \geq v_l \quad \forall l \qquad (۱٤)$$

تابع‌هدف(۳) حالت متوسط خرابی دکل‌ها را در نظر می‌گیرد، اگر احتمال خرابی دکل در مکانl برابر با $q_l = \frac{1}{k}$ باشد بنابراین خرابی مورد انتظار $\sum_l q_l v_l = \frac{1}{k}\sum_l v_l$ می‌شود(ایزلت و ماریانو، ۲۰۱۲). محدودیت(۴) تعداد دکل‌ها برای تقویت شدن را نشان می‌دهد؛ یعنی می‌خواهیم دقیقا k تسهیل را تقویت کنیم. محدودیت(۵) بیان می‌کند که گره i توسط دکل مکان j پوشش داده می‌شود اگر و تنها اگر در مکان j دکل تقویت شود. محدودیت(۶a) تحت پوشش بودن یا نبودن گره i رامشخص می‌کند. y_l در سمت راست این محدودیت، بیانگر آن است که تقاضای گره i توسط دکل مکان l Error! Bookmark not defined. تحت پوشش قرارمی‌گیرد، در حالیکه $\sum_{j\in N_i} y_j$ تعداد دفعاتی که گره i از هرمکانی از جمله مکان l تحت پوشش است، را بیان می‌کند. محدودیت (۶b) بیان می‌کند که اگر دکل l، مشتری i را تحت پوشش قرار ندهد، خرابی آن اثرگذار نخواهد بود. محدودیت(۷) میزان خسارت درمورد دکل l Error! Bookmark not defined.تخریب شده را مشخص می‌کند. محدودیت(۸) به حداقل فاصله بین دکل‌ها تاکید می‌کند. دو دکل واقع در مکان‌های k و j که در فاصله کمتر یا مساوی ۵/۹۲ کیلومتر از هم قرار دارند، حداکثر باید یکی از آن‌ها تقویت شود(بولینگر و همکارانش، ۱۹۹۳). محدودیت(۹) مشخص می‌کند اگر دکل مکان j تقویت نشود در این حالت نمی‌تواند به تقاضای گره غیر همسایه i در شرایط

www.SID.ir

Archive of SID

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 داده‌می‌شوند باید کوچکتر مساوی ظرفیت دکل واقع در مکان j باشند.

محدودیت(۱۱) بیان می‌کند درصورتی‌که دکل همسایه l نتواند به تقاضای i پاسخ دهد باید از دکل غیر همسایه یعنی j برای پوشش‌دهی به تقاضای i استفاده کنیم. محدودیت(۱۲) بیانگر آن‌است 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 نقطه‌مرجع[1] سه مورد از روش‌های پرکاربرد در زمینه تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند(رومرو و همکارانش[2]، ۱۹۹۸).

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

تابع هدف نهایی به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Min\ Z = \left\{ \sum_{i=1}^{3} w_i^p \left[\frac{obj_i^* - obj_i}{obj_i^*} \right]^p \right\}^{1/p} \qquad (۱۵)$$

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

www.SID.ir

Archive of SID

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

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

obj_i^* :مقدار بهینه تابع هدف iام

obj_i :تابع هدف iام

در نتیجه مدل به‌دست‌آمده یک مدل تک‌هدفه عددصحیح مختلط می‌باشد.

مطالعه موردی

به‌منظور درک بهتر و نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی، مطالعه موردی بیان می‌گردد. داده-های این مطالعه موردی مربوط به یکی از شهرستان‌های استان مازندران به‌نام قائم‌شهر است که از مخابرات این شهرستان گرفته شده است.

شکل(۱) نقشه شهر قائم‌شهر را نشان می‌دهد که دارای ۳شهر، ۲ بخش و ۶ دهستان و جمعیتی حدود ۳۰۰هزارنفر 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 تلفن‌همراه در این منطقه توسط دکل‌های مخابراتی و آنتن‌ها ۱ صورت می-گیردکه 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.

1. Base Transceiver Station

www.SID.ir

Archive of SID

۲- آنتن

آنتن موبایل همان فرستنده وگیرنده‌های کوچکی هستند که درنقاط مختلف شهرنصب 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.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱. میزان تقاضا و فاصله از نقاط کاندید دکل‌ها برای هر مشتری

i	میزان تقاضا(10^3 نفر)	فاصله تخمینی نقاط کاندید دکل‌ها از مشتری(کیلومتر)				
		۱	۲	۳	٤	٥
۱	٥۰	۱٥	$d>$۱٥			
۲	٥۰	۱۸	۱٤	$d>$۱٥		
۳	۲۰۰	$d>$۱٥		$d\leq$۱٥		

جدول۲. ظرفیت هر دکل

	نقاط کاندید برای دکل				
	۱	۲	۳	۴	۵
ظرفیت (۱۰۳نفر)	۶۵	۷۰	۱۰۰	۵۰	۸۰

جدول(۳) نتایج به‌دست آمده از این نرم افزار را در حالتی‌که فقط سه دکل تقویت شده داشته باشیم، برای هریک از اهداف به‌صورت جداگانه نشان می‌دهد.

ردیف اول و چهارم جدول(۳)، نتایج را در حالتی‌که مساله فقط با تابع هدف اول یعنی بیشینه پوشش حل شده، نشان می‌دهد که در ردیف اول قسمت A،۳۰۰هزار نفر تحت پوشش خواهند بود، اگر هیچ‌کدام از دکل‌ها تخریب نشده باشند. فقط ۱۰۰هزار نفر در بدترین خرابی دکل‌ها پوشش دارند، اگر دکل تخریب شده داشته باشیم؛ در واقع ارتباط بیشتر مردم قطع می‌شود و۱۰۰ هزار نفر نیز در متوسط خرابی دکل‌ها، پوشش نخواهند داشت اگر یکی از دکل‌ها تخریب شده باشد. در ردیف چهارم قسمت B جدول(۳)، میزان پوشش به‌صورت 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 دکل‌ها تحت پوشش خواهند بود و اگر دکلی خراب شود ۳۳,۳۳٪ از جمعیت پوشش نخواهند داشت و ارتباطشان قطع می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

ردیف دوم و پنجم جدول(۳)، نتایج را در حالت حل مساله با تک هدفه بیشینه افراد تحت-پوشش در بدترین حالت خرابی دکل‌ها (هدف‌دوم) نشان می‌دهد در ردیف دوم قسمت A، وقتی دکلی تخریب نشده باشد ۲۵هزار نفر تحت پوشش خواهند بود، ۲۰۰هزار نفر در بدترین خرابی دکل‌ها پوشش دارند و ۳۳هزار نفر نیز در متوسط خرابی دکل‌ها، ارتباطشان قطع خواهد شد. به‌صورت درصدی از کل جمعیت در ردیف پنجم حالت B می‌توان گفت که۸۳,۳۳٪ از جمعیت پوشش خواهند داشت، در بدترین خرابی دکل‌ها ۶۶,۶۶٪ پوشش دارند، در صورت خرابی دکلی ۱۱٪ از جمعیت تحت پوشش نخواهند بود. در نهایت ردیف سوم و ششم، بیانگر جواب‌های به‌دست آمده از حل مساله فقط با درنظرگرفتن تابع هدف سوم یعنی کمینه متوسط خرابی‌ها می‌باشد.

جدول۳. مقایسه عملکرد سه‌تابع هدف در حالت$k=3$ برحسب هزارنفر

		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 به‌دست 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

www.SID.ir

Archive of SID

هدفه بیشینه سازی پوشش، درصورتی‌که دکل تخریب شده نداشته باشیم ۲۰۰ هزار نفر پوشش خواهند داشت. در بدترین خرابی دکل‌ها، از آنجایی‌که بیشترین تقاضای از دست رفته بعد از خرابی دکل یعنی $200 = \max\{v_1, v_3\} = \max\{200,50\}$ هزارنفرمی‌باشد، $0 = \sum_i \sum_{j \in N_i} h_i x_{ij} - \max\{v_l\} = 200 - 200$ بنابراین پوششی نخواهیم داشت و در متوسط خرابی دکل‌ها، $250 = \frac{1}{k}\sum_l v_l = v_1 + v_3 = 200 + 50$ هزار نفر پوشش خود را از دست خواهند داد. ردیف دوم و پنجم جدول(۴)، نتایج را در حالت حل مساله با تک هدفه بیشینه‌سازی پوشش افراد در بدترین حالت خرابی دکل‌ها بیان می‌کند و ردیف سوم وششم نیزنتایج را در حالتی که مساله تنها با تابع هدف کمینه‌سازی متوسط خرابی دکل حل شده نشان می‌دهد.

جدول ٤. مقایسه عملکرد سه‌تابع هدف در حالت k=1 برحسب هزارنفر

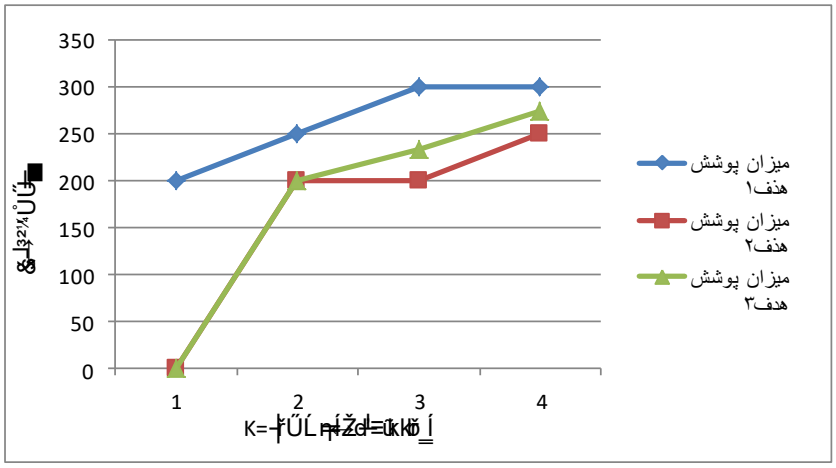
		میزان پوشش افراد	میزان پوشش در بدترین حالت خرابی دکل‌ها	متوسط خرابی دکل‌ها
A	بیشینه پوشش	۲۰۰	۰	۲۵۰
	بیشینه پوشش در بدترین حالت خرابی	۵۰	۰	۱۰۰
	کمینه متوسط خرابی	۵۰	۰	۵۰
B	بیشینه پوشش	٪۶۶/۶۶	۰	٪۸۳/۳۳
	بیشینه پوشش در بدترین حالت خرابی	٪۱۶/۶۶	۰	٪۳۳/۳۳
	کمینه متوسط خرابی	٪۱۶/۶۶	۰	٪۱۶/۶۶

شکل(۲) میزان پوشش را در حالت مختلفی از دکل‌های تقویت شده نشان می‌دهد. باتوجه به این شکل در اکثر حالات، مدل با هدف ماکزیمم پوشش، عملکرد بهتری دارد درصورتی‌که می‌توان گفت میزان پوشش در دو حالت بدترین خرابی و متوسط خرابی دکل‌ها در بیشتر

www.SID.ir

Archive of SID

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.



شکل۲. 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، هریک از تابع هدف‌های مساله وزنی بین صفر و یک برای آن‌ها در نظرگرفته می‌شود، مقادیر W_i با توجه به اهمیت به‌صورت 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 ۰/۴در نظر گرفته شده است؛ در واقع هدف دوم و سوم از اهمیت بیشتری نسبت به هدف اول برخوردارند.

www.SID.ir

Archive of SID

در رابطه (۱۵)$p=1$ یعنی حالت خطی می‌باشد، در نهایت تابع هدف به‌دست آمده از رابطه (۱۵) را با در نظر گرفتن محدودیت‌های مساله با استفاده از نرم افزار LINGO حل شده است.

نتایج به‌دست 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 به‌دست آمده از روش LP متریک

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

همان‌طورکه در جدول(۵) نشان داده شده، بیشینه پوشش افراد ۳۰۰هزارنفر می‌باشد، بیشینه پوشش در بدترین حالت خرابی نیز ۱۰۰هزار نفر بوده و درکمینه متوسط خرابی‌ها ۲۳۳ هزار نفر تحت‌پوشش نخواهند بود.

به‌منظور یافتن راه‌حل‌های بهتر، مساله چند بار با تغییر در ضریب LPمتریک (w) حل شده است، این تجزیه و تحلیل بین تابع هدف‌ها یک موضوع مهم برای تصمیم‌گیرنده است؛ زیرا به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا یک وضعیت مناسب را انتخاب کند.

همان‌طورکه در شکل (۳) مشاهده می‌شود با تغییر وزن تابع هدف بیشینه‌سازی پوشش از ۰/۴ به ۱، مقدار تابع هدف بیشینه‌سازی پوشش در بدترین حالت خرابی از ۲۰۰هزار به ۱۰۰هزار کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت که کاهش وزن برای تابع هدف اول باعث افزایش مقدار تابع هدف دوم می‌شود؛ یعنی دو تابع هدف در تضاد با هم می‌باشند.

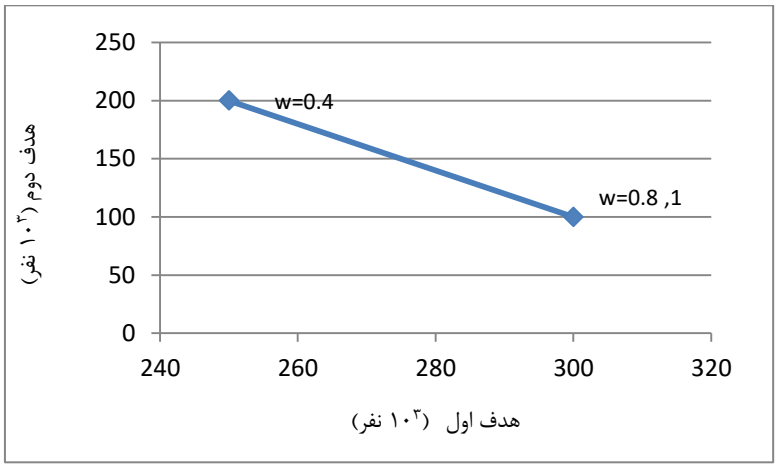
در شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب، با افزایش w برای تابع هدف اول از ۰/۸ به ۱، مقدار تابع هدف سوم از ۲۳۳هزار به ۱۶۶هزار کاهش خواهد یافت؛ یعنی افزایش وزن برای تابع هدف اول منجر به کاهش مقدار تابع هدف سوم می‌شود وافزایش وزن برای تابع هدف دوم، مقدار

www.SID.ir

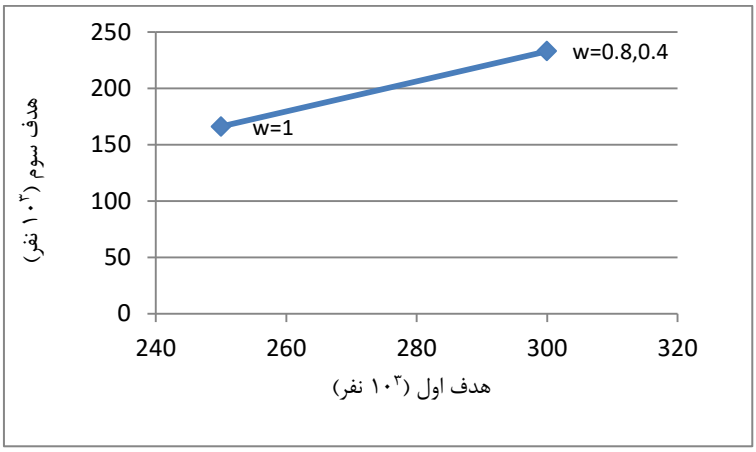
Archive of SID

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.



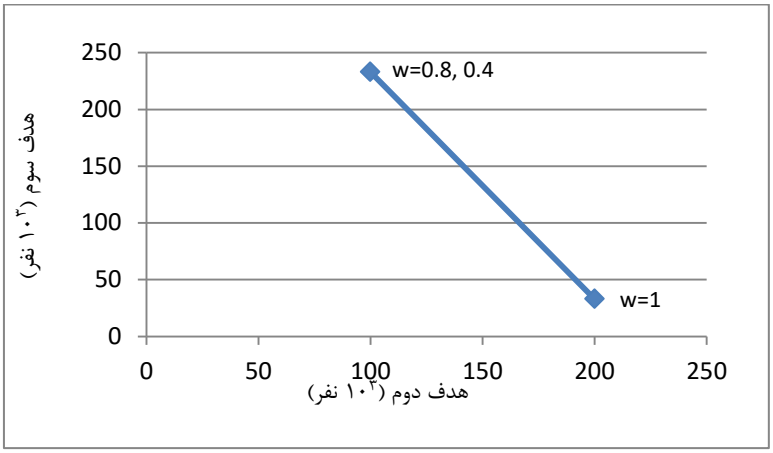
شکل۳. تحلیل حساسیت برای ضریب LPمتریک(w)



شکل ٤. تحلیل حساسیت برای ضریب LPمتریک (w)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. تحلیل حساسیت برای ضریب LPمتریک (w)

نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله، یک مدل مکان‌یابی پوششی در جهت پوشش‌دهی دکل‌های تلفن‌همراه در هنگام بروز بلایای طبیعی توسعه داده شده است. این مدل به‌منظور بیشینه‌سازی پوشش‌دهی، حداکثر کردن پوشش‌دهی در بدترین حالت خرابی دکل‌ها و کمینه‌سازی خسارات ناشی از متوسط خرابی دکل‌های تلفن‌همراه، ارائه شده که پوشش پشتیبان و اضطراری رانیز شامل می‌شود، در شرایطی که دکلی تخریب شود، از آنجایی‌که مشتریان علاوه بر دکل خراب شده تحت پوشش تسهیل دیگری می‌باشند، تماس آن‌ها از ایستگاه‌اصلی 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 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.

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 استفاده‌شده است. در این تحقیق به‌منظور یافتن راه‌حل‌های بهتر، مساله چند بار با تغییر در ضریب LPمتریک (w) حل شده است، این تجزیه و تحلیل بین تابع هدف‌ها یک موضوع مهم برای تصمیم‌گیرنده

www.SID.ir

Archive of SID

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

مدل ارائه شده در این مقاله دارای تفاوت‌هایی با مدل‌های پیشین در ادبیات است که می‌توان به پوشش پشتیبان و اضطراری در نظر گرفته شده در مدل پیشنهادی و هم‌چنین محدودیت برای هزینه جهت تقویت دکل‌ها و محدودیت ظرفیت پوشش‌دهی اشاره نمود. همچنین نشان داده خواهد شدکه 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 می‌شود.

برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی یک مطالعه موردی مربوط به شهرستان قائم‌شهر ارائه شدکه برای حل آن از نرم‌افزار LINGO9.0 بهره برده‌شده است.

نتایج محاسباتی نشان از اهمیت و کارایی مدل ارائه شده در تصمیم‌گیری‌های واقعی دارد، چرا که با احداث و تقویت ایستگاه‌های اصلی و آنتن‌ها، پوشش رادیویی به ویژه در مناطق سیگنال ضعیف و هم‌چنین حجم ترافیک ایستگاه‌ها، در ساعت‌های شلوغ افزایش یافته است 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 تلفن‌همراه 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 بیش‌ازپیش به دنیای واقعی نزدیک‌تر می‌سازد.

۲. در مدل ارائه‌شده در صورت وجود شرایط ابهام و نادقیق در پارامترهای ورودی مساله، می-توان از رویکردهای مختلف مدل‌سازی عدم‌قطعیت نظیر برنامه‌ریزی سناریویی یا برنامه‌ریزی فازی بهره برد.

۳. جهت تحقیقات آتی نیز پیشنهاد می‌شود مسائل با ابعاد بزرگتر به کمک الگوریتم‌های ابتکاری یا فراابتکاری حل و مورد تحلیل قرار گیرد.

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

۵. احتمالی در نظر گرفتن مکان منطقه ممنوعه.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

اسکندری، ح.، دارابی، ه.، (۱۳۹۱)، *رویکردی نوین جهت حل مسئله مکان یابی پوششی مجموعه‌ها 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 پایگاه‌های 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 آنتن‌های مخابراتی با در نظرگرفتن 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 ایستگاه‌های مخابراتی تلفن همراه باسرویس دوسطحی و تقاضای احتمالی برای پوشش کامل مشترکین*، دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، گروه مهندسی صنایع.

علی‌نقیان،م. آخوندی، اس،. (۱۳۹۵)، *ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار برای مسئله مکان‌یابی سلسله مراتبی تک‌جریانه*، 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

www.SID.ir

Archive of SID

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". *TheJournal 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'. *TheJournal 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.

www.SID.ir