

## نحوه تصمیم‌گیری تدارکات و پشتیبانی نیروها در میدان نبرد در یکی از سازمان‌های دفاعی

حسین فتح آبادی<sup>1</sup>، صمد آقامحمدی<sup>2</sup>، هادی صحیحی<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲

### چکیده

تا کنون محیط‌های جنگی همواره در حال تغییر هستند. همگامی با این تغییرات نیازمند تحول لجستیک نظامی نیز می‌باشد. تغییرات در محیط نظامی را از چند دیدگاه می‌توان بررسی نمود. توانایی انتقال و استقرار سریع نیروها در میدان‌های جنگ بسیار ضروری است. حفظ توانایی عملیاتی تا حد زیادی به توانایی پیاده‌سازی، استقرار و آرایش نیروهای جنگی و واحدهای کمکی دارد. استقرار صحیح نیروها علاوه بر ایجاد بازدارندگی در میدان جنگ، امکان انعطاف‌پذیری و واکنش سریع به همراه دارد. بهبود وضعیت و توانایی‌های استقرار از سوی دیگر نیازمند تسهیلات متعدد مانند سیستم حمل و نقل دریایی، هوایی و سیاست‌های مناسب مانند ذخیره‌های موجودی می‌باشد. علاوه بر این، یکی از مهم‌ترین مشخصه‌ها در استقرار صحیح نیروها، وضعیت پشتیبانی و نگهداری آنهاست. استقرار و جابجایی سریع نیروها ارزشی نخواهد داشت، اگر شرایط نگهداری نیروها در سطوح بالای آمادگی وجود نداشته باشد. لجستیک به کلیه فعالیت‌های هماهنگی اطلاق می‌شود که جهت بررسی، تحقیق، مطالعه و برآورد نیازها و احتیاجات اولیه در زمینه وسایل و تجهیزات، ماشین‌ها و ابزارآلات، تأسیسات و قطعات از هر نوع و کلیه امور مربوط به تهیه، تولید، بیمه، نگهداری، انبارداری، توزیع، حمل‌ونقل، تنظیم و تهیه روش انجام کار، طراحی سیستم و دستورالعمل و نظارت بر موارد فوق انجام می‌گیرد. در این تحقیق انواع مدل‌های مسئله مسیریابی در حوزه تجاری معرفی می‌شود و در نهایت مدل ریاضی جدیدی از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به صورت برنامه‌ریزی خطی آمیخته عدد صحیح برای حداکثر کردن تأمین تقاضاهای اضطراری در میدان‌های نبرد ارائه می‌گردد. در بخشی از این تحقیق به روش‌های مختلف حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه، که شامل الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری می‌باشد پرداخته شده و شرح مختصری از آنها ارائه گردیده است. برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده، مدل فوق در نرم‌افزار GAMS کد شده و همچنین مثال نمونه تولید گردیده با نرم‌افزار فوق حل شده است. در ادامه نیز به منظور ارائه جواب‌های کارا و مؤثر، رویکرد حل ترکیبی مبتنی بر الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و جستجوی محلی طراحی گردیده است. نهایتاً کارایی محاسباتی الگوریتم ارائه شده در بررسی تعدادی از مسائل نمونه تولید شده نشان داده شده است می‌باشد.

واژگان کلیدی: تدارکات و پشتیبانی، مدل ریاضی، مسیریابی وسایل نقلیه

<sup>1</sup> استادیار دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) (نویسنده مسئول) fh\_ie@yahoo.com

<sup>2</sup> استاد یار دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص)، samadmohammadi.500@gmail.com

<sup>3</sup> sahihi8080@gmail.com کارشناس ارشد لجستیک، دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص)

## 1. کلیات

از اهداف برنامه‌ریزی یک سیستم حمل‌ونقل می‌توان به کاهش هزینه‌ها، استفاده بهینه از وسایل نقلیه، افزایش رضایت‌مندی مشتریان (یگان‌ها)، ارائه سرویس مناسب در زمان و مکان مناسب و غیره و از جمله محدودیت‌ها می‌توان به محدود بودن وسایل نقلیه، ظرفیت حمل وسایل، زمان مجاز برای ارائه خدمت و غیره اشاره کرد. با وجود موضوعات اقتصاد مقاومتی در سال‌های اخیر، کاهش هزینه‌ها، تأمین به‌موقع تقاضاها اهمیتی دوچندان پیدا کرده است.

مدیران مؤسسات تولیدی و صنعتی و همین‌طور سازمان‌های خدماتی بر این باورند که سیستم لجستیک چیزی فراتر از مجموعه‌ای از کارکردها و وظایف گسسته است. مفهوم کارآمدی که طبق آن نیازمندی‌های یگان‌ها بایستی به مقدار مناسب، در مکان مناسب و زمان مناسب به دست یگان رسانده شود، تأثیر گسترده و عمیقی بر تعادل عملکرد به‌صورت کلی و همین‌طور سیستم اقتصادی در سطح ملی و بین‌المللی بخصوص نیروهای مسلح گذاشته است. اگر بخواهیم تعریفی از این مسئله ارائه دهیم می‌توان گفت مسئله مسیریابی وسیله نقلیه به مجموعه‌ای از مسائل اطلاق می‌گردد که هدف ایجاد چند تور برای سرویس‌دهی به مجموعه‌ای از یگان‌ها با توجه به محدودیت‌ها و منابع می‌باشد به‌گونه‌ای که هزینه‌های سرویس‌دهی کمینه شود و مجموع تقاضای یگان‌های یک مسیر از ظرفیت وسیله نقلیه مربوط به آن مسیر بیشتر نباشد [1].

## 2. بیان مسئله

تحول در امور نظامی منوط به ایجاد تحول در لجستیک و پشتیبانی نظامی است. اگر بخواهیم تغییری اساسی در امور نظامی خویش ایجاد نماییم، این تغییر را باید از لجستیک و پشتیبانی نظامی شروع کنیم "وقتی ژنرال "ریمر" دگرگونی در لجستیک نظامی را پیش شرط دگرگونی در امور نظامی دانسته حتماً رهنمود و انگیزه مشخصی را برای جامعه لجستیک ارائه کرده است." با این حال، مطالعات نشان می‌دهد، دگرگونی در امور نظامی باعث تحول در لجستیک و در نهایت پشتیبانی صحیح از صحنه نبرد میشود. اما این موضوع ساده و قابل

دسترس نیست بلکه نیاز به زمان و اقدامات اساسی دارد. سرهنگ "فانتین" در مقالهای تحت عنوان "لجستیک استراتژیک برای نفوذ نیروها" پیش شرط دیگری را در مقابل گفته‌های دیگران مطرح کرد. وی گفت: "تحول در لجستیک نظامی زمانی روی خواهد داد که جامعه تحقیقاتی تجهیزاتی بسازد که پشتیبانی لجستیک را به حداقل برساند"، بنابراین از نیازهای حوزه‌ی لجستیک در زمینه نظامی می‌توان به تأمین به‌موقع تقاضای یگان‌ها و همچنین تأمین تقاضاهای اضطراری اشاره کرد. بعضی از کالاها به خاطر بعضی از مسائل استراتژیک و یا ماهیت فصلی بودن، دچار تقاضای بیشتری در بعضی از برهه‌های زمانی می‌شوند که تأمین این نوع کالاها می‌تواند به پویا بودن سیستم لجستیک و همچنین بیشتر شدن کارایی پشتیبانی و تدارکات نیروها منجر شود.

این موضوع زمانی اهمیت دوچندان پیدا می‌کند که در میدان نبرد، تأمین به‌موقع تقاضاهای اضطراری نقش اساسی در پیروزی، روحیه و موفقیت یگان‌ها خواهد داشت. در زمان نبرد، کالاهای اضطراری نقشی تعیین‌کننده برای تعادل نبرد به نفع یگان‌های خودی داشته بطوریکه باید سیستم لجستیک سعی در تأمین حداکثری تقاضاهای اضطراری کالاهای اساسی و استراتژیک داشته باشد [3].

این اضطرار می‌تواند به دلایل گوناگونی به وجود بیاید، یکی از دلایل عمده به وجود آمدن تقاضاهای اضطراری در زمان صلح، وجود کالاهای فصلی و در زمان نبرد، احتمالی بودن فضای نبرد است. جنگ‌های چریکی، عدم پیش‌بینی قطعی مدت‌زمان‌های عملیات و همچنین عدم قطعیت در مدت‌زمان یک عملیات می‌تواند موجب به وجود آمدن تقاضاهای اضطراری برای کالاهای استراتژیک باشد. با این وجود عدم توجه به این مسائل، می‌تواند شکست نیروها در صحنه نبرد را در پی داشته باشد. به همین منظور مسئله تحقیق از انجایی ناشی میشود که پرداختن به موضوع تدارکات و پشتیبانی نیروها یکی از مسائل مهم و اساسی در پیروزی در صحنه نبرد خواهد داشت.

## 3. پیشینه

تحقیقات نظری و کاربردهای عملی در زمینه مسیریابی با معرفی مسئله اعزام کامیون توسط دانتریگ و رامسر [4] آغاز شد. در این تحقیق، مسئله بهینه کردن مسیر ناوگان حمل گازوئیل بین یک ترمینال اصلی و تعداد زیادی از ایستگاه‌ها بررسی شد. باگذشت نزدیک به پنجاه سال از انتشار اولین مقاله توسعه‌های زیادی در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه به وجود آمده است. در مقاله ارائه‌شده، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه به‌عنوان تعمیم‌یافته مسئله فروشنده دوره‌گرد معرفی شده است، با این تفاوت که در مسئله فروشنده دوره‌گرد مجموع تقاضاهای تور از ظرفیت در دسترس تجاوز نمی‌کند اما در مسئله موردنظر این ظرفیت بیشتر بوده و باید از چند مسیر جهت سرویس‌دهی استفاده شود.

باوجود محدودیت‌ها و اهداف متنوع، تعاریف متنوعی از این مسئله ارائه شده است. اما آنچه در همه این تعاریف مشترک بوده و می‌توان آن را به‌صورت تعریف عمومی از این مسئله بیان کرد به این شرح است که مسئله مسیریابی وسیله نقلیه به‌عنوان طراحی بهینه مجموعه‌ای از تورهاست که هر یک از این تورها باید توسط یک وسیله نقلیه پیموده شوند. هرکدام از این وسایل نقلیه، مسیر خود را از یگان آغاز کرده و بعد از سرویس‌دهی به مجموعه‌ای از مشتریان مجدداً به همان یگان اولیه بازمی‌گردند. تورها باید به نحوی برنامه‌ریزی شوند که تمام محدودیت‌های عملیاتی مانند ظرفیت وسایل نقلیه و یا ظرفیت یگان‌ها برآورده شوند و هر مشتری تنها توسط یک وسیله و یک‌بار ملاقات می‌شود [4].

در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه پویا دو نوع درخواست جهت سرویس‌دهی مدنظر است که شامل درخواست‌های از پیش تعیین‌شده و درخواست‌های ضروری می‌شود. درخواست‌های از پیش تعیین‌شده به درخواست‌هایی اطلاق می‌شود که قبل از انجام فرآیند مسیریابی مشخص می‌شوند و درخواست‌های بعدی مربوط به

مشتریانی است که در هنگام اجرای مسیریابی توسط وسیله نقلیه درخواست خود را ارائه می‌کنند.

قرار دادن درخواست‌های جدید در برنامه‌ریزی قبلی معمولاً کار پیچیده‌ای است و منجر به مسیریابی مجدد و یا مسیریابی برای درخواست‌های جدید و درخواست‌های سرویس داده نشده می‌باشد. در این‌گونه مسائل برای هماهنگی بین وسایل نقلیه و یگان‌ها نیاز به تجهیزات پیشرفته ارتباطی ضروری می‌باشد [6]. تفاوت بین مدل‌های پویا و مدل‌های ایستا را می‌توان در این بیان کرد که تمام تقاضاها در مدل‌های ایستا قبل از فرآیند برنامه‌ریزی مشخص می‌باشند ولی در مدل‌های پویا، امکان اضافه شدن تقاضاهای جدید در حین اجرای مسیریابی وجود دارد [5].

روش‌های حل دقیق به روش‌هایی گفته می‌شوند که قادر به پیدا کردن جواب بهینه مسئله باشند. از طرفی با توجه به اینکه مسئله مسیریابی وسایل نقلیه جز مسائل NP-Hard است [2]، الگوریتم کارایی برای حل بهینه آن وجود ندارد و حل آن با الگوریتم‌های دقیق پیچیده و وقت‌گیر است. مزیت مهم این روش‌ها پیدا کردن جواب بهینه بوده و وقت‌گیر بودن آن‌ها حتی برای مسائل با حجم نسبتاً کم را می‌توان عیب عمده این روش‌ها برشمرد [7].

از روش‌های حل دقیق می‌توان به روش شاخه و کران<sup>4</sup> اشاره کرد. در این روش‌ها ابتدا با حل مدل برنامه‌ریزی خطی آزادشده<sup>5</sup> که از مدل اصلی عدد صحیح مسئله به دست می‌آید یک کران پایین برای مسئله اصلی عدد صحیح حاصل می‌شود. در حالتی که جواب به‌دست‌آمده از حل مسئله برنامه‌ریزی خطی آزادسازی شده عدد صحیح باشد، جواب بهینه مسئله اصلی با جواب به‌دست‌آمده برابر خواهد بود در غیر این صورت یک درخت شاخه و کران ساخته می‌شود. از گره ریشه دو فرزند منشعب شده و سپس، در هر گره فرزند یک برنامه‌ریزی خطی جدید با یک محدودیت اضافه حل

ما محدود می‌باشد. به عبارتی سیستم لجستیک ما، باید تمام تقاضاهای روتین و نرمال یگان‌ها را برآورده کند و همچنین درصد پوشش حداکثری برآورد تقاضاهای اضطراری یگان‌ها باشد.

مفروضات مدل:

مفروضات ذیل برای توسعه فرمول‌بندی مدل پیشنهادی استفاده می‌شوند:

هر یگان دو تقاضا و یک پنجره زمانی مختص خود دارد. در صورت ارائه سرویس در آن پنجره زمانی؛ تقاضای اضطراری و در غیراینصورت تقاضای معمولی را خواهد داشت.

در صورت ملاقات یگان قبل از پنجره زمانی مختص آن باید این تصمیم توسط وسیله نقلیه گرفته شود که برای برآورده کردن تقاضای اضطراری تا شروع پنجره زمانی منتظر بماند و یا تقاضای معمولی را برآورده کرده و به مسیر خود ادامه دهد.

- تعداد یگان‌ها معلوم و مشخص است.
- مکان هر یک از یگان و دپو مشخص است.
- حداکثر تعداد خودروها ثابت و مشخص است.
- خودروهای ناوگان همگن فرض می‌شوند و ظرفیت آن‌ها مشخص و ثابت است.
- تقاضای هر تور نباید از ظرفیت خودرو تجاوز کند.
- مدت‌زمان سفر هر وسیله نقلیه نباید از حداکثر زمان معین‌شده تجاوز کند.
- هر خودرو، تور خود را از دپو آغاز کرده و پس از سرویس‌دهی، به دپو بازمی‌گردد.
- هر یگان می‌تواند تنها در یک تور قرار بگیرد.
- هزینه‌های حمل‌ونقل به مسافت پیموده شده وابسته است.
- زمان سفر هر دو گره متناسب با مسافت دو گره می‌باشد.

### 3-1 فرمول‌بندی مدل

در این بخش فرمول‌بندی مدل پیشنهادی ارائه می‌گردد. در ادامه به‌منظور بیان فرم ریاضی مدل، نمادها (شامل مجموعه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم) معرفی گردیده و در فرمول‌بندی مدل پیشنهادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمادها شامل مجموعه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم می‌باشد.

می‌گردد. این محدودیت جدید شامل قرار دادن یک کران پایین یا یک کران بالا روی متغیرهایی که مقدار غیر صحیح پیدا کرده‌اند می‌باشد.

در تکرارهای بعدی هر گره فرزند به‌عنوان یک گره والد در نظر گرفته‌شده و از آن دو گره فرزند منشعب می‌شود و درخت مذکور گسترش می‌یابد. کران‌ها از حل مسئله برنامه‌ریزی خطی در درخت جستجو به‌دست‌آمده و اگر کران پایین به‌دست‌آمده در تعدادی از گره‌ها بزرگ‌تر از کران بالای سایر گره‌ها باشد آن گره‌ها را می‌توان از فرآیند جستجو حذف کرد [8].

همواره سعی شده است که مدل‌های ریاضی‌طوری توسعه داده شوند که نیازهای مسائل دنیای واقعی پوشش داده شوند لذا یکی از موارد پرکاربرد مسائل چند هدفه، مطالعه و تحقیق در موردهای مطالعاتی در دنیای واقعی می‌باشد که در آن‌ها تصمیم‌گیرندگان قصد دارند که چند هدف واضح و روشن از آن مورد مطالعاتی را بهینه کنند. در نظر گرفتن شرایط مورد انتظار، محدودیت‌ها و اهداف مختلف با پارامترهای واقعی از دشواری‌های اصلی مدل‌سازی این مسائل می‌باشد.

### 4. روش تحقیق

ایده موردنظر ما بر پایه برآورده کردن به‌موقع تقاضاهای اضطراری برای هر یگان می‌باشد بطوریکه برای هر یگان، دو تقاضای متفاوت و یک پنجره زمانی تعیین می‌شود که در صورت ارائه سرویس در پنجره‌زمانی موردنظر یگان، یگان دارای تقاضای اول که عمدتاً تقاضای بیشتر (تقاضای اضطراری) و در غیر این صورت تقاضای دوم را خواهد داشت.

بنابراین تأمین‌کننده باید درصد یافتن مسیرهایی باشد که رضایت‌مندی بیشتر یگان‌ها با تأمین به‌موقع تقاضاهای اضطراری را در پی داشته باشد و همچنین درصد کاهش هزینه‌های ناشی از حمل‌ونقل ناوگان وسایل نقلیه باشد. ما این رویکرد را در قالب یک مسئله با تقاضای اضطراری در پنجره‌های زمانی برای هر یگان مدل خواهیم کرد. در فرموله کردن این مدل از تابع هدف ماکزیمم کردن پوشش تقاضاهای اضطراری یگان‌ها استفاده خواهیم نمود به‌طوری‌که بودجه سیستم لجستیک

$$\text{Objective: Max } \sum_{i=1}^n [P_i^1(a_i + b_i) + P_i^2(1 - a_i - b_i)] \quad (1-3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{nv} X_{ijk} = 1 \quad j = 2, \dots, n \quad (2-3)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{nv} X_{ijk} = 1 \quad i = 2, \dots, n \quad (3-3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ijk} - \sum_{i=1}^n X_{jik} = 0 \quad j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, nv \quad (4-3)$$

$$t_i + tS_{ik} + d_{ij} + q_{ik} - M(1 - x_{ijk}) \leq T_k \quad (5-3)$$

$$i = 2, \dots, n; k = 1, \dots, nv$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^n X_{ijk} [P_j^1(a_j + b_j) + d_j^2(1 - a_j - b_j)] \leq Q_k \quad (6-3)$$

$$t_j = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{nv} X_{ijk} (t_i + tS_{ik} + d_{ij} + q_{ik}) \quad j = 2, \dots, n \quad (7-3)$$

$$\sum_{i=2}^n X_{i1k} \leq 1 \quad k = 1, \dots, nv \quad (8-3)$$

$$\sum_{k=1}^{nv} \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} X_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq n - \{1\}, S \neq \emptyset \quad (9-3)$$

$$(t_i - f_i) + M(1 - c_i) - \varepsilon \geq 0 \quad i = 2, \dots, n \quad (10-3)$$

$$(t_i - s_i) + M(1 - a_i) \geq 0 \quad i = 2, \dots, n \quad (11-3)$$

$$f_i - M(1 - a_i) \leq 0 \quad i = 2, \dots, n \quad (12-3)$$

$$(t_i - s_i) - M(a_i + c_i) + \varepsilon \leq 0 \quad i = 2, \dots, n \quad (13-3)$$

$$c_i + a_i + b_i \leq 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (14-3)$$

$$q_{ik} = b_i(s_i - t_i) \quad i = 2, \dots, n; k = 1, \dots, nv \quad (15-3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{nv} C_{ij} X_{ijk} \leq \text{Budget} \quad (16-3)$$

$$c_i, a_i, b_i, x_{ijk} \in \{0, 1\}; t_i, q_{ik} \geq 0 \quad (17-3)$$

در مدل بالا رابطه‌ی (3-1) تابع هدف بیشینه نمودن پوشش تقاضاهای اضطراری یگان‌ها می‌باشد.

محدودیت‌های (3-2) و (3-3) تضمین می‌کنند که هر یگان تنها یک‌بار توسط یک وسیله نقلیه ملاقات شود (سرویس بگیرد). محدودیت (3-4) پیوسته بودن تورها را تضمین می‌کند، به عبارتی چنانچه وسیله نقلیه به گره وارد می‌شود می‌بایست از آن خارج شود. محدودیت (3-5) تضمین می‌کند که زمان سفر هر وسیله نقلیه از حداکثر زمان سفر تجاوز نکند. این حداکثر زمان بر اساس ملاحظات است که برای مصرف سوخت و راحتی رانندگان تعیین می‌شود. محدودیت (3-6) تضمین می‌کند که

مجموعه اندیس‌ها:

- $n$ : مجموعه تمام گره‌ها (یگان‌ها) می‌باشد.
- $nv$ : مجموعه وسایل نقلیه

پارامترها و متغیرهای تصمیم برای مدل مسئله مورد بررسی:

- $a_i = 1$  اگر تقاضای اضطراری یگان  $i$  ام برآورده شود در غیر این صورت  $a_i = 0$
  - $b_i = 1$  اگر وسیله نقلیه منتظر بماند تا تقاضای اضطراری یگان  $i$  ام را برآورده کند در غیر این صورت  $b_i = 0$
  - $c_i = 1$  اگر تقاضای اضطراری یگان  $i$  ام برآورده نشود و تنها تقاضای معمولی یگان را برآورده کنیم.
  - $X_{ijk} = 1$  اگر گره  $i$  به گره  $j$  توسط وسیله نقلیه  $k$  ام پیموده شود (به عبارتی یگان  $i$  به یگان  $j$ ) در غیر این صورت  $X_{ijk} = 0$
  - $t_i$ : زمان رسیدن به گره  $i$  ام
  - $q_{ik}$ : زمان انتظار بعد از رسیدن به گره  $i$  ام برای شروع سرویس‌دهی توسط وسیله نقلیه  $k$  ام (زمان انتظار در یگان صفر می‌باشد)
  - $P_i^1$ : تقاضای اول یگان  $i$  ام (تقاضای اضطراری یگان)
  - $P_i^2$ : تقاضای دوم یگان  $i$  ام (تقاضای معمولی یگان)
  - $[s_i, f_i]$ : پنجره زمانی مختص یگان  $i$  ام. به عبارتی یگان  $i$  ام در این بازه‌ی زمانی درخواست تقاضای اضطراری برای کالایی خاص را می‌کند.
  - Budget: حداکثر بودجه برای سرویس‌دهی به یگان‌ها
  - $Q_k$ : حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه  $k$  ام
  - $T_k$ : حداکثر زمانی است که وسیله نقلیه  $k$  ام می‌تواند سفر کند.
  - $d_{ij}$ : هزینه (مسافت) گره  $i$  تا گره  $j$  (مسافت سفر متناسب زمان سفر است)
  - $tS_{ik}$ : مدت زمان سرویس‌دهی به یگان  $i$  ام با وسیله نقلیه  $k$  ام
  - $\varepsilon$ : یک مقدار بسیار کوچک  $0 \approx \varepsilon$
  - $M$ : عدد خیلی بزرگ
- نهایتاً، مسئله تحقیق را می‌توان به صورت زیر فرمول‌بندی نمود:

60 واحد و همچنین حداکثر زمان سفر 30 واحد زمانی تعیین گردیدند. حداکثر زمان سفر هر وسیله نقلیه، به علت دلایلی همچون کم کردن استهلاک وسایل نقلیه، خستگی رانندگان وسایل نقلیه، مصرف سوخت و ... تعیین می‌شود.

مختصات افقی (x) و عمودی (y) یگان‌ها، تقاضای نرمال ( $P_i^2$ ) و اضطراری ( $P_i^1$ )، مدت‌زمان سرویس‌دهی به یگان‌ها ( $ts_{ik}$ ) و همچنین بازه‌ی زمانی مد نظر هر یگان برای دریافت تقاضای اضطراری  $[s_i, f_i]$  به‌قرار زیر تعیین گردیدند. مدت‌زمان سرویس‌دهی، مدت‌زمانی می‌باشد که هر وسیله نقلیه، کالاهای موردنظر یگان مدنظر را تحویل می‌دهد و به ادامه مسیر خود ادامه می‌دهد.

قابل ذکر است که تعداد یگان‌ها در این مسئله 8 عدد و مؤلفه‌ی اول هر یک از پارامترها برای دپو می‌باشد. قابل ذکر است که حداکثر تعداد و سایل نقلیه نیز 3 عدد می‌باشد. مسئله فوق در سه حالت مختلف، در حداکثر بودجه‌های 25، 26 و 27 حل شده است. اطلاعات به‌دست‌آمده از حل مسئله فوق در جداول زیر آمده است. در جدول شماره (3-1) میزان حداکثر تقاضاهای برآورده شده از تقاضاهای اضطراری با میزان بودجه ذکر شده آورده شده است.

همان‌طور که از جدول زیر برمی‌آید، می‌توان مشاهده کرد که در نظر گرفتن محدودیتی برای حداکثر بودجه مدنظر می‌تواند برای تصمیم‌گیرنده بسیار مفید باشد بطوریکه با افزایش یک واحدی بودجه از 25 واحد به 26 واحد تعداد 6 عدد از تقاضاهای اضطراری بیشتر تأمین شده است ولی شاید افزایش آن از 26 به 27 واحد با تنها یک واحد افزایش در تأمین تقاضا به‌صرفه اقتصادی نباشد.

جدول 1: میزان حداکثر تقاضاهای برآورده شده و بودجه مدنظر

ردیف	حداکثر بودجه مدنظر	حداکثر تقاضاهای برآورده شده
1	25	59
2	26	65
3	27	66

تقاضاهای برآورده شده هر وسیله نقلیه از ظرفیت آن تجاوز نکند. محدودیت (3-7) زمان ملاقات هر گره را محاسبه می‌کند. محدودیت (3-8) تضمین می‌کند که تور از یگان آغاز شده و به آن ختم شود. محدودیت (3-9) از تشکیل زیر تورها جلوگیری به عمل می‌آورد که در آن S هر زیرمجموعه اختیاری از مجموعه مشتری‌ها و  $|S|$  بیانگر تعداد اعضای مجموعه S می‌باشد. محدودیت (3-11) تضمین می‌کند که اگر  $c_i = 1$  آنگاه حتماً  $t_i > f_i$ . محدودیت‌های (3-11) و (3-12) تضمین می‌کند که اگر  $a_i = 1$  آنگاه حتماً  $t_i \in [s_i, f_i]$ . محدودیت (3-14) تضمین می‌کند که اگر  $c_i = 0$  و همچنین  $a_i = 0$  آنگاه حتماً  $t_i < s_i$  در روابط (3-11) و (3-13) برای استفاده از نامساوی بزرگ‌تر مساوی به‌جای نامساوی بزرگ‌تر، به ترتیب مقدار  $\square$  کسر و اضافه شده است. محدودیت (3-14) تضمین می‌کند که در صورت یک شدن  $c_i$  و یا  $a_i$ ؛ مقدار صفر اختیار کند. در محدودیت (3-15) مدت‌زمان انتظار در گره نام محاسبه می‌شود. رابطه (3-16) محدودیت بودجه‌ای سیستم لجستیک می‌باشد. محدودیت‌های متغیرهای تصمیم در رابطه (3-17) نشان داده شده است.

## 5. یافته‌ها

مدل پیشنهادی در نرم‌افزار GAMS23.6.3 کد گردیده است و سپس مسئله نمونه توسط حل‌کننده CPLEX بر روی رایانه همراه با پردازنده Core i3 2.13GHz و با حافظه داخلی 3GB حل شده است. برای تولید مسئله محک از یک‌روال استاندارد به‌قرار زیر استفاده می‌کنیم. برای تعیین موقعیت جغرافیای یگان‌ها، اعدادی تصادفی برای دو بعد عمودی و افقی به ترتیب در بازه‌های  $[-3, +3]$  و  $[-3, +3]$  تولید گردید و موقعیت دپو در مرکز این بازه‌ها در نظر گرفته شد.

همچنین برای مؤلفه‌های تقاضاهای اضطراری و تقاضای نرمال و مدت‌زمان سرویس به ترتیب اعداد تصادفی بین  $[6, 10]$ ،  $[1, 5]$  و  $[1, 3]$  تولید شد. برای تعیین پنجره‌های زمانی مدنظر هر یگان نیز، حداکثر فاصله ممکن دونقطه در فضای دوبعدی، حداکثر مقدار حد پایین پنجره زمانی و دو برابر این مقدار، حداکثر مقدار حد بالای پنجره زمانی در نظر گرفته شد و اعدادی در این بازه‌ها تولید گردید. تعداد، ظرفیت و سایل نقلیه

شماره یگان	c	b	a
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	0	1
4	0	0	1
5	0	0	1
6	1	0	0
7	1	0	0
8	0	0	1
9	0	1	0

جدول 4. پارامترهای مسئله در حالت بودجه 26 واحدی

شماره یگان	c	b	a
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	0	1
4	1	0	0
5	0	0	1
6	0	0	1
7	0	0	1
8	0	0	1
9	0	1	0

جدول 5. پارامترهای مسئله در حالت بودجه 27 واحدی

شماره یگان	c	b	a
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	0
4	0	0	1
5	0	0	1
6	0	0	1
7	0	0	1
8	0	0	1
9	0	1	0

نحوه‌ی سرویس‌دهی به یگان‌ها برای حالت بودجه 26.25 و 27 واحدی به‌طور شماتیک در شکل شماره 1، 2 و 3 آورده شده است.

در جدول شمار 2 زمان رسیدن به هر یک از 8 یگان در سه حالت مختلف بودجه‌ای آورده شده است. اطلاعات فوق برای آمادگی یگان‌ها برای دریافت سرویس و همچنین مسائل استراتژیک می‌تواند مفید واقع شود. در مسئله فوق مسافت سفر متناسب با زمان سفر در نظر گرفته شده است که می‌توان با در نظر گرفتن یک تابع تسطیح‌کننده برای تناسب فوق در مدل ریاضی اضافه کرد.

جدول 2. زمان رسیدن به هر یک از یگان‌ها

شماره یگان‌ها	زمان با بودجه 25	زمان با بودجه 26	زمان با بودجه 27
2	20,24	5,24	5,24
3	14,36	11,85	6,24
4	10,36	22,48	2,24
5	4,24	16,36	16,36
6	2,24	10,24	10,24
7	11	7,24	7,24
8	14,24	2	2
9	25,48	1,41	1,41

همچنین در جداول شماره 3، 4 و 5 هر یک از پارامترهای **a**، **b** و **c** برای هر یک از بودجه‌های 26.25 و 27 آورده شده است. که نشان‌دهنده نحوه‌ی تصمیم‌گیری راننده برای سرویس‌دهی به یگان‌های مختلف می‌باشد. اگر تقاضای اضطراری یگان **i** ام برآورده شود **a** مقدار یک در غیر این صورت  $a_i = 0$  خواهد گرفت؛ اگر وسیله نقلیه منتظر بماند تا تقاضای اضطراری یگان **i** ام را برآورده کند **b** مقدار یک در غیر این صورت  $b_i = 0$  و در آخر نیز اگر تقاضای اضطراری یگان **i** ام برآورده نشود **c** مقدار یک خواهد گرفت و تنها تقاضای معمولی یگان برآورده خواهد شد.

جدول 3. پارامترهای مسئله در حالت بودجه 25 واحدی

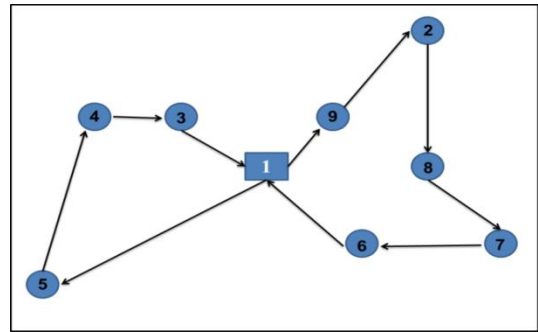
مورد استفاده قرار گرفته‌شده است ولی در حالت بودجه- ای 27 واحد از هر سه عدد وسایل نقلیه استفاده‌شده است.

یکی از مزایای مدل فوق این مورد می‌باشد که می‌توان تعداد وسایل نقلیه را محدود دانست و براساس تعداد وسایل نقلیه موجود در سیستم مسئله را حل کرد. این موضوع زمانی اهمیت دوچندان پیدا می‌کند که در شرایطی جنگی برخی از وسایل نقلیه ما به هر دلیلی از ناوگان حمل‌ونقل ما کاسته می‌شوند و ما نیازمند این هستیم که هر چه سریع‌تر با ناوگان موجود، پشتیبانی و تدارکات یگان‌های خود را برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی کنیم.

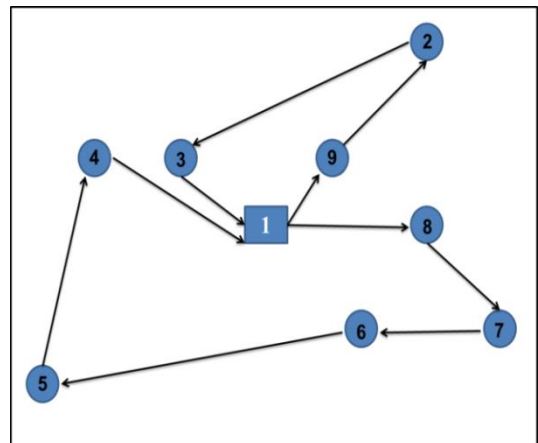
## 6. نتیجه‌گیری

پشتیبانی لجستیک در زنجیره تأمین و پشتیبانی میدان‌های نبرد نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای را بر عهده دارد که در صورت اختلال در ایفای این نقش کل فرآیند پشتیبانی با مشکل روبرو شده و دچار اختلال خواهد شد. لجستیک کلیه فرایندهای برآورد، تأمین، حمل‌ونقل، نگهداری و توزیع کالاها، تجهیزات و خدمات نیروها در میدان نبرد را در برمی‌گیرد. همان‌گونه که قبلاً بیان شد، چنانچه لجستیک ارگان‌های نظامی و نیروهای مسلح از یک سیستم منسجم و علمی برخوردار باشد می‌توان تا حدود زیادی به موفقیت در میدان‌های نبرد امیدوار بود. لذا با توجه به اهمیت سیستم لجستیک در میدان نبرد، انجام تحقیقات علمی با در نظر گرفتن نیازهای حوزه‌ی نظامی کشور می‌تواند نقش اساسی در تصمیم‌گیری‌های کلان نیروهای مسلح داشته باشد.

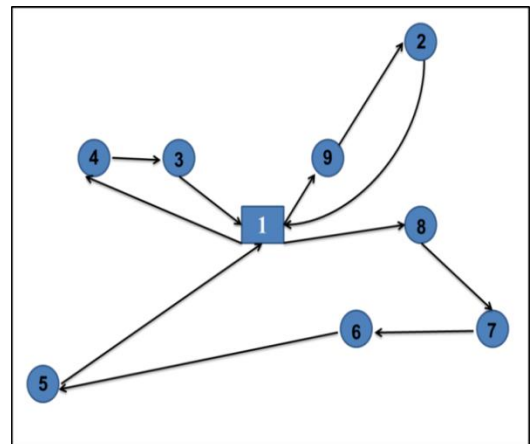
از نیازهای حوزه‌ی لجستیک در زمینه نظامی می‌توان به تأمین به‌موقع تقاضای یگان‌ها و همچنین تأمین تقاضاهای اضطراری اشاره کرد. بعضی از کالاها به خاطر بعضی از مسائل استراتژیک و یا ماهیت فصلی بودن، دچار تقاضای بیشتری در بعضی از برهه‌های زمانی می‌شوند که تأمین این نوع کالاها می‌تواند به پویا بودن سیستم لجستیک و همچنین بیشتر شدن کارایی پشتیبانی و تدارکات نیروها منجر شود. این موضوع زمانی اهمیت رو چندان پیدا می‌کند که در میدان نبرد، تأمین به‌موقع



شکل 1. نحوه‌ی سرویس‌دهی به یگان‌ها با بودجه 25 واحدی



شکل 2. نحوه‌ی سرویس‌دهی به یگان‌ها با بودجه 26 واحدی



شکل 3. نحوه‌ی سرویس‌دهی به یگان‌ها با بودجه 27 واحدی

این نکته قابل‌ذکر است که حداکثر تعداد وسایل نقلیه در این مسئله عدد در نظر گرفته‌شده بود که در حالت‌های بودجه‌ای 25 و 26 واحد از دو عدد از وسایل نقلیه

در این تحقیق برای اولین بار به این موضوع پرداخته شده و یک مدل ریاضی و رویکرد حل برای آن ارائه شده است. لذا با افزودن فرضیات دیگر می توان به کاربردی تر کردن مسئله کمک نمود.

## 7. مراجع

- [1] عیسانی، حسین. (1390). مدیریت لجستیک (کارکردها و فرآیندها، تهران: انتشارات دانشگاه جامع امام حسین (ع)، چاپ اول.
- [2] Golden B., Raghavan S. and Wasil E. (Eds.), (2008). "the vehicle routing problem latest advances and new challenges". Springer US.
- [3] Lee T-R. and Ueng J-H. (1998). "A study of vehicle routing problem with load balancing", International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, vol. 29, pp. 646-648
- [4] Dantzig G.B. and Ramser J.M. (1959). "The truck dispatching problem", Management Science, vol. 6, pp. 81-91.
- [5] El-Sherbeny N. A. (2010). "Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods". Journal of King Saud University (Science), vol. 22, pp.123-131
- [6] Blecha C.J. and Goetschalckx M. (1998). "the vehicle routing problem with backhauls". School of industrial and system engineering Georgia institute of technology. Dissertation.
- [7] Pereira F.B. and Tavares J. (2009). "Bio-inspired algorithm for the vehicle routing problem". Springer
- [8] Parragh M.S.(2009). "Ambulance routing problem with rich constraints and multiple objective". University of wien. Dissertation

تقاضاهای اضطراری نقش اساسی در پیروزی، روحیه و موفقیت یگانها خواهد داشت. در زمان نبرد، کالاهای اضطراری نقشی تعیین کننده برای تعادل نبرد به نفع یگانهای خودی داشته بطوریکه باید سیستم لجستیک سعی در تأمین حداکثری تقاضاهای اضطراری کالاهای اساسی و استراتژیک داشته باشد.

پس از خطی سازی سه محدودیت غیرخطی مدل مسئله، مدل پیشنهادی در نرم افزار **GAMS 23.6.3** کد گردید و سپس مسائل نمونه توسط حل کننده **CPLEX** حل گردید. برای به دست آوردن جواب از محدودیت بودجه ای برای سیستم لجستیک استفاده شد. این محدودیت بودجه ای می تواند نقش بسزایی در کاربردی بودن مدل ارائه شده داشته باشد. بطوریکه تصمیم گیرنده در شرایط اضطراری و استراتژیک می تواند براساس این محدودیت بهترین تصمیم را با توجه به بودجه ای موردنظر خود پیدا و پیاده سازی کند. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه جز مسائل **NP-Hard** بوده و با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل آن به صورت نمایی افزایش می یابد. نتایج نیز حاکی از این بود که زمان حل مسئله با افزایش ابعاد مسئله به طور نمایی رشد می کند.

با توجه به مطالب ارائه شده تقاضاهای اضطراری نقش بسزایی در لجستیک و مسیریابی وسایل نقلیه در ارگانهای نظامی دارد ولی با این وجود در این زمینه تحقیقی صورت گرفته نشده است.