آینده‌پژوهی دفاعی، سال ششم، شماره ۲۱، تابستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹

از صفحه ۶۹ تا صفحه ۸۳

کاربرد مسئله بازی ممانعت شبکه دونفره در شناسایی دشمن

حمید بیگدلی*[۱]
مهدی کبیری[۲]
جواد طیبی[۳]

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

هدف این مقاله، مدل‌سازی ریاضی مسئله شناسایی مسیر حرکت دشمن در پدافند زمینی می‌باشد. با حل مدل پیشنهاد شده بهترین راهبرد برای کمک به فرماندهان یگان زمینی جهت جلوگیری از انتقال نیرو و تجهیزات دشمن ارائه می‌شود. این مسئله را می‌توان به‌عنوان یک مسئله از بازی جنگ در نظر گرفت که شامل دو بازیکن است. بازیکن اول سعی در جابه‌جایی قوای خود به سمت یک هدف مشخص را دارد و بازیکن دوم سعی در شناسایی مناطق مختلف توسط هواپیما، پهباد، قوای زمینی و ... را دارد تا بتواند دشمن را شناسایی کند. برای این مسئله که یک بازی بیزین ایستا می‌باشد یک مدل ریاضی براساس فرضیات دنیای واقعی ارائه می‌شود. به دلیل پیچیده بودن مدل یک روش تولید ستون برای حل مدل ارایه می‌شود. در نهایت کارایی مدل و روش حل با استفاده از شبیه‌سازی جنگ بین عراق و کویت بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد استفاده از این رویکرد ریاضی تاثیر خوبی در استفاده بهینه از تجهیزات جهت شناسایی دشمن دارد.

واژگان کلیدی:

بازی جنگ، پدافند زمینی، مسئله ممانعت، بازی دونفره.

[۱]. استادیار، پژوهشکده عالی جنگ، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا

[۲]. پژوهشگر، پژوهشکده عالی جنگ، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا

[۳]. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی کامپیوتر و صنایع، دانشگاه صنعتی بیرجند

* نویسنده مسئول: Email: Hamidbigdeli92@gmail.com

مقدمه

در جنگ‌های زمینی دشمن می‌خواهد انتقال حداکثری نیرو به سمت هدف مورد نظر را داشته باشد درحالی‌که نیروهای خودی می‌خواهند این انتقال نیرو را به‌وسیله تخریب یا محدود کردن مسیرهای حرکت با استفاده از منابع در دسترس (مین‌گذاری، استقرار نیرو، موشک‌های کروز، هواپیماهای جنگی و ...) به حداقل برسانند. به این منظور، ابتدا باید نیروهای شناسایی را در محل‌های کاندید در سر راه دشمن بگذارند تا بتوانند دشمن را شناسایی و سپس به آن ضربه وارد کنند (Wood, 1993; Whiteman, 1999; Steinrouf, 1991; Salmeron, Wood & Baldick, 2004).

بازی جنگ یک روش برای حل مسائل تصمیم‌گیری نظامی با در نظر گرفتن تاثیر متقابل رخدادها است. هنگام برنامه‌ریزی برای پدافند، نیروهای خودی معمولاً با این سؤال روبرو می‌شوند که با توجه به محدودیت نیروهای شناسایی و احتمالاً محدودیت‌های دیگر (به‌عنوان مثال ملاحظات سیاسی)، در کدام قسمت از مسیر دشمن باید نیروهای شناسایی را مستقر کرد تا بتوان دشمن را شناسایی و به طور مؤثر قابلیت‌های جنگی دشمن را کاهش داد. مسئله ممانعت شبکه به این سؤال پاسخ می‌دهد (Wood, 2010).

ادبیات مربوط به ممانعت شبکه را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: بازی‌های متوالی (بازی‌های استاکلبرگ) و بازی‌های هم‌زمان (شکل (۱) را در این خصوص ببینید). ما به یک مدل بازی هم‌زمان توجه داریم، اما به طور خلاصه در اینجا درباره مدل‌های بازی متوالی نیز بحث می‌کنیم تا تفاوت‌های این دو مشخص شود. (برای بحث و مقایسه کلی بازی‌های هم‌زمان و بازی‌های متوالی به گیبونس[1] (۱۹۹۷) مراجعه کنید.)

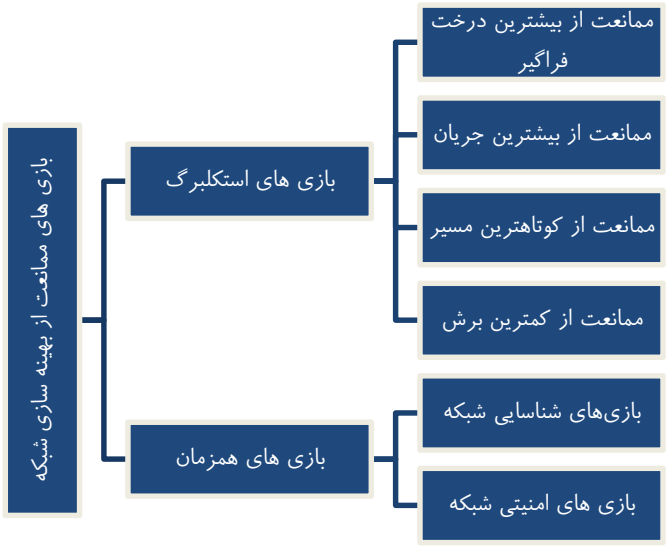
در بازی ممانعت متوالی، نیروهای خودی و دشمن راهبردهای خود را یکی پس از دیگری اعمال می‌کنند به‌عنوان مثال یک مدل ساده از ممانعت شبکه متوالی در پن[2] و همکاران (۲۰۰۳) توصیف شده است. نیروهای خودی چندین نیروی شناسایی را کنترل می‌کند و با قرار دادن آن‌ها روی کمان‌ها شبکه بازی می‌کنند. دشمن می‌بیند که نیروهای شناسایی دقیقا کجا قرار گرفته‌اند و مسیری را انتخاب می‌کند که احتمال شناسایی حداقل شود. در نوع دیگری از بازی‌های استاکلبرگ، نیروهای خودی کمان‌ها و گره‌های شبکه را تخریب می‌کند به طوری که عملکرد

---

1. Gibones
2. Pen

دشمن حداقل شود. عملکرد دشمن را می‌توان حداکثر جریان (وود[1] (۱۹۹۳))، طول کوتاه‌ترین مسیر (فولکرسون و هاردینگ[2] (۱۹۷۷))، یا هزینه جریان چند کالایی در نظر گرفت (لیم و اسمیث[3] (۲۰۰۷)).

در بازی ممانعت همزمان، بازی نیروهای خودی و دشمن به طور همزمان یا حداقل بدون دانستن راهبرد طرف مقابل صورت می‌گیرد. واشبرن[4] و وود[5] (۱۹۹۵) اولین مدل ممانعت همزمان را ارائه کردند. کودیلام[6] و لاکشمان[7] (۲۰۰۳) بازی ممانعت همزمان را در حوزه مخابرات بررسی کردند. در این مقاله دشمن سعی می‌کند یک بسته مخرب را به یک راس شبکه ارتباطی تزریق کند و دوست دارد که این بسته به یک راس هدف معین برود. به طور همزمان، ارائه دهنده خدمات، زیر مجموعه‌ای از بسته‌ها را هنگام انتقال از طریق کمان‌ها شبکه شناسایی می‌کند.



شکل (۱) نمودار انواع بازی‌های ممانعت از شبکه

به عنوان کارهای جدید انجام شده در زمینه ممانعت شبکه، عبدالله زاده و همکاران (۲۰۲۰) یک مسئله ممانعت جدید به نام ممانعت از s-t برش کمینه را ارائه دادند که در آن مهاجم

---

1. Wood
2. Fulkerson & Harding
3. Lim & Smith
4. Washborn
5. Wood
6. Kodilam
7. Lakeshman

می‌خواهد کمترین s-t برش را انتخاب کند تا هر مسیر ممکن بین منبع و مقصد را قطع کند در حالی که مدافع می‌خواهد ظرفیت کمان‌ها را تحت بودجه مشخص افزایش دهد تا مقدار کمترین برش را تا حد ممکن افزایش دهد. در مقاله خیا[1] و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل دو هدفه برای مسئله ممانعت از کوتاه ترین مسیر شبکه با ممانعت از گره ارائه شده است. اتمتورک[2] و همکاران (۲۰۲۰) یک کران بالای درجه دو برای مسئله ممانعت از شبکه گسسته به دست آوردند. فرقانی و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل دوهدفه همراه با روش حل برای مسئله ممانعت جزئی روی تسهیلات سلسله مراتبی ظرفیت دار ارائه دادند. جبارزاده و همکاران (۲۰۲۰) ممانعت از توزیع غیرقانونی محصول را در یک شبکه با چند منبع و مقصد مطالع کردند. محمدی و طیبی (۲۰۱۹) مسئله ممانعت از مسیر با حداکثر ظرفیت تحت بودجه ثابت را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله پس از ارائه مدل مسأله ممانعت بیشترین جریان با بودجه ثابت، یک الگوریتم زمان چندجمله‌ای برای حل آن پیشنهاد گردیده است. مدل‌ها و الگوریتم‌های چندین مسئله ممانعت در مقاله (اسمیث[3] و سونگ[4] ۲۰۲۰) مرور شده‌اند که خواننده علاقمند می‌تواند به آن رجوع کند. نویسندگان در کارهای قبلی خود به بررسی انواع مسائل بازی در محیط عدم قطعیت پرداخته‌اند (به طور مثال مقالات بیگدلی و طیبی (۱۳۹۶)؛ بیگدلی و طیبی (۱۳۹۷) را مشاهده کنید).

در این مقاله ابتدا یک مدل ریاضی برای مسأله ممانعت شبکه دونفره با چندین نوع نیروی شناسایی ارایه می‌شود، سپس بر پایه مدل ریاضی یک شبکه نمونه مورد تحلیل قرار می‌گیرد. از نرم‌افزار گمز و از حل‌کننده سیپلکس برای حل مدل ریاضی استفاده می‌شود.

بخش‌بندی مقاله به‌صورت زیر می‌باشد: در بخش ۲ مسأله تعریف شده و مدل ریاضی ارایه می‌شود. در بخش ۳ روش تولید ستون برای حل مدل ارائه می‌شود. در بخش ۴ به تحلیل مدل با استفاده از یک مثال پرداخته می‌شود. در بخش ۵ نتیجه‌گیری مقاله ارایه می‌گردد.

تعریف مسأله و مدل ریاضی

در این بخش یک بازی ممانعت شبکه دونفره مدلسازی می‌شود. در این مدل نیروهای خودی می‌خواهند نیروها و تجهیزات شناسایی خود را به کمان‌های شبکه اختصاص دهند تا بتوانند دشمن را که از یک مبدا مشخص به یک مقصد در این شبکه در حال گذر است، شناسایی کنند.

---

1. Xiao
2. Atamtürk
3. Smith
4. Song

این مسئله یک بازی همزمان می‌باشد که در آن راهبرد آمیخته‌ی نیروهای خودی این است که یک راهبرد احتمالی برای تخصیص نیروهای شناسایی به کمان‌ها را انتخاب کنند و راهبرد آمیخته‌ی دشمن انتخاب یک راهبرد احتمالی برای تعیین مسیر است. این بازی یک بازی مجموع صفر است به این معنا که عایدی بازیکنان کاملا با هم در تعارض است؛ نیروهای خودی می‌خواهند احتمال شناسایی را حداکثر کنند در حالی که دشمن می‌خواهد این احتمال را حداقل سازد.

معمولا در مدل‌های ارائه شده برای این مسئله فرض بر این است که یک نوع نیروی شناسایی (به عنوان مثال تیم‌های نیروی زمینی) در اختیار نیروهای خودی می‌باشد؛ اما در دنیای واقعی از چندین نوع تجهیزات برای شناسایی استفاده می‌شود. این تجهیزات می‌تواند شامل انواع پهپادها، سنسورهای الکترونیکی یا تیم‌های شناسایی نیروی زمینی باشد. در حقیقت هر یک از منابع مذکور، روش‌هایی هستند که می‌توانند در شناسایی دشمن استفاده شوند. هر نوع نیروی شناسایی احتمال متفاوتی نسبت به سایرین برای شناسایی دشمن دارد که البته این احتمال بسته به موقعیت جغرافیایی نیز متفاوت است. به عنوان مثال در زمین‌های کوهستانی پهپاد عملکرد بهتری نسبت به تیم نیروی زمینی دارد. در مقابل، نیروی زمینی در مناطقی که شرایط سخت آب و هوایی مانند برف و بارندگی است یا در مناطقی که پوشش جنگلی دارند، عملکرد بهتری نسبت به پهپاد دارد.

در جدول (۱) نمادهای مورد نیاز برای تعریف مسأله شناسایی دشمن آورده شده است.

جدول (۱) نمادهای مورد استفاده در تعریف مسأله

مجموعه‌ها	تعریف
$i,j \in V$	گره‌ها در یک گراف جهت‌دار[1] $G = (V,E)$ است.
$\boldsymbol{E}$	مجموعه کمان‌های گراف می‌باشد.
$\boldsymbol{s,t}$	s گره مبدا و t گره مقصد دشمن است.
$\boldsymbol{e = (i,j)}$	کمانی که رأس i را به رأس j متصل می‌کند.
$\boldsymbol{E'}$	مجموعه کمان‌های خارج شده از مبدا و وارد شده به مقصد که احتمال شناسایی آن‌ها صفر می‌باشد.
$\boldsymbol{l \in L}$	مجموعه مسیرها از مبدا به مقصد (راهبردهای محض دشمن)
$\boldsymbol{r \in R}$	مجموعه انواع نیروهای شناسایی

[1] Directed graph

$a \in A$	مجموعه راهکارهای مختلف برای تخصیص نیروهای شناسایی به کمان‌ها (راهبردهای محض نیروهای خودی)
پارامترها	**تعریف**
g_{le}	پارامتری با مقدار صفر و یک است. اگر مسیر l شامل کمان e باشد مقدار یک دارد و در غیر اینصورت صفر می‌باشد.
h_{era}	پارامتری با مقدار صفر و یک است. اگر a نیروی شناسایی نوع r را به کمان e تخصیص دهد مقدار یک دارد و در غیر اینصورت صفر می‌باشد.
p_{er}	میزان احتمال شناسایی دشمن توسط نیروی شناسایی نوع r در کمان e
d_{al}	تعداد شناسایی‌های مورد انتظار به وسیله راهبرد a اگر دشمن از مسیر l عبور کند. $d_{al} = \sum_e \sum_r g_{le}\, h_{era}\, p_{er}$
m_r	تعداد نیروهای شناسایی نوع r در دسترس برای تخصیص
F	ماتریس وقوع گره-کمان که مؤلفه‌های آن به صورت زیر تعریف می‌شود: $f_{ie} = \begin{cases} 1 & e = (i,j) \in E, \\ -1 & e = (j,i) \in E, \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$
b_i	$b_s = 1$ و $b_t = -1$ و $b_i = 0\ \forall\ i \in V\text{-}\{s,t\}$
متغیرها	**تعریف**
x_a	احتمال این که نیروهای خودی راهبرد a را انتخاب کنند (فرم برداری این متغیرها را با X نمایش می‌دهیم)
y_l	احتمال این که دشمن راهبرد l را انتخاب کند (فرم برداری این متغیرها را با Y نمایش می‌دهیم)
y_e	احتمال این که دشمن از کمان e عبور کند $y_e = \sum_l g_{le}\, y_l$

با استفاده از نمادهای تعریف شده مسأله را می‌توان به صورت مدل دوسطحی زیر بیان کرد:

$$\max_x \min_y \ \sum_a \sum_l \ x_a\, d_{al}\, y_l \qquad (۱.الف)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_a x_a = 1, \qquad (۱.ب)$$

$$\sum_l y_l = 1. \qquad (۱.ج)$$

تابع هدف (۱.الف) تعداد شناسایی‌های مورد انتظار را محاسبه می‌کند. سطح اول مدل مربوط به نیروهای خودی می‌باشد که تعداد شناسایی‌های نیروهای خودی را حداکثر می‌کند در حالی که سطح دوم مربوط به دشمن می‌باشد که تعداد شناسایی‌های نیروهای خودی را حداقل می‌کند. محدودیت‌های (۱.ب) و (۱.ج) تضمین می‌کنند که راهبردهای نیروی خودی و دشمن معتبر باشند. با توجه به تعریف d_{al} مدل را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\max \min \ \sum_a x_a \ \sum_l \ \sum_e \sum_r g_{le} h_{era} \ p_{er} \ y_l \qquad (۲.الف)$$

$$\text{s.t. } (۱.ب), (۱.ج) \qquad (۲.ب)$$

به‌علاوه با توجه به تعریف y_e می‌توان این مدل را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\max \min \ \sum_a x_a \ \sum_e \ (\sum_r \ h_{era} \ p_{er}) \ y_e \qquad (۳.الف)$$

$$\text{s.t. } (۱.ب), (۱.ج) \qquad (۳.ب)$$

$$y_e = \sum_l g_{le} \ y_l \qquad \forall \ e \ \in E, \qquad (۳.ج)$$

$$Fy = b \qquad (۳.د)$$

واشبرن و وود (۱۹۹۵) نشان داده‌اند که می‌توان محدودیت (۱.ج) و (۳.ج) را بدون از دست دادن کلیت حذف کرد. در نتیجه مدل نهایی معادل زیر حاصل می‌شود.

$$\max \min \ \sum_a x_a \ \sum_e \ (\sum_r \ h_{era} \ p_{er}) \ y_e \qquad (۴.الف)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_a x_a = 1, \qquad (۴.ب)$$

$$Fy = b \qquad (۴.ج)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در این مدل تعداد راهبردهای محض نیروهای خودی (a) بسیار زیاد می‌باشد بنابراین نیاز به روشی برای به‌دست آوردن آن‌ها می‌باشد که در بخش بعد به آن پرداخته می‌شود.

روش‌شناسی پژوهش

در مدل (۴) تعداد راهبردهای محض بازیکن ۲ به تعداد یال‌های شبکه بوده و در نتیجه این تعداد محدود می‌باشد. در عین حال، تعداد راهبردهای بازیکن ۱ بسیار زیاد بوده و با بزرگتر شدن اندازه‌ی مسأله به طور نمایی این تعداد رشد می‌کند. از این رو، استفاده مستقیم از مدل ۴ میسر

نبوده و نمی توان حتی آن را برای حل مسایلی با ابعاد متوسط و بزرگ (با استفاده از حل کننده‌هایی نظیر گمز[1]، لینگو[2]، سیپلکس[3] و گروبی[4]) به کار برد.

برای استفاده ضمنی از مدل (۴)، در این بخش روش تولید ستون را به کار می‌بریم. ایده اصلی در روش تولید ستون این است که لزومی ندارد که تمام ستون های (متغیرهای) مدل در ابتدا در نظر گرفته شود؛ بلکه ستون‌ها هر زمان که نیاز باشد، تولید شده و به مسأله اضافه می‌گردند. به بیان دقیق‌تر مدل با چند متغیر محدود ساخته شده و حل می گردد. سپس بر اساس جواب بهینه حاصل، هزینه‌های کاهش یافته برای همه متغیرها محاسبه می‌شود و بهینگی جواب سنجیده می شود. اگر شرط بهینگی برقرار باشد، که حل مسأله متوقف شده و در غیر این صورت، حداقل یک متغیر که شرط بهینگی را نقض کرده است، به مسأله افزوده می شود. بنابراین در هر تکرار حداقل یک متغیر به مسأله اضافه می‌گردد. البته قابل ذکر است که برای محاسبه هزینه‌های کاهش یافته ملزم به حل یک مسأله کمکی هستیم. این رویکرد بسیار کارا بوده زیرا تنها متغیرهایی را که به احتمال زیاد به پایه وارد می‌شوند را به مسأله اضافه می‌نماید. برای جزییات این روش به آهوجا[5] و همکاران (۱۹۹۳) مراجعه کنید.

با ثابت در نظر گرفتن متغیر x_a در سطح دوم، مدل (۴) به یک مدل برنامه‌ریزی خطی تبدیل می‌شود. چون هر دو سطح در مدل (۴) دارای اهداف یکسان هستند مدل (۴) به یک مدل تک سطحی تبدیل می‌شود و با گرفتن دوگان از آن مدل ارشد زیر حاصل می‌شود.

MP

$$z_{MP} = \max \gamma_s - \gamma_t \qquad (۵.الف)$$

$$\text{s.t.} \quad \gamma_i - \gamma_j - \sum_a \left(\sum_r h_{era}\, p_{er}\right) x_a \le 0 \;\; \forall\, e \in E, \qquad (۵.ب)$$

$$\sum_a x_a = 1. \qquad (۵.ج)$$

با در نظر گرفتن زیر مجموعه‌ای از راهبردهای نیروهای خودی $A' \subset A$ ابتدا مدل **MP** حل می‌شود و متغیرهای دوگان بهینه $\widehat{\boldsymbol{\pi}}, \widehat{\boldsymbol{\theta}}$ به ترتیب متناظر با محدودیت‌های (۵.ب) و (۵.ج) به دست می‌آیند. با استفاده از این متغیرها می‌توان متغیر x_a مربوط به کمان $a \in A - A'$ با هزینه کاهش‌یافته مثبت را به صورت زیر به دست آورد.

---

[1]. Gamps
[2]. Lingo
[3]. Cplex
[4]. Gurobi
[5]. Ahuja

$$\mathbf{0} - \sum_e \sum_r \; h_{era} \; p_{er} \; \widehat{\boldsymbol{\pi}}_{\boldsymbol{e}} - \; \widehat{\boldsymbol{\theta}} > \mathbf{0}$$

بدین منظور، مسئله زیر متغیری با مثبت‌ترین هزینه کاهش یافته را به دست می‌آورد.

SUB

$$z_{SUB} = \max - \sum_e \sum_r \; h_{era} \; p_{er} \; \widehat{\boldsymbol{\pi}}_{\boldsymbol{e}} - \; \widehat{\boldsymbol{\theta}} \qquad (۶.الف)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_e h_{er} = m_r \;\; \forall \, r \in R \qquad (۶.ب)$$

$$\sum_r h_{er} \leq 1 \;\; \forall \, e \in E \qquad (۶.ج)$$

$$h_{er} \in \{0,1\} \, \forall \, e \in E, r \in R \qquad (۶.د)$$

پس از شناسایی متغیر، این متغیر جدید به **MP** اضافه شده و مسأله **MP** مجدد حل می‌شود. این رفت و برگشت بین **MP** و **SUB** ادامه پیدا می‌کند تا زمانی که هیچ متغیری با هزینه کاهش یافته مثبت وجود نداشته باشد. در این لحظه جواب بهینه مسئله حاصل خواهد شد. این روش به صورت گام به گام در زیر آمده است.

الگوریتم

ورودی: گراف $G = (V, E)$، مبدا s، مقصد t و مقادیر احتمال p_{er}.

خروجی: مقادیر پارامتر h_{era} برای ستون‌های تولید شده و مقادیر بهینه متغیر x_a.

گام ۱) یک جواب اولیه تخصیص نیروهای شناسایی در نظر گرفته شود، به بیان ریاضی:

$a \leftarrow 1;$

برای

(all r in R) {for (i=1 to m_r){ e ← e+1; $h_{era} \leftarrow 1$;}}

$A' \leftarrow \{a\};$

گام ۲) مدل ارشد (۵) حل شود و مقادیر بهینه دوگان $\widehat{\boldsymbol{\pi}}$, $\widehat{\boldsymbol{\theta}}$ به دست آید.

گام ۳) مدل (۶) حل شود.

شرط توقف به صورت زیر می‌باشد:

اگر

$(z_{SUB} = 0)$ {

الگوریتم خاتمه می‌یابد.

}

در غیر این‌صورت

{

$a \leftarrow a + 1;$

$A' \leftarrow A' \cup \{a\}$;

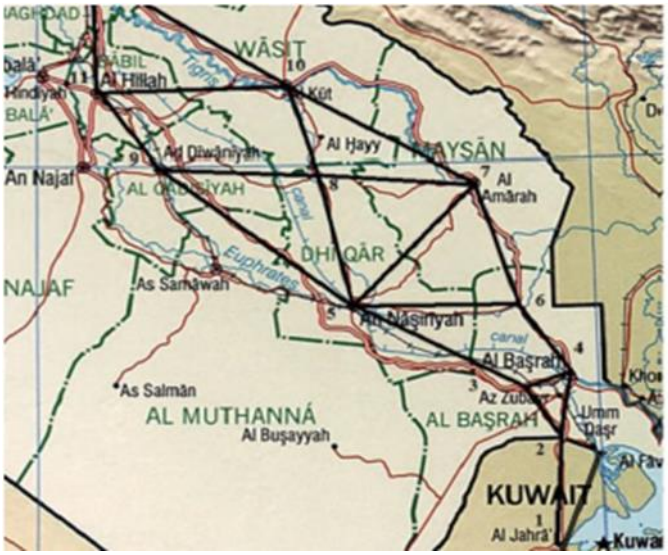
به گام ۲ برو.

}

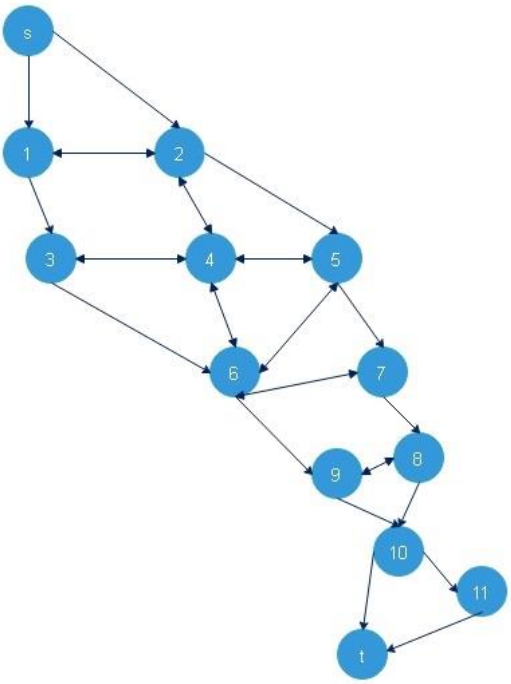
تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این بخش به ارزیابی مدل ارائه شده در بخش ۲ با استفاده از یک مثال واقعی (جنگ بین عراق و کویت) پرداخته می‌شود. در این جنگ نیروهای عراقی می‌خواستند که با حداکثر قوا خاک کویت را تصرف کنند و در عمل هم موفق به این امر در مدت چند روز شدند. اگر نیروهای کویتی می‌توانستند در راه‌های مواصلاتی بین عراق و خاک خودشان نیروهای شناسایی قرار دهند تا بتوانند دشمن را شناسایی و با توجه به تجهیزات دردسترس به مکان‌های شناسایی شده حمله کنند و به دشمن صدمه بزنند شاید می‌توانستند از تجاوز عراق جلوگیری کنند. در این‌جا این موضوع با توجه به مدل ریاضی ارایه شده در بخش قبل بررسی می‌شود.

نقشه مسیرهای زمینی بین عراق و کویت در جنگ سال ۱۹۹۰ در شکل (۲) نمایش داده شده است. در شکل (۳) شبکه حاصل از این نقشه نشان داده شده است. S مبدا حرکت نیروهای عراقی در خاک عراق و t مقصد آن‌ها در خاک کویت می‌باشد. دو نوع نیروی شناسایی فرض می‌شود و برای هر نوع تنها یک نیرو در نظر گرفته می‌شود. مقادیر احتمال شناسایی برای هر کمان و نیروی شناسایی در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل (۲) نقشه مسیرهای زمینی بین دو کشور عراق و کویت



شکل (۳) شبکه راه‌های مواصلاتی زمینی بین عراق و کویت

مدل مورد نظر در یک رایانه شخصی با پردازنده ۳ هسته‌ای و حافظه تصادفی ۸ گیگابایتی در نرم‌افزار گمز کدنویسی شده و از حل‌کننده سیپلکس[1] برای حل آن استفاده شده است. مقدار بهینه تابع هدف ۰,۴۳۸ به دست آمده و مقادیر بهینه متغیر x_a در جدول ۳ در ضمیمه نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوریتم پس از ۳ تکرار متوقف شده $A = \{1,2,3\}$، و در طول الگوریتم ۳ راهبرد تولید شده و مقادیر احتمال آن به دست آمده است. با توجه به مقادیر به‌دست آمده راهبرد ۳ بیشترین احتمال شتاسایی را دارد. بنابراین فرمانده می‌تواند نیروی شناسایی اول را به کمان $(7,8)$ و نیروی شناسایی دوم خود را به کمان $(9,10)$ تخصیص دهد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، کاربرد مسأله بازی ممانعت شبکه دونفره در شناسایی دشمن مورد مطالعه قرار گرفت. برای این مسئله یک مدل ریاضی بیان شده، سپس روش تولید ستون برای حل مدل ارائه

[1]. Cplex

شد. برای ارزیابی مدل ارائه شده، جنگ بین عراق و کویت در سال ۱۹۹۰ به عنوان یک مثال واقعی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده تجزیه و تحلیل شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از این رویکرد ریاضی می‌تواند کمک قابل توجهی به تصمیم‌گیران پدافند زمینی در مواجهه با تهاجم دشمن و پاسخ به آن با استفاده بهینه از منابع داشته باشد.

به عنوان کارهای آتی در این زمینه پیشنهاد می‌گردد که به کاربرد دیگر مسایل ممانعت شبکه از جمله مسأله ممانعت از کوتاهترین مسیر، مسأله ممانعت از بیشترین درخت فراگیر در حوزه‌های نظامی پرداخته شود. این مسایل می‌توانند به عنوان یک ابزار علمی در اختیار فرماندهان جنگی قرار گیرند تا در تصمیم گیری‌ها از آنها استفاده گردد.

ضمیمه

جدول (۲) مقادیر احتمال p_{er} برای هر کمان و نوع نیروی شناسایی

کمان	احتمال شناسایی نیروی شناسایی نوع یک	احتمال شناسایی نیروی شناسایی نوع دو
$(s,۱)$	۰	۰
$(s,۲)$	۰	۰
(۱,۲)	۰,۵۵۰	**۰,۵۰۲**
(۱,۳)	۰,۳۰۱	**۰,۱۶۰**
(۲,۱)	۰,۲۹۲	**۰,۸۷۲**
(۲,۴)	۰,۲۲۴	**۰,۲۶۵**
(۲,۵)	۰,۳۴۹	**۰,۲۸۵**
(۳,۴)	۰,۸۵۶	**۰,۵۹۳**
(۳,۶)	۰,۰۶۷	**۰,۷۲۲**
(۴,۲)	۰,۵۰۰	**۰,۶۲۸**
(۴,۳)	۰,۹۹۸	**۰,۴۶۳**
(۴,۵)	۰,۵۷۸	**۰,۴۱۳**
(۴,۶)	۰,۹۹۱	**۰,۱۱۷**
(۵,۴)	۰,۷۶۲	**۰,۳۱۴**
(۵,۶)	۰,۱۳۰	**۰,۰۴۶**
(۵,۷)	۰,۶۳۹	**۰,۳۳۸**

کمان	احتمال شناسایی نیروی شناسایی نوع یک	احتمال شناسایی نیروی شناسایی نوع دو
(۶,۹)	۰,۱۵۹	**۰,۱۸۲**
(۶,۴)	۰,۲۵۰	**۰,۶۴۵**
(۶,۵)	۰,۶۶۸	**۰,۵۶۰**
(۶,۷)	۰,۴۳۵	**۰,۷۶۹**
(۷,۸)	۰,۳۵۹	**۰,۲۹۷**
(۷,۶)	۰,۳۵۱	**۰,۶۶۱**
(۸,۹)	۰,۱۳۱	**۰,۷۵۵**
(۸,۱۰)	۰,۱۵۰	**۰,۶۲۷**
(۹,۸)	۰,۵۸۹	**۰,۲۸۳**
(۹,۱۰)	۰,۸۳۰	**۰,۰۸۶**
(۱۰,۱۱)	۰,۲۳۰	**۰,۱۰۲**
$(۱۰, t)$	۰	**۰**
$(۱۱, t)$	۰	**۰**

جدول (۳) ظرفیت کمان‌های شبکه

راهبرد $\boldsymbol{a}$	کمان تخصیص یافته برای نیروی شناسایی نوع اول	کمان تخصیص یافته برای نیروی شناسایی نوع دوم	مقدار بهینه متغیر $\boldsymbol{x_a}$
۱	(۷,۶)	(۹,۱۰)	**۰,۰۶۱**
۲	(۵,۴)	(۳,۶)	**۰,۰۷۴**
۳	(۷,۸)	(۹,۱۰)	**۰,۱۰۸**

قدردانی

از سردبیر و داوران محترم به خاطر مطالعه دقیق مقاله و اصلاحات ارایه شده که به بهتر شدن مقاله کمک کرده است نهایت سپاسگزاری را داریم.

منابع

- بیگدلی، حمید.، طیبی، جواد. (۱۳۹۶). ارایه یک مدل و روش حل بازی‌های امنیتی فازی و کاربرد آن در آینده‌پژوهی تهدیدات امنیتی. *آینده‌پژوهی دفاعی*، ۲ (۶)، ۷-۲۹.
- بیگدلی، حمید.، طیبی، جواد. (۱۳۹۷). روش برنامه‌ریزی ریاضی برای حل و مدل‌سازی سناریوهای نبرد در سامانه پشتیبان تصمیم بازی جنگ تاکتیکی و عملیاتی. *آینده‌پژوهی دفاعی*. ۳ (۹) ۳۵-۵۶.
- Abdolahzadeh, A., Aman, M., & Tayyebi, J. (2020). Minimum st-cut interdiction problem. *Computers & Industrial Engineering*, 148, 106708.
- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., & Flows, J. O. N. (1993). *Theory*, algorithms, and applications. In Network flows.
- Atamtürk, A., Deck, C., & Jeon, H. (2020). Successive quadratic upper bounding for discrete mean-risk minimization and network interdiction. *INFORMS Journal on Computing*, 32(2), 346-355.
- Forghani, A., Dehghanian, F., Salari, M., & Ghiami, Y. (2020). A bi-level model and solution methods for partial interdiction problem on capacitated hierarchical facilities. *Computers & Operations Research*, 114, 104831.
- Fulkerson, D. R., & Harding, G. C. (1977). Maximizing the minimum source-sink path subject to a budget constraint. *Mathematical Programming*, *13*(1), 116-118.
- Gibbons, R. (1997). An introduction to applicable game theory. *Journal of Economic Perspectives*, *11*(1), 127-149.
- Jabarzare, Z., Zolfagharinia, H., & Najafi, M. (2020). Dynamic interdiction networks with applications in illicit supply chains. *Omega*, 96, 102069.
- Kodialam, M., & Lakshman, T. V. (2003, March). Detecting network intrusions via sampling: a game theoretic approach. In *IEEE INFOCOM 2003. Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (IEEE Cat. No. 03CH37428)* (Vol. 3, pp. 1880-1889). IEEE.
- Lim, C., & Smith, J. C. (2007). Algorithms for discrete and continuous multicommodity flow network interdiction problems. *IIE Transactions*, *39*(1), 15-26.
- Mohammadi, A., & Tayyebi, J. (2019). Maximum Capacity Path Interdiction Problem with Fixed Costs. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 36(04), 1950018.
- Pan, F., Charlton, W. S., & Morton, D. P. (2003). A stochastic program for interdicting smuggled nuclear material. In *Network interdiction and stochastic integer programming* (pp. 1-19). Springer, Boston, MA.

- Salmeron, J., Wood, K., & Baldick, R. (2004). Analysis of electric grid security under terrorist threat. *IEEE Transactions on power systems*, 19(2), 905-912.
- Smith, J. C., & Song, Y. (2020). A survey of network interdiction models and algorithms. *European Journal of Operational Research*, 283(3), 797-811.
- Steinrauf, R. L. (1991). *Network interdiction models*. Naval Postgraduate School Monterey Ca.
- Washburn, A., & Wood, K. (1995). Two-person zero-sum games for network interdiction. *Operations research*, *43*(2), 243-251.
- Whiteman, P. S. B. (1999). Improving single strike effectiveness for network interdiction. *Military Operations Research*, 15-30.
- Wood, R. K. (1993). Deterministic network interdiction. Mathematical and Computer Modelling, 17(2), 1-18.
- Wood, R. K. (2010). *Bilevel network interdiction models: Formulations and solutions*. Wiley encyclopedia of operations research and management science.
- Xiao, K., Zhu, C., Zhang, W., & Wei, X. (2020). The Bi-Objective Shortest Path Network Interdiction Problem: Subgraph Algorithm and Saturation Property. *IEEE Access*, 8, 146535-146547.