



Presentation of a Decision-Making Model for Long-Term Storage (Conservation) of Defense Items (Case Study: Armor Equipments)

Mehran Mohammadi, Saeed Khalili * , Saeed Ramezani , Masoud Msadegh-Khah

* Phd. Student, Industrial Engineering Department, Imam Hossein Compressive University, Tehran, Iran.

(Received: 04/12/2024, Revised: 06/01/2025, Accepted: 11/02/2025, Published: 10/03/2025)

DOR: 20.1001.1.20089198.1403.26.85.6.

ABSTRACT

Long-term storage (conservation) of defense items, as one of the vital issues in military asset management, plays a key role in the defense readiness of the armed forces and reducing the overall costs of equipment maintenance. In peacetime, with the reduction of military activities, many defense equipment changes to reserve (storage) mode and is reused in operational use in war or emergency situations. There are various methods for conserving defense items, so maintenance management must select methods for conserving reserve equipment that, while maintaining the equipment's functional capabilities and reducing overall maintenance costs, allow for rapid conversion from reserve to operational status for this equipment in the event of critical conditions. The purpose of this article is to help senior decision-makers in military equipment maintenance management make optimal decisions in the field of reserve equipment conservation. For this purpose, and considering constraints such as allocated budget and the capacity of centers' conservation operations, a nonlinear dual-objective mathematical model is presented. This mathematical model will determine how much of each type of equipment should be preserved and by what method, so as to maximize the readiness of the equipment while minimizing overall maintenance costs. Implementing the proposed model with the help of data available at one of the country's military conservation centers reflects an increase in the readiness of preserved equipment and a significant reduction in overall maintenance costs throughout the equipment's life cycle.

Keywords: Long Term Storage of Equipment ,Conservation ,Multi Objective Decision Making, Nonlinear Mathematical Model

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

 Authors



* Corresponding Author Email: s.khalili1367@yahoo.com

ارائه مدل تصمیم گیری برای نگهداری طولانی مدت (کنسرواسیون) اقلام دفاعی (مطالعه موردی: ادوات زرهی)

مهران محمدی^۱، سعید خلیلی^{۲*}، سعید رضائی^۳، مسعود مصدق خواه^۴

۱- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، مرکز مهندسی سیستم‌ها، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران ۲- پژوهشگر مرکز مهندسی سیستم‌ها، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران ۳- استادیار مرکز مهندسی سیستم‌ها، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران ۴- دانشیار مرکز مهندسی سیستم‌ها، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

DOR: 20.1001.1.20089198.1403.26.85.6

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷

چکیده

نگهداری طولانی مدت (کنسرواسیون) اقلام دفاعی به عنوان یکی از موضوعات حیاتی در مدیریت دارایی‌های نظامی، نقش کلیدی در آمادگی دفاعی نیروهای مسلح و کاهش هزینه‌های کلی نگهداشت تجهیزات ایفا می‌کند. در دوران صلح، با کاهش فعالیت‌های نظامی، بسیاری از تجهیزات دفاعی به حالت رزرو (ذخیره) تغییر وضعیت می‌دهند و در مواقع جنگی یا اضطراری، مجدد مورد استفاده عملیاتی قرار می‌گیرند. روش‌های مختلفی برای کنسرواسیون اقلام دفاعی وجود دارد و لذا مدیریت نگهداشت باید روش‌هایی را برای عملیات کنسرواسیون تجهیزات رزرو انتخاب نماید که ضمن حفظ قابلیت‌های عملکردی تجهیزات و کاهش هزینه‌های کلی نگهداشت، در صورت مواجهه با شرایط بحرانی، امکان تبدیل سریع از وضعیت رزرو به وضعیت عملیاتی برای این تجهیزات میسر باشد. هدف از نگارش این مقاله، کمک به تصمیم‌گیران ارشد مدیریت نگهداشت تجهیزات نظامی در اتخاذ تصمیمات بهینه در حوزه کنسرواسیون تجهیزات ذخیره می‌باشد. به این منظور و با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی همچون بودجه تخصیص یافته و ظرفیت عملیات کنسرواسیون مراکز، یک مدل ریاضی دودسته غیرخطی ارائه شده است. این مدل ریاضی تعیین خواهد کرد که از هر نوع تجهیز، چه تعداد و با چه روشی کنسروه شود تا ضمن حداکثر شدن میزان آمادگی تجهیزات، هزینه‌های کلی نگهداشت حداقل گردد. اجرای مدل پیشنهادی با کمک داده‌های موجود در یکی از مراکز کنسرواسیون نظامی کشور، افزایش میزان آمادگی تجهیزات کنسرو شده و کاهش معنادار هزینه‌های کلی نگهداشت در طول چرخه عمر تجهیزات را منعکس می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: نگهداری طولانی مدت تجهیزات، کنسرواسیون، تصمیم‌گیری چندهدفه، مدل ریاضی غیرخطی، اقلام دفاعی، تخصیص بودجه

۱- مقدمه

به عنوان نمونه در ماده ۶۵ آئین‌نامه انضباطی آمده است: فرماندهان، رؤسا و مدیران مسئول اصلی اجرای دقیق روش‌های نگهداری و تعمیر در یگان مربوطه می‌باشند و موظف هستند در حفظ، نگهداری و آماده نگه‌داشتن اموال و تجهیزات در یگان خود و حسن استفاده از آن‌ها تلاش نمایند.

از سوی دیگر، با توجه به شرایط فعلی کشور و دشمنی قدرت‌های مستکبر و در رأس آن‌ها آمریکای جهان‌خوار با نظام جمهوری اسلامی و اعمال تحریم‌های ناجوانمردانه علیه ایران اسلامی، موضوع مدیریت دارایی‌ها و نگهداشت صحیح، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در چنین شرایطی، نگهداری بهینه و استفاده حداکثری از تجهیزات موجود و عمردهی و استفاده

نگهداشت و استفاده مناسب از اموال و دارایی‌ها در استمرار انجام مأموریت سازمان‌ها نقش حساس و ارزنده‌ای را بر عهده دارد و اعمال مدیریت صحیح در نگهداری و به کارگیری آن‌ها در ادامه فعالیت و بقای سازمان‌ها بسیار مهم و قابل تأمل است.

موضوع نگهداری بهینه از تجهیزات و دارایی‌ها در سازمان، خصوصاً در سازمان‌های نظامی از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است به گونه‌ای که در مواد مختلفی از آئین‌نامه انضباطی نیروهای مسلح، به بحث نگهداشت و مدیریت بهینه دارایی‌ها پرداخته شده است.

* رایانامه نویسنده مسئول: s.khalili1367@yahoo.com

برای مدت زمان زیادی در پارکینگ متوقف شده‌اند نیز نیاز به نگهداری منظم و یا بازرسی‌های دوره‌ای دارند تا در زمان نیاز، کارایی و آمادگی آن‌ها حفظ شده و از بروز مشکلات جدی در زمان به‌کارگیری مجدد آن‌ها جلوگیری به عمل آید.

بهره‌گیری از دانش نوین در نگهداری طولانی‌مدت تجهیزات دفاعی و اعمال روش‌های مؤثر علمی و کاربردی، ارائه آموزش‌های هدفمند و مؤثر و نظارت مستمر برای بالا بردن اثربخشی و کارایی تجهیزات، اهمیت دادن مسئولان و فرماندهان به امر نگهداری و بازدیدهای تخصصی، رعایت اصول نگهداری در حین ذخیره‌سازی عملیاتی و بهره‌برداری از تجهیزات، نقش بسزایی در افزایش عمر تجهیزات، جلوگیری از بروز خسارات، اطمینان از عملکرد مناسب، کاهش ضایعات، استفاده از عمر مفید آن‌ها و کاهش هزینه‌های تعمیرات و افزایش توان عملیاتی رده‌ها خواهد داشت. آنچه مهم است این است که تجهیزات چه در شرایط عادی و چه در شرایط بحران باید آمادگی عملیاتی بالایی داشته باشند. لذا ایجاد یک سیستم نگهداشت مطلوب و پویا برای تجهیزاتی که در شرایط عادی بکار گرفته نمی‌شوند، یک ضرورت اساسی می‌باشد.

در دوران صلح، عدم ایجاد یک سامانه مطلوب برای حفظ و نگهداشت تجهیزات نظامی در مواجهه با شرایط و عوامل مخرب محیطی، می‌تواند به اندازه یک نیروی مهاجم در دوران جنگی، به نیروهای نظامی یک کشور آسیب وارد نماید. بهترین عنوان برای این لشکر تهاجمی نامرئی، "عوامل پنهان" است. به طور مثال در نیروی دریایی، در شرایط عادی ۳۰ درصد از شناورها در شرایط مأموریت‌ها استفاده می‌گردد و ۷۰ درصد از شناورها در شرایط عادی و غیرجنگی بکار گرفته نمی‌شوند. در صورتی که این شناورها در آب باشند، هزینه سالانه نگهداری و تعمیرات آن نسبت به زمانی که این شناورها بیرون از آب نگهداری شوند بسیار بیشتر خواهد بود. با توجه به سوابق عملکرد چند ساله، مشخص شده است که متوسط هزینه نگهداری شناورها در خارج از آب، یک سوم هزینه نگهداری شناورهایی است که در آب نگهداری می‌شوند و ازسویی دیگر، طول عمر شناورهای نگهداری شده در آب، یک دوم طول عمر شناورهایی است که بیرون از آب نگهداری می‌شوند. همچنین سرمایه‌گذاری لازم برای ساخت سازه‌های دریایی (اسکله، حوضچه و موج‌شکن برای شناورها) به مراتب بیشتر از ساخت و تخصیص فضا و مکان (سوله و...) در ساحل، نیازمند تخصیص بودجه می‌باشد. با توجه به موارد فوق و تمام شاخص‌های اقتصادی و استخراج نرم هزینه‌های مربوطه، این نتیجه حاصل می‌گردد که از نظر اقتصادی و عملیاتی، جهت حفظ بهینه آمادگی تجهیزات نظامی لازم است هر چه سریع‌تر نسبت به طراحی و تدوین سیستم‌های خاص نگهداشت تجهیزات دفاعی و ذخیره‌سازی آن‌ها، برنامه‌ریزی و اقدامات لازم انجام شود [۳].

مجدد از تجهیزات خاص و راهبردی، امری مهم و اجتناب‌ناپذیر خواهد بود [۱، ۲].

مسئله نگهداشت ادوات و خودروهای عملیاتی در تعداد زیاد و برای مدت زمان بلندمدت، یکی از چالش‌های اصلی نیروهای نظامی در سراسر جهان به شمار می‌آید. یک خودرو نظامی ممکن است به دلایل مختلفی، از سطح تجهیزات عملیاتی خارج شده و به حالت ذخیره یا رزرو، تغییر وضعیت دهد و ممکن است برحسب نیاز در هر زمان دیگری مجدد به حالت عملیاتی خود بازگردد. چنانچه صحبت از ذخیره‌سازی طولانی مدت^۱ ادوات و قرارگیری آن‌ها در حالت رزرو مطرح باشد، مسئله مدت زمان این ذخیره‌سازی به میان می‌آید، زیرا ذخیره‌سازی می‌تواند برای دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان مدت و بلندمدت صورت گیرد. ذخیره‌سازی ادوات و تجهیزات نظامی می‌تواند برای یک دوره چندماهه یا چندساله تا دوره‌های طولانی مدت چند دهه‌ای انجام شود.

شرایط محیطی و آب و هوایی همچون بارش باران، وجود مه و رطوبت بالا، تابش نور آفتاب، سرد و گرم شدن هوا در طول شب و روز، بارش برف و... شرایط مختلفی را جهت ذخیره‌سازی در فصول مختلف و مناطق مختلف طلب می‌کند. هر کدام از این عوامل محیطی می‌تواند بر روی تجهیزات، ادوات و خودروها تأثیر مخرب و فرسایشی داشته باشد. به عنوان نمونه تابش اشعه ماورای بنفش که طیفی از نور آفتاب است می‌تواند بر روی بخش‌های لاستیکی و پلاستیکی اثر مخرب داشته باشد. بارش باران صرف‌نظر از مسئله رطوبتی که ایجاد می‌کند و منجر به زنگ‌زدگی می‌شود، می‌تواند عناصر مخرب دیگری به همراه داشته باشد؛ مشخصاً آب باران در دسته آب‌های خالص قرار نمی‌گیرد و همواره بخشی از عناصری که می‌توانند در ایجاد و تسریع فرسایش و تخریب ادوات نقش داشته باشند به همراه آب باران هستند. به طور کلی باید باکسب شناختی کامل از میزان آسیب‌پذیری اجزای مختلف تجهیزات در مقابل عوامل متفاوت؛ با بهره‌گیری از روش‌های نوین علمی از فرسایش و آسیب تجهیزات توسط عوامل مخرب محیطی جلوگیری بعمل آورد.

اکثر تجهیزاتی که به واسطه انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد، به مرور زمان مستهلک شده و از عمر آن‌ها کاسته خواهد شد بنابراین لازم است برنامه مدونی برای نگهداشت آنها در نظر گرفت. اما این موضوع بدان معنا نیست که تجهیزاتی که زیاد کار نمی‌کنند و مدت زمان زیادی خاموش هستند، هیچ‌گونه احتیاجی به عملیات نگهداشت ندارند و این طرز تفکر کاملاً اشتباه است. به عنوان مثال انواع تجهیزات زره‌ای و خودرویی که

¹ Preservation or Conservation

خوردگی و اکسیداسیون است. مواد جاذب رطوبت نیز از گذشته برای جذب رطوبت و ممانعت بر خورد آب با فلز مطرح بوده‌اند. در این بین کاربرد عملی بازدارنده‌های بخار فاز خوردگی در سال‌های اخیر رایج شده است.

بر اساس بررسی‌های به عمل آمده، راجع به دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های تعمیراتی و به‌کارگیری تانک‌ها و نفربرهای زرهی بلوک شرق و دستورالعمل‌های خودروهای قدیمی مانند تانک T54، T55 و نفربر BMP-1 مشخص می‌گردد که سیستم نظامی بلوک شرق با محوریت شوری در گذشته به نگهداری بلندمدت تجهیزات خود، توجه چندانی نداشتند. لیکن در دستورالعمل‌های تجهیزات جدیدتر خود مانند BMP-2، T-72M و T-72S به تفصیل درباره آماده‌سازی آنها برای نگهداری کوتاه‌مدت (کمتر از یک سال) و بلندمدت (بیشتر از یک سال) و همچنین در مورد نحوه آماده بکار نمودن مجدد تجهیزات کنسرو شده اشاره شده است.

یکی از دلایل توجه اخیر بلوک شرق به نگهداری بلندمدت و کوتاه‌مدت خودروهای زرهی، این است که در این کشورها، خودروهای زرهی به تعداد زیادی تولید شده است؛ به‌طوری‌که علیرغم صادرات گسترده آنها به سایر کشورها و همچنین الحاق تعداد زیادی از آنها به سازمان رزم کشورهای خود، همچنان تعداد زیادی خودرو زرهی مازاد باقی‌مانده است. در نتیجه یکی از راهکارهای مواجهه با این چالش، نگهداری خودروهای مازاد به کمک عملیات ذخیره‌سازی بلندمدت (کنسرواسیون) می‌باشد.

مطالعه دستورالعمل‌های خودروهای زرهی موجود در ارتش جمهوری اسلامی که باقی‌مانده از قبل انقلاب هستند، نشان می‌دهد که در این دستورالعمل‌ها اطلاعات قابل ذکر درباره نگهداری طولانی‌مدت تانک‌ها وجود ندارد ولی با بررسی آیین‌نامه‌های فنی جدیدتر خودروهای زرهی و مجموعه‌های مربوطه، معلوم می‌شود که در 32 سال گذشته ارتش آمریکا روی این موضوع مطالعه و بررسی فراوانی انجام داده و ماحصل این تحقیقات، در اسناد و دستورالعمل‌های متعدد منتشر شده است. از جمله این دستورالعمل‌ها، می‌توان به دستورالعمل حمل‌ونقل و نگهداری تانک‌های M-60 سری (MIL-T-45309E) اشاره کرد. این دستورالعمل‌ها در سال‌های 1983 و 1990 مورد بازبینی و اصلاح‌گرفته و سطح فنی آنها ارتقاء یافته است [۴].

یکی از محدودیت‌های ذخیره‌سازی تجهیزات، بحث نگهداری آنها در حالت غیرفعال است. تکامل IEM از سال ۱۹۷۴ به عنوان یک روش پیشرفته برای کاهش نیازمندی‌های PM S در طول دوره‌های اورهال، دوره قابل استفاده و دیگر دوره‌های طولانی غیرفعالی تجویز شده است. IEM در مستندسازی سیستم نگهداری برنامه‌ریزی شده (PM S) وارد شده است. این امر شامل انبار شدن، نگهداری دوره‌ای، شروع به کار و آزمایش‌های عملیاتی

تعیین و انتخاب نوع سیستم نگهداشت بهینه؛ به نوع تجهیزات، مدت زمان مورد انتظار برای عدم فعالیت تجهیزات و زمان مورد نیاز برای بازگرداندن تجهیزات به وضعیت سرویس‌دهی بستگی دارد. نگهداری طولانی‌مدت عملیاتی یک مبارزه مداوم با شرایط محیطی و آب و هوایی است. شرایط نگهداری تجهیزات دفاعی با توجه به حساسیت‌ها و ویژگی‌های منحصر به فرد آن، از اهمیت بالایی برخوردار است. از آنجا که این تجهیزات و یا قطعات آنها بنا به دلایل راهبردی مدت‌های زیادی در انبار نگهداری می‌شوند و یا حتی در معرض عوامل نامطلوب جوی قرار می‌گیرند، حفظ آنها در برابر صدمات مکانیکی و فیزیکی دشوار است. لذا شرایط نگهداری آن باید طوری تعریف و اجرا شود که در تمام شرایط مذکور از ایجاد خسارت جلوگیری به عمل آید.

در چنین شرایطی یکی از راهکارهای مناسب برای نگهداشت تجهیزات دفاعی، سرمایه‌گذاری برای نگهداری طولانی‌مدت تجهیزات می‌باشد که ضمن جلوگیری از ایجاد آسیب‌های احتمالی و کاهش هزینه‌های ناشی از عدم آمادگی رزمی در زمان وقوع جنگ، می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات گردد.

با توجه به طرح مسئله مذکور، هدف از این پژوهش، ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوهدفه جهت تعیین مقادیر بهینه ذخیره‌سازی هر یک از تجهیزات نظامی و انتخاب بهترین روش کنسرو کردن تجهیزات، با هدف کاهش هزینه‌های ذخیره‌سازی و افزایش آمادگی تجهیزات می‌باشد. بنابراین باتوجه به ماهیت مسئله موردبررسی روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش از منظر نوع هدف، کاربردی می‌باشد.

ساختار ادامه مقاله چنین است که ابتدا در بخش دوم، ادبیات و پیشینه موضوع نگهداشت اقلام دفاعی و کنسرواسیون بررسی می‌شود. در بخش سوم، به تشریح مدل پیشنهادی و معرفی اجزای توابع هدف و محدودیت‌های مدل پرداخته می‌شود. در بخش چهارم برای روشن شدن ابعاد مدل پیشنهادی و نحوه استفاده و عملکرد مدل، به کمک داده‌های یکی از مراکز نظامی کشور، یک مثال عددی حل و در مورد نتایج آن بحث می‌شود. سرانجام، بخش پنجم مقاله به نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی اختصاص می‌یابد.

۲- پیشینه پژوهش

کنسرواسیون تجهیزات مسئله جدیدی نیست. برای جلوگیری از اتصال آب به فلز که نوع شایعی از خوردگی است، از روش‌های بسیاری استفاده شده است. سابقه این موضوع به استفاده از انواع گریس و روغن به منظور حائل شدن بین آب و فلز برمی‌گردد، که گذشته‌هاست استفاده از آنها مرسوم می‌باشد. روش دیگر، آبکاری گالوانیزه یا آنودایز و روش‌های دیگر پوشش‌دهی با مواد مقاوم به

تحلیل قرار دادند و به میزان قابل توجهی به ویژگی‌های مهم‌ترین محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی سطح فولاد پرداخته اند. این مقاله نتایج آزمایش‌های محصولات خوردگی را که از نمایشگاه‌های سلاح و تجهیزات نظامی از موزه نظامی بلگراد گرفته شده است، ارائه می‌کند [۱۰].

روچا و همکاران (۲۰۲۳) وضعیت حفاظت از ساختارهای دفاعی سازه‌های خاکی و نتایج مداخلات انجام شده در طول تاریخ در جنوب غربی شبه جزیره ایبری ارزیابی را ارزیابی کردند. این مقاله مصالح و تکنیک‌های ساخت را شناسایی و علل اصلی زوال و پوسیدگی آنها را بررسی کردند. با تمرکز بر متداول‌ترین آسیب‌های شناسایی شده در سازه‌های دفاعی نظامی تاریخی ساخته شده با RE، رایج‌ترین تکنیک‌هایی را که برای تعمیر و حفاظت از این سازه‌های خاص مورد استفاده قرار گرفته‌اند، را تحلیل و بحث کردند [۱۱].

طاهری و گوکلانی [۳] کنسروه کردن (ذخیره‌سازی) تجهیزات نظامی و دریایی را به عنوان راهکاری برای جلوگیری از خوردگی بیان کرده و تعدادی از روش‌های نگهداری طولانی مدت ادوات را معرفی می‌کنند.

الله کرم و همکاران (۱۳۸۴) روش‌های حفاظت از خوردگی در سازمان‌های نظامی را مورد بحث قرار داده و بیان می‌کنند استفاده از سیستم بازدارنده‌های خوردگی فاز بخار به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جهت کنترل خوردگی تجهیزات نظامی هنگام نقل و انتقال، انبارداری قطعات و ذخیره‌سازی تجهیزات در حال گسترش می‌باشند [۱۴].

مقدسی و همکاران (۱۳۹۸) چارچوبی به منظور سنجش و مقایسه میزان سبز بودن فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در صنایع نظامی ارائه کردند. آنها پس از استخراج شاخص‌های سبز بودن نگهداری و تعمیرات نظامی، با استفاده از تکنیک AHP به ارزیابی و اولیت‌بندی این شاخص‌ها پرداختند. نتایج تحقیق آنها حاکی از آن است که در صنایع نظامی به ترتیب معیارهای استفاده از فناوری، تجهیزات و ماشین‌آلات دارای آلودگی کمتر برای محیط زیست رتبه اول، معیار کنترل میزان تولید گازهای خطرناکی چون آمونیاک و CO₂ رتبه دوم و معیار برنامه‌های آموزشی محیط‌زیست برای کارکنان و مدیران رتبه سوم را کسب کردند [۱۵].

خلیلی و موسوی ابریکوه (۱۴۰۲) عوامل محیطی مخرب موثر بر تجهیزات نظامی به ویژه خودروها و موتورسیکلت‌ها را شرح دادند و راهکارهایی جهت بهبود مدیریت نگهداری آنها در دوره کنسرواسیون ارائه نمودند. این راهکارها به تفکیک برای قطعات لاستیکی و پلاستیکی، سیالات، ترمز دستی و باتری خودرو بیان گردید [۱۶].

است. برای یک تجهیز ویژه، روش‌های IEM ممکن است در هر زمان که تجهیز به مدت ۳۰ روز یا بیشتر خارج از سرویس باشد استفاده شود. PM S نگهداری حداقل تجهیزات را وقتی که یک تجهیز عملیاتی است فراهم می‌کند. به هر حال، یک برنامه نگهداری تغییر یافته برای جلوگیری از تخریب تجهیزات در طول دوره غیرفعالیتی هنگامی که حمایت‌های کامل PM S مطلوب و عملی نباشد مورد نیاز است. هدف IEM کاهش PM S به حداقل، در طول دوره غیرفعالیتی طولانی است که با حالت تجهیزات، بدون ایجاد تخریب یا به خطر انداختن اعتبار آینده عملیاتی دستگاه متناسب است [۳].

مشکل پیری و زوال تسلیحات و تجهیزات در یک دوره طبیعی (چرخه عمر) تنها به کشور ما محدود نمی‌شود بلکه همه‌ی کشورهای توسعه یافته و حتی کشورهای تا دندان مسلح و سرآمد در حوزه‌های دفاعی نیز آن را تجربه می‌نمایند [۵]. در حال حاضر، سالانه میلیون‌ها دلار تحقیقاتی برای مبارزه با خوردگی و نگهداشت تجهیزات هزینه می‌شود.

پژوهش‌هایی که عمدتاً در این حوزه صورت گرفته‌اند به معرفی روش‌های عملی نگهداری طولانی مدت با توجه به ویژگی‌های ذاتی و مورد نیاز قطعات و قسمت‌های مختلف تجهیزات یا بررسی کارایی و اثربخشی یک روش نگهداری خاص پرداخته‌اند و از آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ژانکا [۶] در پژوهشی مربوط به نیروی هوایی ارتش ایالات متحده آمریکا، موضوع نگهداری و ذخیره‌سازی طولانی مدت مواد و تجهیزات در مناطق گرمسیری استوایی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

ویگنتی و همکاران [۷] در مقاله‌ای انواع پیشگیری بکار گرفته شده توسط سازمان‌های نظامی و چندین کاربرد آزمایشگاهی و میدانی محصولات و سیستم‌های بازدارنده خوردگی فاز بخار را که با موفقیت توسط سازمان‌های نظامی در سرتاسر جهان استفاده می‌شوند، را شرح می‌دهد.

هاینز بلوخ [۸] در پژوهشی به ذخیره‌سازی ماشین‌آلاتی که غیرفعال شده است می‌پردازد و دستورالعمل‌هایی در این خصوص ارائه می‌دهد. وی در پژوهشی دیگر توضیح می‌دهد که چگونه می‌توان پمپ‌ها را با عملکردی مناسب به طور مداوم مورد بهره‌برداری قرارداد به طوری که هزینه‌های نت آنها کاهش یابد. او در پژوهش‌های دیگری به مدیریت علمی ماشین‌آلات و روانکاری آنها با روغن پرداخته است [۹]. بلوخ و شمیم که از آن‌ها می‌توان در زمینه ذخیره‌سازی و نگهداری ماشین‌آلات استفاده کرد.

بروجویچ و همکاران (۲۰۱۲) شرایط وقوع فرآیندهای خوردگی را بر روی سلاح‌های مهم تاریخی و تجهیزات نظامی ساخته شده از فولاد در طول دوره در محیط بیرون مورد تجزیه و

آلودگی و ... بر تجهیزات و اشیا برای مبارزه با تغییرات محیطی، از استراتژی‌های کنترل محیطی مختلفی استفاده می‌کنند. به عنوان مثال گرد و غبار و زباله‌های میکروسکوپی می‌توانند روی مصنوعات بنشینند و باعث آسیب شوند. فیلترهای مهارکننده ذرات با راندمان بالا (HEPA) به محدود کردن گرد و غبار و زباله‌های خورنده از نشست روی مصنوعات کمک می‌کند. آنها برای مقابله با آفات و حشرات پروتکل مشخصی دارند. همچنین برای آماده‌سازی برای رویدادهای اضطراری، یک طرح آمادگی اضطراری ایجاد کرده‌اند که نحوه واکنش به شرایط اضطراری و بازیابی مصنوعات را مشخص می‌کند. آنها نحوه برخی از تجهیزات و مصنوعات موجود در موزه را به طور جزئی شرح داده‌اند [۱۸].

خلاصه پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در جدول ۱ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود در هیچ یک از مقالات مورد مطالعه، مدل ریاضی جهت تعیین تعداد بهینه هرتجهیز برای کنسرو شدن و همچنین تعیین روش بهینه کنسرواسیون برای هرتجهیز ارائه نشده است. درواقع در اکثر تحقیقات این حوزه به بیان یک سری پیشنهادات مدیریتی کلی بسنده شده است. حال آنکه امکان سنجش نتایج خروجی حاصل از پیاده‌سازی این پیشنهادات و راهکارها بطور دقیق قابل بررسی نمی‌باشد. لذا دراین مقاله سعی شده است که با ارائه یک مدل ریاضی دقیق جهت بهینه‌سازی مسئله کنسرواسیون تجهیزات نظامی پاسخ مناسبی به این خلاء تحقیقاتی داده شود.

جدول (۱)، خلاصه پژوهش‌های انجام شده در زمینه کنسرواسیون تجهیزات را نمایش می‌دهد.

جدول (۱): خلاصه پژوهش‌های انجام شده در زمینه کنسرواسیون تجهیزات

ردیف	مقاله	مدل ریاضی	نواوری	کشور	حوزه کاری
۱	ژانکا (۱۹۶۳)	ندارد	ذخیره‌سازی طولانی‌مدت مواد و تجهیزات در مناطق گرمسیری استوایی	آمریکا	نیروی هوایی
۲	بلوخ و شمیم (۱۹۹۸)	ندارد	مدیریت علمی ماشین‌آلات و روانکاری	آمریکا	ماشین‌آلات صنعتی
۳	ویگنتی و همکاران (۲۰۰۳)	ندارد	محصولات و سیستم‌های بازدارنده خوردگی فاز بخار	سراسر جهان	سازمان‌های نظامی
۴	هاینز بلوخ (۲۰۰۳)	ندارد	ذخیره‌سازی ماشین‌آلات غیرفعال	آمریکا	ماشین‌آلات صنعتی
۵	بروجویچ و همکاران (۲۰۱۲)	ندارد	تجزیه و تحلیل خوردگی تجهیزات فولادی	صربستان	سلاح‌های مهم تاریخی و تجهیزات نظامی
۶	بلوخ و بانیستر (۲۰۲۰)	ندارد	مدیریت علمی ماشین‌آلات و روانکاری	آمریکا	ماشین‌آلات صنعتی
۷	بلوخ و بودریس (۲۰۲۱)	ندارد	کاهش هزینه‌های نگهداری پمپ‌ها	آمریکا	ماشین‌آلات صنعتی
۸	روچا و همکاران (۲۰۲۳)	ندارد	حفاظت از ساختارهای دفاعی سازه‌های خاکی	اسپانیا	بناهای دفاعی باستانی
۹	طاهری و گوکلانی (۱۳۸۳)	ندارد	معرفی روش‌های نگهداری طولانی‌مدت ادوات	ایران	تجهیزات دریایی
۱۰	الله کرم و همکاران (۱۳۸۴)	ندارد	سیستم بازدارنده‌های خوردگی فاز بخار	ایران	سازمان‌های نظامی
۱۱	مقدسی و همکاران (۱۳۹۸)	ندارد	سنجش و مقایسه میزان سبز بودن فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در صنایع نظامی	ایران	صنایع نظامی
۱۲	خلیلی و موسوی (۱۴۰۲)	ندارد	ارائه راهکارهایی جهت بهبود مدیریت نگهداری خودروها و موتورسیکلت‌ها در دوره کنسرواسیون	ایران	تجهیزات نظامی
۱۳	سعید و همکاران، (۲۰۱۷)	ندارد	بررسی علل تخریب ساختاری در وسایل نقلیه بزرگ در محیط موزه	انگلستان	موزه نظامی
۱۴	هانتز و همکاران (۲۰۲۲)	ندارد	تشریح فرایندهای نگهداری از مصنوعات و تجهیزات در موزه ارتش مرزی	آمریکا	موزه نظامی
۱۵	محمدی و همکاران (۱۴۰۲) [۱۹]	ندارد	معرفی عوامل مخرب تجهیزات و تشریح فرایندهای نگهداری طولانی مدت (کنسرواسیون) در مورد ادوات زرهی	ایران	تجهیزات نظامی
۱۶	پژوهش حاضر	مدل ریاضی چندهدفه	ارائه یک مدل ریاضی دوهدفه غیرخطی برای تعیین تعداد بهینه هر تجهیز جهت ذخیره سازی و تعیین روش بهینه کنسرو کردن هر تجهیز.	ایران	تجهیزات نظامی

بخش دیگر تحقیقات انجام شده در خصوص نگهداری طولانی‌مدت تجهیزات مربوط به فعالیت‌های نگهداری در موزه‌ها است. به عنوان نمونه موزه تانک بووینگتون طی یک همکاری با دانشگاه بورنموث توسط پروفیسور ذوالفقار خان، دکتر عادل سعید و پروفیسور مارک هادفیلد از گروه تحقیقاتی نانوکور، انرژی و مدل‌سازی (NCEM) در بخش طراحی و مهندسی، از سال ۲۰۰۹ به بررسی علل تخریب ساختاری در وسایل نقلیه بزرگ در محیط موزه پرداخته‌اند. پروفیسور خان و گروهش مجموعه‌ای از مدل‌های عددی را توسعه داده‌اند که به آن‌ها اجازه می‌دهد از راه دور خرابی‌های ساختاری و تعمیر و نگهداری خودروها و دیگر سازه‌های مهندسی پیچیده و بزرگ را نظارت و پیش‌بینی کنند. آن‌ها ادعا می‌کنند که فناوری مدل‌سازی امکان تجزیه و تحلیل ساختاری سریع‌تر و قابل اعتمادتر را نسبت به گذشته فراهم می‌کند. این سرعت و دقت بیشتر در پیش‌بینی خرابی‌های سازه‌ای و در نتیجه توانایی کاهش مشکلات باعث صرفه‌جویی در هزینه، زمان و نیروی کار برای موزه تانک شده است [۱۷].

هانتز و همکاران (۲۰۲۲) نحوه بررسی، کار، جابه‌جایی و نگهداری طولانی مدت تجهیزات در موزه در ارتش مرزی را شرح دادند. در مقاله آنها بیان شد که برخی تجهیزات تنها ۳ تا ۶ ماه قابل نمایش در موزه هستند. و این برای جلوگیری از مشکلات و آسیب‌های بعدی ناشی از قرار گرفتن در معرض عناصر مختلف مانند تغییرات دما و نور است. منسوجات به صورت مسطح و پر شدن با مواد مخصوص ذخیره‌سازی می‌شوند. آنها بیان کردند که به دلیل اثرگذاری زیاد شرایط محیطی مانند دما، رطوبت، نور،

تخصیص بهینه بودجه در نظر گرفته شده برای عملیات کنسرواسیون حائز اهمیت می باشد.

در این پژوهش اداره‌ای از یک سازمان نظامی با توجه به بودجه تخصیص داده شده جهت عملیات کنسرواسیون قصد دارد تعدادی از تجهیزات را به صورت بلندمدت ذخیره‌سازی کند تا به هنگام نیاز آن‌ها در یگان‌ها مورد استفاده قرار گیرند. عوامل مختلفی بر تعداد درخواست (طرح‌های عملیاتی، تهدیدات احتمالی آینده و...) برای ذخیره‌سازی تجهیز اثر می‌گذارد. این اداره باید با توجه به قیمت‌های بازسازی و ذخیره‌سازی تجهیز، سرمایه‌گذاری مورد نیاز و با در نظر گرفتن محدودیت‌های بودجه‌ای و ظرفیتی در رابطه با تعداد تجهیزاتی که بایستی ذخیره شود و نحوه ذخیره‌سازی آن‌ها تصمیم‌گیری نماید.

در ابتدای افق برنامه‌ریزی تعداد و نحوه ذخیره تجهیزات مشخص می‌گردد. بعد از گذشت طول دوره کنسرواسیون، در صورت لزوم تعداد تجهیزات کنسرو شده افزایش می‌یابد. در غیراین صورت همان تجهیزات مجدد کنسرو می‌شوند. همچنین ممکن است تعدادی از تجهیزات دیگر کنسرو نشوند.

در ادامه به منظور تصمیم‌گیری در مورد تعداد بهینه هر تجهیز که باید کنسرو شود و بهترین روش کنسرواسیون برای هر نوع تجهیز، یک مدل برنامه‌ریزی دو هدفه ارائه شده است. هدف اول حداکثر کردن سطح آمادگی تجهیزات و هدف دوم حداقل نمودن هزینه‌ها شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، ارتقا سطح کیفی برای انجام کنسرواسیون، انجام کنسرواسیون و نگهداری و تعمیرات تجهیزات کنسرو نشده می‌باشد. برای دستیابی به این اهداف محدودیت‌هایی وجود دارد. ظرفیت ذخیره‌سازی هر روش و بودجه در دسترس و مدت کنسرواسیون تجهیزات با هر روش محدود می‌باشد. همچنین تجهیزاتی که قصد کنسرو کردن آنها را داریم باید از حداقل سطح سلامت جهت کنسرو شدن (کسب لیاقت کنسرو شدن تجهیز) را کسب کنند.

۳-۱- مفروضات مسئله

۱. در مسئله موردبررسی چند نوع تجهیز برای ذخیره‌سازی وجود دارد.
۲. کلیه پارامترهای مدل ازجمله هزینه بازسازی و هزینه ذخیره‌سازی برای هر تجهیز نظامی، مشخص و قطعی است.
۳. دوره کنسرو ماندن هر تجهیز با هر روش متفاوت و مشخص است.
۴. ظرفیت انجام هر یک از روش‌های کنسرواسیون تجهیزات محدود هست.
۵. مسئله در حالت چند دوره‌ای بررسی می‌شود.
۶. افق برنامه‌ریزی محدود است

به‌طورکلی می‌توان گفت اکثر پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه نگهداری طولانی‌مدت خودروها و تجهیزات به ارائه روش‌ها و دستورالعمل‌هایی برای حفاظت از بخش‌های مختلف تجهیزات در یک بازه زمانی مدنظر پرداخته‌اند و تاکنون پژوهشی برای تعیین انتخاب بهینه از بین روش‌های ذخیره‌سازی و تعیین تعداد بهینه تجهیزات جهت کنسرو شدن به کمک مدلسازی ریاضی ارائه نشده است. با توجه به این شکاف تحقیقاتی در این پژوهش به ارائه یک مدل ریاضی برای تعیین تعداد تجهیزات کنسرو شده در هر دوره و انتخاب روش بهینه ذخیره‌سازی هر تجهیز پرداخته شده است.

۳- تشریح مسئله و مدل پیشنهادی

در هر سازمانی در طی دوران به‌کارگیری و بهره‌برداری از تجهیزات، همواره لازم است تا هزینه‌هایی جهت نگهداشت اصولی آن تجهیزات صرف گردد. درواقع هزینه‌های نگهداری و تعمیرات برای عملیاتی نگه داشتن تجهیزات، جز لاینفکی از هزینه‌های یک سازمان نظامی محسوب می‌شود. اگر سازمانها نسبت به نگهداشت تجهیزات خود برنامه مشخصی نداشته باشند و یا در تخصیص بودجه جهت پیاده‌سازی برنامه‌های نگهداشت تجهیزات خود خساست به خرج دهند یا سهل‌انگارانه از هزینه‌کرد در این حوزه خودداری نمایند؛ آنگاه این تجهیزات به مرور زمان دچار فرسودگی و استهلاک مضاعف شده و کارایی عملیاتی خود از دست می‌دهند. در نتیجه تعداد تجهیزات عملیاتی کاهش می‌یابد و طبیعتاً از توان رزم سازمان نیز کاسته می‌شود و سازمان ناچار باید اقدام به جایگزینی و در صورت امکان بازسازی تجهیزات خود نماید. درحالیکه در بسیاری از موارد هزینه‌های جایگزینی و بازسازی به مراتب بیشتر از هزینه‌های نگهداشت تجهیزات می‌باشد. در یک سازمان نظامی بودجه‌هنگفتی جهت انجام این امور برای هر یک از تجهیزات در نظر گرفته می‌شود. با صرف قسمتی از این بودجه در امر سرمایه‌گذاری یا اجرای نگهداری طولانی‌مدت تجهیزات دفاعی (به منظور رسیدن به حالت ایده‌آل در نگهداشت تجهیزات برای اینکه تا حد امکان اصلاً خرابی اتفاق نیافتد)، می‌توان تا حد زیادی از هزینه‌های نگهداشت یک تجهیز کاست و توان رزم سازمان را در مواقع بحران افزایش داد.

فعالیت‌های نگهداری طولانی‌مدت تجهیزات می‌تواند آمادگی عملیاتی و وضعیت سلامت تجهیزات را بهبود بخشد که به نوبه خود باعث افزایش صرفه جویی در هزینه‌های نگهداشت تجهیز می‌شود. از سوی دیگر فعالیت‌های نگهداری طولانی‌مدت تجهیزات، هزینه‌هایی را به سازمان تحمیل می‌کند؛ بنابراین،

N_{ij}	تعداد تجهیز نوع i که به ازای آن یک واحد (INV_{ij}) سرمایه گذاری اولیه برای کنسرو کردن به روش j انجام می شود.
F_j	حداکثر ظرفیت انجام عملیات کنسرواسیون از روش j ام در هر دوره
D_{it}	حداقل تعداد مورد نیاز تجهیز نوع i که باید در دوره t کنسرو گردد.
A_{ij}	میزان افزایش آمادگی تجهیز i که با روش j ام کنسرو می شود.
LB_{ijt}	حداقل تعداد تجهیز نوع i که در دوره t با روش j کنسرو می شود.
UB_{ijt}	حداکثر تعداد تجهیز نوع i که در دوره t با روش j کنسرو می شود.
LB_{ijt}''	کران پایین متغیر $\emptyset_{ijt}$
UB_{ijt}''	کران بالای متغیر $\emptyset_{ijt}$

متغیرهای تصمیم:

x_{ijt}	تعداد تجهیز نوع i که در دوره t با روش j ام کنسرو می شود.
W_{it}	تعداد تجهیزات کنسرو نشده نوع i در دوره t .
y_{ijt}	$\left\lfloor \frac{x_{ijt}}{N_{ij}} \right\rfloor$
θ_{ijt}	$\begin{cases} x_{ijt} > x_{ij(t-1)} = 1 & \text{اگر} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$
$\emptyset_{ijt}$	$x_{ijt} - x_{ij(t-1)}$
ϑ_{ijt}	ضرب دو متغیر θ_{ijt} و $\emptyset_{ijt}$
σ_{ijt}	ضرب دو متغیر θ_{ijt} و x_{ijt}

۳-۳-۳ مدل ریاضی

۳-۳-۱-۳ توابع هدف

در این مسئله دو تابع هدف وجود دارد.

تابع هدف اول به دنبال حداکثر کردن میزان افزایش آمادگی تجهیزات در حالت کنسرواسیون نسبت به حالت نگهداشت مرسوم و جاری تجهیزات می باشد. این تابع هدف نشان می دهد که نگهداری طولانی مدت تجهیزات به چه اندازه می تواند بر میزان آمادگی تجهیزات تأثیرگذار باشد. میزان افزایش آمادگی هر تجهیز بستگی به روشی که کنسرو می شود دارد؛ بنابراین می توانیم با ضرب تعداد تجهیز نوع i که با روش j کنسرو می شود در میزان افزایش آمادگی برای هر تجهیز نوع i .

۷. مسئله دارای دو هدف است.

۸. بودجه در اختیار برای ذخیره سازی طولانی مدت محدود می باشد.

۹. برخی از تجهیزات قبل از انجام عملیات ذخیره سازی، لازم است جهت کسب لیاقت کنسرو شدن، ارتقا وضعیت و سلامت پیدا کند.

۱۰. میزان اهمیت ذخیره سازی تجهیزات متفاوت می باشد.

۱۱. اگر از یک تجهیز در دوره t تعدادی کنسرو شود تا پایان دوره کنسرواسیون یعنی تا $t + \tau_{ij}$ از این تجهیز دیگر کنسرو نخواهد شد.

$$x_{ijt} * x_{ijt'} = 0$$

$$t' = t + 1, \dots, t + \tau_{ij} - 1$$

۳-۲- مجموعه ها، پارامترها، متغیرها

در این زیر بخش مجموعه ها، اندیس ها، پارامترها و متغیرهای مدل پیشنهادی تعریف می شوند.

مجموعه ها:

مجموعه تجهیزات	$i=1, \dots, n$	I
مجموعه روش های ذخیره سازی	$j=1, \dots, m$	J
مجموعه دوره های زمانی	$t=1, \dots, T$	T

پارامترها:

C_{oi}	هزینه سالانه تعمیر و نگهداری تجهیز نوع i در صورتی که کنسرو نشود.
C_{1ij}	هزینه لازم برای کسب لیاقت کنسرو شدن تجهیز نوع i با روش j
C_{2i}	هزینه های مستمر سالانه در طول دوره کنسرواسیون برای تجهیز نوع i
C_{3ij}	هزینه کنسرو کردن تجهیز نوع i با روش j
α_i	میزان اولویت تجهیز نوع i برای کنسرو شدن
β_i	نسبتی از کل تجهیز نوع i که قبل از عملیات کنسرو شدن نیاز به ارتقا وضعیت دارد.
W_i	تعداد کل تجهیزات i در اختیار
τ_{ij}	دوره کنسرو ماندن تجهیز نوع i که با روش j ام کنسرو می شود.
T	طول افق برنامه ریزی مورد نظر
B_{max}	حداکثر بودجه تخصیص یافته از سوی ستاد کل جهت عملیات کنسرواسیون
INV_{ij}	سرمایه گذاری لازم برای کنسرو کردن تجهیز نوع i با روش j ام

$$W_{i(t+1)} = W_{it} - \sum_{j=1}^m (x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}) \quad \forall j, t \quad (5)$$

$$W_{i0} = W_i \quad (6)$$

دسته سوم هزینه‌ها، هزینه‌ای می‌باشد که در طول دوره کنسرواسیون تجهیزات پرداخت می‌شود مانند هزینه‌های بازرسی‌ها، تست‌های دوره‌ای و ... این هزینه با استفاده از رابطه (۷) به‌سادگی محاسبه می‌گردد.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T C_{2i} * (W_i - W_{it}) \quad (7)$$

دسته چهارم هزینه‌ها، هزینه کنسرو کردن تجهیزات می‌باشد. با توجه به اینکه مدت‌زمان ذخیره‌سازی تجهیز i به روش ذخیره‌سازی j ، τ_{ij} می‌باشد، یک تجهیز نوع i در ابتدای هر بازه زمانی τ_{ij} نیاز به کنسرو شدن دارد. هزینه کنسرواسیون عبارت است از:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^T C_{3ij} * x_{ijt} \quad (8)$$

$$x_{ijt} * x_{ijt'} = 0 \quad t' = t + 1, \dots, t + \tau_{ij} - 1 \quad (9)$$

دسته آخر هزینه‌ها، هزینه ارتقا وضعیت (کسب لیاقت) برای کنسرواسیون تجهیزات می‌باشد؛ زیرا تجهیز کنسرو می‌شود که عاری از هرگونه عیب و ایرادی باشد. همان‌گونه که بیان گردید β_i درصد از تجهیزات نوع i برای انجام ذخیره‌سازی طولانی‌مدت نیاز به ارتقا وضعیت و سلامت دارند.

در زمان $t = 1$ این هزینه برابر $\beta_i * C_{1ij} * x_{ij1}$ می‌باشد. اگر در زمان $((t-1)\tau_{ij} + 1)$ تجهیز از کنسرو بودن خارج شود، این هزینه تغییری نمی‌کند ولی کنسرو کردن هر تجهیز جدید هزینه‌ای برابر $\beta_i * C_{1ij}$ اضافه می‌کند. به عبارتی اگر $x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}$ از $x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}$ بیشتر باشد هزینه کسب لیاقت تجهیزات جدید به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد. برای این منظور متغیر باینری $\theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}$ را تعریف می‌کنیم که اگر میزان تجهیزات کنسرو شده در دوره $((t-1)\tau_{ij} + 1)$ (بیشتر از دوره $((t-2)\tau_{ij} + 1)$ باشد برابر ۱ و درغیراین صورت برابر صفر است.

یعنی A_{ij} میزان کل افزایش آمادگی برای کلیه تجهیزات نوع i را به دست آورد. از سوی دیگر چون درجه اهمیت هر تجهیز نسبت به سایر تجهیزات متفاوت است، برای محاسبه افزایش آمادگی کل تجهیزات باید مجموع وزنی آن‌ها محاسبه شود. نهایتاً این هدف را با عبارت (۱) تعریف می‌کنیم:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^T \alpha_i * A_{ij} * x_{ijt} \quad (1)$$

همان‌گونه که بیان گردید α_i نشانگر میزان اهمیت و ارجحیت تجهیز برای ذخیره‌سازی نسبت به سایر تجهیزات است. بدین معنا که از نظر خبرگان دارای اهمیت راهبردی‌تر است و نقش مهم‌تری در توان رزمی داشته و آمادگی آن‌ها برای یگان‌ها از نظر عملیاتی در انجام مأموریت‌های محوله حائز اهمیت است.

هدف دوم حداقل سازی کل هزینه‌های نگهداشت و ذخیره‌سازی طولانی‌مدت است. این هزینه‌ها شامل پنج دسته هزینه می‌باشد. دسته اول هزینه سرمایه‌گذاری اولیه است. به ازای هر N_{ij} تجهیز که قرار است کنسرو شود، هزینه سرمایه‌گذاری INV_{ij} را خواهیم داشت. بنابراین

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^T \left(\frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} + 1 \right) INV_{ij} \quad (2)$$

$$x_{ij(t-\tau_{ij})} = 0, t \leq \tau_{ij} \quad (3)$$

طبیعتاً درصدی از تجهیزات برای انجام مأموریت‌های محوله بایستی در یگان‌ها به‌کارگیری شده تا پاسخگوی نیازها و تهدیدات احتمالی باشند؛ بنابراین دسته دوم هزینه‌ها، هزینه نگهداری و تعمیرات تجهیزاتی است که کنسرو نمی‌شوند. برای این که این تجهیزات در کوتاه‌مدت دچار خرابی و توقف نشوند، نیاز به اجرای اقدامات نت دارند. تجهیزات کنسرو نشده نوع i در هر دوره W_{it} است. لذا کل هزینه نگهداری و تعمیرات تجهیزات کنسرو نشده را از عبارت (۴) به دست می‌آوریم.

$$\sum_{i=1}^n C_{oi} * \sum_{t=1}^T W_{it} \quad (4)$$

جهت تکمیل روابط عبارت (۵) و (۶) به محدودیت‌ها اضافه می‌شود:

هزینه‌های انجام‌شده سازمان برای انجام کنسرواسیون شامل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در ابتدای هر دوره، هزینه کسب لیاقت لازم جهت کنسرو شدن و هزینه کنسرو کردن هر تجهیز، نبایستی از بودجه تخصیص‌یافته برای انجام عملیات کنسرواسیون بیشتر باشد؛ بنابراین محدودیت اول به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\left| \frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} \right| + 1 \right) INV_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{3ij} * x_{ijt} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_i * C_{1ij} * (x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} - x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}) * \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq \beta_{max} \quad \forall t \quad (13)$$

تعداد تجهیز نوع i که به روش‌های مختلف ذخیره‌شده است، نمی‌تواند از تعداد تجهیزات موجود نوع i (یعنی W_i) بیشتر گردد. همچنین همه تجهیزات موجود در یگان‌ها به حالت ذخیره در نمی‌آیند و بنا بر نیاز و صلاحدید فرماندهان، تهدیدات موجود و طرح‌های عملیاتی تعدادی از تجهیزات برای حیات و حسن انجام مأموریت یگان‌ها، در حالت عملیاتی باقی می‌مانند (W_{it}). با توجه به اینکه مسلم است $W_{it} \leq W_i$ بنابراین محدودیت تعداد تجهیز ذخیره‌شده به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\sum_{j=1}^m x_{ijt} \leq W_{it} \quad \forall i, t \quad (14)$$

از سوی دیگر با توجه به نیازسنجی‌ها و پیش‌بینی‌های صورت گرفته، حداقل تعدادی از هر تجهیز باید ذخیره گردد.

$$\sum_{j=1}^m x_{ijt} \geq D_{it} \quad \forall i, t \quad (15)$$

حداکثر ظرفیت انجام عملیات کنسرواسیون از هر کدام از روش‌ها در هر دوره نیز محدود است و بنابراین محدودیت زیر تعریف می‌گردد:

$$\sum_{i=1}^n x_{ijt} \leq F_j \quad \forall j, t \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=2}^{\frac{T}{\tau_{ij}}} \beta_i * C_{1ij} * (x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} - x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}) * \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \quad (10)$$

در نتیجه کل هزینه مربوطه را می‌توان از رابطه (۱۱) به دست آورد.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_i * C_{1ij} * x_{ij1} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=2}^{\frac{T}{\tau_{ij}}} \beta_i * C_{1ij} * (x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} - x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}) * \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \quad (11)$$

با توجه به موارد فوق‌الذکر تابع هدف دوم مسئله که عبارت است از حداقل سازی کل هزینه‌های ذخیره‌سازی طولانی‌مدت به صورت عبارت (۱۲) تجمیع و محاسبه می‌شود.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^T \left(\left| \frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} \right| + 1 \right) INV_{ij} + \sum_{i=1}^n C_{oi} * \sum_{t=1}^T W_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T C_{2i} * (W_i - W_{it}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^T C_{3ij} * x_{ijt} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_i * C_{1ij} * x_{ij1} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=2}^{\frac{T}{\tau_{ij}}} \beta_i * C_{1ij} * (x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} - x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}) * \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \quad (12)$$

۳-۲- محدودیت‌ها

پس از تعریف تابع هدف، به معرفی و تعیین محدودیت‌های مسئله می‌پردازیم.

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\left| \frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} \right| + 1 \right) INV_{ij} \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{3ij} * x_{ijt} \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_i * C_{1ij} \\
& * (x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
& - x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}) \\
& * \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
& \leq \beta_{max} \quad \forall t \\
& \sum_{j=1}^m x_{ijt} \leq W_{it} \quad \forall i, t \\
& \sum_{j=1}^m x_{ijt} \geq D_{it} \quad \forall i, t \\
& \sum_{i=1}^n x_{ijt} \leq F_j \quad \forall j, t \\
& x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \geq \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
& * x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)} \quad \forall i, j, t \\
& x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq (M\theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} + 1) \\
& * x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)} \quad \forall i, j, t \\
& x_{ijt} * x_{ijt'} = 0 \quad \forall t, t' \\
& \quad = t + 1, \dots, t + \tau_{ij} - 1 \\
& W_{i(t+1)} = W_{it} - \sum_{j=1}^m (x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}) \quad \forall j, t \\
& W_{i0} = W_i \quad \forall i \\
& x_{ij(t-\tau_{ij})} = 0, t \leq \tau_{ij} \\
& x_{ijt} \in N, \quad \theta_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, t
\end{aligned}$$

۴-۳- خطی سازی مدل

همان گونه که مشاهده می شود در تابع هدف و محدودیت های مدل ارائه شده هم ضرب متغیرها در یکدیگر و هم یک عبارت جزء صحیح مشاهده می شود بنابراین مدل ارائه شده غیرخطی

نوع متغیرها نیز به صورت زیر تعریف می شود:

$$\begin{aligned}
& x_{ijt} \in N, \quad \theta_{ijt} \\
& \in \{0,1\} \quad \forall i, j, t \quad (17)
\end{aligned}$$

با توجه به تعریف متغیر $\theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}$ روابط زیر باید برقرار باشد:

$$\begin{aligned}
& x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \geq \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
& * x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)} \quad \forall i, j, t \quad (18)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq (M\theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} + 1) \\
& * x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)} \quad \forall i, j, t \quad (19)
\end{aligned}$$

که M یک عدد ثابت بزرگ می باشد.

بنابراین مدل ریاضی مسئله به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned}
& \max \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_i * A_{ij} * x_{ijt} \quad (20) \\
& \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^T \left(\left| \frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} \right| + 1 \right) INV_{ij} \\
& + \sum_{i=1}^n C_{oi} * \sum_{t=1}^T W_{it} \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T C_{2i} * (W_i - W_{it}) \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^T C_{3ij} * x_{ijt} \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_i * C_{1ij} * x_{ij1} \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=2}^{\frac{T}{\tau_{ij}}} \beta_i * C_{1ij} \\
& * (x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
& - x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}) \\
& * \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}
\end{aligned}$$

Subject to :

$$\begin{aligned}
& \max \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_i * A_{ij} * x_{ijt} \\
& \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^{\tau_{ij}} (y_{ijt} + 1) INV_{ij} \\
& \quad + \sum_{i=1}^n C_{oi} * \sum_{t=1}^T W_{it} \\
& \quad + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T C_{2i} * (W_i \\
& \quad - W_{it}) \\
& \quad + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^T C_{3ij} * x_{ijt} \\
& \quad + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_i * C_{1ij} * x_{ij1} \\
& \quad + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=2}^{\tau_{ij}} \beta_i * C_{1ij} \\
& \quad * (x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
& \quad - x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}) \\
& \quad * \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}
\end{aligned} \tag{۲۹}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ijt} + 1) INV_{ij} \\
& \quad + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{3ij} * x_{ijt} \\
& \quad + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_i * C_{1ij} \\
& \quad * (x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
& \quad - x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}) \\
& \quad * \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
& \leq \beta_{max} \quad \forall t
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{j=1}^m x_{ijt} \leq W_{it} \quad \forall i, t \\
& \sum_{j=1}^m x_{ijt} \geq D_{it} \quad \forall i, t
\end{aligned}$$

است. لذا در این بخش از پژوهش به خطی سازی مدل می پردازیم.

عبارات $(x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} - x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}) * \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}$ که ضرب دو متغیر است، باعث غیرخطی شدن مدل شده است. برای خطی سازی از روش ویدال^۱ و گوتسالكس^۲ (۲۰۰۱) استفاده می کنیم. در این روش، یک کران پایین و سپس یک کران بالا برای هر یک از متغیرهای پیوسته ارائه می گردد.

$$\begin{aligned}
\phi_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} &= x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
&- x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)}
\end{aligned} \tag{۲۱}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} &= x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)} \\
&* \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}
\end{aligned} \tag{۲۲}$$

$$\begin{aligned}
\vartheta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} &= \phi_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
&* \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}
\end{aligned} \tag{۲۳}$$

$$\begin{aligned}
LB_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} &\leq x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
&\leq UB_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}
\end{aligned} \tag{۲۴}$$

$$\begin{aligned}
LB''_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} &\leq \phi_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \\
&\leq UB''_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}
\end{aligned} \tag{۲۵}$$

عبارت $x_{ijt} * x_{ijt}'$ نیز ضرب دو متغیر می باشد و باعث غیرخطی شدن مدل شده است.

$$\begin{aligned}
\delta_{ijt} &= x_{ijt} * x_{ijt}', \quad t' \\
&= t + 1, \dots, t + \tau_{ij} \\
&- 1
\end{aligned} \tag{۲۶}$$

$$LB_{ijt} \leq x_{ijt} \leq UB_{ijt}$$

$$\begin{aligned}
LB_{ijt} * LB_{ijt} &\leq \delta_{ijt} \\
&\leq UB_{ijt} \\
&* UB_{ijt} \quad \forall i, j, t
\end{aligned} \tag{۲۷}$$

عبارت $\left[\frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} \right]$ نیز باعث غیرخطی شدن مدل شده است. برای خطی سازی آن متغیر عدد صحیح $y_{ijt} = \left[\frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} \right]$ را تعریف می کنیم. عبارت زیر به محدودیت ها اضافه می گردد:

$$\begin{aligned}
& \frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} - 1 \leq y_{ijt} \\
& \leq \frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} \quad \forall i, j, t
\end{aligned} \tag{۲۸}$$

عبارات و محدودیت های فوق در مدل قبل جایگذاری می گردد.

^۱ Vidal

^۲ Goetschalckx

۴- مطالعه موردی: حل مدل و تحلیل نتایج

در این بخش برای پیاده‌سازی و تحلیل عملکرد مدل پیشنهادی، از مجموعه داده‌های یکی از مراکز نظامی استفاده شده است که در کشور ما کار تعمیر، بازسازی و اورهال تانک و تجهیزات زرهی و همچنین ذخیره‌سازی طولانی‌مدت آن‌ها را بر عهده دارد، این مرکز وظیفه تعمیر، بازسازی، اورهال و ارتقاء انواع تانک و نفربر و خودروهای مهندسی را به عهده دارد. معمولاً در جنگ‌ها یکی از تجهیزاتی که به سبب رویارویی با دشمن آسیب می‌بیند تانک‌ها و نفربرها هستند. همچنین هر خودروی زرهی یک مدت زمان مشخص به عنوان عمر اورهال دارد که پس از به پایان رسیدن این مدت زمان، برای انجام عملیات اورهال به این مرکز ارسال می‌شوند. معمولاً خط اورهال در شرایط جنگ باید این توانمندی را داشته باشد تا بتواند نیازهای صحنه نبرد را تأمین کند. برای همین، زیرساخت‌های لازم و نیروی انسانی متخصص و تجهیزات کافی برای آن زمان باید تعبیه شده باشد. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات در مورد هزینه‌های مختلف در رابطه با کنسرواسیون تجهیزات و سایر اطلاعات مورد نیاز از نظرات کارشناسان و نیز اطلاعات گذشته ذخیره‌سازی عملیاتی در حوزه زرهی استفاده شده است. سپس این اطلاعات در مدل ریاضی پیشنهادی در بخش چهارم مورد استفاده قرار می‌گیرد و در ادامه با استفاده از روش معیار جامع [۲۰] مدل پیشنهادی حل می‌گردد.

۴-۱- داده‌ها و پارامترهای مسئله

در ادامه و پس از بررسی اطلاعات تاریخی و یا مصاحبه با کارشناسان مرکز مورد مطالعه پارامترهای احصاء شده از مطالعه موردی در قالب جداول (۲) تا (۹) نشان داده شده است.

جدول (۲): هزینه‌های نگهداشت سالیانه و کسب لیاقت کنسرواسیون

هزینه	هزینه نگهداشت سالیانه (C _{oi}) (تومان)	متوسط هزینه لازم جهت کسب لیاقت کنسرواسیون تجهیز (C _i) (تومان)
خودروی تاکتیکی (۱)	۱۳,۰۰۰,۰۰۰	۷۰۰,۰۰۰,۰۰۰
نفربر (۲)	۱۶,۰۰۰,۰۰۰	۳,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
تانک (۳)	۱۶,۰۰۰,۰۰۰	۳,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰

$$\sum_{i=1}^n x_{ijt} \leq F_j \quad \forall j, t$$

$$x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \geq \sigma_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \quad \forall i, j, t$$

$$x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq \left(M\sigma_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} + x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)} \right) \quad \forall i, j, t$$

$$W_{i(t+1)} = W_{it} - \sum_{j=1}^m \left(x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})} \right) \quad \forall j, t$$

$$W_{i0} = W_i \quad \forall i$$

$$x_{ij(t-\tau_{ij})} = 0, t \leq \tau_{ij}$$

$$\frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} - 1 \leq y_{ijt} \leq \frac{x_{ijt} - x_{ij(t-\tau_{ij})}}{N_{ij}} \quad \forall i, j, t$$

$$\phi_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} = x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} - x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)} \quad \forall i, j, t$$

$$LB_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq x_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq UB_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}$$

$$LB''_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq \phi_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq UB''_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}$$

$$\sigma_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq x_{ij((t-2)\tau_{ij}+1)} \quad \forall i, j, t$$

$$\theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} * LB_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq \sigma_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq UB_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} * \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \quad \forall i, j, t$$

$$\vartheta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq \phi_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \quad \forall i, j, t$$

$$\theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} * LB''_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \leq \vartheta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}$$

$$\leq \theta_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)}$$

$$* UB''_{ij((t-1)\tau_{ij}+1)} \quad \forall i, j, t$$

$$LB_{ijt} * LB_{ijt} \leq \delta_{ijt}$$

$$\leq UB_{ijt}$$

$$* UB_{ijt} \quad \forall i, j, t$$

$$x_{ijt}, \phi_{ijt}, \sigma_{ijt}, \vartheta_{ijt}, y_{ijt} \in N, \quad \forall i, j, t$$

$$\in \{0,1\} \quad \forall i, j, t$$

ذخیره سازی عملیاتی هستند. در این مثال پس از مصاحبه با تعدادی از خبرگان و کارشناسان امر، ارزش و وزن کنسروه کردن تانک و نفربر به دلیل گران قیمت بودن و تاثیر آن ها در ارتقاء توان رزم، برابر عدد ۲ و دیگر خودروهای تاکتیکی دارای ارزش و وزن معادل عدد یک ۱ در نظر گرفته شده است زیرا خودروهای تاکتیکی بیشتر در یگان مورد استفاده قرار گرفته و از طرفی پیدا کردن قطعات یدکی و تعمیرات آن ها سختی چندانی ندارد، به عبارتی دیگر فرماندهان تمایلی کمتری برای کنسروه کردن آن ها دارند.

جدول (۵): اهمیت یا ارجحیت یک تجهیز برای ذخیره سازی

تجهیز	خودرو تاکتیکی (a ₁)	نفربر (a ₂)	تانک (a ₃)
ضریب اهمیت	۱	۲	۲

۴-۴- عدد آمادگی تجهیزات

عدد آمادگی هر تجهیز با ارزیابی زیرسیستم ها و مجموعه هایی از تجهیز که میزان آمادگی تجهیز را نشان می دهد معین شده و در سامانه ارزیابی آمادگی تجهیزات ثبت می گردد. بنابراین عدد آمادگی هر تجهیز منحصر به فرد بوده و ممکن است در سال های مختلف دچار تغییرات گردد. مثلاً برای یک تانک ۱۶۴ سنجه از زیر سیستم های تانک مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد و برای هر سنجه نیز با توجه به نقش و اهمیت آن در عملکرد عملیاتی تانک وزنی تخصیص داده شده که پس از میانگین گیری وزنی کلیه سنجه ها، عدد آمادگی کلی تانک محاسبه شود.

در این پژوهش برای اینکه بتوان نتایج حاصل از پژوهش را به صورت کمی بیان کرد، با مشورت خبرگان و کارشناسان رده کاربر، فرض گردید اگر تجهیزات با روش جاری و مرسوم نگهداشت در رده، نگهداری شوند، میزان آمادگی آنها ۹۰٪ خواهد بود و هر کدام از روش های کنسرواسیون بسته به نوع روش به اندازه ی مشخصی سبب افزایش درصد آمادگی تجهیز می گردند. در این پژوهش سه روش کنسرواسیون در نظر گرفته شده و هر کدام می تواند عدد آمادگی تجهیز را نسب به حالتی که تجهیز کنسروه نگردد، مقداری افزایش دهد که در جدول زیر میزان افزایش آمادگی تجهیزات نشان داده شده است:

هزینه کنسرواسیون تجهیزات با هر کدام از روش های ذخیره سازی عملیاتی با استفاده از لیست مواد مصرفی مورد نیاز جهت هر کدام به دست آمد که در جدول (۳) نشان داده شده است:

جدول (۳): هزینه های کنسرواسیون (ذخیره سازی عملیاتی)

هزینه	A=چسب کاری	B=نیمه چادر	C=تمام چادر
خودروی تاکتیکی (۱)	۷,۲۰۰,۰۰۰	۱۱,۵۰۰,۰۰۰	۱۲,۰۰۰,۰۰۰
نفربر (۲)	۹,۷۰۰,۰۰۰	۲۸,۲۹۸,۸۲۰	۲۹,۴۲۲,۳۳۰
تانک (۳)	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۸,۲۹۸,۸۲۰	۲۹,۴۲۲,۳۳۰

لازم به ذکر است با توجه به روش های مورد استفاده جهت کنسرواسیون و نیز با توجه به اینکه ذخیره سازی عملیاتی در فضای باز انجام می شود، لذا در این مطالعه موردی INV یا سرمایه گذاری برای کنسرواسیون تجهیزات نخواهیم داشت. هزینه های مستمر در طول دوره کنسرواسیون نیز یک درصد هزینه انجام کنسرواسیون در نظر گرفته شده است.

۴-۲- طول دوره کنسرواسیون

مدت زمان ذخیره سازی با هر یک از روش ها به شرح جدول (۴) است:

جدول (۴): مدت زمان ذخیره سازی تجهیزات

روش ذخیره سازی	مدت زمان ذخیره سازی عملیاتی
چسب کاری	۱ سال
نیمه چادر	۵ سال
تمام چادر	۵ سال
افق زمانی پژوهش	۱۵ سال

۴-۳- اهمیت یا ارجحیت تجهیز جهت ذخیره سازی

عملیاتی

معمولاً در برنامه ریزی مسئولان و فرماندهان، برخی از تجهیزات به دلایل مختلفی همچون راهبردی بودن، کمیاب بودن، اهداف تحقیقاتی و عملیاتی خاص و ... دارای اهمیت متفاوتی جهت

جدول (۶): میزان افزایش آمادگی تجهیزات از طریق روشهای

مختلف (برحسب درصد)

A_{ij} تجهیز	A=چسب کاری	B=نیمه چادر	C=تمام چادر
خودروی تاکتیکی (۱)	۳	۶	۱۰
نفربر (۲)	۳	۶	۱۰
تانک (۳)	۳	۶	۱۰

جدول (۷): حداکثر تعداد تجهیز نوع i ام برای کنسرواسیون

W_i	تجهیز
۲۰۰۰	۱
۶۰۰۰	۲
۱۰۰۰۰	۳

جدول (۸): حداکثر ظرفیت انجام عملیات کنسرواسیون روش j ام

F_j	تجهیز
۳۰۰	۱
۴۷۰	۲
۶۰۰	۳

جدول (۹): حداقل تعداد تجهیزاتی که نیاز است کنسرو شوند

D_j	تجهیز
۵۰۰	۱
۶۰۰	۲
۷۰۰	۳

درصد یا نسبتهی از کل تجهیز نوع i ام که قبل از عملیات کنسرو شدن لازم است جهت کسب لیاقت کنسرو شدن، ارتقا وضعیت سلامت پیدا کند، برابر است با:

$$\beta_i = 0.1$$

بودجه تخصیص یافته جهت انجام عملیات کنسرواسیون برابر ۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰ تومان می باشد:

$$B_{max} = 5000000000$$

۴-۵- نتایج حل

با استفاده از داده های بخش ۴-۱ و به کمک کد نوشته شده در نرم افزار گمز، مدل پیشنهادی حل گردید و نتایج به شرح زیر بدست آمد.

۴-۵-۱- نتایج حل مدل با توجه به تابع هدف اول:

تابع هدف اول حداکثر سازی میزان افزایش آمادگی تجهیزات می باشد که پس از حل مدل نتایج نشان می دهد افزایش آمادگی به میزان ۴۴۷۷۶۵ واحد است. برای دستیابی به این میزان آمادگی تعداد تجهیز کنسرو شده به هر روش در ابتدای افق برنامه ریزی به شرح جدول (۱۰) می باشد:

جدول (۱۰): نتایج حل مدل با توجه به تابع هدف اول

A_{ij} تجهیز	A=چسب کاری	B=نیمه چادر	C=تمام چادر
خودروی تاکتیکی (۱)	۲۹۷	۳۰۰	۳۰۰
نفربر (۲)	۰	۱۳۰	۴۷۰
تانک (۳)	۰	۱۰۰	۶۰۰

$$Z_1 = 447765$$

با توجه به اینکه پارامترهای فوق در طول افق برنامه ریزی ثابت است، در دوره های بعد تعداد تجهیزات کنسرو شده با هر روش ثابت باقی می ماند.

۴-۵-۲- نتایج حل مدل با توجه به تابع هدف دوم:

تابع هدف دوم حداقل سازی هزینه های کنسرواسیون و تعمیر و نگهداری تجهیزات می باشد. پس از حل مدل نتایج نشان می دهد کل هزینه های مذکور ۵۲۱۳۱۳۰۰۰۰۰۰۰ تومان می باشد. در این حالت تعداد تجهیز کنسرو شده به هر روش در ابتدای افق برنامه ریزی به شرح جدول (۱۱) است:

جدول (۱۱): نتایج حل مدل با توجه به تابع هدف دوم

A_{ij} تجهیز	A=چسب کاری	B=نیمه چادر	C=تمام چادر
خودروی تاکتیکی (۱)	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
نفربر (۲)	۰	۴۷۰	۱۳۰
تانک (۳)	۰	۶۰۰	۱۰۰

$$Z_2 = 521313000000$$

با توجه به اینکه پارامترهای فوق در طول افق برنامه ریزی ثابت است، در دوره های بعد تعداد تجهیزات کنسرو شده با هر روش ثابت باقی می ماند.

۴-۵-۳- نتایج حل مدل با در نظر گرفتن همزمان دو تابع هدف:

رویکرد معیار - جامع یا LP-Metric با توجه به دو تابع هدف به دست آمده در حالت تک هدفه، حل می‌نماییم. در این حالت نتایج به دست آمده در ابتدای افق برنامه‌ریزی به شرح جدول (۱۲) می‌باشد:

جدول (۱۲): نتایج حل مدل با توجه به دو تابع هدف

A _{ij} تجهیز	A=چسب کاری	B=نیمه چادر	C=تمام چادر
خودروی تاکتیکی (۱)	۰	۲۹۹	۳۰۰
نفربر (۲)	۰	۱۳۰	۴۷۰
تانک (۳)	۰	۱۰۰	۶۰۰

$$Z_1 = 446910$$

$$Z_2 = 523141000000$$

مشاهده می‌شود که مقادیر تابع هدف اول نسبت به حالت تک هدفه کمتر و تابع هدف دوم نسبت به حالت تک هدفه بیشتر شده است.

در این بخش فرض گردید اگر تجهیزات با روش جاری نگهداری و تعمیرات در رده نگهداری شوند، سطح آمادگی آن‌ها ۹۰٪ خواهد بود که در این صورت از حاصلضرب تعداد تجهیزات موجود و افق برنامه برنامه ریزی (۱۵ سال) در این عدد، میزان آمادگی تجهیزات برابر خواهد بود با:

افق برنامه ریزی (سال) * عدد آمادگی * تعداد تجهیزات

$$18000 * 90\% * 15 = 24300000$$

و این عدد در بیشینه ترین حالت ممکن برابر است با:

$$18000 * 100\% * 15 = 27000000$$

حال طبق جواب بدست آمده از حل مسئله، مقدار افزایش آمادگی کلی تجهیزات در حالت نگهداشت به روش کنسرواسیون نسبت به روش جاری نگهداری و تعمیرات رده، ۴۴۶۹۱۰ واحد می‌باشد که اگر بخواهیم میزان افزایش آمادگی کلی تجهیزات در این حالت را به صورت درصدی بیان نماییم، خواهیم داشت:

$$\frac{\text{مقدار واحد افزایش آمادگی ایجاد شده}}{\text{افق برنامه‌ریزی} * \text{تعداد تجهیزات}} = \frac{446910}{18000 * 15} = 1.655\%$$

و این بدان معناست که استفاده از روشهای کنسرواسیون، نسبت به روشهای نگهداشت جاری تجهیزات در رده، آمادگی تجهیزات را در مجموع ۱/۶۵۵ درصد افزایش داده و از سطح آمادگی ۹۰ درصدی به سطح آمادگی ۹۱/۶۵۵ درصدی ارتقاء داده است که باتوجه به این که تغییرات درصد آمادگی در گزارشات مربوطه هر ساله، در حد هزارم درصد می‌باشد ۱/۶۵۵ درصد ارتقاء، عدد بسیار خوبی محسوب می‌گردد. ضمن اینکه تجهیزات کنسروه شده در پایان افق برنامه ریزی سالم و عملیاتی باقی خواهند ماند.

۴-۶- تحلیل حساسیت

به منظور بررسی اثر پارامترهای مختلف بر حل بهینه، تحلیل حساسیت برخی پارامترهای ورودی مسئله با تغییر مقادیر آنان در مدل انجام می‌شود. با توجه به ماهیت مسئله تحلیل حساسیت روی پارامترهای افزایش میزان آمادگی، ظرفیت روش‌های ذخیره‌سازی و درصد تجهیزات نیازمند کسب لیاقت صورت می‌گیرد.

۴-۶-۱- پارامتر افزایش درصد عدد آمادگی

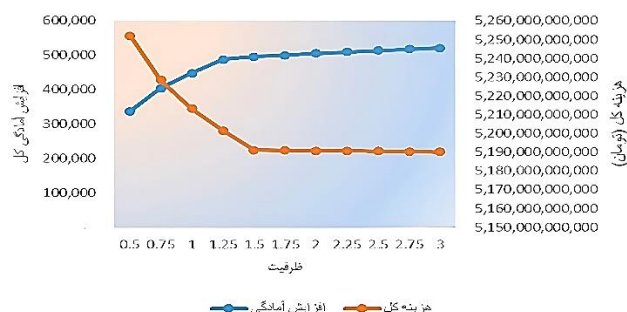
به منظور بررسی تأثیر پارامتر افزایش عدد آمادگی، بر نتایج خروجی مسئله، میزان افزایش آمادگی تجهیزات در ازای استفاده از هر یک از روش‌های کنسرواسیون، مطابق جدول ۱۳ در نظر گرفته شد.

جدول (۱۳): مقادیر پارامتر افزایش عدد آمادگی

A _{ij} تجهیز	A=چسب کاری	B=نیمه چادر	C=تمام چادر
خودروی تاکتیکی (۱)	۰-۳	۰-۶	۰-۱۰
نفربر (۲)	۰-۳	۰-۶	۰-۱۰
تانک (۳)	۰-۳	۰-۶	۰-۱۰

نتایج به دست آمده در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است. ابتدا در حالت تک هدفه بررسی می‌شود (شکل ۱). مشاهده می‌شود وقتی میزان آمادگی هر تجهیز با کنسروه کردن افزایش می‌یابد، همان‌گونه که انتظار می‌رود، میزان آمادگی کل نیز

افزایش ظرفیت کاهش می‌یابد. از یک ظرفیت مشخص به بالا (در اینجا ۱/۵ برابر ظرفیت مثال عددی) هزینه کل تقریباً ثابت باقی می‌ماند.



شکل (۳): مقادیر توابع هدف در حالت تک هدفه

در حالت چندهدفه (شکل ۴) نیز، وقتی ظرفیت روش‌های ذخیره‌سازی افزایش می‌یابد، میزان آمادگی کل نیز افزایش می‌یابد. هزینه کل با افزایش ظرفیت کاهش می‌یابد. از یک ظرفیت مشخص به بالا (در اینجا ۱/۵ برابر ظرفیت مثال عددی) هزینه کل مجدداً افزایش می‌یابد ولی میزان افزایش کم بوده و می‌توان گفت تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

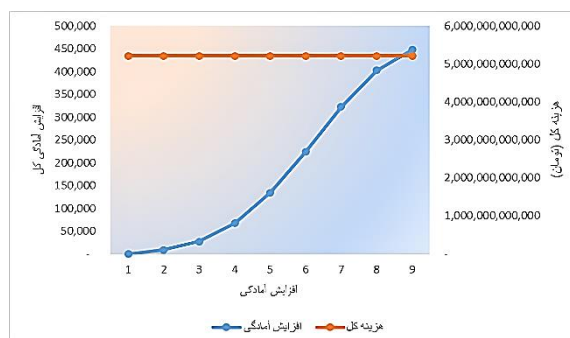


شکل (۴): مقادیر توابع هدف در حالت دوهدفه

۴-۶-۳- پارامتر درصد تجهیزات نیازمند کسب لیاقت

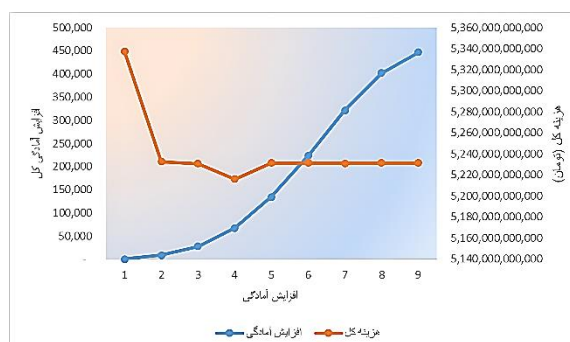
به‌منظور بررسی تأثیر پارامتر درصد تجهیزات نیازمند کسب لیاقت بر نتایج خروجی مسئله، درصد مدنظر بین ۰-۱ در نظر گرفته شد. از آنجایی که برای نسبت‌های بالا ۰/۲ با توجه به افزایش هزینه‌های کسب لیاقت، بودجه در نظر گرفته‌شده پاسخگو نیست، مقدار بودجه را افزایش می‌دهیم. نتایج به‌دست‌آمده در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده‌شده است. در حالت تک هدفه (شکل ۵) مشاهده می‌شود با افزایش نسبت تجهیزات نیازمند کسب لیاقت تا مقدار ۰/۵ میزان افزایش آمادگی ثابت می‌باشد و بعداز آن کاهش می‌یابد. هزینه کل روند افزایشی دارد.

افزایش می‌یابد؛ اما هزینه کل ثابت می‌ماند؛ و این به این معنی است که تعداد تجهیزات و روش کنسروه کردن تغییر نمی‌کند.



شکل (۱): مقادیر توابع هدف در حالت تک هدفه

در حالت دو هدفه (شکل ۲)، نیز وقتی میزان آمادگی هر تجهیز با کنسروه کردن افزایش می‌یابد، میزان آمادگی کل نیز افزایش می‌یابد؛ اما در خصوص هزینه با افزایش آمادگی ابتدا هزینه کاهش می‌یابد اما از عددی به بعد که تقریباً ۵۰ درصد آمادگی در نظر گرفته‌شده در مثال عددی می‌باشد، هزینه مقدار افزایش داشته و بعداز آن ثابت باقی می‌ماند.



شکل (۲): مقادیر توابع هدف در حالت دوهدفه

۴-۶-۲- ظرفیت ذخیره سازی

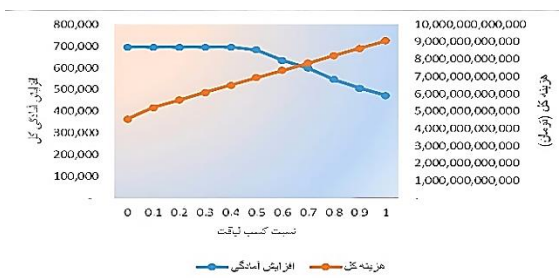
به‌منظور بررسی تأثیر پارامتر ظرفیت ذخیره‌سازی بر نتایج خروجی مسئله، میزان ظرفیت در هر یک از روش‌های کنسرواسیون، مطابق جدول (۱۴) در نظر گرفته شد.

جدول (۱۴): مقادیر پارامتر ظرفیت ذخیره‌سازی

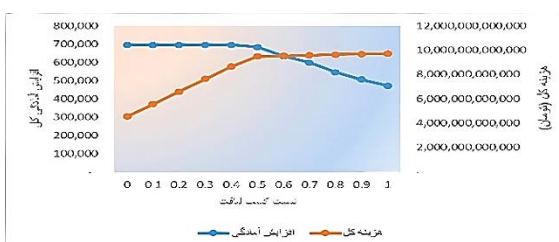
روش کنسرواسیون	F_j
۱	۱۷۵-۹۰۰
۲	۲۳۵-۱۴۱۰
۳	۳۰۰-۱۸۰۰

نتایج به‌دست‌آمده در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده‌شده است. در حالت تک هدفه (شکل ۳) مشاهده می‌شود، وقتی ظرفیت روش‌های ذخیره‌سازی افزایش می‌یابد، همان‌گونه که انتظار می‌رود، میزان آمادگی کل نیز افزایش می‌یابد. هزینه کل با

- (Research Action: A Military Organization),” Supply Chain Management, vol. 23(72) pp. 71-82, 2022. DOR : 20.1001.1.20089198.1400.23.72.6.2.(In Persian)
- [2] M. abbasian & O. veisy, “Redesigning and Prioritizing the Maintenance Strategies of Islamic Republic of Iran Army Ground Forces (IRIAGF) Based on the Statement Document of the Second Phase of the Islamic Revolution of Iran,” Supply Chain Management, vol. 24(77) pp. 71-91, 2023. DOR : 20.1001.1.20089198.1401.24.77.5.8.(In Persian)
- [3] R. Taheri and A. Gokalani, “Conservation (storage) of military and naval equipment,” 1st National Conference on Logistics & Supply Chain, 2004.(In Persian)
- [4] S. Rasta., “the basics of car and equipment conservation,” Assistance of Logistic and Support of the Islamic Revolutionary Guard Corps, 2021.(In Persian)
- [5] R Golestaneh, “Making Ammunitions, Weapons and Military Equipment Smart and Reforming Consumption Pattern,” Defense Strategy, vol. 8(29) pp. 143-167, 2010. SID. <https://sid.ir/paper/194424/en>. (In Persian)
- [6] H. Janecka, , “Preservation of Inactive Equipment and Long-term Storage of Materials,” National Academy of Sciences, 1963.
- [7] Vignetti, A. M., Miskovic, L., & Madzar, T., “Corrosion protection of military equipment worldwide,” Materials Performance vol. 7, pp. 6-9, 2003.
- [8] H. P. Bloch & A. Shamim, “Oil Mist Lubrication: Practical Applications,” The Fairmont Press, Inc, 1998.
- [9] H. P. Bloch, “Storage Preservation of Machinery,” In Proceedings of the 14th Turbomachinery Symposium. Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories, pp. 35-46, 1985. URI: <https://hdl.handle.net/1969.1/163646>
- [10] B. V. Jegdić, S. S.Ristić, S. R. Polić-Radovanović, & A. B. Alil, “Corrosion and conservation of weapons and military equipment,” Vojnotehnički glasnik, vol. 60(1) pp. 169-182, 2012. DOI : 10.5937/vojtehg1201169J
- [11] M. Rocha, P. Faria, & A. S. Gago, “Conservation of Defensive Military Structures Built with Rammed Earth,” Buildings, vol. 14(1):238, 2024. DOI : 10.3390/buildings14010238
- [12] H. P. Bloch & K. Bannister, “Practical lubrication for industrial facilities,” River Publishers, 2020.
- [13] H. P. Bloch & A. R. Budris, “Pump user's handbook: life extension,” River Publishers, 2021.
- [14] S. R. Allah Karam and M. Rezaei and A. Gokalani, “Vapor phase corrosion inhibitors are a suitable system for controlling the corrosion of military equipment,” 3rd National Conference on Maintenance, 2005.(In Persian)
- [15] M. Moghadasi, F. Farokhizadeh, U.Ahmadzadeh, and R. Karami, “Identification and Prioritization of Selection Criteria for Maintenance Strategy for Military Equipment Using MADM Technique,” Bi- Quarterly Journal of Research in Defense Maintenance Engineering, vol. 1(1) pp. 66-77, 2019. DOI : dmej/dmej.2019.5.(In Persian)
- [16] S. Khalili and S. A. Mousavi Abarbekuh, “Providing solutions to improve the maintenance management of military equipment during the period of conservation (long-term storage),” The 6th International Conference on New Developments in Management, Economics and Accounting, 2023.(In Persian)
- [17] A. Saeed, Z. Khan, M. H. Nazir, M. Hadfield, & R. Smith, “Research impact of conserving large military vehicles through a sustainable methodology,” International Journal of Heritage Architecture, vol. 1(2) pp. 267-274, 2017. DOI : 10.2495/HA-V1-N2-267-274
- [18] M. Hunter, “Preventative Conservation of Military Artifacts at the Frontier Army Museum,” MILITARY REVIEW ONLINE EXCLUSIVE, 2022.
- [19] M. Mohammadi, S. Ramezani, & M. Mosadeghkhah, “Long-term Storage Cycle of Military Equipment (Conservation),” Bi- Quarterly Journal of Research in Defense Maintenance Engineering, vol. 4(2) pp. 32-51, 2023. DOI : dmej/dmej.2024.222986.1031.(In Persian)
- [20] S. M. Sajadiyan, M. Abbasi, & R. Hosnavi Atashghah, “A Multi-Objective Model for Reliable Circular Supplier Network Design Considering Knowledge Sharing, Backup Supplier, and Circular Criteria,” Supply Chain Management, vol. 24(76) pp. 59-74, 2023. DOR : 20.1001.1.20089198.1401.24.76.4.5.(In Persian)



شکل (۵): مقادیر توابع هدف در حالت تک هدفه



شکل (۶): مقادیر توابع هدف در حالت دوهدفه

در حالت دوهدفه (شکل ۶) رفتار افزایش آمادگی مشابه حالت تک هدفه می‌باشد؛ اما هزینه کل ابتدا تا نسبت ۰/۵ افزایش می‌یابد سپس تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

۵- نتیجه گیری و پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

در این پژوهش مسئله‌ای تعیین تعداد بهینه تجهیزات جهت کنسرو شدن و همچنین انتخاب بهترین روش کنسرواسیون تجهیزات نظامی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور یک مدل برنامه ریزی دو هدفه غیرخطی ارائه گردید. هدف اول حداکثر کردن سطح آمادگی تجهیزات و هدف دوم حداقل نمودن هزینه‌ها، (شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، ارتقا سطح کیفی برای انجام کنسرواسیون، انجام کنسرواسیون و نگهداری و تعمیرات تجهیزات کنسرو نشده) بود. برای دستیابی به این اهداف محدودیت‌هایی وجود داشت. ظرفیت ذخیره‌سازی هر روش و بودجه در دسترس و مدت کنسرواسیون تجهیزات با هر روش محدود در نظر گرفته شدند. به دلیل غیرخطی بودن مدل پیشنهادی، از روش خطی سازی روش ویدال و گوتسالکس استفاده گردید. همچنین با توجه به دوهدفه بودن مدل پیشنهادی، از روش LP-metric برای حل مدل به کمک کدنوشته شده در نرم‌افزار گمز استفاده شد. در این پژوهش فرض کردیم کلیه پارامترهای مسئله قطعی و مشخص است. در تحقیقات آتی می‌توان عدم قطعیت در داده‌ها را مورد بررسی قرار داد. همچنین استفاده از روش‌های ابتکاری یا فرا ابتکاری برای حل مدل پیشنهادی در ابعاد بزرگ نیز پیشنهاد می‌گردد.

۶- مراجع

- [1] M. M. Mohtadi, “The Conceptualization of Sustainable Resistive Maintenance as an Indigenous Maintenance Strategy