

مکان‌یابی بهینه تسهیلات پدافند غیر عامل با رویکرد تئوری بازی‌ها

مهسا قندهاری^{۱*} و رضا موسوی‌زاده^۲

^۱استادیار گروه مدیریت- دانشکده علوم اداری و اقتصاد- دانشگاه اصفهان

^۲دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع- دانشگاه آزاد اسلامی- علوم و تحقیقات اراک

چکیده

در این مقاله یک بازی دو نفره بین تروریست(ارعابگر) و دولت در نظر گرفته می‌شود، زمانی که تروریست در صدد حمله به کلان شهرها و افزایش خسارت (زیان دولت) است، دولت در راستای کاهش خسارت به دنبال تأسیس تعداد بهینه و بهترین نوع از چیدمان تسهیلات در حملات تروریستی است. در این مقاله به مکان‌یابی چند تسهیل ثابت با هدف کاهش خسارات ناشی از یک حمله تروریستی می‌پردازیم. سپس حملات همزمان به چند شهر را مورد مطالعه قرار داده و در ادامه به بررسی تعداد تسهیلات بهینه با توجه به محدودیت‌هایی از قبیل هزینه پیشگیرانه و بودجه می‌پردازیم، در نهایت یک مثال با توجه به مشخصات کلان شهرهای ایران طراحی و با استفاده از این مدل حل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی تسهیلات، تروریست، تئوری بازی‌ها، دولت

مقدمه

در شرایط رقابتی است [۴]. سندلر و همکاران وی تعدادی مدل که در آن مراحل مختلف مذاکرات بین تروریست و سیاست‌گذاران دولت نشان داده شده را ارائه کردند [۵]. آتکینسون و جمعی از همکاران وی، بازی چانه‌زنی نش که در آن زمان مذاکرات مورد بررسی قرار می‌گیرد را بسط و توسعه دادند [۶]. دیگر کاربرد نظریه بازی در مسئله، انتخاب اهداف تروریست‌ها برای یک بازی سه نفره با دو کشور مورد هدف و تهدید رایج تروریست نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۷]. سندلر و لاپان نشان دادند که تعادل نش در جایی که کشورها به تنهایی از وقوع حمله خودداری می‌کنند، ممکن است منجر به کاهش یا افزایش سیاست بازدارندگی شود. همچنین به تجزیه و تحلیل سناریویی پرداختند که دولت از قابلیت‌های تروریست آگاهی ندارد.

تئوری‌های مکان‌یابی صنعتی بر آن است تا ساختار مکان‌یابی فعالیت‌های صنعتی را بر اساس عوامل و متغیرهای مؤثر مکان‌یابی توضیح داده و بهترین مکان‌یابی را ارائه دهد. از این رو، مدل‌های مکان‌یابی با هدف بهینه‌کردن هدفی مانند حداکثر پوشش‌دهی به کار گرفته شده است [۸-۹]. در سال‌های اخیر به اصل مکان‌یابی توجه بیشتری شده و دانشمندان علم مکان‌یابی، نظریات زیادی در این زمینه ارائه کرده‌اند [۱۰]. در این زمینه می‌توان به مدل‌های P-median [۱۱-۱۲] و مدل P-

تئوری بازی‌ها در مقابل تئوری تصمیم‌گیری، رفتار یک بازیگر منطقی را در موقعیت استراتژیک توصیف می‌کند. از نظر یک اقتصاددان، بازیگر منطقی کسی است که اجرای تصمیمات خود را با توجه به محدودیت‌های محیطی بهبود می‌بخشد [۱۱]. با توجه به این نکته، در این مقاله با استفاده از تئوری بازی‌ها و برنامه‌ریزی خطی، به بررسی رفتار سیاست‌های دولت در قبال حملات تروریستی به کلان شهرها می‌پردازیم. در واقع دولت در صدد مکان‌یابی مناسب و تأسیس تسهیلات در شبکه‌ای است که توسط تروریست مورد حمله قرار خواهد گرفت. تروریسم (ارعابگری) عبارت است از خشونت عمدی یا تهدید به آن، که به وسیله افراد یا گروه‌های کوچک در جهت اهداف سیاسی، مذهبی و یا ایدئولوژیکی از طریق ایجاد ترس و وحشت در مردم اجرا می‌شود [۲]. حملات تروریستی می‌تواند آسیب‌های زیاد و بزرگی به اجتماع وارد کند. به عنوان مثال بر مبنای تحقیقات انجام شده یک کیلوگرم از ویروس سیاه زخم در یک شهر بزرگ حدود شصت هزار نفر تلفات جانی در بر دارد.

فاجعه هسته‌ای چرنوبیل، هر چند یک حمله تروریستی نبود، اما نشان می‌دهد که با یک حمله تروریستی به رآکتورهای هسته‌ای می‌تواند سبب چه آسیب‌های شود [۳]. یکی از اهداف اصلی تئوری بازی‌ها، توصیه به بازیکن‌ها برای در پیش گرفتن بهترین تصمیم

نشان‌دهنده فاصله دو شهر i و j از یکدیگر و در واقع میزان تأخیر در حمل و نقل با این پارامتر متناظر است. در این مقاله، دو بازیکن در نظر گرفته می‌شود، دولت و تروریست. دولت باید تصمیم بگیرد که منابع مورد نیاز برای دفع و کاهش خسارات حملات احتمالی را در چه مکانی تأسیس کند. به علاوه دولت ممکن است در زمینه پیشگیری از حملات احتمالی سرمایه‌گذاری کند. تروریست، نفر دوم بازی است که با توجه به تصمیم دولت مبنی بر مکان تسهیلات تصمیم می‌گیرد که بهترین مکان برای حمله و ایجاد خسارت کدام است.

استراتژی

استراتژی تروریست با t نمایش داده می‌شود. تروریست یک گره (شهر) را برای حمله انتخاب می‌کند، تروریست می‌تواند یک استراتژی ترکیبی در پیش گیرد، یعنی یک انتخاب احتمالی بین شهرها انجام دهد. در این مورد استراتژی تروریست، یک بردار احتمالی $t = (P_1, P_2, P_3, \dots, P_n)$ که برابر است با احتمال حمله به شهر i ام است. همچنین فرض می‌کنیم که در صورت حمله به یک شهر، خسارت ناشی از حمله به شهرهای دیگر اثر نمی‌کند. در اینجا بدون از دست دادن کلیت احتمال حمله به شهرهای مختلف یکسان فرض شده است.

استراتژی دولت، مکان‌یابی و تأسیس k تسهیل در شبکه است. در این خصوص تأسیس هر تسهیل هزینه دارد و نیازمند سرمایه‌گذاری ($C > 0$) است. همچنین دولت برای عملیات پیشگیرانه حملات هزینه پیشگیرانه (C_{prev}) را متحمل می‌شود. لازم به ذکر است که منابع مصرف‌شده بستگی به موفقیت حمله تروریست دارد. احتمال موفقیت یک حمله برنامه‌ریزی شده تروریستی به یک شهر برابر است با $P(C_{prev})$ است که P یک تابع پیوسته کاهشی محدب در نظر گرفته شده است. استراتژی دولت شامل $K+1$ بردار در k تسهیل و تصمیم در ارتباط با سطح منابع پیشگیرانه است.

محاسبه تابع مطلوبیت

زمانی که حمله تروریست به یک شهر (شهر i ام) موفقیت‌آمیز باشد، همه منابع در شبکه برای استفاده در دسترس هستند. منابع مورد نیاز در هر شهر با میزان

center [۱۴-۱۳] اشاره کرد. اما از آنجا که در طراحی این مدل‌ها، هوشمندی دو طرف در نظر گرفته نشده بود، تئوری بازی‌ها به عنوان یک رویکرد جدید گسترش پیدا کرد [۱۵-۲] و همچنین به عنوان یک استراتژی مهم در شرایط نامناسب دولت‌ها مورد استفاده قرار گرفت [۱۷-۱۶]. بر این اساس، در این مقاله، به دنبال مکان‌یابی بهینه تسهیلات و منابع برای پاسخ‌گویی به حملات تروریستی هستیم. این پژوهش با توجه به مدل برمن^۱ و گایوس^۲ [۳] به بررسی یک سناریو می‌پردازد که در آن تروریست از مکان تسهیلات آگاه است و می‌داند که باید برای ایجاد حداکثر خسارت به نقاط ضعیف‌تر و به نقاطی که خسارت بیشتری می‌بیند، حمله کند. بنابراین یک بازی با دو بازیکن داریم: سیاست‌های کشور (دولت) و تروریست. با توجه به این رویکرد، دولت می‌تواند رفتار تروریست را مدنظر قرار داده و برنامه مکان‌یابی بهینه را اجرا کند، بدین صورت آسیب ناشی از حملات تروریستی به حداقل ممکن می‌رسد. همچنین تروریست، حرکت و تصمیمات دولت را در بازی می‌داند و بر این اساس عمل می‌کند. در واقع فرض ما این است که تروریست از حرکت دولت با اطلاع است، سپس بر مبنای مدل ذکرشده به توسعه و مقایسه پارامترها می‌پردازیم. در این مقاله، به مکان‌یابی چند تسهیل به طور همزمان با در نظر گرفتن حداقل کردن خسارت در صورت اتفاق افتادن فقط یک حمله تروریستی پرداخته، سپس حملات همزمان به چند شهر را مورد مطالعه قرار داده و در ادامه به بررسی تعداد تسهیلات بهینه با توجه به محدودیت‌هایی از قبیل هزینه پیشگیرانه و بودجه می‌پردازیم. حل معادلات خطی با توجه به تعادل نش در تئوری بازی‌ها محاسبه و بهترین جواب به دست می‌آید و در نهایت مطالعه موردی در کلان شهرهای کشور ایران، بررسی و نتایج تحلیل می‌شود.

مدل

محیط

شبکه $G(N, L)$ را در نظر بگیرید که N مجموعه گره‌ها و L مجموعه یال‌ها است. شهرها یا مکان‌های مهم کشور را مجموعه‌ای از گره‌ها در نظر می‌گیریم. شهر i دارای وزنی معادل W_i (وزن خسارت مورد انتظار) است که شامل خسارات مالی و جانی است. $D(i, j)$

تصمیم استراتژیک $t(s)$ خود را در پیش می‌گیرد. تعادل در این بازی برای هر s و $t(s)$ برابر است با:

$$\begin{cases} s \Rightarrow u_s(t^*(0), s) \leq u_s(t^*(0), s^*) \\ t(s) \Rightarrow u_t(t(0), s^*) \leq u_t(t^*(0), s^*) \end{cases}$$

برای هر تصمیم گرفته‌شده توسط دولت یک استراتژی خالص موجود است که بهترین پاسخ به تروریست است.

هزینه‌های پیشگیرانه

مکان تسهیل مستقرشده توسط دولت در معادله با X^* و شهر مورد حمله در معادله با i^* نشان داده می‌شود. تابع مطلوبیت دولت برابر است با:

$$U_s(x^* + i^*) = -p(c_{prev})[\alpha d(x^*, i^*) + \eta_{i^*}]w_{i^*} - c - c_{prev}$$

با مشتق‌گیری نسبت به C_{prev} منابع پیشگیری بهینه از حل معادله زیر به دست می‌آیند:

$$-p'(c_{prev})[\alpha d(x^*, i^*) + \eta_{i^*}]w_{i^*} = 1$$

یعنی سطح بهینه منابع هنگامی است که سود مورد انتظار نسبت به واحد اضافی منبع با هزینه یک واحد از منبع باشد.

محاسبه وزن خسارت احتمالی

محاسبه وزن خسارت احتمالی شهرها با توجه به پارامترهای کمی و کیفی از جمله تعداد مراکز مرتبط با انرژی هسته‌ای، جمعیت، زیرساخت‌های امنیتی، زیرساخت‌های ایمنی (بیمارستان‌ها، امداد و...)، نوع مناطق (از نظر نظامی)، نزدیکی به مناطق مرزی، تراکم سنی جمعیت و نوع مسیر حمل و نقل را می‌توان از روش AHP و مقیاس‌های فاصله‌ای با توجه به رتبه‌بندی افراد خبره محاسبه کرد. از این رو وزن محاسبه‌شده شهرهای کشور ایران به ترتیب زیر است:

تهران ۰,۴۰۹، مشهد ۰,۱۳۸، اصفهان ۰,۰۸۸، تبریز ۰,۰۷۵، شیراز ۰,۰۷۳، اهواز ۰,۰۵۶، قم ۰,۰۵۴، کرمانشاه ۰,۰۴، ارومیه ۰,۰۳۳، رشت ۰,۰۳۲ .

معادلات خطی تأسیس چند تسهیل در شبکه

زمانی که تعداد تسهیلات ممکن به یک تسهیل محدود نباشد، مسئله بسیار پیچیده‌تر می‌شود. با این

خسارت مورد انتظار W_i متناسب است. تسهیلات در میان شبکه به فرستادن منابع خود با استفاده از کوتاه‌ترین مسیرها برای نزدیک‌ترین مرکز شهر اُم اقدام می‌کنند. در اینجا فرض شده است که هزینه برای دولت (خسارت) یک تابع خطی متناسب با میزان تأخیر در انتقال منابع به شهر است. این تأخیر برابر است با مجموع میانگین تأخیر در شهر مورد حمله و میانگین زمان انتقال بین شهر i و تسهیلات j است.

هزینه ناشی از موفقیت تروریست در حمله به شهر i برابر است با:

$$f_i = (\alpha D(k, i) + \eta)w_i$$

K : نزدیک‌ترین تسهیل به شهر اُم

α : هزینه تأخیر تا رسیدن منابع

η : میزان نامطلوب بودن حمله به شهر i

مستقل از کمبود منابع $\eta \geq 0$

در نتیجه تابع مطلوبیت مورد انتظار دولت برابر است با:

$$U_s(t, s) = -p(c_{prev}) \sum_{i=1}^n p_i f_i - KC - C_{prev}$$

توجه داشته باشید که تابع مطلوبیت را می‌توان با توجه به منابع پیشگیرانه، تعداد تسهیلات و مکان آنها ایجاد کرد.

در صورت موفقیت‌آمیز بودن حمله، سود تروریست در گروهی میزان خسارت و آسیب وارده است. این آسیب و خسارت شامل تابع کمبود منابع است. بر این اساس:

$$\delta_i W_i: \text{موفقیت حمله به شهر اُم}$$

اگر δ نسبت به γ خیلی بزرگ‌تر باشد، استراتژی غالب تروریست حمله به شهر با ضریب خسارت بیشتر، مستقل از هر گونه تصمیم‌گیری و استراتژی دولت است.

در نتیجه تابع مطلوبیت مورد انتظار تروریست برابر است با:

$$U_T(t, s) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot e_i$$

تعادل (equilibrium)

وقتی که مکان تسهیلات شناخته شده باشد، یک بازی پیشرو-پسرو در رقابت استکلبرگ خواهیم داشت. دولت ابتدا استراتژی S را بازی می‌کند و پس از آن تروریست

بنابر این:

$$\sum_{i=1}^n \left[\gamma \sum_{j=1}^n y_{ij} d(i,j) + \delta_i \right] Z_i W_i \leq v$$

در نهایت فرمول‌بندی مسئله به صورت زیر است:

$$\min \quad \frac{\alpha}{\gamma} v + \sum_{i=1}^n Z_i W_i \left(\eta_i - \frac{\alpha \delta_i}{\gamma} \right) \quad (12)$$

$$s.t : \sum_{j=1}^n K = 1 \quad , \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n Z_i = 1 \quad , \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{i,j} = 1 \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (15)$$

$$v_{ij} \leq x_i \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

$$\sum_{k=1}^n y_{ik} d(i,k) + (M - d(i,j)) x_j \leq M \quad , \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (17)$$

$$[d(i,j) + \delta_i] w_i y_{ij} = v, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

$$\left[\gamma \sum_{j=1}^n y_{ij} d(i,j) + \delta_i \right] Z_i W_i \leq v \quad (19)$$

$$[ad(i,j) + \eta_i] w_i y_{ij} \leq \frac{\alpha}{\gamma} v + \sum_{i=1}^n Z_i W_i \left(\eta_i - \frac{\alpha \delta_i}{\gamma} \right), \quad (20)$$

$$x_i = 0, 1 \quad , \quad z_i = 0, 1 \quad , \quad y_{ij} = 0, 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (21)$$

که M یک عدد بزرگ است. در رابطه ۱۳ مکان k تسهیل را اعمال می‌کنیم. رابطه ۱۵، تضمین می‌کند که هر شهر فقط به یک تسهیل اختصاص یابد. روابط ۱۴ و ۱۸ و ۱۹ برای محاسبه هدف تروریست لازم است. محدودیت ۱۷ تعیین می‌کند که برای هر شهر مورد حمله نزدیک‌ترین تسهیل با توجه به کوتاه‌ترین مسیر اختصاص یابد. رابطه ۲۰ تضمین هدف دولت را مد نظر قرار می‌دهد.

n : تعداد گره‌ها

W_i : میزان وزن خسارت مورد انتظار در شهر i

(i,j) : مسیر ارتباطی بین دو شهر i و j

$d(i,j)$: مسافت (تأخیر) بین دو شهر i و j

α : هزینه واحد تأخیر منابع با توجه به واحد مسافت

وجود اگر تعداد تسهیلات کم باشند، پیچیدگی باز هم می‌تواند مدیریت شود. در اینجا هزینه پیشگیری حیاتی‌تر به نظر می‌رسد؛ چرا که تعداد بهینه تسهیلات برای زمان بحران مجزا از میزان منابع دولت نیست. ما در ابتدا به بررسی مسئله با تعداد ثابت تسهیلات می‌پردازیم. سپس مسئله را با توجه به میزان هزینه‌های پیشگیرانه مد نظر قرار می‌دهیم، در این رابطه $S_K = (X_1, X_2, \dots, X_K)$ به عنوان استراتژی دولت در نظر می‌گیریم که $X_k, k = 1, 2, \dots, K$ نشان‌دهنده محل تسهیلات است. همچنین n را به عنوان یک مجموعه از نقاط بالقوه شبکه برای مکان‌یابی بهینه تسهیلات مدنظر قرار می‌دهیم. با فرض ثابت بودن تعداد تسهیلات داریم:

تابع مطلوبیت تروریست زمانی که دولت S_K را انتخاب می‌کند:

$$e^*(S_K) = \arg \max_{i=1,2,\dots,n} [\gamma d(S_K, i) + \delta_i] w_i.$$

که $d(S_K, i)$ کوتاه‌ترین فاصله بین نزدیک‌ترین تسهیل در S_K نسبت به شهر i است:

$$S_k^* = \arg \min_{S_k \in N} [ad(S_k, e^*(S_k)) + \eta_{e^*(S_k)}] w_{e^*(S_k)}.$$

فرضیه:

برای هر مقدار از α و γ زمانی که $\delta_i = 0$ باشد، نقطه تعادل دولت برابر است با حل مینی ماکس مسئله و نقطه تعادل تروریست برابر است با گره‌ای که حل مینی ماکس را برای دولت مشخص می‌کند.

مسئله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک می‌توان نوشت.

اگر شهر i به تسهیل j اختصاص یابد $y_{i,j} = 1$ و در غیر این صورت $y_{i,j} = 0$. اگر یک تسهیل در شهر i مستقر شود $x_i = 1$ در غیر این صورت $x_i = 0$. اگر تروریست به شهر i حمله کند $z_i = 1$ در غیر این صورت $z_i = 0$ که $i, j = 1, 2, \dots, n$.

v به عنوان تابع مطلوبیت تروریست در تعادل تعریف می‌شود:

$$[\gamma d(i,j) + \delta_i] w_i y_{ij} \leq v, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

که $\sum_{j=1}^n y_{i,j} = 1$ است و از آنجا که دولت همیشه یک راهبرد ناب می‌تواند بیابد پس $\sum_{i=1}^n z_i = 1$

ηW_i : میزان نامطلوبیت تابع یک حمله به شهر A_i
 $\delta_i W_i$: میزان مطلوبیت حمله به شهر A_i با توجه به وزن خسارت مورد انتظار شهر A_i
 γ : هزینه واحد تأخیر حمله با توجه به واحد مسافت

حملات همزمان به شبکه

چنانچه تروریست سعی در وارد آوردن زیان بیشتری داشته باشد، می‌تواند با حملات همزمان به دو یا سه شهر، خسارت بیشتری را به دولت تحمیل کند، در این صورت می‌توان محدودیت ۱۴ را به محدودیت زیر تغییر داد:

$$\sum_{i=1}^n z_i = 2, \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^n z_i = 3,$$

محاسبه تعداد بهینه تسهیلات در شبکه

اگر k را به عنوان یک متغیر تصمیم در نظر بگیریم، می‌توان با حل مدل برای مقادیر مختلف K مقدار بهینه آن را یافت. برای این منظور در هر گره می‌توان متغیر C را این‌گونه تعریف کرد: میزان هزینه پیشگیرانه دولت از تأسیس یک تسهیل در شبکه. با بررسی روند تغییرات C ، تعداد تسهیلات و چیدمان آنها را می‌توان مدیریت کرد. همچنین ρ که ضریب هزینه پیشگیرانه است را برابر با ۰.۵ فرض می‌کنیم. در ادامه با تغییر محدودیت ۱۳ به محدودیت زیر:

$$\sum_{j=1}^n x_j \geq 1, \quad (23)$$

و اضافه کردن عبارت زیر به تابع هدف به حل مدل می‌پردازیم:

$$-(\rho \sum_{i=1}^n W_i C X_i + \rho \sum_{i=1}^n W_i C) \quad (24)$$

همان‌طور که اشاره شد، با در نظر گرفتن تعداد تسهیلات ثابت K ثابت و هزینه پیشگیرانه C می‌توان محدودیت‌های منابع برای تأسیس تسهیلات را بررسی و با توجه به تعادل نش بررسی کرد. همچنین با در نظر گرفتن محدودیت

و هزینه‌های ثابت C می‌توان میزان تعداد تسهیلات بهینه را محاسبه کرد.

با اضافه کردن محدودیت زیر برای محاسبه هزینه‌های پیشگیرانه متغیر و تعداد تسهیلات متغیر که در آن BO میزان واحد بودجه کل شبکه است، می‌توان مدل را تکمیل کرد:

$$-\left(\rho \sum_{i=1}^n W_i C X_i + \rho \sum_{i=1}^n W_i C\right) \leq BO \quad (25)$$

مطالعه موردی

مسئله چندتسهیلی تشریح شده در بخش قبل را با یک مطالعه موردی از شهرهای ایران بررسی و حل می‌کنیم. ۱۰ کلان شهر جمعیتی بر اساس سرشماری عمو مینفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ در نظر گرفته شده است. میزان متوسط خرابی‌ها متناسب با وزن مورد محاسبه شده که یکی از متغیرهای مرتبط با آن جمعیت است، محاسبه شده‌اند. جمعیت ۱۰ کلان شهر در جدول ۷ آورده شده است که کرج حذف و رشت جایگزین و به صورت نزولی مرتب شده‌اند. همچنین ماتریس فاصله بین شهرها به عنوان یک ورودی در نظر گرفته شده است. فرض می‌شود که سرعت حرکت ثابت باشد. بنابراین آن فاصله می‌تواند جایگزین زمان مسافرت شود. همچنین فرض می‌کنیم زمان تأخیر درون شهر برابر صفر است. همچنین $\eta_i = \delta_i \eta$ مقدار γ ثابت و برابر با یک در نظر گرفته شده و فرض می‌شود که α از مجموعه $\{0.5, 1, 2, 3, 4, 5\}$ و δ از مجموعه $\{0, 50, 125, 250, 500, 100\}$ و تعداد تسهیلات مدنظر k از مجموعه $\{1, 2, 3, 4\}$ باشد. در جدول ۲ روند تغییرات γ با توجه به شرایط اولیه بررسی شده است. بررسی حملات همزمان به شبکه (دولت) با در نظر گرفتن دو و سه حمله به طور همزمان پرداخته شده و مسئله با افزایش تعداد تسهیلات ثابت، بار دیگر بررسی شده که نتایج در جدول ۳ آمده است. در ادامه به دنبال تغییرات هزینه پیشگیرانه و تأثیر آن بر توابع مطلوبیت دولت و تروریست در شرایط تعداد تسهیلات ثابت پرداخته‌ایم که نتایج آن در جدول ۴ ثبت شده است. در جدول ۵ تعداد بهینه تسهیلات را با توجه به پارامتر هزینه پیشگیرانه و تعداد

شبکه نشان می‌دهد. به طور کلی با افزایش تعداد حملات و افزایش α در شرایط ثابت، زیان دولت افزایش می‌یابد. به طور مثال در $z=1, \delta=500, \eta=1000, \alpha=3$ با افزایش حمله تروریست از دو حمله همزمان به ۳ حمله تغییری در مکان تسهیلات ایجاد نمی‌شود، اما باعث افزایش ۱۲٪ زیان دولت می‌شود.

نکته قابل توجه، هوشمندی دولت در افزایش تعداد حملات تروریستی است، به عنوان مثال اگر $k=2, z=1$ در $\alpha=3, \eta=1000, \delta=500$ دولت تسهیل را در قم تأسیس می‌کند، اما چنانچه تروریست قادر باشد دو مکان را مورد حمله قرار دهد، تسهیل را در تهران تأسیس می‌کند. از این رو سبب کاهش ۲۰٪ زیان وارده می‌شود.

پس از بررسی‌های انجام گرفته، هزینه C را در معادله لحاظ می‌کنیم. همانگونه که مشاهده می‌شود، جدول (۴-۴) و نمودار (۵-۱) با افزایش هزینه‌های پیشگیرانه زیان دولت کاهش می‌یابد تا به یک مقدار کمینه دست یابد، سپس در شرایطی با افزایش هزینه‌ها زیان دولت بار دیگر افزایش می‌یابد. به طور مثال چنانچه داشته باشیم: $z=1$

مشاهده $\rho=0.5, \delta=500, \eta=1000$ می‌شود در نقطه $C=300$ نقطه بهینه زیان دولت ۱۳۶,۰۳۴ واحد و با افزایش هزینه به میزان ۱۰۰ واحد زیان دولت به صفر تمایل دارد، یعنی با تغییر $C=400$ و تغییر شهر تبریز و قم به شهرهای رشت و شیراز به میزان ۸۶٪ کاهش خسارت در بردارد و تروریست همچنان برای افزایش خسارت به تهران حمله خواهد کرد. با توجه به تغییرات هزینه و متغیر قرار دادن تعداد تسهیلات بهینه جدول (۵-۱) و نمودارهای (۶-۱) و (۷-۱) مشاهده می‌شود که افزایش هزینه‌های پیشگیرانه در نهایت سبب کاهش تعداد تسهیلات بهینه و کاهش زیان دولت شده است، اما به طور مثال در $\delta=125, \eta=250$ نمودار ۵-۱ مشاهده می‌شود که با افزایش ۵۰ واحد هزینه از ۳۰۰ به ۳۵۰ زیان دولت حدود ۶۰٪ افزایش یافته است. پس از آن با $C=400$ این زیان به نقطه بهینه خود باز می‌گردد. یعنی بهینه اینگونه خواهد بود که تعداد سه تسهیل در اصفهان، رشت و کرمانشاه تأسیس شود.

در جدول (۶-۱) و نمودارهای (۸-۱) و (۹-۱) پی می‌بریم که با وجود محدودیت بودجه تعداد تسهیلات بهینه رو به کاهش می‌رود. به طور مثال حالت $C=250$

تسهیلات متغیر محاسبه می‌توان یافت. در بخش آخر به بررسی رفتار دولت و تروریست با توجه به محدودیت بودجه پرداخته‌ایم (جدول ۶). در جدول ۱ پارامترها به ترتیب از چپ به راست عبارتند از تعداد تسهیلاتی که دولت تأسیس می‌کند، متغیرهای α, η, δ که در گذشته معرفی شدند، مکان تسهیل در شبکه (گره)، مکان حمله در شبکه (گره)، سود تروریست و زیان دولت.

نتیجه گیری

زمانی که مدل $k=3, \eta=500, \delta=250, \alpha=3$ تسهیلات را در شهرهای تهران، مشهد و شیراز تأسیس می‌کند و تروریست به تهران حمله می‌کند، زیان دولت ۲۰۴,۵ واحد و سود تروریست ۱۰۲,۲۵ است. در نمودار (۱-۱) زیان دولت ایران را به عنوان تابعی از تعداد تسهیلات نشان می‌دهیم؛ اعداد از جدول ۱-۱ استخراج شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، شیب از k به $k+1$ بیشتر از $k+1$ به $k+2$ است، یعنی با افزایش تعداد تسهیلات بهینه در شرایط ثابت، زیان دولت رو به کاهش می‌رود و این تفاوت از ۱ تسهیل به ۲ تسهیل بیشتر نمایان است.

در نمودار (۲-۱) مرتبط با جدول (۲-۱) با شرایط ثابت $z=1, \alpha=1, k=2$ روند تغییرات γ نمایش داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، با افزایش γ زیان دولت افزایش می‌یابد. به طور مثال چنانچه $\eta=1000, \delta=500, \gamma=1$ باشد، معادله تسهیلات را در شهرهای تهران و اهواز تأسیس می‌کند و تروریست به تهران حمله خواهد کرد. در مقابل زمانی که $\gamma=2$ را در نظر بگیریم معادله تسهیلات را در تهران و اصفهان تأسیس می‌کند و تروریست نیز بار دیگر به تهران حمله خواهد کرد. در این شرایط زیان دولت برابر خواهد شد. و اگر $\gamma=1$

$\delta=0, k=2, z=1, \alpha=1, \eta=0, \gamma=0.5$ باشد، مدل تسهیلات را در دو شهر اصفهان و قم تأسیس و تروریست به شیراز خسارت می‌رساند. در شرایط

$\gamma=0.5, \eta=250, \delta=125, k=2, z=1, \alpha=1$ دولت ترجیح می‌دهد تسهیلات را در تهران و اصفهان تأسیس کند و این تصمیم سبب حمله تروریست به تهران می‌شود که باعث افزایش زیان تروریست تا ۵۴٪ می‌شود.

جدول (۳-۱) و نمودارهای (۳-۱) و (۴-۱) که شرایط دو و سه حمله همزمان با شرایط تأسیس دو تسهیل در

تسهیلات در شهرهای مشهد اصفهان و تبریز مستقر شوند.

که دولت تسهیلات را در شهرهای مشهد تبریز شیراز و رشت تأسیس می‌کند، بهینه است از $C=350$ که

جدول ۱: حل مسئله با پارامترهای مختلف و $Z=1$

k	α	η	δ	تسهیل	حمله	سود تروریست	زیان دولت
1	0.5	0	0	1	2	123.372	61.686
1	0.5	100	50	1	2	130.272	75.486
1	0.5	250	125	10	1	184.05	168.7125
1	0.5	500	250	10	1	235.175	270.9625
1	0.5	1000	500	1	1	204.5	409
1	0.5	2000	1000	1	1	409	818
1	1	0	0	1	2	123.372	123.372
1	1	100	50	1	2	130.272	137.172
1	1	250	125	1	2	140.622	157.872
1	1	500	250	10	1	235.175	337.425
1	1	1000	500	1	1	204.5	409
1	1	2000	1000	1	1	409	818
1	2	0	0	1	2	123.372	246.744
1	2	100	50	1	2	130.272	260.544
1	2	250	125	1	2	140.622	281.244
1	2	500	250	1	2	157.872	315.744
1	2	1000	500	1	1	204.5	409
1	2	2000	1000	1	1	409	818
1	3	0	0	1	2	123.372	370.116
1	3	100	50	1	2	130.272	383.916
1	3	250	125	1	2	140.622	404.616
1	3	500	250	10	1	235.175	603.275
1	3	1000	500	7	1	258.488	570.964
1	3	2000	1000	1	1	409	818
1	4	0	0	1	2	123.372	493.488
1	4	100	50	1	2	130.272	507.288
1	4	250	125	1	2	140.622	527.988
1	4	500	250	1	2	157.872	562.488
1	4	1000	500	10	1	337.425	940.7
1	4	2000	1000	1	1	409	818
1	5	0	0	1	2	123.372	616.86
1	5	100	50	1	2	130.272	630.66
1	5	250	125	1	2	140.622	651.36
1	5	500	250	1	2	157.872	685.86

جدول ۱: (ادامه) حل مسئله با پارامترهای مختلف و $Z=1$

k	α	η	δ	تسهیل	حمله	سود تروریست	زیان دولت
2	2	0	0	2,7	5	55.772	111.544
2	2	100	50	1,2	5	71.102	142.204
2	2	250	125	1,2	5	76.577	153.154
2	2	500	250	1,2	1	102.25	204.5
2	2	1000	500	1,2	1	204.5	409
2	2	2000	1000	1,6	1	409	818
2	3	0	0	2,7	5	55.772	167.316
2	3	100	50	1,7	1	74.438	202.864
2	3	250	125	1,2	5	76.577	220.606
2	3	500	250	2,7	1	156.238	366.464
2	3	1000	500	1,2	1	204.5	409
2	3	2000	1000	1,8	1	409	818
2	4	0	0	2,7	5	55.772	223.088
2	4	100	50	1,2	5	71.102	277.108
2	4	250	125	1,2	5	76.577	288.058
2	4	500	250	2,7	1	156.238	420.452
2	4	1000	500	1,2	1	204.5	409
2	4	2000	1000	1,8	1	409	818
2	5	0	0	2,7	5	55.772	278.86
2	5	100	50	1,7	1	74.438	310.84
2	5	250	125	1,2	5	76.577	355.51
2	5	500	250	2,7	1	156.238	474.44
2	5	1000	500	1,7	1	258.488	678.94
2	5	2000	1000	1,2	1	409	818
3	0.5	0	0	1,2,5	4	44.925	22.4625
3	0.5	100	50	1,2,9	5	71.102	41.026
3	0.5	250	125	2,5,7	1	105.113	129.244
3	0.5	500	250	3,6,10	1	235.175	270.9625
3	0.5	1000	500	1,4,5	1	204.5	409
3	0.5	2000	1000	1,2,6	1	409	818
3	1	0	0	1,2,5	4	44.925	44.925
3	1	100	50	1,2,5	4	48.675	52.425
3	1	250	125	2,6,7	1	105.113	156.238
3	1	500	250	1,2,7	1	102.25	204.5
3	1	1000	500	1,3,9	1	204.5	409
3	1	2000	1000	1,8,9	1	409	818
3	2	0	0	1,2,3	4	44.925	89.85
3	2	100	50	1,2,5	4	48.675	97.35
3	2	250	125	1,2,3	4	54.3	108.6
3	2	500	250	1,2,5	1	102.25	204.5
3	2	1000	500	1,3,8	1	204.5	409
3	2	2000	1000	1,4,9	1	409	818
3	3	0	0	1,2,5	4	44.925	134.775
3	3	100	50	1,2,5	4	48.675	142.275
3	3	250	125	1,2,5	4	54.3	153.525
3	3	500	250	1,2,5	1	102.25	204.5
3	3	1000	500	1,2,9	1	204.5	409
3	4	100	50	1,2,3	4	48.675	187.2
3	4	250	125	1,2,5	4	48.675	232.125
3	4	500	250	2,3,7	1	156.238	420.452
3	4	1000	500	1,2,9	1	204.5	409
3	4	2000	1000	1,6,8	1	409	818
3	5	0	0	1,2,5	4	44.925	224.625

جدول ۲: حل مسئله با پارامترهای مختلف و تمرکز بر تغییرات γ

k	γ	α	η	δ	تسهیل	حمله	سود تروریست	زیان دولت
2	0.2	1	0	0	1,7	5	11.1544	55.772
2	0.2	1	250	125	1,2	1	51.125	102.25
2	0.2	1	1000	500	1,10	1	204.5	409
2	0.5	1	0	0	2,7	5	27.886	55.772
2	0.5	1	250	125	1,2	1	51.125	102.25
2	0.5	1	1000	500	2,10	10	270.9625	541.925
2	1	1	0	0	2,7	5	55.772	55.772
2	1	1	250	125	2,7	1	105.113	156.238
2	1	1	1000	500	1,6	1	204.5	409
2	2	1	0	0	2,7	5	111.544	55.772
2	2	1	250	125	2,7	1	159.101	156.238
2	2	1	1000	500	1,2	1	204.5	409

جدول ۳: حل مسئله با پارامترهای مختلف و $Z=1, Z=2, Z=3$

k	z	α	η	δ	تسهیل	حمله	سود تروریست	زیان دولت
1	1	0.5	0	0	1	2	123.372	61.686
1	1	0.5	250	125	10	1	184.05	168.7125
1	1	0.5	1000	500	1	1	204.5	409
1	1	1	0	0	1	2	123.372	123.372
1	1	1	250	125	1	2	140.622	157.872
1	1	1	1000	500	1	1	204.5	409
1	2	0.5	0	0	1	1,2	123.372	61.686
1	2	0.5	250	125	1	2,10	155.022	109.386
1	2	0.5	1000	500	1	1,10	230.9	446.2
1	2	1	0	0	1	1,2	123.372	123.372
1	2	1	250	125	1	2,10	155.022	176.272
1	3	1	0	0	1	5,6,7	123.524	123.524
1	3	1	250	125	1	4,6,9	144.3	164.8
1	3	1	1000	500	1	2,4,10	301.197	423.697
1	3	2	0	0	1	5,6,7	123.524	247.048
1	3	2	250	125	1	1,6,9	141.125	282.25
1	3	2	1000	500	1	4,6,9	205.8	411.6
1	3	3	0	0	1	5,6,7	123.524	370.572
1	3	3	250	125	1	4,5,7	144.755	409.015
1	3	3	1000	500	1	3,4,8	209.175	524.525
2	1	0.5	0	0	2,7	5	55.772	27.886
2	1	0.5	250	125	2,7	1	105.113	129.244
2	1	0.5	1000	500	1,5	1	204.5	409
2	1	1	0	0	2,7	5	55.772	55.772
2	1	1	250	125	2,7	1	105.113	156.238
2	1	1	1000	500	1,6	1	204.5	409
2	1	2	0	0	2,7	5	55.772	111.544

جدول ۴: حل مسئله با پارامترهای مختلف و هزینه‌های پیشگیرانه $K=3$

k	C	α	η	δ	تسهیل	حمله	سود تروریست	زیان دولت
3	50	1	0	0	1,3,4	2	123.372	34.072
3	50	1	250	125	1,3,4	2	140.622	68.572
3	50	1	1000	500	2,3,7	1	258.488	380.988
3	100	1	0	0	2,3,4	1	179.551	14.501
3	100	1	250	125	3,4,7	2	158.838	15.238
3	100	1	1000	500	2,3,7	1	258.488	298.988
3	150	1	0	0	2,4,9	1	244.991	1.541
3	150	1	250	125	6,8,10	1	184.05	0.35
3	150	1	1000	500	2,4,7	1	258.488	217.963
3	200	1	0	0	2,5,6	1	357.466	30.766
3	200	1	250	125	5,6,8	1	266.259	0.184
3	200	1	1000	500	2,3,7	1	258.488	134.988
3	300	1	1000	500	2,5,8	1	419.634	136.034
3	400	1	1000	500	2,4,6	1	449.491	0.191
3	450	1	1000	500	2,5,6	1	561.966	31.391

جدول ۵: حل مسئله با پارامترهای مختلف و هزینه‌های پیشگیرانه $Z=1, K>=1$

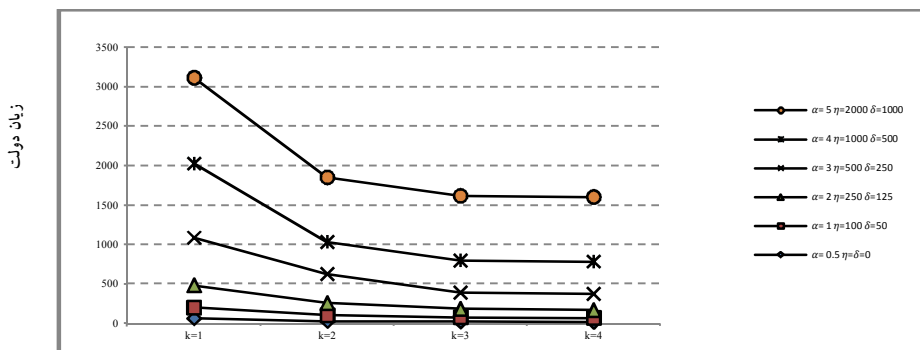
C	α	η	δ	تسهیل	حمله	سود تروریست	زیان دولت	k^*
50	1	0	0	1,2	5	67.452	3.777	2
50	1	250	125	1,3,4,5,6	1	140.622	15.347	5
50	1	1000	500	2,3,4,5,6,7,8,9,10	1	258.488	223.188	9
100	1	0	0	1,6	2	123.372	0.122	2
100	1	250	125	2,3,4,5,6	1	230.676	10.301	5
100	1	1000	500	2,3,4,5,6,7,8,9,10	1	258.488	34.988	9
150	1	0	0	2,4,9	1	244.991	1.541	3
150	1	250	125	6,8,10	1	184.05	0.35	3
150	1	1000	500	2,3,4,5,6,8,9	1	384.051	25.601	7
200	1	0	0	4,8	1	215.134	3.334	2
200	1	250	125	4,8,9	1	266.259	2.284	3
200	1	1000	500	2,3,4,5,10	1	337.425	1.325	5
250	1	0	0	7	2	141.588	9.838	1
250	1	250	125	2,6,3	1	230.676	3.551	3
250	1	1000	500	2,3,4,10	1	337.425	0.3	4
300	1	0	0	8	1	215.134	27.394	1
300	1	250	125	2,4	1	296.116	15.291	2
300	1	1000	500	2,4,5,9	1	449.491	6.141	4
350	1	0	0	5,9	1	370.963	2.413	2
350	1	250	125	2,6	1	408.591	75.766	2
350	1	1000	500	2,5,6,9	1	561.966	13.966	4
400	1	0	0	8	1	215.134	6.534	1
400	1	250	125	2,6	1	408.591	20.916	2

جدول ۶: حل مسئله با پارامترهای مختلف و هزینه‌های پیشگیرانه $Z=1, K \geq 1, BO=2500$

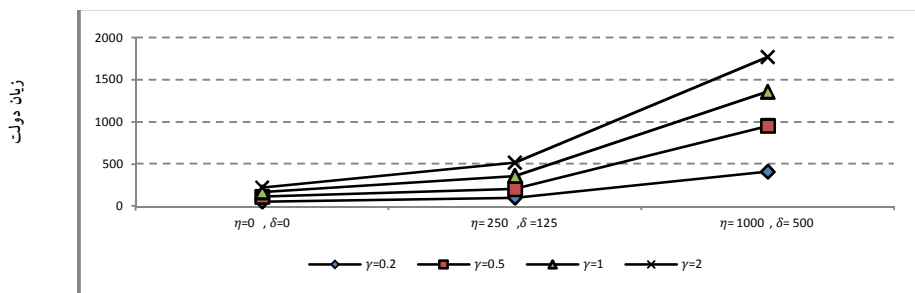
C	α	η	δ	تسهیل	حمله	سود تروریست	زیان دولت	k^*
100	1	0	0	1,6	2	123.372	0.122	2
100	1	250	125	2,3,4,5,6	1	230.676	10.301	5
100	1	1000	500	2,3,4,5,6,7,8,9	1	258.488	34.988	8
150	1	0	0	2,4,9	1	244.991	1.541	3
150	1	250	125	4,5,8,9	1	266.259	0.584	4
250	1	250	125	2,3	1	230.676	3.551	2
250	1	1000	500	2,4,5,10	1	337.425	2.175	4
350	1	0	0	8	1	215.134	32.609	1
350	1	250	125	10	1	184.05	54.575	1
350	1	1000	500	2,3,4	1	384.051	10.876	3
400	1	0	0	8	1	215.134	6.534	1
400	1	250	125	2,6	1	408.591	20.916	2
400	1	1000	500	4,6,9	1	449.491	21.191	3

جدول ۷: جمعیت شهرها بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰

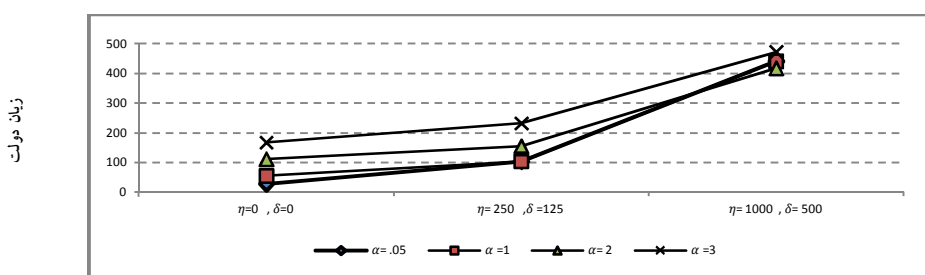
شماره گره	نام شهر	جمعیت
۱	تهران - تهران	8,154,051
۲	مشهد - خراسان رضوی	2,749,374
۳	اصفهان - اصفهان	1,756,126
۴	تبریز - آذربایجان شرقی	1,494,988
۵	شیراز - فارس	1,460,665
۶	اهواز - خوزستان	1,112,021
۷	قم - قم	1,074,036
۸	کرمانشاه - کرمانشاه	851,405
۹	ارومیه - آذربایجان غربی	667,499
۱۰	رشت - گیلان	639,951



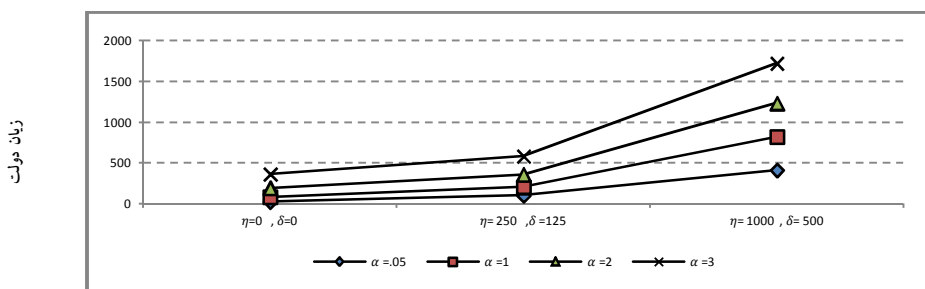
شکل ۱: $k=2, z=1, \alpha=1$



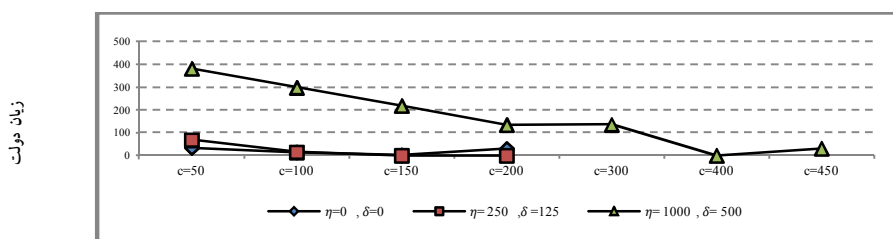
شکل ۲: $k=2, z=1, \alpha=1$



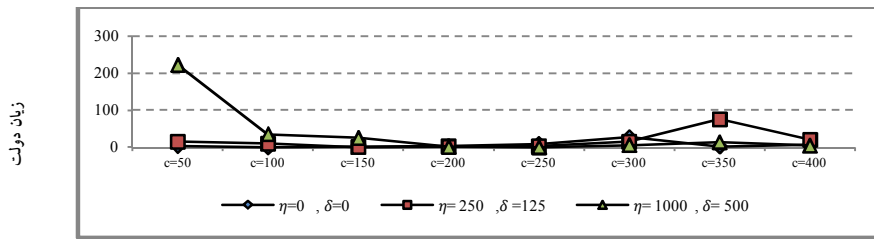
شکل ۳: $k=2, z=2$



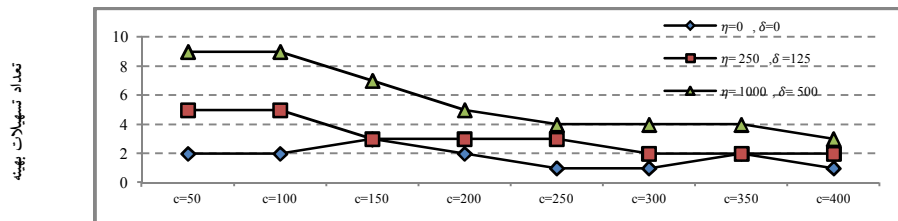
شکل ۴: $k=2, z=3$



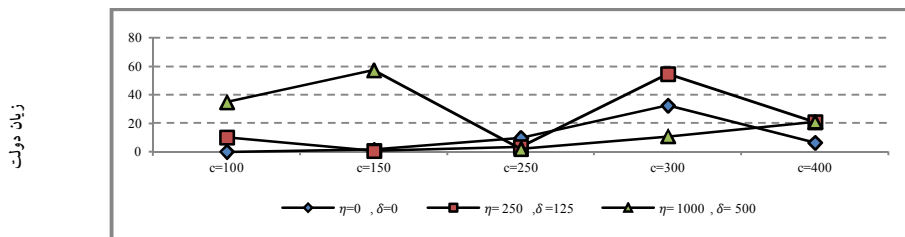
شکل ۵: $k=3, z=1, p=1$



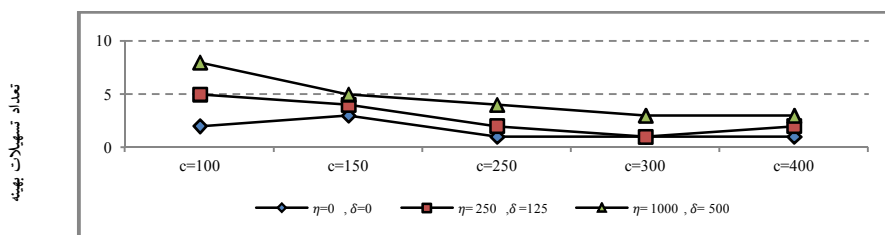
شکل ۶: $k \geq 1, z = 1, \alpha = 1, p = 0.5$



شکل ۷: $k \geq 1, z = 1, \alpha = 1, p = 0.5$



شکل ۸: $k \geq 1, z = 1, \alpha = 1, p = 0.5$



شکل ۹: $k \geq 1, z = 1, \alpha = 1, p = 0.5$

مراجع

- 1- Linear Programming Notes IX: Two-Person Zero-Sum Game Theory, <http://econweb.ucsd.edu>.
- 2- Arce, D, G. and Sandler, T. (2005). "Counterterrorism: A game-theoretic analysis." *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 2, No. 49, PP. 183-200.
- 3- Berman, O. and Gavious, A. (2007). "Location of terror response facilities: A game between state and terrorist." *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, No. 2, PP. 177- 1113.
- 4- Morris, P. (1994). *Introduction to game theory*, Springer. New York.
- 5- Lapan, H. E. and Sandler, T. (1988). "To Bargain or Not to Bargain: That Is the Question." *American Economic Review*, American Economic Association, Vol. 2, No. 78, PP. 16-21.

- 6- Atkinson, S. E., Sandler, T. and John, T. (1987). "Terrorism in a Bargaining Framework" *Journal of Law & Economics* Vol. 1, No. 30, PP. 1-21.
- 7- Siqueira, K. and Sandler, T. (2006). "Terrorists versus the Government: Strategic Interaction, Support, and Sponsorship." *Journal of Conflict Resolution*, No. 50, PP. 878-898.
- 8- Ma, Y., Yang, F. and C. Zhang M. et al. (2006). "Time-satisfaction based maximal covering location problem." *Chinese Journal of Management Science*, Vol. 2, No. 14, PP. 45-51.
- 9- Beraldi, P. and Ruszczyński A. (2002). "A branch and bound method for stochastic integer problems under probabilistic constraints." *Optimization Methods and Software*, No.17, PP. 359-382.
- 10- Drezner, Z. and Horst, W. H. (2004). *Facility Location: Applications and Theory*. Springer.
- Serra, D. and Marianov, V. (1999). "The P-median problem in a changing network: The case of Barcelona." *Location Science*, Vol. 1, No. 6, PP. 383-394.
- 11- Marianov, V., ReVelle, C. (1996). "The queuing maximal availability location problem: A model for the sitting of emergency vehicles." *European Journal of Operational Research*, No. 93, PP. 110-120.
- 12- Hochbaum, D. S. and Pathria, A. (1998). "Locating centers in a dynamically changing network and related problems." *Location Science*, No. 6, PP. 243-256.
- 13- Averbakh, I. and Berman, O. (1997). "Min-max regret p-center location on a network with demand uncertainty." *Location Science*, Vol. 4, No. 5, PP. 247-254.
- 14- Rosendorff, B. P. and Sandler, T. (2005). "The political economy of transnational terrorism." *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 2, No. 49, PP. 171-182.
- 15- Siqueira, K. (2005). "Political and militant wings within dissident movements and organizations." *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 2, No. 49, PP. 218-236.
- 16- Liu, D. (2008). Terrorism root cause analysis based on subjective game model[C]// , *First International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining*, PP. 612-617.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Berman
- 2 - Gavius