

بهینه‌سازی جانمایی اماکن پلیس^۱

نویسنده: اندی اچ اف چو، سی وای چئونگ، اچی تی یون^۲

مترجم: امین پورهمتی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۵

چکیده

این مقاله کاربرد تکنیک‌های بهینه‌سازی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی را برای جانمایی اماکن پلیسی با نظر به محدودیت‌های بودجه و امکانات ارائه می‌دهد. اهداف مورد نظر عبارت از به حداقل رساندن مسافت‌ها و ایجاد پوشش حداکثر ایستگاه‌های پلیس در مناطق مستعد جرم هستند. دو مدل بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفتند: حداکثر پوشش و پی‌میانه. بهینه‌سازی با تکنیک‌های تجزیه و تحلیل فضایی جغرافیایی برای تخصیص منابع محدود پلیس در ناحیه لندن بزرگ، یکپارچه سازی شد. علاوه بر این، نتایج بهینه‌سازی با محل‌های استقرار کنونی پلیس لندن مقایسه شد. در نهایت، انعطاف پذیری راه حل‌های بهینه‌سازی با استفاده از آن‌ها برای سناریوی حمله تروریستی که در ۷ ژوئیه ۲۰۰۵ اتفاق افتاد، ارزیابی شد. این مطالعه به مطالعه پایداری و امنیت شهری کمک می‌کند.

کلید واژه‌ها: مراکز پلیس، بهینه‌سازی، جانمایی.

^۱ - مرکز مطالعات حمل و نقل، دانشکده مهندسی شهری، محیطی و جغرافیایی، دانشگاه لندن، بریتانیا

^۲ - کارشناس ارشد گیاه‌پزشکی، کارشناس مترجمی زبان انگلیسی، ۰۹۱۳۳۴۳۱۸۴۱، a.purhematy@gmail.com

مقدمه

لندن، به عنوان پایتخت بریتانیا، روزانه هزاران بازدیدکننده را که از نواحی مختلف دنیا با اهداف متعدد از جمله مسافرت، تحصیل و کار به لندن می‌آیند به خود جذب می‌کند. این موضوع لندن را به یک شهر شلوغ و چند فرهنگی مبدل کرده است (گلیزر و همکاران^۱). اولین طرح جرم شناسی در لندن مربوط به طرح پلیس و جرائم ۲۰۱۳-۲۰۱۶ می‌باشد که توسط دفتر شهردار جهت امور رفتار و عملکرد پلیس در سال ۲۰۱۳ تدوین شده است (دفتر شهردار جهت امور رفتار و عملکرد پلیس^۲، ۲۰۱۳). این طرح کاهش ۲۰ درصدی جرائم در محلات شهری و همچنین کاهش ۲۰ درصدی هزینه‌ها را تا سال ۲۰۱۶ هدف قرار داده است. بیش از ۸۰٪ از گزارشات از طریق تماس تلفنی بوده است تا اینکه از طریق مراجعه به استگاه‌های پلیس باشد (دفتر شهردار جهت امور رفتار و عملکرد پلیس، ۲۰۱۳). بر پایه این ملاحظات، نتیجه گرفته شد که می‌توان تا سال ۲۰۱۶ تعداد ۵۷ ایستگاه پلیس را تعطیل کرد تا هزینه‌های عملیاتی تقلیل یابند (روجر^۳، ۲۰۱۴). با کاهش ایجاد شده در تعداد اماکن پلیسی و تقلیل در بودجه، گسیل داشتن همه منابع موجود برای ایمن نگه داشتن شهر به نحو احسن، حیاتی به نظر می‌رسد.

این مطالعه کاربرد مدیریت بهینه‌سازی جانمایی اماکن پلیسی را برای شهر لندن به عنوان نمونه بررسی می‌کند. بهینه‌سازی جانمایی در مطالعات عمومی و اختصاصی مورد ارزیابی قرار گرفته است (فراهانی و همکاران^۴، ۲۰۰۹). سوابق متعددی از نمونه‌های مختلف مطالعات روی مدل‌های مکانی و مدیریت بهینه‌سازی منابع پلیس وجود دارد. مدل‌های مکان نمایی عمدتاً برای طراحی مناطق گشت و استقرار افسران پلیس در منطقه کاربرد

^۱ - Glaeser et al

^۲ - Mayor's Office for Policing and Crime

^۳ - Roger

^۴ Farahani et al

دارد (کورتین و همکاران^۱، ۲۰۱۰). همچنین مثال‌های قابل توجهی از بکارگیری بهینه‌سازی جانمایی جهت جلوگیری از جرائم وجود دارد. میشل^۲ فرمول پی-میانه^۳ را به منظور به حداقل رساندن مسافت طی شده بین مرکز و محل ارائه خدمت در محدود آنهایم کالیفرنیا پیشنهاد داده است (میشل، ۱۹۷۲). درحالی‌که هیچ راه حل بهینه اثبات شده‌ای یافت نشده، الگوریتم ابتکاری به کار گرفته شده توسط میشل (میشل، ۱۹۷۲) براساس مطالعات مارانزانا^۴ (مارانزانا، ۱۹۶۴) منجر به کاهش ۱۳ تا ۲۴ درصدی در میانگین مسافت شد. الی و لیتوایلر^۵ برای کم کردن مسافت فرمولی طراحی کردند که بتوان ایستگاه‌های پلیس را برای بعضی مناطق به صورت ابتکاری ادغام کرد (الی و لیتوایلر، ۱۹۷۹). یونگ و همکاران^۶ فرمولی از پی-میانه را برای بدست آوردن طرح بهینه‌سازی مکانی با بکارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (جی‌ای اس^۷) برای منطقه‌ای در آفریقای جنوبی طراحی کردند (یونگ و همکاران، ۲۰۰۱). با این وجود، آنچه درمورد آن مطالعات کافی انجام نشده است، تحلیل بکارگیری برنامه‌های بهینه‌سازی در شرایط اضطراری مانند حملات تروریستی است.

در پژوهش حاضر، بر پایه خصوصیات لندن بزرگ، این شهر به ۶۲۴ ناحیه یا حوزه که در شکل ۱ نشان داده شده است تقسیم بندی شده است. دو مدل جانمایی، پی-میانه و حداکثر پوشش، به کار برده شده‌اند. مدل بهینه‌سازی پی-میانه با هدف به حداقل رساندن مسافت بین مرکز حوزه‌ها و ایستگاه‌های پلیس تبیین شده است. مسافت‌های بین حوزه‌ها

^۱ Curtin et al

^۲ Mitchell

^۳ P-median

^۴ Maranzana

^۵ Aly and Litwhiler

^۶ Jong et al.

^۷ GIS

از اطلاعات جی.آی.اس. شهر لندن با استفاده از نرم افزار آرک.جی.آی.اس^۱ بدست آمده است. سپس مسافت‌ها توسط آمار مربوط به میزان جرم و جنایت طی بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ سنجیده شدند (به عنوان مثال، میانگین سالانه وقوع جرم و جنایت در هر ناحیه)، که این اطلاعات از پایگاه داده پلیس کلانشهر لندن استخراج شدند. مدل حداکثر پوشش به منظور تعیین محدوده گشت زنی بهینه استفاده شده است. توزیع جرائم در شکل ۲ نشان داده شده است. قابل مشاهده است که حوزه‌های قرارگرفته در مرکز لندن به طور کلی دارای نسبت جرم و جنایت بالاتری می‌باشند. مکان‌های موجود از ۷۳ ایستگاه پلیس در این منطقه توسط علامت ستاره در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که برخی از نواحی دارای میزان بالای جرائم به اندازه کافی پوشش داده نمی‌شوند. یکی از اهداف این پژوهش فهم این موضوع است که آیا گسترش اماکن پلیسی می‌تواند از طریق بهینه‌سازی جانمایی ممکن باشد. زمانیکه بهینه‌سازی جانمایی اماکن پلیسی بدست آمد، همچنین انعطاف‌پذیری طرح مکانی به منظور شرایط اضطراری با سناریو حمله تروریستی ۷ ژوئیه ۲۰۰۵ ارزیابی شد. علاوه بر این، این مطالعه تلفیق بهینه‌سازی و جی.آی.اس. را نشان می‌دهد که قبلاً به ندرت مورد بررسی قرار گرفته بوده است.

مقاله به این شرح تنظیم شده است: حداکثر پوشش و پی-میانه بررسی شدند. سپس الگوریتم‌ها برای یک مورد در لندن اعمال شدند، و نتایج مورد بحث قرار گرفتند. در مرحله بعد، انعطاف‌پذیری این موضوع برای اعمال راه‌حل‌های بدست آمده از مراحل قبل برای سناریو حمله تروریستی ۷ ژوئیه ۲۰۰۵ ارزیابی شد. در نهایت، این مقاله با بخش نتیجه‌گیری ختم شد. این مقاله تلفیقی از جی.آی.اس و تکنیک‌های عملی است و در حوزه امنیت شهری کاربرد خواهد داشت.

^۱ ArcGIS

بهبودسازی جانمایی

در این مقاله دو روش فرمولی متفاوت برای بهبودسازی جانمایی مورد بررسی قرار گرفته است: مدل پی-میانه و مدل حداکثر پوشش.

پی-میانه

مدل پی-میانه تعداد p مقر (اماکن پلیسی) را در n محل (نقطه ویژه) مکان نمایی می‌کند به طوری که فاصله متوسط بین مقرها و نقاط ویژه به حداقل برسد (رول و همکاران، ۱۹۷۰). مسئله پی-میانه می‌تواند به شکل زیر به صورت فرمول بیان شود:

$$\min_{xy} Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i x_{ij} d_{ij}$$

وقتی که

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, n$$

$$y_j = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } j = 1, 2, \dots, n$$

به این ترتیب که

n = تعداد کل نقاط ویژه در منطقه؛ نقطه ویژه می‌تواند مرکز جرم خیز یا مکان محتمل برای احداث اماکن پلیسی یا هر دو باشد.

$X_{ij} = 1-0$ متغیر تصمیم دوتایی که نشان می‌دهد چه تعداد مرکز جرم خیز i باید توسط مقر پلیس واقع در نقطه j تحت نظارت قرار گیرد.

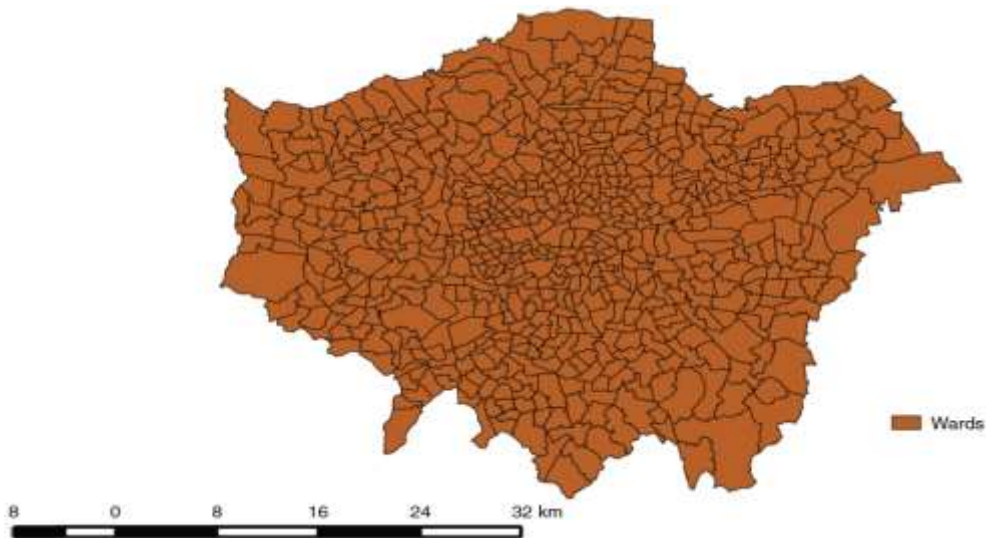
$Y_j = 1-0$ متغیر تصمیم دوتایی که نشان می‌دهد که آیا مقر پلیس باید در نقطه j جانمایی شود.

WI = نرخ جرم بالاقوه در مرکز جرم خیز i .

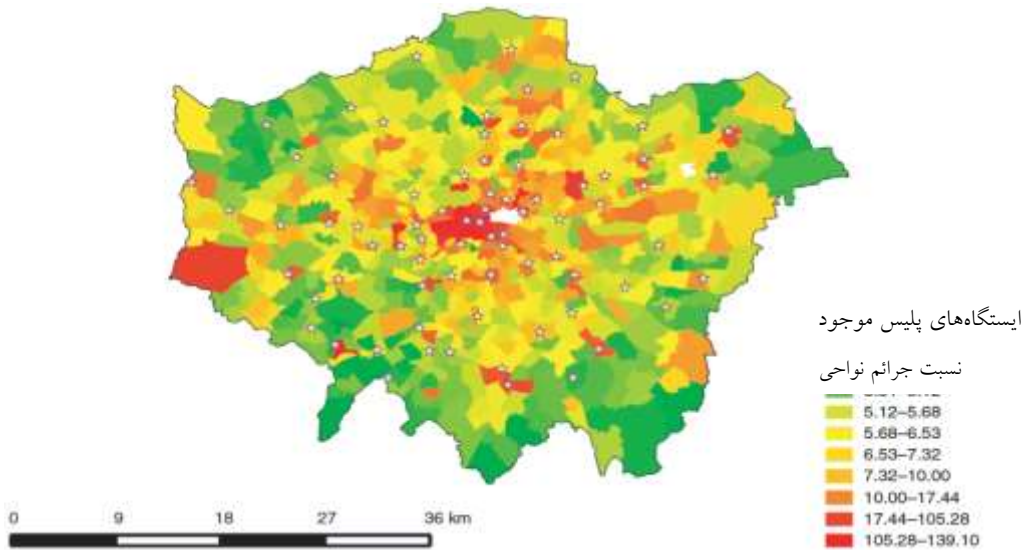
D_{ij} = مسافت پیموده شده (یا هزینه) بین مرکز جرم خیز i و مقر پلیس واقع در نقطه ویژه j

p = تعداد کل مقرها (اماکن) پلیسی موجود.

به راحتی می‌توان بیان داشت که تعداد کل راه حل‌های ممکن برای یک مسئله پی-میانه با تعداد n نقطه ویژه برابر با $C_p^n = n!/p!(n-p)!$ است. مفهوم این است که زمان حل مشکل بهینه‌سازی به صورت فاکتوریل افزایش می‌یابد، همانطور که تعداد محل‌های استقرار و اماکن پلیسی افزایش می‌یابد.



شکل ۱. محدوده حوزه‌ها در لندن



شکل ۲. توزیع جرم و ایستگاه‌های پلیس

حداکثر پوشش

روش حداکثر پوشش تعداد ثابتی از اماکن پلیسی را برای به حداکثر رساندن پوشش در تعداد معینی مرکز جرم خیز مورد بهره برداری قرار می‌دهد (چرچ و رول^۱، ۱۹۷۴). فرمول روش حداکثر پوشش می‌تواند به شکل زیر بیان شود:

$$\max_{xy} Z = \sum_{i=1}^n w_i \alpha_i$$

وقتی که

$$\sum_{j \in N_i} y_j \geq \alpha_i \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p$$

$$\alpha_i = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, n$$

^۱ Church and ReVelle

$$y_j = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, n$$

در شرایطی که α_i یک متغیر دوتایی ۰-۱ باشد بیان می‌نماید که مرکز جرم خیز i توسط یک مقر پلیس پوشش دهی می‌شود و N_i مجموعه‌ای از اماکن پلیسی هستند که در یک مسافت (D) از پیش تبیین شده از مرکز جرم خیز i قرار دارند. مشابه با روش پی-میانه، می‌توان دریافت که با افزایش تعداد مراکز جرم خیز و اماکن پلیسی، تعداد کل راه حل‌های ممکن برای روش حداکثر پوشش به صورت فاکتوریل افزایش می‌یابد.

استراتژی راه حل

به علت پیچیدگی روش‌های پی-میانه و حداکثر پوشش، حل آن‌ها نیازمند راه حل‌های ابتکاری و نوآورانه است. تعدادی استراتژی راه حل برای حل روش پی-میانه پیشنهاد شده است. این شیوه‌های حل مسئله را می‌توان در دو بخش تقسیم کرد: الگوریتم‌های ساختاری و الگوریتم‌های بهبود دهنده (گولدن و همکاران^۱، ۱۹۸۰). الگوریتم‌های ساختاری از آغاز یک راه حل مناسب ایجاد می‌کنند. مثال آن، الگوریتم مئوی است که در داسکین^۲ ارائه شده است (داسکین، ۲۰۱۳). یک الگوریتم بهبود دهنده رایج، الگوریتم جایگزینی (مبتنی بر مبادله) است که اولین بار توسط تیتز و بارت^۳ ارائه شده است (تیتز و بارت، ۱۹۶۸). این روش بر پایه جایگزین کردن اماکن از پیش تعیین شده می‌باشد. اگر پس از جایگزینی امکان بهبود در عملکرد تابع وجود داشته باشد، محل قرارگیری اماکن جایگزین می‌شوند. روش بهبوددهنده ممکن است به صورت چند فرمولی هم باشد. ویتاکر^۴ یک روش تبادل ابتکاری سریع را معرفی می‌نماید که باعث بهبود الگوریتم جایگزینی می‌شود (ویتاکر،

^۱ Golden et al

^۲ Daskin

^۳ Teitz and Bart

^۴ Whitaker

۱۹۸۳). مزیت اصلی این الگوریتم این است که بهترین گزینه را برای جایگزینی در n معرفی می‌کند، که n عبارت از تعداد اماکن موجود می‌باشد. یک روش ابتکاری بهبوددهنده دیگر، الگوریتم جستجوی محله می‌باشد که اولین بار توسط مارانزانا پیشنهاد شد (مارانزانا، ۱۹۶۴). این الگوریتم مراکز بهینه از یک دسته اماکن نزدیک به هم، که در اینجا اصطلاحاً محله نامیده می‌شوند، را جانمایی می‌کند. به این ترتیب شبکه‌ای از اماکن به چند محله تقسیم می‌شود. از آنجاییکه جانمایی یک مرکز بهینه می‌تواند توسط سرشماری کلی انجام شود، بنابراین روش مذکور قابل اعتماد است. روش جستجوی محله در مقایسه با روش جایگزینی این است که تأثیر جانمایی مجدد یکی از اماکن فقط در روش جستجوی محله در نظر گرفته شده است، که مسائل بالقوه مربوط به نقاط ویژه خارج از محدوده محله را نادیده می‌گیرد (داسکین، ۲۰۱۳). یک روش دیگر برای حل مسئله پی-میانه الگوریتم آزادسازی لاگرانژ است (بیسلی^۱، ۱۹۹۸). بیسلی بهینه‌سازی آزادسازی لاگرانژ و گرادیان‌های آن را جهت حل مسائل پی-میانه پیشنهاد داده است (بیسلی، ۱۹۹۸). این روش، کران بالا و کران پایین را جهت حل بهینه ارائه می‌کند که می‌تواند با تکرار جهت پیدا کردن راه حل بهینه استفاده شود. در هر تکرار، کران بالا یا کران پایین به راه حل بهینه نزدیک تر می‌شوند. یافته‌های اخیر در مورد حل مسائل پی-میانه بر گسترش الگوریتم‌های فرا ابتکاری تمرکز دارند. تالبی^۲ بیان می‌کند که روش‌های فرا ابتکاری، الگوریتم‌هایی با هدف عمومی هستند که می‌توانند تقریباً برای هر مسئله بهینه‌سازی استفاده شوند (تالبی، ۲۰۰۹). استفاده از روش‌های فرا ابتکاری برای حل مسائل

^۱ Beasley

^۲ Talbi

پی-میانه شامل آنالیز شبیه سازی شده، جستجوی ممنوع، و الگوریتم‌های ژنتیکی است (آلپ و همکاران^۱، ۲۰۰۳).

دو روش رایج برای حل مسئله حداکثر پوشش شامل الگوریتم گریدی^۲ و الگوریتم جایگزینی است (داسکین، ۲۰۱۳). و الگوریتم آزادسازی لاگرانژ هم گاهی اوقات استفاده می‌شود (گالوائو و رول^۳، ۱۹۹۶). در این لاگرانژ ابتکاری، کران بالا با استفاده از افزایش رأس یا روش جایگزینی بدست می‌آید و کران پایین توسط الگوریتم زیرگردیان بدست می‌آید. گندرو^۴ و همکاران یک روش ابتکاری جستجوی ممنوع برای مسئله جانمایی پوشش دوتایی فوری با داده‌های تصادفی و داده‌های واقعی در یک زمان محاسباتی متوسط بیان کردند (گندرو و همکاران، ۱۹۹۷). در مطالعات جدیدتر، برمن و کراس^۵ یک روش برنامه نویسی ارائه دادند (برمن و کراس، ۲۰۰۵). فرمولی که آن‌ها ارائه دادند منجر به بهبود در زمان محاسبه شد. برای حل مسائل حتی بزرگتر، جیا^۶ و همکاران یک روش الگوریتم ژنتیکی بیان کردند (جیا و همکاران، ۲۰۰۷). برمن و همکاران فرمول پوشش حداکثری را پیشنهاد دادند که در آن برخی از توابع هزینه می‌توانند برای بعضی از نقاط که به عنوان اماکن نابجا در نظر گرفته می‌شوند، منفی در نظر گرفته شوند (برمن و همکاران، ۲۰۰۹). برای بحث بیشتر در مورد روش‌های حل مسئله حداکثر پوشش بررسی انجام شده توسط فراهانی و همکاران را مطالعه کنید (فراهانی و همکاران، ۲۰۱۲).

^۱ Alp et al

^۲ Greedy

^۳ Galvao and ReVelle

^۴ Gendreau

^۵ Berman and Krass

^۶ Jia

مطالعه موردی

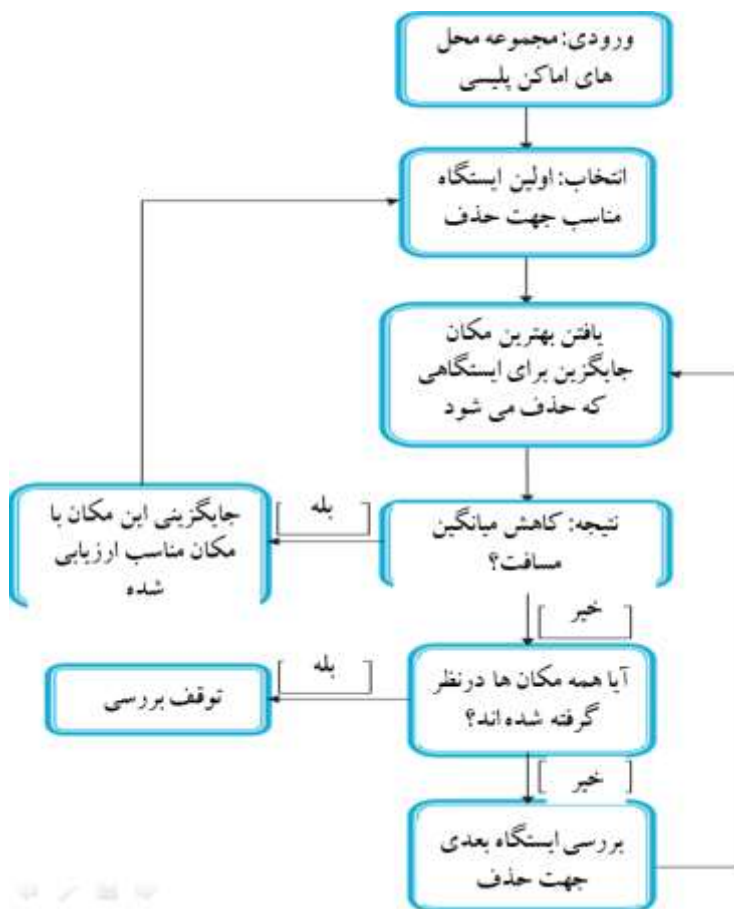
مدل‌های پی-میانه و حداکثر پوشش برای بهینه‌سازی مکان‌های پلیس در منطقه لندن استفاده می‌شوند. دو نوع مجموعه داده جمع‌آوری می‌شوند. برای روش پی-میانه، میزان جرائم در ژانویه ۲۰۱۴ برای همه حوزه‌های لندن در نظر گرفته شده است. اطلاعات از پلیس کلانشهر لندن به دست آمده است. یک ماتریس فاصله 624×624 توسط نرم افزار ArcGIS ایجاد شده است؛ این ماتریس فاصله بین هر جفت حوزه را تعیین می‌کند. در رابطه با آمار جرم، اطلاعات جمع‌آوری شده دارای میانگینی بیش از ۹۰,۰۰۰ مورد رخداد ماهانه است که در حدود ۱۹,۷۷۷ مکان رخ داده است. فرض می‌شود که همه گشت‌های بازرسی در مرکز حوزه‌ها قرار می‌گیرند و شعاع ارائه خدمات آن‌ها ۲ کیلومتر است.

حل مسئله پی-میانه: برای حل مسئله پی-میانه، از روش‌های میوپی و جایگزینی استفاده می‌شود. الگوریتم میوپی یک الگوریتم ساختاری است و برای مکان‌نمایی اولین مجموعه از مکان‌ها (به عنوان مثال، راه حل اولیه) استفاده می‌شود. یک نمودار روندنما (فلوچارت) از این الگوریتم میوپی در شکل ۳ نشان داده شده است. این مجموعه اولیه از مکان‌ها اغلب به صورت زیرمجموعه است و به همین دلیل الگوریتم جایگزینی برای اصلاح راه حل استفاده می‌شود. این روش مکان‌های راه حل‌های موجود را یافته و آن‌ها را با نقاط دیگر تعویض می‌کند و بررسی می‌کند که آیا عملکرد تابع بهبود یافته است یا خیر. وقتی که همه اماکن p اختصاص داده شدند، الگوریتم متوقف می‌شود. نمودار روندنمای این الگوریتم جایگزینی در شکل ۴ نشان داده شده است.

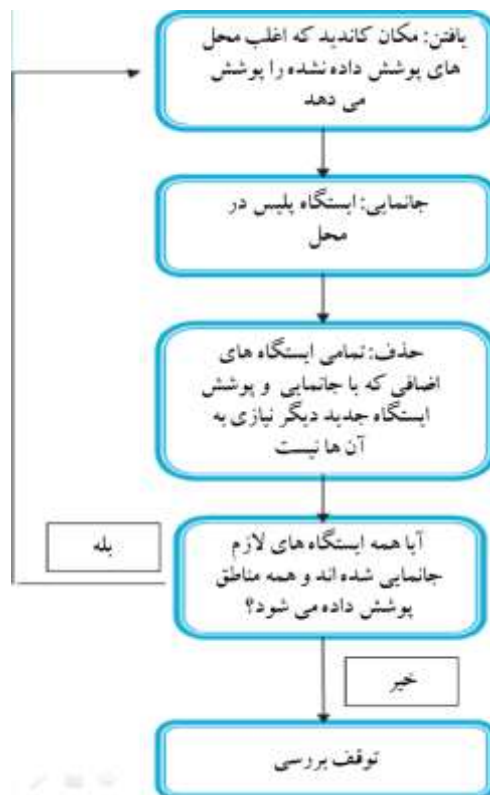
حل مسئله حداکثر پوشش: الگوریتم گریدی برای حل مدل حداکثر پوشش استفاده می‌شود. الگوریتم به علت سادگی و زمان محاسبات چندجمله‌ای انتخاب شده است. مهم‌تر از همه، این روش به عنوان روشی برای وقتی که تعداد زیادی مکان باید مکان‌نمایی

شوند، معروف می‌باشد (۱۳). با این حال، قابل تأمل است که یک راه حل بهینه همه جانبه نمی‌تواند تضمین شود. این الگوریتم با شناسایی محل قرارگیری اماکنی که در آن بیشترین جرم ممکن است پوشش داده شود، آغاز می‌شود. بعد از این مرحله، اماکن بعدی بعد از آن قرار می‌گیرند تا جایی که بیشترین مکان‌های جرم و جنایت مشخص شده، پوشش داده شوند. این الگوریتم مکرراً تا زمانی که تعداد مشخصی از اماکن، p ، وجود داشته باشد، تکرار می‌شود. این الگوریتم در شکل ۵ خلاصه شده است.

شکل ۳. راه حل الگوریتم میوپی برای مسئله پی-میانه



شکل ۴. الگوریتم جابجایی برای حل مسئله پی-میانه



نتایج

مکان های بهبودسازی شده ایستگاه های پلیس با حل مدل پی-میانه (درحالی که در آن $p = 73$ است، که نشان دهنده تعداد ایستگاه های پلیس می باشد) با الگوریتم های میوپی و جایگزینی تعیین می شود؛ نتایج با علامت ستاره در شکل ۶ نشان داده شده اند. با همان تعداد ایستگاه های پلیس، ایستگاه ها در مقایسه با اماکن موجود، نزدیک تر به مناطق دارای میزان جرم و جنایت بالا توزیع شده اند.

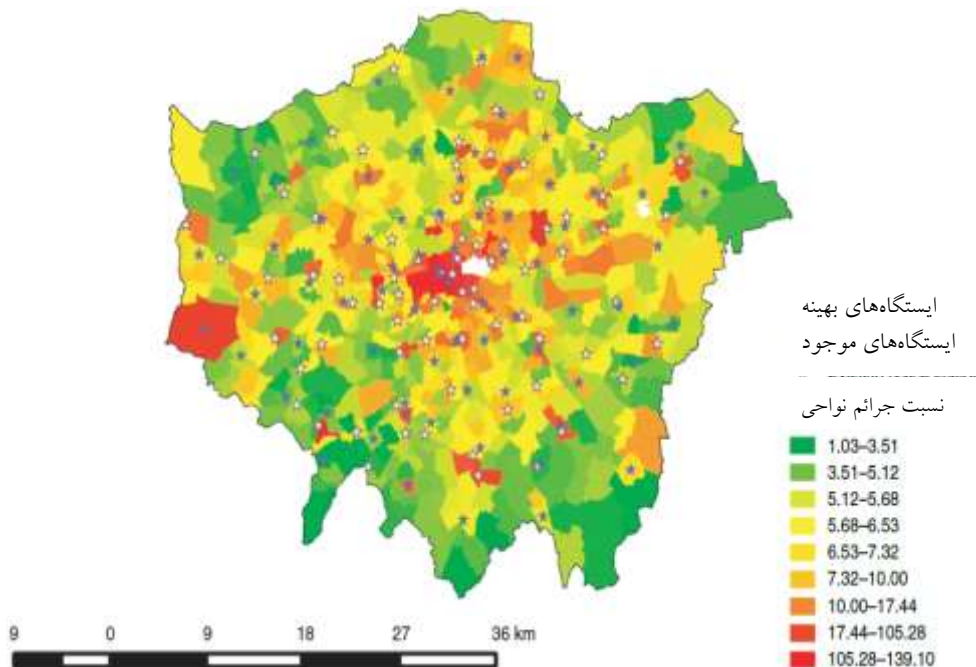
مسافت کلی موجود (به عنوان مثال، میزان جرم و جنایت \times فاصله) بین ایستگاه‌های پلیس تا مرکزیت هر ناحیه، ۱۸۶۶ کیلومتر-جرم محسوب می‌شود. از طریق بهینه‌سازی، مسافت اصلی به ۱۵۵۹ کیلومتر جرم کاهش می‌یابد. انتظار می‌رود این کاهش ۱۹ درصدی در مسافت طی شده، تأثیر مثبتی بر زمان پاسخ پلیس داشته باشد. البته، نقل مکان تمام ایستگاه‌های پلیس با توجه به راه حل‌های به دست آمده از روش پی-میانه در واقعیت غیرممکن است. با این وجود، می‌توان خدمات پلیس را از طریق راه اندازی واحدهای گشت پلیس با توجه به برنامه بهینه‌سازی بهبود بخشید.

تجزیه و تحلیل بررسی رابطه بین فاصله و تعداد ایستگاه‌های پلیس انجام شده است و در شکل ۷ قابل مشاهده است. همانطور که نشان داده شده است، هرچه ایستگاه‌های پلیس بیشتر باشند، مسافت بین ایستگاه‌های پلیس و نقاط وقوع جرم کمتر است. با این حال، رابطه غیر خطی است؛ این کاهش حاشیه‌ای در فاصله متوسط به دلیل افزایش تعداد ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد. در مطالعه حاضر کاهش در میانگین مسافت با توجه به افزایش تعداد ایستگاه‌های پلیس زمانی که تعداد ایستگاه‌ها فراتر از ۷۰ عدد می‌رسد ناچیز می‌باشد. این امر می‌تواند به این دلیل باشد که ۷۰ ایستگاه پلیس کافی خواهند بود، زیرا افزایش بیشتر در ایستگاه‌های پلیس مزایای قابل توجهی را به همراه نمی‌آورد اما هزینه‌های عملیاتی را افزایش می‌دهد.

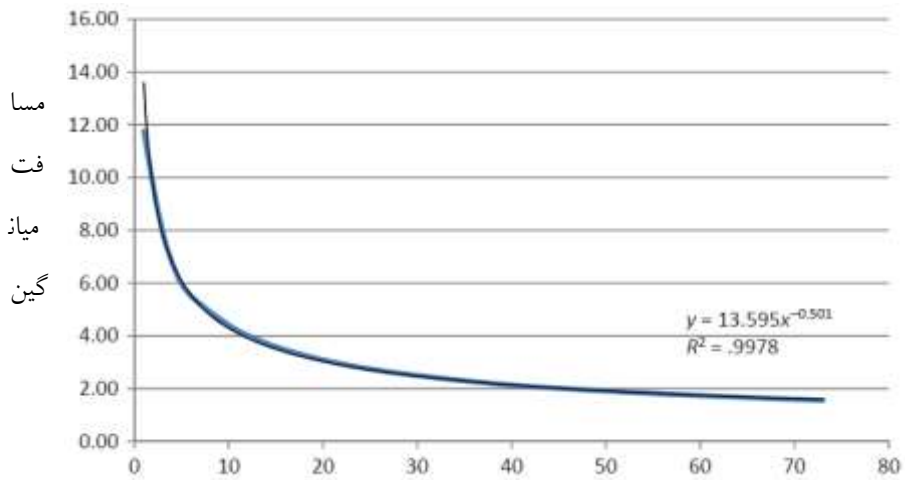
پس از تعیین مکان‌های ایستگاه پلیس، مدل پوشش حداکثر برای تعیین پایگاه‌های بهینه پلیس گشت استفاده می‌شود. مسافت تحت پوشش (D) یک پایگاه گشتی از پیش توسط پلیس کلانشهر لندن ۲ کیلومتر تعیین شده است. طبق گزارش پلیس لندن و برنامه جرائم شهرداری لندن در سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶، تعداد ۲۱۷ پایگاه گشتی در لندن وجود دارد که خودروهای گشتی پلیس در آن‌ها مستقر هستند. اماکن موجود مربوط به این ۲۱۷ پایگاه

گشتی در شکل ۸ نشان داده شده است. با این جانمایی‌های پایگاه‌های گشتی، ۹۱/۹۹٪ نقاط جرم خیز می‌توانند در محدوده شعاع دو کیلومتری پایگاه گشتی متناظر آن پوشش داده شوند. شکل ۹ مکان‌های پایگاه‌های گشتی که توسط بهبودسازی مدل حداکثر پوشش ارائه شده را نشان می‌دهد. تفاوت آشکار بین مکان‌های بهینه و مکان‌های موجود، این است که پایگاه‌های گشت بعد از بهبودسازی بیشتر فاصله دارند و نزدیک تر به نقاط حاد جرم خیز هستند. بنابراین درصد پوشش از ۹۱/۹۹٪ موجود به ۹۹/۸۲٪ می‌رسد که پوشش تقریباً کاملی است.

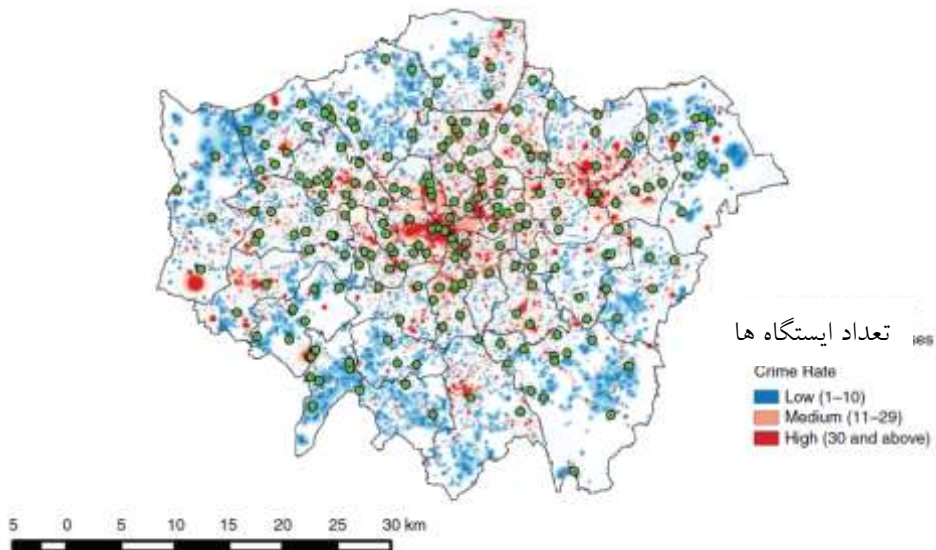
شکل ۶. مکان‌های ایستگاه‌های پلیس براساس مدل پی-میانه



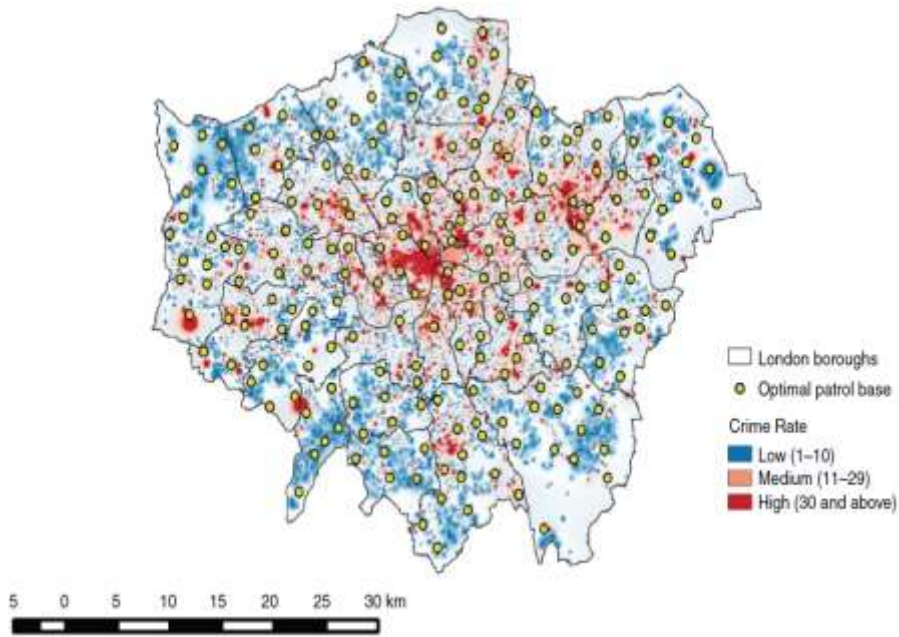
شکل ۷ آنالیز حساسیت مسافت میانگین بهینه بین ایستگاه‌های پلیس و نقاط جرم خیز بر اساس تعداد ایستگاه‌ها



شکل ۸ پایگاه‌های گشتی‌های پلیس در محدوده لندن



شکل ۹ مکان‌های بهینه پایگاه‌های گشتی پلیس



کارایی انعطاف پذیری

در اینجا انعطاف پذیری کاربرد بهینه‌سازی جانمایی برای رخداد‌های شهری در مواقع بحرانی مانند حملات تروریستی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تروریسم یکی از عمده‌ترین نگرانی‌ها در شهرهای بزرگ مانند لندن است. یک روش برای ارزیابی انعطاف پذیری مدل‌های بهینه‌سازی جانمایی در نظر گرفتن یک سناریو حمله تروریستی است. این مطالعه بررسی حادثه حمله تروریستی هفتم ژوئیه ۲۰۰۵ را اتخاذ می‌کند. در آن روز لندن مورد هدف یک سری حملات بمب‌گذاری قرار گرفت. سه مورد از حملات در مترو لندن رخ داد و مورد دیگر در یک اتوبوس بود. مناطق رخداد حملات تروریستی شامل خیابان

ادگوار^۱، میدان تاویستاک^۲، چهارراه کینگ^۳، میدان راسل^۴ و خیابان لیورپول^۵ بودند. در این حادثه تروریستی ۵۲ شهروند کشته و بیش از ۷۰۰ نفر زخمی شدند (گزارش رسمی بمب گذاری لندن^۶). حجم گسترده‌ای از نیروهای پلیس و منابع آن‌ها در عملیات نجات و بازیابی امنیت در محل‌های حادثه به کار گرفته شدند. با این وجود، ممکن است کارایی عملیات‌های پلیس به علت نقل مکان و جابجایی منابع افت داشته باشد. در مطالعه حاضر، تکیه بر کاهش تمرکز نیروهای پلیس در سایر مکان‌ها در نتیجه وقوع حمله می‌باشد. برای شبیه سازی وضعیت روز ۷ ژوئیه ۲۰۰۵، فرض شده است که همه نیروهای پلیس مستقر در مناطقی که حمله در آن‌ها رخ داده، برای عملیات‌های نجات استفاده می‌شوند. متعاقباً، جهت بررسی کارایی به این شکل عمل می‌شود که هیچ ایستگاه پلیس یا گشت در حوزه‌ای که حادثه در آن رخ داده وجود ندارد و همه آن‌ها از مدل حذف می‌شوند. چهار حادثه در در سه ناحیه مختلف وجود دارند: کامدن^۷، هارو^۸، هاکنی^۹. در واقعیت، تعداد ۱۲ ایستگاه پلیس و ۲۴ گشتی در این حوزه‌ها واقع شده‌اند، و درحالی‌که در مدل بهینه‌سازی تعداد ۱۲ ایستگاه پلیس و ۱۷ گشتی وجود دارند. فرض بر این است که زمانیکه حملات تروریستی مذکور رخ می‌دهند، همه واحدها مشغول و خارج از دسترس هستند.

^۱ Edgware

^۲ Tavistock

^۳ King

^۴ Russel

^۵ Liverpool

^۶ Report of the Official Account of the Bombings in London

^۷ Camden

^۸ Harrow

^۹ Hackney

جدول ۱ مسافت وزنی کل بین ایستگاه‌های پلیس و نقاط مستعد جرم در سناریو

| استقرار ایستگاه‌های پلیس | مسافت وزنی کل (کیلومتر-جرم) |
|--|-----------------------------|
| سناریو موجود بدون هیچ حمله تروریستی | ۱۸۶۶/۷۶ |
| سناریو موجود تحت حمله تروریستی | ۲۰۵۵/۸۸ |
| مکان‌های بهینه‌سازی شده بدون هیچ حمله تروریستی | ۱۵۵۹/۴۳ |
| مکان‌های بهینه‌سازی شده تحت حمله تروریستی | ۱۷۲۶/۳۷ |

جدول ۱ مسافت وزنی کل بین ایستگاه‌های پلیس و مناطق مستعد جرم و جنایت در وضعیت‌های مختلف را خلاصه کرده است. در شرایط واقعی با بسته شدن ۱۲ ایستگاه پلیس، تخمین زده می‌شود که مسافت وزنی کل از ۱۸۸۶/۷۶ به ۲۰۵۵/۸۸ کیلومتر-جرم افزایش می‌یابد (یعنی افزایش ۱۰/۱ درصدی). با مکان‌های بهینه‌سازی شده ایستگاه‌های پلیس توسط روش پی-میانه، تخمین زده شده که مسافت وزنی کل از ۱۵۵۹/۴۳ به ۱۷۲۶/۳۷ کیلومتر-جرم افزایش می‌یابد (یعنی افزایش ۱۰/۷ درصدی). جدول ۲ پوشش پایگاه‌های گشتی را بر نقاط مستعد جرم و جنایت در وضعیت‌های مختلف را خلاصه کرده است. با بسته بودن ۲۴ نقطه گشتی در شرایط واقعی، تخمین زده می‌شود که درصد پوشش از ۹۱/۹۹٪ به ۸۶/۷۶٪ کاهش می‌یابد. با مکان‌های بهینه‌سازی شده پایگاه‌های گشتی توسط مدل حداکثر پوشش، تخمین زده می‌شود که درصد پوشش از ۹۹/۸۲٪ به ۸۵/۷۱٪ کاهش می‌یابد. هر دو تحقیق نشان می‌دهد که استقرار منابع و عوامل پلیس به شیوه استقرار موجود کمتر قابل انعطاف است. با این وجود، از این نتیجه نباید تعجب کرد زیرا که توابع هدف هر دو مدل (پی-میانه و حداکثر پوشش) انعطاف پذیری را ایجاد نمی‌کند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که اندازه‌گیری انعطاف پذیری طرح‌های استقرار حائز

اهمیت بالایی است و باید این موضوع در چارچوب بهینه‌سازی، مورد تحقیق و بررسی‌های بیشتر قرار بگیرد.

جدول ۲ پوشش پایگاه‌های کشتی در سناریو

| پوشش (%) | استقرار پایگاه‌های گشتی |
|----------|--|
| ۹۱/۹۹ | سناریو موجود بدون هیچ حمله تروریستی |
| ۸۶/۷۶ | سناریو موجود تحت حمله تروریستی |
| ۹۹/۸۲ | مکان‌های بهینه‌سازی شده بدون هیچ حمله تروریستی |
| ۸۵/۷۱ | مکان‌های بهینه‌سازی شده تحت حمله تروریستی |

نتیجه گیری

این مقاله کاربردی از بهینه‌سازی مکان‌ها را برای استقرار اماکن پلیسی ارائه می‌دهد و منطقه لندن به عنوان یک سناریوی مورد مطالعه قرار گرفته است. عملکرد راه حل‌های بهینه در مقایسه با وضعیت کنونی استقرار ایستگاه‌های پلیس و پایگاه‌های گشتی ارزیابی شده است تا مزایای بالقوه این مدل را در جهت پوشش نقاط مستعد جرم و جنایت بسنجد. با این روش‌های بهینه‌سازی، نشان داده شده است که فاصله میان ایستگاه‌های پلیس و نقاط مستعد جرم به میزان ۱۹ درصد کاهش می‌یابد. انتظار می‌رود این کاهش در مسافت طی شده تأثیر مثبتی بر زمان پاسخ پلیس داشته باشد. علاوه بر این، درصد پوشش نقاط جرم خیز از ۹۱/۹۹٪ به مقدار قابل توجه ۹۹/۸۲٪ افزایش یافته است.

۱. Glaeser, E. L., and B. Sacerdote. Why Is There More Crime in Cities National Bureau of Economic Research, Cambridge, United Kingdom?
۲. Mayor's Office for Policing and Crime (MOPAC). *Police and Crime Plan* ۲۰۱۳-۲۰۱۶. Mayor of London, ۲۰۱۳.
۳. Rogers, S. *The Guardian*. ۲۰۱۳. <http://www.theguardian.com/news/datablog/interactive/۲۰۱۳/jan/۰۹/police-station-closing-london-map>. Accessed March ۱۱, ۲۰۱۴.
۴. Farahani, R. Z., N. Asgari, and H. Davarzani. *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. In *Contributions to Management Science*, Physica Verlag, Heidelberg, Germany, ۲۰۰۹.
۵. Curtin, K. M., K. Hayslett-McCall, and F. Qiu. Determining Optimal Police Patrol Areas with Maximal Covering and Backup Covering Location Models. *Network and Spatial Economics*, ۲۰۱۰, pp. ۱۲۵-۱۴۵.
۶. Mitchell, P. Optimal Selection of Police Patrol Beats. *Journal of Criminal Law and Criminology*, Vol. ۶۳, No. ۴, ۱۹۷۲, pp. ۵۷۷-۵۸۴.
۷. Maranzana, F. On the Location of Supply Points to Minimize Transport Costs. *Operational Research Quarterly*, Vol. ۱۵, ۱۹۶۴, pp. ۲۶۱-۲۷۰.
۸. Aly, A. A., and D. W. Litwhiler, Jr. Police Briefing Stations: A Location Problem. *AIIE Transactions*, Vol. ۱۱, ۱۹۷۹, pp. ۱۲-۲۲.
۹. de Jong, T., J. Maritz, and J. Ritsema van Eck. Using Optimisation Techniques for Comparison of the Accessibility Criteria of Facility Siting Scenarios: A Case Study of Siting Police Stations in South Africa's Bushbuckridge Area. *Proc., 4th Agile Conference on Geographic Information Science*, Czech Republic, ۲۰۰۱.
۱۰. ReVelle, C., and F. Swain. Central Facilities Location. *Geographical Analysis*, Vol. ۲, No. ۱, ۱۹۷۰, pp. ۳۰-۴۲.
۱۱. Church, R., and C. ReVelle. The Maximal Covering Location Problem. *Papers of the Regional Science Association*, Vol. ۳۲, No. ۱, ۱۹۷۴, pp. ۱۰۱-۱۱۸.
۱۲. Golden, B., L. Bodin, T. Doyle, and W. Stewart, Jr. Approximate Travelling Salesman Algorithms. *Operations Research*, Vol. ۲۸, ۱۹۸۰, pp. ۶۹۴-۷۱۱.
۱۳. Daskin, M. S. *Network and Discrete Location*. John Wiley and Sons, ۲۰۱۳.

۱۴. Teitz, M., and P. Bart. Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph. *Operations Research*, Vol. ۱۶, No. ۵, ۱۹۶۸, pp. ۹۵۵-۹۶۱.
۱۵. Whitaker, R. A Fast Algorithm for the Greedy Interchange of Large-Scale Clustering and Median Location Problems. *INFOR*, Vol. ۲۱, ۱۹۸۳, pp. ۹۵-۱۰۸.
۱۶. Beasley, J. Lagrangian Heuristics for Location Problems. *European Journal of Operational Research*, Vol. ۱۱۱, No. ۳, ۱۹۹۸, pp. ۴۲۳-۴۴۷.
۱۷. Talbi, E.-G. *Metaheuristics: From Design to Implementation*. Wiley, New York, ۲۰۰۹.
۱۸. Alp, O., E. Erkut, and Z. Drezner. An Efficient Genetic Algorithm for the p -Median Problem. *Annals of Operations Research*, Vol. ۱۲۲, ۲۰۰۳, pp. ۲۱-۴۲.
۱۹. Galvo, R. D., and C. S. ReVelle. A Lagrangian Heuristic for the Maximal Covering Location Problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. ۸۸, ۱۹۹۶, pp. ۱۱۴-۱۲۳.
۲۰. Gendreau, M., G. Laporte, and F. Semet. Solving an Ambulance Location Model by Tabu Search. *Location Science*, Vol. ۵, ۱۹۹۷, pp. ۷۵-۸۸.
۲۱. Berman, O., and D. Krass. An Improved IP Formulation for the Uncapacitated Facility Location Problem. *Annals of Operations Research*, Vol. ۱۳۶, ۲۰۰۵, pp. ۲۱-۳۴.
۲۲. Jia, H., F. Ordoñez, and M. M. Dessouky. Solution Approaches for Facility Location of Medical Supplies for Large-Scale Emergencies. *Computers and Operations Research*, Vol. ۵۲, ۲۰۰۷, pp. ۲۵۷-۲۷۶.
۲۳. Berman, O., Z. Drezner, D. Krass, and G. O. Wesolowsky. The Variable Radius Covering Problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. ۱۹۶, ۲۰۰۹, pp. ۵۱۶-۵۲۵.
۲۴. Farahani, R., N. Asgarib, N. Heidaric, M. Hosseininiac, and M. Goh. *Covering Problems in Facility Location: A Review*. *Computers and Industrial*