فصلنامه علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال پنجم، شماره دو، تابستان 1400

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

حسین فتح آبادی[1]، صمد آقامحمدی[2]، هادی صحیحی[3]

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 می باشد. تغییرات در محیط نظامی را از چند دیدگاه می توان بررسی نمود. توانایی انتقال و استقرار سریع نیروها در میدان‌های جنگ بسیار ضروری است. حفظ توانایی عملیاتی تا حد زیادی به توانایی پیاده سازی، استقرار و آرایش نیروهای جنگی و واحدهای کمکی دارد. استقرار صحیح نیروها علاوه بر ایجاد بازدارندگی در میدان جنگ، امکان انعطاف پذیری 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 درنهایت مدل ریاضی جدیدی از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به‌صورت 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 پرداخته‌شده و شرح مختصری از آن‌ها ارائه گردیده است. برای اعتبارسنجی مدل ارائه‌شده، مدل فوق در نرم‌افزار **GAMS** کد شده و همچنین مثال نمونه تولید گردیده با نرم‌افزار فوق حل‌شده است. در ادامه نیز به‌منظور ارائه جواب‌های کارا و مؤثر، رویکرد حل ترکیبی مبتنی بر الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و جستجوی محلی طراحی گردیده است. نهایتاً کارایی محاسباتی الگوریتم ارائه‌شده در بررسی تعدادی از مسائل نمونه تولیدشده نشان داده‌شده است می‌باشد.

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

[1] استادیار دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) (نویسند مسئول)fh_ie@yahoo.com

[2] استاد یار دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص)،samadmohammadi.500@gmail.com

[3] sahihi8080@gmail.comکارشناس ارشد لجستیک، دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص)

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-07-04]

1. کلیات

از اهداف برنامه‌ریزی یک سیستم حمل‌ونقل می‌توان به کاهش هزینه‌ها، استفاده بهینه از وسایل نقلیه، افزایش رضایت-مندی مشتریان(یگان‌ها)، ارائه سرویس مناسب در زمان و مکان مناسب و غیره و ازجمله محدودیت‌ها می‌توان به محدود بودن وسایل نقلیه، ظرفیت حمل وسایل، زمان مجاز برای ارائه خدمت و غیره اشاره کرد. باوجود موضوعات اقتصاد مقاومتی در سال-های اخیر، کاهش هزینه‌ها، تأمین به‌موقع تقاضاها اهمیتی دوچندان پیداکرده 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 سرویس-دهی 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 مسئاله

تحول در امور نظامی منوط به ایجاد تحول در لجستیک وپشتیبانی نظامی است. اگر بخواهیم تغییری اساسی در امور نظامی خویش ایجاد نماییم، این تغییر را باید از لجستیک وپشتیبانی نظامی شروع کنیم" وقتی ژنرال "ریمر" دگرگونی در لجستیک نظامی را پیش شرط دگرگونی در امور نظامی دانسته حتماً رهنمود و انگیزهٔ مشخصی را برای جامعه لجستیک ارائه کرده است.» با این حال، مطالعات نشان میدهد، دگرگونی در امور نظامی باعث تحول در لجستیک ودر 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 گفته های 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. بااین‌وجود عدم توجه به این مسائل، می‌تواند شکست نیروها در صحنه نبرد را در پی داشته باشد. به همین منظور مسئاله تحقیق از انجایی ناشی میشود که پرداختن به موضوع تدارکات وپشتیبانی نیروها یکی از مسائل مهم واساسی در پیروزی در صحنه نبرد خواهد داشت.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-07-04]

3. پیشینه

تحقیقـــات نظـــری و کاربردهـــای عملـــی در زمینـــه مسیریابی با معرفی مسئله اعزام کامیون توسط دانتزیگ و رامسر[4] آغاز شد. در این تحقیق، مسئله بهینه کردن مسیر ناوگان حمل گازوئیل بین یک ترمینال اصلی و تعداد زیادی از ایستگاه ها 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 معرفی‌شده 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 ارائه‌شده 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 درخواست-های از پیش تعیین‌شده و درخواست‌های ضروری می-شود. درخواست‌های از پیش تعیین‌شده به درخواست-هایی 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 درخواست-های 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[4] اشاره کرد. در این روش‌ها ابتدا با حل مدل برنامه‌ریزی خطی آزادشده[5] 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

[4] Branch and Bound

[5] Linear Programming Relaxation

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-07-04]

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

در تکرارهای بعدی هر گره فرزند به‌عنوان یک گره والد در نظر گرفته‌شده و از آن دو گره فرزند منشعب می‌شود و درخت مذبور 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 ریاضی طوری 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 کند. 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 درصدد یافتن مسیرهایی باشد که رضایت‌مندی بیشتر یگان‌ها با تأمین به‌موقع تقاضاهای اضطراری را در پی داشته باشد و همچنین درصدد 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 ما محدود می‌باشد.به عبارتی سیستم لجستیک ما، باید تمام تقاضاهای روتین و نرمال یگان‌ها را برآورده کند و همچنین درصدد 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.

1-3 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 مورداستفاده قرار می‌گیرند. نمادها شامل مجموعه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم می‌باشد.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-07-04]

مجموعه اندیس‌ها:

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

پارامترهـــا و متغیرهـــای تصـــمیم بـــرای مـــدل مســـئله موردبررسی:

- $a_i = 1$ اگـــر تقاضـــای اضـــطراری یگـــان i ام برآورده شود در غیر این صورت $a_i = 0$
- $b_i = 1$ اگر وسـیله نقلیـه منتظـر بمانـد تـا تقاضـای اضـطراری یگـان i ام را بـرآورده کنـد در غیـر ایـن صورت $b_i = 0$
- $c_i = 1$ اگـــر تقاضـــای اضـــطراری یگـــان i ام بـرآورده نشـود و تنهـا تقاضـای معمـولی یگـان را برآورده کنیم.
- $X_{ijk} = 1$ اگر گره i بـه گـره j توسـط وسـیله نقلیـه kام پیمـوده شـود (بـه عبـارتی یگـان iبـه یگـان j) در غیر این صورت $X_{ijk} = 0$
- t_i : زمان رسیدن به گرهٔ iام
- q_{ik} : زمان انتظار بعد از رســـیدن به گره i ام برای شـروع سـرویس‌دهی توسـط وسـیله نقلیه kام (زمان انتظار در یگان صفر می‌باشد)
- P_i^1: تقاضای اول یگان iام(تقاضای اضطراری یگان)
- P_i^2:تقاضای دوم یگان iام(تقاضای معمولی یگان)
- $[s_i, f_i]$: پنجره زمانی مختص یگان i ام. به عبارتی یگان i ام در این بازه‌ی زمانی درخواســـت تقاضـــای اضطراری برای کالایی خاص را می‌کند.
- Budget:حداکثر بودجه برای سرویس‌دهی به یگان‌ها
- Q_k : حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه kام
- T_k : حداکثر زمانی است که وسیله نقلیه kام می‌تواند سفر کند.
- d_{ij} : هزینه (مسـافت) گره i تا گره j (مسـافت سـفر متناسب زمان سفر است)
- ts_{ik} : مدت‌زمان سرویس‌دهی به یگان i ام با و سیله نقلیه kام
- ε: یک مقدار بسیار کوچک$\varepsilon \approx 0$
- M: عدد خیلی بزرگ

نهایتاً، مسئله تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر فرمول‌بندی نمود:

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

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

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

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

$$t_i + tS_{ik} + d_{i1} + q_{ik} - M(1 - x_{i1k}) \le T_k \qquad i = 2, \dots, n \;;\; k = 1, \dots, nv \quad (5\text{-}3)$$

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

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

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

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

$$(t_i - f_i) + M(1 - c_i) - \varepsilon \ge 0 \qquad i = 2, \dots, n \quad (10\text{-}3)$$

$$(t_i - s_i) + M(1 - a_i) \ge 0 \qquad i = 2, \dots, n \quad (11\text{-}3)$$

$$f_i) - M(1 - a_i) \le 0 \qquad i = 2, \dots, n \quad (12\text{-}3)$$

$$(t_i - s_i) - M(a_i + c_i) + \varepsilon \le 0 \qquad i = 2, \dots, n \quad (13\text{-}3)$$

$$c_i + a_i + b_i \le 1 \qquad i = 1, \dots, n \quad (14\text{-}3)$$

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

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

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

در مدل‌بالا رابطه‌ی (3-1) تابع هدف بیشـــینه نمودن پوشـــش 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 ملاحظاتی است که برای مصرف سوخت و راحتی رانندگان تعیین می‌شود. محدودیت (3-6) تضمین می‌کند که

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-07-04]

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 آغازشده و به آن ختم شود. محدودیت (3-9) از تشکیل زیر تورها جلوگیری به عمل می‌آورد که در آن Sهر زیرمجموعه اختیاری از مجموعه مشتری‌ها و |S| بیانگر تعداد اعضای مجموعه S می‌باشد. محدودیت (3-11) تضمین می‌کند که اگر $\mathbf{c_i = 1}$ آنگاه حتماً $\mathbf{t_i > f_i}$. محدودیت‌های (3-11) و (3-12) تضمین می‌کند که اگر $\mathbf{a_i = 1}$ آنگاه حتماً $\mathbf{t_i \in [s_i, f_i]}$. محدودیت (3-14) تضمین می‌کند که اگر $\mathbf{c_i = 0}$ و همچنین $\mathbf{a_i = 0}$ آنگاه حتماً $\mathbf{t_i < s_i}$. در روابط (3-11) و (3-13) برای استفاده از نامساوی بزرگ‌تر مساوی به‌جای نامساوی بزرگ‌تر، به ترتیب مقدار □ کسر و اضافه‌شده است. محدودیت (3-14) تضمین می‌کند که در صورت یک شدن $\mathbf{c_i}$ و یا $\mathbf{a_i}$ ؛ $\mathbf{b_i}$ مقدار صفر اختیار کند. در محدودیت (3-15) مدت‌زمان انتظار در گره iام محاسبه می‌شود. رابطه (3-16) محدودیت بودجه‌ای سیستم لجستیک می‌باشد. محدودیت‌های متغیرهای تصمیم در رابطه (3-17) نشان داده‌شده 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**حل‌شده 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 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 ($\mathbf{x}$) و عمودی ($\mathbf{y}$) یگان‌ها، تقاضای نرمال($\mathbf{P_i^2}$) و اضطراری ($\mathbf{P_i^1}$) ، مدت‌زمان سرویس‌دهی به یگان‌ها ($\mathbf{ts_{ik}}$) و همچنین بازه‌ی زمانی مد نظر هر یگان برای دریافت تقاضای اضطراری [$\mathbf{s_i, f_i}$] 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.

قابل‌ذکر است که تعداد یگان‌ها در این مسئله 8 عدد و مؤلفه‌ی اول هر یک از پارامترها برای دپو می‌باشد. قابل‌ذکر است که حداکثر تعداد وسایل نقلیه نیز 3 عدد می‌باشد. مسئله فوق در سه حالت مختلف، در حداکثر بودجه های 25، 26 و 27 حل‌شده 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 ذکرشده 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 تأمین‌شده 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

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-07-04]

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 ســـرویس و همچنین مســـائل استراتژیک می‌تواند مفید واقع شود. در مسئله فوق مسافت سفر متناسب بازمان سفر در نظر گرفته شده است که می‌توان با در نظر گرفتن یک تابع تســطیح کننده برای تناســب فوق در مدل ریاضی اضافه کرد.

جدول 2. زمان رسیدن به هر یک از یگان‌ها

شماره یگان‌ها	حالت اول با بودجه 25	حالت دوم با بودجه 26	حالت سوم 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 شـــماره 3، 4 و 5 هر یک از پارامترهای **a**، **b** و **c** برای هر یک از بودجه‌های 25،26 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 $\mathbf{a_i = 0}$ خواهد گرفت؛ اگر وسیله نقلیه منتظر بماند تا تقاضای اضطراری یگان **i** ام را برآورده کند**b** مقدار یک در غیر این صورت $\mathbf{b_i = 0}$ 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

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

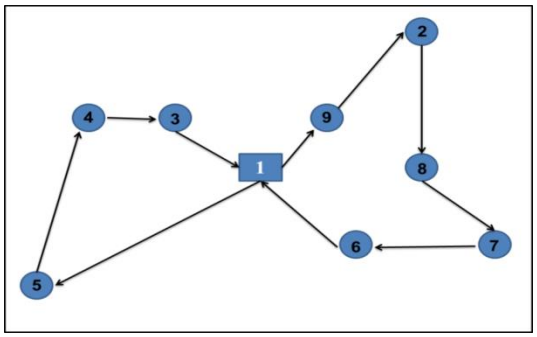
شماره یگان	c	b	a
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	0	1
4	1	0	0
5	0	0	1
6	0	0	1
7	0	0	1
8	0	0	1
9	0	1	0

جدول 5. پارامترهای مسئله در حالت بودجه 27 واحدی

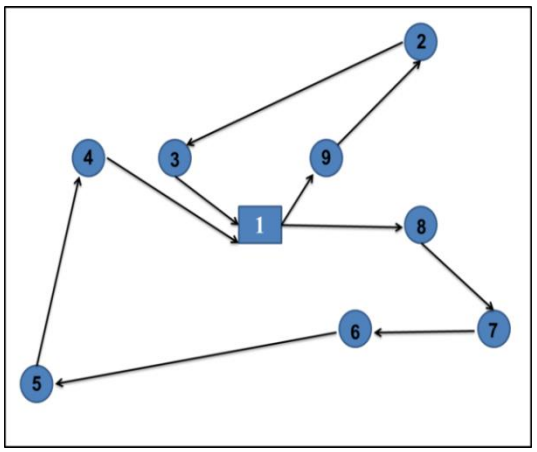
شماره یگان	c	b	a
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	0
4	0	0	1
5	0	0	1
6	0	0	1
7	0	0	1
8	0	0	1
9	0	1	0

نحوه‌ی سرویس‌دهی به یگان‌ها برای حالت بودجه 25،26 و 27 واحدی به‌طور شماتیک در شکل شماره 1، 2 و 3 آورده شده است.

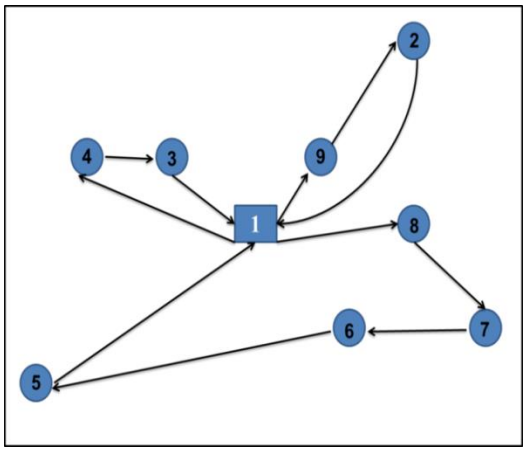
[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-07-04]



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 مورداستفاده قرار گرفته‌شده است ولی در حالت بودجه‌ای 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

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-07-04]

تقاضـاهای اضـطراری نقـش اساسـی در پیـروزی، روحیـه و موفقیـت یگـان‌هـا خواهـد داشـت. در زمـان نبـرد، کالاهـای اضـطراری نقشـی تعیین‌کننـده بـرای تعـادل نبـرد بـه نفـع یگـان‌هـای خـودی داشـته بطوریکـه بایـد سیسـتم لجسـتیک سـعی در تـأمین حـداکثری تقاضـاهای اضـطراری کالاهـای اساسی و استراتژیک داشته باشد.

پس از خطی سـازی سـه محـدودیت غیرخطـی مـدل مسـئله، مـدل پیشـنهادی در نرم‌افـزار **GAMS 23.6.3** کـد گردیـد و سـپس مسـائل نمونـه توسـط حل‌کننـده **CPLEX** حـل گردیـد. بـرای بـه دسـت آوردن جـواب از محـدودیت بودجـه‌ای بـرای سیسـتم لجسـتیک اسـتفاده شـد. ایـن محـدودیت بودجـه‌ای مـی‌توانـد نقـش بسـزایی در کـاربردی بـودن مـدل ارائه‌شـده داشـته باشـد. بطوریکـه تصـمیم‌گیرنده در شـرایط اضـطراری و اسـتراتژیک مـی‌توانـد براسـاس ایـن محـدودیت بهتـرین تصـمیم را بـا توجـه بـه بودجـه‌ی مـوردنظر خـود پیـدا و پیاده‌سـازی کنـد. مسـئله مسـیریابی وسـایل نقلیـه جـز مسـائل **NP-Hard** بـوده و بـا افـزایش ابعـاد مسـئله، زمـان حـل آن به‌صـورت نمـایی افـزایش مـی-یابد. نتایج نیـز حـاکی از ایـن بـود کـه زمـان حـل مسـئله بـا افزایش ابعاد مسئله به‌طور نمایی رشد می‌کند.

بـا توجـه بـه مطالـب ارائه‌شـده تقاضـاهای اضـطراری نقـش بســزایی در لجســتیک و مســیریابی وســایل نقلیــه در ارگان‌هـای نظـامی دارد ولـی بـااین‌وجود در ایـن زمینـه تحقیقی صورت گرفته نشده است.

در این تحقیق برای اولین بار به این موضوع پرداخته‌شده و یک مدل ریاضی و رویکرد حل برای آن ارائه‌شده است. لذا با افزودن فرضیات دیگر می‌توان به کاربردی‌تر کردن مسئله کمک نمود.

7. مراجع

[1] عیسایی، 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

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-07-04]