تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷

از صفحه ۱۵۵ تا صفحه ۱۹۳

یک روش جدید برای حل مساله مکان یابی تجهیزات نظامی برای حفاظت سایت های استراتژیک با استفاده از الگوریتم فراابتکاری آموزش و یادگیری

راحله خاندوزی[۱]

چکیده

در این مقاله یک بازی دونفره استکلبرگ بین مدافع (پیشرو) و مهاجم (پیرو) در نظرگرفته می شود، زمانی که مهاجم درصدد حمله به یک سایت استراتژیک و مهم و خسارت به راه های ارتباطی است، مدافع با هدف کاهش آسیب وارده به دنبال مکان یابی تعداد بهینه و بهترین نوع از تجهیزات نظامی با توجه به محدودیت منابع است. این تحقیق تلاش دارد یک مدل ریاضی دوسطحی برای بهینه سازی مکان یابی تجهیزات نظامی ارائه دهد که هدف آن افزایش فاصله بین مهاجم و سایت استراتژیک است. ضمن آنکه با توجه به مدل دوسطحی و به دلیل آنکه مساله مکان یابی تجهیزات نظامی در گروه مسایل NP- سخت قرار دارد، برای حل آن از یک رهیافت ترکیبی فراابتکاری بر اساس الگوریتم آموزش و یادگیری و روش دایکسترا استفاده شده است. در انتهای پژوهش نیز با کمک نمونه های عددی در مقیاس کوچک و بزرگ از مساله به تشریح کامل مدل و الگوریتم حل پیشنهادی پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: مکان یابی تدافعی، برنامه ریزی دوسطحی، حفاظت، الگوریتم آموزش و یادگیری

[۱] استادیار گروه ریاضی و آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گنبد کاووس، گلستان، ایران

A new method for solving military equipment location problem to protect strategic sites using teaching learning based optimization

Khanduzi R.[۱]

ABSTRACT

In this paper, a two-player Stackelberg game between the defender (leader) and attacker (follower) is considered , when the attacker tries to attack a strategic site and damage to communication paths , the defender aims to reduce the damage caused by the goal of locating the optimal number and the best type of military equipment due to resource constraints. This research attempts to present a bi-level mathematical model to optimize the location of military equipment, which aims to increase the distance between the attacker and the strategic site. Considering the bi-level model and because the military equipment location problem is in a class of NP-hard problems, a metaheuristic hybrid approach based on teaching-learning based optimization and dijkstra method is used. At the end of the research, with the help of large-scale numerical examples of the problem, the full description of the model and the proposed solution algorithm has been discussed.

KEYWORDS: Defensive location, Bi level programming, Protection, Teaching and learning algorithm

[۱] Department of mathematics and statistics, Faculty of science, Gonbad Kavous Uiniversity, Golestan, Iran

۱- مقدمه

موقعیت استراتژیک پایتخت کشورها، این سایت مهم را در شرایطی قرار داده است که در بیشتر جنگ ها مورد حمله و تعرض دشمنان بوده است. بنابراین با توجه به تهدیدات دشمن و حضور نظامی آن در اطراف کشورها، ما را بر آن می دارد که با مکان یابی مناسب پایگاه های دفاعی، از پایتخت کشور در مقابل حملات دشمن محافظت کنیم. انتخاب مکان مناسب برای یک پایگاه دفاعی نیازمند بررسی مکان با توجه به منابع و محدودیت های مختلف می باشد. مکان یابی مناسب تسهیلات و صنایع نظامی، یکی از مهم ترین تصمیماتی است که موجب افزایش امنیت کشور و کاهش قابل توجه اثرات حملات دشمن به پایتخت کشور خواهد شد. پدافند عامل عبارت است از مواجهه و مقابله مستقیم با مهاجم و به کارگیری تسهیلات و تجهیزات نظامی مناسب و موجود به منظور دفع هجوم و خنثی کردن عملیات جنگی مهاجم می باشد. پدافند به مجموعه عملیاتی اطلاق می گردد که مستلزم استفاده تجهیزات و صنایع دفاعی بوده و با انتخاب مکان مناسب می توان از دستیابی دشمن به سایت های استراتژیک (پایتخت کشور) و واردشدن تلافات مالی به راه های ارتباطی و سازه های نظامی جلوگیری نمود. یکی از اقدامات اساسی پدافند، مکان یابی مناسب پایگاه های دفاعی می باشد و تا آنجا که ممکن است باید از منابع و ظرفیت های موجود استفاده کرد (ستاره و همکاران، ۱۳۹۰).

امروزه هم زمان با پیشرفت فن آوری های جدید و ساخت سلاح های جنگی مدرن، پدافند نیز مورد توجه گرفته است. در حال حاضر مهمترین هدف کشورها، افزایش امنیت و کاهش آسیب پذیری پایتخت و سایت های کلیدی است. این اهداف و محدودیت های استراتژیک اگر به صورت یک مدل برنامه ریزی ریاضی طراحی شوند، اتخاذ تصمیمات مهم از سوی مدافع و مهاجم بیش از پیش نمایان می شود. توان، انرژی و ارزش تسهیلات نظامی اثر قاطعی دارند

که به عنوان عوامل مثبت برای مدافع و به صورت عوامل منفی و مانع برای دشمن عمل می کنند (اله سهامی، ۱۳۸۶).

پایتخت کشورها با دارا بودن مهمترین نهادهای حکومتی و سیاسی از نواحی مهم در جذب جمعیت و فعالیت های اقتصادی، تجاری و نظامی می باشند. بنابراین مکان یابی بهینه تجهیزات نظامی می تواند به برنامه‌ریزی‌ها و فعالیت های دفاعی برای حفاظت پایتخت و حداقل آسیب پذیری راه های ارتباطی کمک شایانی کند. تجهیزات نظامی، مراکز دفاعی، انبار مهمات و قرارگاه های فرماندهی، تسهیلات حیاتی هستند که دارای گستره فعالیت های ملی هستند و وجود و تداوم اقدامات های آنها برای دولت، لازم و ضروری است و آسیب یا نابودی آنها توسط مهاجم، باعث ایجاد بی نظمی در اداره امور توسط دولت می گردد. در مکان یابی تسهیلات نظامی، از یک سو، فاصله مناسب از سایت های استراتژیک و مهم همچون پایتخت کشور ها سبب کاهش صدمات ناشی از هجوم های نظامی می گردد و از سوی دیگر، استقرار تجهیزات نطامی و دفاعی در فواصل مناسب از یکدیگر، کاهش احتمال تخریب راه های ارتباطی و دستیابی و نزدیکی به سایت های استراتژیک را به دنبال دارد. در این پژوهش، با در نظر گرفتن ارزش دفاعی متفاوت برای تسهیلات، مسأله مکان یابی تجهیزات نظامی با هدف افزایش توان دفاعی و فاصله بین سایت استراتژیک و مهاجم مورد بررسی قرار می گیرد. برای این منظور، شبکه ای از گره ها و راه‌های ارتباطی میان آنها در نظرگرفته می شود و فاصله بین هر جفت گره به صورت کوتاه ترین طول مسیر موجود بین آنها تعریف می شود. مهاجم در یکی از گره های شبکه مستقر است و کل توان دفاعی هر راس، مقداری ثابت و مشخص است. علاوه بر این، هر راس دارای سطح اولویت مشخصی است. در واقع راس های شبکه شامل مناطق مسکونی، سازمان ها، ادارات که تجهیزات نظامی و دفاعی را دریافت می کنند، قابلیت خود دفاعی ندارند و در زمان حجوم توسط دشمن، توسط تجهیزات نظامی حفاظت می شوند. برای مساله تحت بررسی، یک مدل ریاضی دوسطحی برای مکان یابی تجهیزات نظامی و کوتاهترین فاصله ارائه می شود که در آن، اصول مکان یابی در قالب تابع هدف مدافع و بیشینه کردن فاصله بین

مهاجم و سایت استراتژیک یا پایتخت کشور و کمینه کردن فاصله بین مهاجم تا سایت استراتژیک یا نزدیکترین راس تا آن در قالب تابع هدف مهاجم، در نظر گرفته می شوند. تابع هدف مدافع با تأکید بر مکان یابی بهینه تجهیزات نظامی به عنوان یکی از اصول دفاعی، کمترین فاصله میان مهاجم و آن سایت استراتژیک را بیشینه می سازد. به دلیل طبیعت NP- سخت مساله، یک رهیافت ترکیبی فراابتکاری مبنی بر الگوریتم بهینه‌سازی آموزش و یادگیری (TLBO[1]) و الگوریتم دایکسترا برای حل مثال هایی از آن در ابعاد بزرگ ارائه می شود. بنابراین ضرورت حل مساله و انتخاب الگوریتم مناسب، هدف اصلی این مطالعه را شکل می دهد. در این مقاله سه روش ترکیبی: TLBO، الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم جستجوی ممنوعه بررسی شد و با کمک سه معیار تابع هدف، زمان اجرا و انحراف معیار به مقایسه و ارزیابی نتایج عددی پرداخته شده است. نتایج حاصل از پیاده سازی این سه روش، نشان دهنده کارایی بالای TLBO ارایه شده از لحاظ دقت و زمان اجرا در حل آن است.

سازمان‌ها و قوای آفندی و پدافندی هر کشور، همواره باید آمادگی مقابله با حملات احتمالی مهاجمان را داشته باشند. به همین دلیل آنها باید با استقرار تجهیزات نظامی، همواره آمادگی دفاعی خود را برای مواجهه با دشمن حفظ کنند. در این تحقیق به مساله مکان یابی تجهیزات نظامی در یک شبکه و مساله کوتاهترین مسیر در قالب برنامه ریزی ریاضی دوسطحی پرداخته شده است. در این تحقیق مدافع به عنوان تصمیم گیرنده سطح اول (پیشرو) و مهاجم به عنوان تصمیم گیرنده سطح دوم (پیرو) در نظر گرفته می شوند که با توجه به این که ابتدا مدافع تجهیزات نظامی را مکان یابی می کند و سپس مهاجم کوتاهترین فاصله بین مکان خود با پایتخت کشور یا نزدیکترین راس به آن را پیدا می کند، با بازی استکلبرگ سر و کار داریم. نتایج حاصل از پیاده سازی و حل مساله با الگوریتم ترکیبی مبنی بر TLBO و دایکسترا نشان داد که در صورت استفاده از اصول مطرح شده در این مدل ریاضی، انتخاب مکان مناسب

[1] Teaching Learning Based Optimization

برای تجهیزات نظامی و انتخاب کوتاهترین فاصله بین مهاجم و پایتخت به شکل مناسب تر و علمی تری انجام خواهد گرفت. لذا استفاده از برنامه ریزی دوسطحی در مکان‌یابی تجهیزات نظامی پیشنهاد می گردد.

مساله مکان‌یابی تدافعی (DLP[۱])، یکی از مسایل مهم و جدید مکان‌یابی تسهیلات رقابتی است که مدافع با هدف ایجاد امنیت و پایداری شبکه، مکان بهینه تسهیلات دفاعی را در مقابل دستیابی مهاجم به سایت های استراتژیک و مهم تعیین می‌کند. این مساله به صورت یک بازی دونفره و برنامه ریزی دوسطحی بین مدافع و مهاجم مطرح شده است که مدافع نسبت به مهاجم در اولویت تصمیم‌گیری قرار دارد. DLP کاربردهای فراوانی در بازی های گروهی، شبکه های کامپیوتری، حفظ امنیت امکان اجتماعی و خصوصی و علوم نظامی دارد (اونو[۲] و کاتاگیری[۳]، ۲۰۰۸).

بنابراین ضرورت حل مساله فوق و بررسی و انتخاب الگوریتم کارا و مناسب جهت دستیابی به جواب مساله، انگیزه اصلی مطالعه حاضر است. آنچه در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت معرفی TLBO و ارایه الگوریتم ترکیبی جدید بر مبنای آن برای حل مساله مکان‌یابی تدافعی پیوسته (CDLP[۴]) است؛ زیرا این الگوریتم نشان داده است که روش کارا و موفقی در حل مسایل بهینه سازی پیوسته است.

۲- پیشینه تحقیق

به‌طورکلی برای انجام مکان‌یابی تجهیزات نظامی، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[۵]) یا مدل‌های برنامه ریزی ریاضی استفاده می‌گردد. مکان‌یابی مناسب تجهیزات نظامی بر اساس اطلاعات ورودی صورت می‌گیرد که این اطلاعات با توجه به قیدها و اهداف موجود تغییر می‌کنند. استفاده بهینه از ظرفیت‌های منطقه‌ای نقش بسزایی در مکان‌یابی تسهیلات نظامی و کاهش خطرات ناشی از انواع هجوم ها دارد. در روش ارائه شده توسط محمودبابویی (۱۳۹۲) ابتدا نواحی مناسب برای احداث پایگاه‌های نظامی

---

[۱] Defensive Location Problem
[۲] Uno
[۳] Katagiri
[۴] Continuous Defensive Location Problem
[۵] Geographic information system

تعیین شده و سپس محدودیت‌های موجود از قبیل عوامل زیربنایی، محیطی، استراتژیک، اقلیمی، فنی و اقتصادی و ارضی به تفکیک ارزش‌گذاری شده و با استفاده از یک تکنیک تحلیل آماری و GIS مناسب‌ترین مناطق تعیین شده‌اند. روستایی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1]) به تحلیل ژئو مورفولوژیکی مکان یابی بهینه پایگاه های نظامی در دامنه های غربی کوهستان سهند پرداختند. ابتدا با شناسایی عوامل موثر در مکان یابی شامل شرایط آب و هوایی و زمین، دسترسی به بازار، برق، راه زمینی، فرودگاه، راه آهن، بنادر، خدمات رفاهی و بهداشتی، منابع سوخت و خطوط تلفن، رعایت فاصله از خطوط فشار قوی، لوله نفت و گاز، مناطق مسکونی، منابع آلوده کننده و دالان های هوایی و رقومی کردن لایه مورد نظر، پایگاه اطلاعات در نرم‌افزار ArcGIS آماده شده است. سپس با کاربرد روش AHP، مکان های مناسب برای احداث مراکز نظامی انتخاب شده است. حنفی و موسوی (۱۳۹۲) مکان بهینه و مناسب مراکز نظامی را در مرز ایران و ترکیه از منظر پدافند غیرعامل تعیین کردند. آنها برای شناسایی مناطق مناسب برای احداث این مراکز، عوامل متعددی از جمله جنس زمین، فاصله از آبراهه، نزدیکی به جاده و سکونتگاه، شیب، جهت شیب، ارتفاع، روز بارانی و یخبندان و سرعت باد را در نظرگرفتند. برای دسترسی به این داده ها، از نقشه های توپوگرافی در محیط GIS استفاده شد و با استفاده از روش تحلیلی AHP ، مناطق مناسب برای احداث مراکز نظامی شناسایی گردید. کریمی کردابادی و خلیلی (۱۳۹۳)، با کاربرد AHP در نرم افزار GIS مناطق مناسب جهت احداث مراکز نظامی در جنوب استان ایلام را با استفاده از برخی عوامل ژئومورفیک و انسانی از جمله فاصله از مسیل، ماسه زارهای متحرک، مناطق مسکونی، رودخانه، گسل و دشت سیلابی و دسترسی به راه مناسب، خدمات درمانی، برق، خدمات تفریحی و آب مشخص کردند. آقاطاهر و همکاران (۱۳۹۴) با کاربرد AHP و GIS مکانی مناسب برای پایگاه های نظامی و دفاعی در بخشی از جنگل‌های متراکم در استان گلستان و شهرستان علی‌آباد کتول تعیین کردند.

[1] Analytical Hierarchy Process

درصد شیب، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا، سنگشناسی، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از شهر، فاصله از روستا و تراکم پوشش گیاهی به‌عنوان معیارهای اصلی در مکان‌یابی پایگاه های نظامی در نواحی جنگلی انتخاب شده و نقشه‌های مذکور با بکارگیری فن AHP در محیط ArcGIS ارائه شد. حنفی و لطفی (۱۳۹۵) یک مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک برای یک مسئله مکان‌یابی سامانه‌های متحرک موشکی ارائه کردند. ابتدا با تهیه پرسش‌نامه و مصاحبه با خبرگان نظامی، عوامل مؤثر در مکان‌یابی سامانه‌های متحرک موشکی در کرمانشاه جمع‌آوری شده است، سپس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای، پایگاه داده در نرم‌افزار GIS آماده و تصمیم‌گیری انجام گرفته است. در پایان با حل مدل ریاضی مناطق مناسب برای استقرار سامانه‌های موشکی تعیین گردید. فلاح ززولی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده ازنظر خبرگان نظامی، هشت لایه اطلاعاتی شامل سنگ‌شناسی، فاصله از مناطق شهری، فاصله از روستاها، درصد شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از شبکه آبراهه و فاصله از جاده انتخاب از روی نقشه‌های زمین شناسی و توپوگرافی در محیط نرم افزار ArcGIS برای تعیین مکان بهینه مراکز مستعد نظامی در جنگل‌های استان ایلام تهیه گردید. اولویت‌بندی عوامل مؤثر با استفاده از AHP اجرا شد. باهدف مقابله با تهدید دشمنان در خلیج‌فارس، احمدی و همکاران (۱۳۹۶) روشی مناسب برای مکان‌یابی سایت‌های موشکی ساحل به دریا ارائه کردند. داده‌های توصیفی از روش کتابخانه‌ای گردآوری و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه لایه‌های مربوطه شامل ۵ مولفه طبیعی ارتفاع، شیب زمین، نزدیکی به ساحل، جنس زمین و پوشش گیاهی و ۶ مولفه انسانی نزدیکی به محل اختفاء، نزدیکی به سایت های راداری، دوری از تاسیسات صنعتی، دوری از مناطق مسکونی، نزدیکی به راه و دوری از شبکه انتقال برق مشخص شد. مدل AHP برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها استفاده و مؤلفه‌های مهم وزن دهی شد. جعفرزاده و ولیزاده کامران (۱۳۹۷) مکانی جدید و بهینه برای پادگان نظامی تیپ ۴۰ مستقل پیاده ارتش در شهر اردبیل تعیین کردند. روش آن‌ها از نوع توصیفی تحلیلی بوده که با استفاده از GIS و AHP اقدام به جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل اطلاعات برای

ایجاد پادگان شده و با توجه به ارزش گذاری معیارهایی همچون درجه شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از شهر، فاصله از روستا، فاصله از گسل، فاصله از آب های سطحی، فاصله از دالان هوایی، فاصله از جاده و فاصله از مراکز صنعتی، ناحیه مناسب به‌عنوان بهترین نقاط با اولویت‌های اول تا سوم برای مکان‌یابی پادگان مشخص گردید. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸) با شناسایی وضعیت استقرار مراکز نظامی و دفاعی شهرستان‌های مرزی آذربایجان غربی و تجزیه و تحلیل شرایط ناحیه، مکان‌هایی مناسب برای احداث مراکز نظامی و دفاعی انتخاب کردند. آن‌ها ابتدا با تهیه پرسش‌نامه، نظرات کارشناسان خبره و ژئومورفولوژی دربارهٔ عوامل مؤثر در مکان‌یابی بهینه مراکز نظامی را جمع‌آوری کردند، سپس با رقومی کردن لایه‌های موردنیاز، نقشه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS آماده و سپس وزن‌دهی معیارهای اصلی یعنی توپوگرافی، خاک شناسی، هیدرولوژی و زمین شناسی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP[1]) انجام شد. نوری کلکناری (۱۳۹۸) روشی مناسب و بهینه جهت شناسایی مخاطرات نظامی و اجرایی شدن عوامل مؤثر پدافند غیرعامل جهت مکان‌یابی یگان های نظامی به‌منظور حفاظت تسهیلات و افزایش توان عملیاتی آنها ارائه کرد. عوامل متعددی نظیر مباحث آمایشی شرایط محیطی، راه‌های ارتباطی، آب و پوشش گیاهی، مسائل امنیتی، ملاحظات سیاسی و پدافند غیرعامل، نوع و مأموریت یگان نظامی در انتخاب مکان بهینه مورد توجه قرار گرفته است.

مسئله مکان‌یابی تجهیزات نظامی همچنین با رویکردهایی در نظریه بازی و علوم ریاضی موردتوجه محققان زیادی قرار گرفته است. در زمینه ادبیات موضوع در دهه های اخیر تحقیقات گسترده ای در این زمینه صورت گرفته است که می توان به مطالعات زیر اشاره کرد:

نخستین مدل سازی از مساله با استفاده از برنامه ریزی دوسطحی توسط اونو و کاتاگیری (۲۰۰۸) ارائه شده است. تصمیم‌گیرنده سطح اول یا پیشرو (مدافع) تسهیلات دفاعی را در یک شبکه مکان‌یابی می‌کند و تصمیم‌گیرنده سطح دوم یا پیرو (مهاجم)

[1] Analytic Network Process

تصمیم دارد در راسی از شبکه قرار گیرد که کوتاه‌ترین فاصله را تا هسته داشته باشد. برمن[۱] و همکارانش (۲۰۰۹) DLP را در قالب یک مساله پوشش ماکزیمال تدافعی فرمول بندی کردند. در این مساله، مدافع p تسهیل را در یک شبکه سرویس دهی به منظور بیشینه کردن پوشش نقاط تقاضا مکان‌یابی می‌کند. در مقابل مهاجم تصمیم می‌گیرد که به سبب بیشترین کاهش در پوشش به یک لینک در اثر یک هجوم یا حادثه طبیعی آسیب وارد کند. به‌این‌ترتیب هدف مدافع، پوشش دادن بیشترین تقاضاها در پی آسیبی است که به یک مسیر ارتباطی تسهیلات وارد می‌شود. لذا این مساله به عنوان یک مساله مدافع – مهاجم یا تعادل استکلبرگ فرمول‌بندی شده است. کاردانی و کاردانی (۲۰۱۳) یک رویکرد جدید برای DLP با هدف تعمیم این مساله به یک مساله بهینه‌سازی پیوسته و محدب پیشنهاد دادند. در مساله جدید، فرض شده است که مدافع می تواند هر کسری از یک توان دفاعی را در راس های شبکه قرار دهد. درواقع ظرفیت دفاعی اختصاص یافته به هر راس شبکه می تواند هر عدد حقیقی مثبت در یک فاصله پیوسته باشد.

در یک تحقیق دیگر، خاندوزی و همکارانش (۲۰۱۵)، یک مدل برنامه ریزی دوسحطی پیوسته از DLP مطرح کردند. آنها با در نظرگرفتن متغیرهای تصمیم‌گیری مساله به عنوان مقادیر تسهیلات دفاعی که در هر راس با توجه به توان دفاعی قرار می گیرد، یک مدل پیوسته از مساله ارایه کردند. با توجه به طبیعت NP- سخت مسایل برنامه ریزی دوسطحی (هانسن[۲] و همکاران، ۱۹۹۲)، از روش های فراابتکاری با کارایی مناسب در دقت و زمان حل برای حل این مسایل استفاده شد. یک روش ترکیبی جدید مبنی بر الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری برای حل CDLP توسط ملکی و همکارانش (۲۰۱۷) طراحی شده است. نتایج عددی روش جدید با جواب دقیق نمونه های کوچک و مقایسه با سایر الگوریتم ها در نمونه های بزرگ، نشان دهنده کارایی بالای آن در دقت و زمان محاسباتی پایین است. قندهاری و موسی زاده (۱۳۹۳) یک مدل برنامه ریزی دوسطحی در قالب یک بازی استکلبرگ بین دولت (پیشرو) و تروریست (پیرو) فرمول بندی شده است. دولت به دنبال مکان یابی چند تسهیل با هدف کاهش خسارات ناشی از حملات تروریستی با توجه به محدودیت هایی از قبیل

[۱] Berman
[۲] Hansen

هزینه پیشگیرانه و بودجه است. عباسی رائی و همکاران (۱۳۹۷)، یک مدل برنامه ریزی دوسطحی عدد صحیح برای مساله مکان یابی یگان های نظامی و حمل ونقل استقرار و ضد استقرار ارایه کردند. در این تحقیق قرارگاه منطقه ای به عنوان سطح پیشرو و یگان ها به عنوان سطح پیرو مورد بررسی قرار گرفته اند. در تحقیق پیمان کار و همکاران (۱۳۹۷) به مساله مکان یابی پایگاه های سلاح های سخت و نرم در قالب یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح خطی پرداخته شده است. هدف مدل بیشینه سازی میزان دسترسی به اهداف و میزان حفاظت از نواحی مهم است.

با گسترش استفاده از روش های فراابتکاری، اجرای این روش ها جهت حل مسایل بهینه سازی مکان یابی، تخصیص و دوسطحی نسبت به سایر الگوریتم ها افزایش یافته است. اما از آنجا که این الگوریتم ها، روش های تقریبی برای حل مسایل برنامه ریزی ریاضی هستند، حل یک مساله با الگوریتم های فراابتکاری گوناگون به جواب های مختلف منجر می شود. بنابراین مقایسه و ارزیابی پاسخ های تولید شده از طریق جستجوی روش های فراابتکاری مختلف، استراتژی کارا در کاربرد بهینه از الگوریتم های تقریبی محسوب می شود. همچنین قرارگیری DLP در گروه مسایل NP-سخت، اهمیت کاربرد روش های فراابتکاری را به اثبات می رساند و نویسندگان و پژوهشگران شبکه های سرویس دهی، صورت های گوناگونی از این الگوریتم ها را در حل مسایل مکان یابی به کار گرفته اند. جدول (۱) به برخی از این مطالعات به تفکیک روش های فراابتکاری مورد کاربرد اشاره می کند.

جدول ۱. استفاده الگوریتم های فراابتکاری در حل مسایل مکان یابی و دوسطحی

الگوریتم فراابتکاری	پژوهشگران
الگوریتم ژنتیک (GA[۱])	اونو و کاتاگیری (۲۰۰۸)، کاردانی و کاردانی (۲۰۱۳)، ملکی و همکاران (۲۰۱۷)، پیمان کار و همکاران (۱۳۹۷)
الگوریتم جستجوی ممنوعه (TS[۲])	اونو و کاتاگیری (۲۰۰۸)، خاندوزی و همکارانش (۲۰۱۵)، درزنر[۳] و همکاران (۲۰۱۵)
الگوریتم کوچ پرندگان (PSO[۴])	اونو و همکاران (۲۰۰۷)، ملکی و همکاران (۲۰۱۷)، پیمان کار و همکاران (۱۳۹۷)
الگوریتم رقابت استعماری (ICA[۵])	ملکی و همکاران (۲۰۱۷)، اسماعیلی و سه ده زاده (۲۰۲۰)
الگوریتم شبیه سازی تبرید (SA[۶])	برگلوند[۷] و کان[۸] (۲۰۱۴)
الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر (VNS[۹])	کاردانی و کاردانی (۲۰۱۳)، ژانگ[۱۰] و همکاران (۲۰۱۶)
الگوریتم شبه الکترومغناطیس (EM[۱۱])	کاردانی و کاردانی (۲۰۱۳)
TLBO	کانوار[۱۲] و همکاران (۲۰۱۵)، جیا[۱۳] و لی[۱۴] (۲۰۱۶)، خاندوزی و همکاران (۲۰۱۸)، کتابی و همکاران (۲۰۱۹)، جیل[۱] و همکارن (۲۰۱۹)

[۱] Genetic Algorithm
[۲] Tabu Search
[۳] Drezner
[۴] Particle Swarm Optimization
[۵] Imperialist Competitive Algorithm
[۶] Simulated Annealing
[۷] Berglund
[۸] Kwon
[۹] Variable Neighborhood Search
[۱۰] Zhang
[۱۱] Electromagnetism-like Mechanism
[۱۲] Kanwar
[۱۳] Jia
[۱۴] Li

مرور تحقیقات پیشین نشان دهنده شایستگی و استفاده موفق TLBO در حل مسایل دوسطحی پیوسته، تخصیص و مکان یابی می باشد که در نتیجه در مطالعه حاضر مورد توجه و کاربرد قرار خواهد گرفت. علاوه بر TLBO، با هدف اعتماد به پاسخ های بدست آمده، از دو روش که اخیرا در مطالعات مکان یابی تدافعی نیز کاربرد داشته اند با نام های ICA و TS استفاده شده است و نتایج عددی حاصل از حل چند نمونه عددی تصادفی مورد مقایسه قرار خواهند گرفت.

اونو و کاتاگیری (۲۰۰۸) با معرفی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی و استکلبرگ در یک محیط رقابتی گام بزرگی برای حل مسئله مکان‌یابی تجهیزات نظامی برداشتند. علی رغم محبوبیت مدل آن‌ها، این مدل در عمل دارای معایب و نقاط ضعفی به شرح زیر می‌باشد: (۱) برقرار نبودن فرض ارزش دفاعی تجهیزات نظامی (۲) در نظر نگرفتن توان دفاعی (۳) مشکلات محاسباتی در حل نمونه‌های با ابعاد بالا از مدل.

در مورد اولین و دومین نقطه‌ضعف مدل ارائه شده توسط اونو و کاتاگیری (۲۰۰۸)، می توان گفت که مدل ارایه شده توسط خاندوزی و همکاران (۲۰۱۵) بر اساس این فرضیات مطرح شده است که این داده ها و محدودیت‌ها در مسائل موجود در کاربردهای نظامی واقعی برقرار هستند. در خصوص سومین ایراد واردشده به کار اونووکاتاگیری (۲۰۰۸)، می‌توان گفت که مسئله NP- سخت حاصل را می‌توان با الگوریتم‌های فراابتکاری حل کرد. مزیت کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری در حل این نوع مسائل، رسیدن به جواب بهینه یا نزدیک به بهینه با دقت بالا و زمان محاسباتی کم است که در این مقاله به کاربرد یک الگوریتم فراابتکاری با ساختار مناسب خواهیم پرداخت. با توجه به مزایای TLBO از قبیل ساختار ساده، پارامترهای کم، توانایی همگرایی سراسری و پایداری و کارایی در حل مسایل علمی و مهندسی، یک روش ترکیبی بر اساس TLBO ارایه کردیم. علاوه بر این، عملکرد روش پیشنهادی در مقایسه با ICA و TS برای ارزیابی کارایی و اثربخشی مورد بررسی قرار می گیرد. در مورد روش جدید، لازم است بیان کنیم که الگوریتم های فراابتکاری رویکردهایی موثر

[1] Gill

برای حل مسایل بهینه سازی NP - سخت هستند. مساله مکان یابی تجهیزات نظامی برای حفاظت سایت های استراتژیک به عنوان یک مساله برنامه ریزی دوسطحی و فرمول بندی شده است و لذا به عنوان یک مساله ***NP*** – سخت شناخته می شود. عطف به روش های عددی و دقیق، محدودیت هایی برای حل این مساله به دلیل زمان محاسباتی بالا و اجرای دشوار آن ها وجود دارد. از نقطه نظر حل، الگوریتم های فراابتکاری به راحتی پیاده سازی می شوند و می توانند جواب های نزدیک به راه حل بهینه را در زمان کوتاه تر بدست آورند. اخیرا، محققان از برخی الگوریتم های فراابتکاری مانند ICA و TS برای حل مساله مورد نظر استفاده کرده اند. در این پژوهش، یک روش جدید مبتنی بر TLBO برای حل آن ارائه شده است. دلایل ما برای انتخاب TLBO در حل مساله شامل موارد زیر است:

- با توجه به ماهیت NP – سخت مساله که مربوط به فرمول بندی دوسطحی است، مساله توسط الگوریتم های دقیق در زمان چندجمله ای قابل حل نیست. از این رو، یک الگوریتم فراابتکاری کارآمد برای حل آن استفاده می کنیم. TLBO یک الگوریتم فراابتکاری است که برای جستجو و یافتن جواب هایی برای مسایلNP سخت طراحی شده است. این الگوریتم با موفقیت برای حل مسایل بهینه سازی با متغیرهای پیوسته در فضای گسسته به کار می رود. لذا مساله ارائه شده در این مقاله را می توان با TLBO حل کرد.
- TLBO یک الگوریتم فراابتکاری جدید است که برای حل انواع مسایل بهینه سازی اجرا شده است و عملکرد آن با سایر الگوریتم های فراابتکاری همچون GA، PSO، الگوریتم کلونی مورچگان، الگوریتم تکامل تفاضلی (رائو و همکاران، ۲۰۱۲؛ رائو و پاتل[۱]، ۲۰۱۳) مقایسه شده است. نتایج بدست آمده، کارایی قابل توجهی را نشان می دهد که توسط TLBO در مقایسه با سایر الگوریتم های فراابتکاری در حل انواع مسایل بهینه سازی بدست آمده است. نظر به ویژگی همگرایی سراسری و سرعت همگرایی بالای TLBO، ما از این الگوریتم برای حل

[۱] Patel

مساله سطح بالا و الگوریتم دایجسترا به عنوان حل کننده دقیق برای حل مساله سطح پایین و تضمین شدنی بودن، استفاده می کنیم.

- مساله مکان‌یابی تجهیزان نظامی را می‌توان در محیط واقعی در نظرگرفت. بیشتر الگوریتم‌های فراابتکاری ارائه‌شده برای نمونه‌های کوچک تا متوسط مناسب هستند. با این حال، نشان داده شده است که روش پیشنهادی برای مسایل بزرگ مقیاس عملی و قابل اجرا است. همچنین، همانطور که در جداول (۳) و (۴) نشان‌داده شده‌است، آزمایش‌ها محاسباتی تایید کردند که این روش به ویژه برای نمونه‌های بزرگ مقیاس بهتر از ICA و TS عمل می‌کند. بنابراین، برای پیدا کردن راه‌حل‌های مناسب با زمان محاسباتی معقول اجرا می‌شود. هدف از این تحقیق، حل سریع این مساله بود و این کار به خوبی انجام شده است.
- TLBO فقط به دو پارامتر کنترلی نیاز دارد (یعنی تعداد تکرار و اندازه جمعیت)، در حالی که دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری به پارامترهای کنترلی بیشتری نیاز دارند. برای مثال، در ICA این پارامترها عبارتند از: ضریب انقلاب، اندازه جمعیت، تعداد امپریالیست ها، تعداد تکرارها، ضریب جذب و راویه جذب. بنابراین، TLBO ساده و موثر بوده و نیازمند تلاش محاسباتی کمتری است و برای حل مساله در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت و نتایج با ICA و TS مقایسه شد.
- هر الگوریتم که بتواند به تابع هدف بزرگتری دست پیدا کند موثرتر است. نتایج جداول (۳) و (۴) کارایی الگوریتم پیشنهادی را در حل این مساله نشان می‌دهد. در واقع،TLBO می‌تواند به بیشترین مقادیر برای تابع هدف برسد که به این معنی است که روش ارائه‌شده برای مسایل پیچیده مانند مساله مکان‌یابی تجهیزات نظامی مناسب است

مدل مکان یابی تدافعی تک هدفه پیوسته در این بخش CDLP به صورت یک مساله برنامه ریزی دوسطحی فرمول بندی می شود (خاندوزی و همکارانش، ۲۰۱۵).

داده های مساله:

G شبکه‌ای است که مدافع تسهیلات دفاعی را روی آن مکان‌یابی می‌کند؛

n تعداد راس‌های شبکه؛

V مجموعه راس‌های شبکه، به عبارت دیگر $V = \{v_1,\ldots,v_n\}$؛

i, j اندیس متناظر با راس‌های شبکه، $i, j = 1,\ldots,n$؛

E مجموعه یال‌های شبکه G، $|E| = r$؛

ξ n امین راس شبکه G که مهاجم در آن قرار دارد؛

c راسی است که هسته در آن قرار می‌گیرد و مدافع می‌بایست از آن در برابر مهاجم دفاع کند؛

$\bar{\alpha}$ میزان انرژی اولیه مهاجم؛

e_{ij} یال بین راس iام و راس j ام؛

w_{ij} وزن یال e_{ij} $(w_{ij} \succ 0)$؛

P_{vc} مجموعه همه مسیرها از راس دلخواه v به هسته c؛

γ_i کل توان دفاعی روی راس i ام؛

f_i ارزش دفاعی یک واحد از تسهیلات متفاوت روی راس i ام؛

e^l l امین یال روی مسیر مهاجم؛

v^λ λ امین راس در بردار تصمیم مهاجم.

متغیرهای مساله :

q_i مقداری از تسهیلات دفاعی که روی راس iام قرار می‌گیرد. بنابراین $\mathbf{q} = (q_1,\ldots,q_{n-1})$ بردار تصمیم مدافع است؛

p بردار تصمیم مهاجم (مهاجم تصمیم می‌گیرد مسیرهایی از ξ به c پیدا کند).

فرضیات :

۱) فاصله بین راس v و هسته c به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$d^c(v) \equiv \min_{p \in P_{vc}} \sum_{e_{ij} \in p} w_{ij}$$

۲) مدافع می‌تواند وسایل دفاعی را روی هر راس شبکه جز ξ مکان‌یابی کند؛
۳) مهاجم قبل از ترک ξ دارای انرژی اولیه $\overline{\alpha} \succ 0$ است؛
۴) مهاجم انرژی خود را به دو شکل مصرف می‌کند:
الف) با طی کردن یال e_{ij} انرژی مهاجم به میزان w_{ij} کاهش می‌یابد،
ب) اگر مهاجم از v_i به v_j برود، به دلیل برخورد با وسایل دفاعی در راس j ام انرژی آن به‌اندازه $f_j q_j$ کاهش می‌یابد. بنابراین انرژی کاهش‌یافته مهاجم از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\overline{w}(e_{ij}, \mathbf{q}) = w_{ij} + f_j q_j$$

۵) زمانی که انرژی مهاجم به صفر برسد، مهاجم از بین خواهد رفت؛
۶) مهاجم در صورتی می‌تواند خود را به راس λ ام برساند که انرژی مهاجم $\alpha(v^{\lambda}(\mathbf{p}) \mid \mathbf{q})$، مثبت باشد. مقدار این انرژی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\alpha(v^{\lambda}(\mathbf{p}) \mid \mathbf{q}) = \overline{\alpha} - \sum_{l=1}^{\lambda} \overline{w}(e^{l}(\mathbf{p}), \mathbf{q})$$

مدل ریاضی دوسطحی

فرم کلی مساله CDLP و تک هدفه را به‌صورت زیر می‌توان فرمول‌بندی کرد. هدف مهاجم رسیدن به هسته c یا نزدیک‌ترین راس ممکن به c است، لذا تابع هدف مهاجم به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$f^{I}(\mathbf{q}, \mathbf{p}) = min_{v \in \mathbf{p}} \{ d^{c}(v) \mid \alpha(v \mid \mathbf{q}) \pm 0 \}$$

اگر تابع هدف مدافع را با $f^{d}(\mathbf{q}, \mathbf{p})$ نمایش دهیم و CDLP را به‌عنوان یک بازی استکلبرگ با مجموع صفر در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$f^{d}(\mathbf{q}, \mathbf{p}) + f^{I}(\mathbf{q}, \mathbf{p}) = 0$$

محدودیت‌های CDLP همانند محدودیت‌های موجود در مسایل مکان یابی رقابتی است. لذا مجموعه شدنی مدافع به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$FD = \{\mathbf{q} \in \mathrm{P}^{n-1} \mid \mathbf{Aq} = \mathbf{b}\}.$$

از طرف دیگر، مجموعه شدنی مهاجم که با FI نمایش داده می‌شود، تمام مسیرها از ξ به c است. لذا فرم کلی CDLP را به صورت زیر می‌توان بیان کرد:

$$\max_{\mathbf{q}} f^d(\mathbf{q},\mathbf{p})$$

که در آن $\mathbf{p}$ جواب مساله زیر است:

$$\min_{\mathbf{p}} f^d(\mathbf{q},\mathbf{p})$$

s.t.

$$\mathbf{q} \in FD, \mathbf{p} \in FI$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} f_i q_i = \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i \ , \mathbf{q} \in [0,\gamma]$$

ازآنجاکه TLBO برای حل مسایل بهینه‌سازی بدون محدودیت و کمینه‌سازی بکار می‌رود، از روش تابع جریمه (فلتچر[۱]، ۲۰۱۳) استفاده می‌شود و محدودیت‌های CDLP با یک جریمه زیاد به تابع هدف اضافه می‌شود. همچنین مساله بیشینه‌سازی است، که از مساله کمینه‌سازی قرینه آن استفاده می شود. بنابراین، مساله برای حل به‌وسیله TLBO به صورت زیر تعریف می شود:

$$\min_{\mathbf{q}} F(\mathbf{q}) = -f^d(\mathbf{q},\mathbf{p}) + \mu[\|\mathbf{Aq} - \mathbf{b}\|^2 + (\sum_{i=1}^{n-1} f_i q_i - \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i)^2]$$

که در آن $\mathbf{p}$ جواب مساله زیر است:

[۱] Fletcher

$$\min_{\mathbf{p}} f^{d}(\mathbf{q},\mathbf{p})$$

s.t.

$$\mathbf{p} \in FI$$

$$\mathbf{q} \in [0,\gamma]$$

جایی که $\mu > 0$ پارامتر جریمه و $\|\cdot\|$ نرم اقلیدسی است.

در این بخش، مدل مساله مکان یابی تجهیزات نظامی روی شبکه توصیف می شود. برای توضیح روش، مثال زیر را در نظر بگیرید. حکومت یک کشور تجهیزات نظامی را برای جلوگیری از دستیابی و نزدیکی دشمن به پایتخت آن کشور مکان یابی می کند. فرض کنید کل کشور به صورت یک شبکه، پایتخت آن به صورت راسی از آن شبکه و دشمن نیز در یکی از راس های این شبکه قرار دارد. بر این اساس، مساله مکان یابی تجهیزات نظامی می تواند به صورت یک مساله با هدف تعیین مکان مناسب برای استقرار تجهیزات نظامی، مدل سازی شود. شکل (۱)، مثال ارایه شده را تشریح می کند.

همان طور که در مدل اولیه توسط اونو و کاتاگیری (۲۰۰۸) مشاهده می شود، مدافع باید تصمیم بگیرد که آیا یک تسهیل نظامی در یک راس از شبکه قرار دارد یا خیر. لذا مولفه های بردار تصمیم گیری مدافع؛ یکی از دو مقدار ۰ و ۱ است. اما در کاربردهای واقعی ارزش دفاعی تسهیلات یکسان نیست. در حقیقت هر تسهیل دفاعی دارای توان دفاعی مشخصی است. در کاربردهای نظامی، چنین توانی راندمان دفاعی تسهیلات با منابع مالی متفاوت برای ساخت تسهیلات تعبیر می شود. بنابراین با در نظرگرفتن متغیرهای تصمیم گیری مساله به عنوان مقادیر تجهیزات نظامی که در هر راس با توجه به توان دفاعی قرار می گیرد، یک مدل کاربردی تر از مساله توسط خاندوزی و

همکاران (۲۰۱۵) ارایه شده است. مدل حاصل، یک مدل برنامه ریزی خطی دوسطحی با متغیرهای پیوسته است.

۳- الگوریتم فراابتکاری آموزش و یادگیری

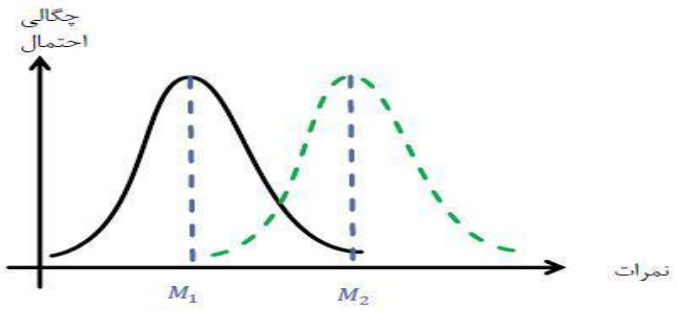
الگوریتم بهینه سازی TLBO مشابه سایر الگوریتم‌های بهینه سازی تکاملی موجود یک الگوریتم برگرفته از طبیعت و مبتنی بر جمعیت است و بر اساس تاثیر یک معلم بر روی یادگیری در کلاس درس شکل‌گرفته است. این الگوریتم اولین بار توسط رائو[۱] و همکارانش (۲۰۱۱) معرفی شد. این الگوریتم از یک جمعیتی از جواب ها برای دستیابی به جواب کلی استفاده می نماید. جمعیت به عنوان دسته ای از دانش آموزان یک کلاس در نظر گرفته می شوند. یک معلم سعی می کند تا با آموزش به دانش آموزان، سطح دانش آنها را افزایش دهد و دانش آموز به نمره خوبی دست یابد. بدرستی یک معلم خوب کسی است که دانش آموز خود را به سطح دانش خود یا نزدیک به آن برساند. معلم یک فرد با دانش بالا در اجتماع بوده که علم خود را به دانش آموزان خود منتقل می کنند، به طوری که بهترین جواب (بهترین فرد جمعیت) در همان تکرار به عنوان معلم درنظر گرفته می شود. یک دانش آموز مطابق با کیفیت آموزش ارائه شده توسط معلم و وضعیت بقیه دانش آموزان حاضر در کلاس دانش کسب می کنند.

الگوریتم TLBO بر مبنای تاثیر یک معلم بر روی خروجی دانش آموزان در یک کلاس است و در یک کلاس معلم فردی انتخاب می شود که دارای مقدار بهتری از لحاظ هدف و نمره بالاتری نسبت به دانش آموزان دارد و می تواند به دانش آموزان دانش خود را آموزش دهد. یک معلم خوب، یک میانگین بهتر برای دانش آموزان ایجاد می کند. در هر مرحله و تکرار معلم فردی است، که بهترین شخص

[۱] Rao

کلاس است و بهترین تابع هدف را دارد. البته در هر مرحله ممکن است معلم تغییر نماید.

این الگوریتم جهت استفاده در حل مسایل علوم و مهندسی انتخاب بسیار مناسبی می باشد. این روش از فرآیند آموزش و یادگیری که در کلاس درس اتفاق می افتد، نشات گرفته است. بدین ترتیب که وقتی معلم درس را آموزش می دهد، در نهایت ارزیابی کرده و دانش آموزان نیز نمرهایی را کسب می نمایند. اگر شکل (۱) نمودارهای توزیع احتمال نمرات دانش آموزان باشد، نمودار سمت چپ مربوط به کلاس اول و نمودار سمت راست مربوط به کلاس دوم یا معلم دیگر است. مقایسه سطح نمرات این دو کلاس نشان می دهد که معلم دوم بهتر عمل کرده است چرا که میانگین سطح کلاس آن که $M۲$ می باشد، از میانگین کلاس اول $M۱$ بیشتر می باشد.



شکل ۱ نمودار توزیع احتمال نمرات دانش آموزان

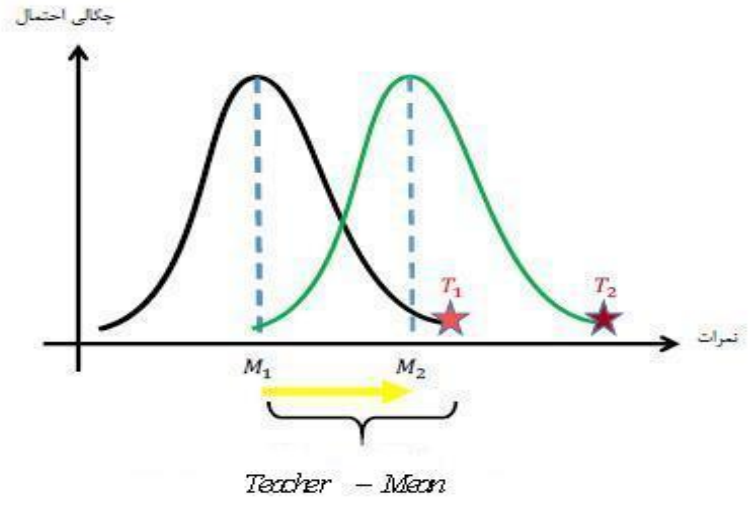
در این نمودار برای نمایش توزیع نمرات از توزیع گاوسی استفاده شده است که می توان از هر توزیع دیگری نیز استفاده کرد.

الگوریتم بهینه سازی TLBO دارای دو مرحله یا دو گام اصلی است که عبارتند از:

- مرحله معلم یا فاز آموزش
- مرحله دانش آموز یا فاز یادگیری

مرحله معلم یا فاز آموزش

در مرحله اول، معلم تلاش می کند تا میانگین کلاس را به سطح دانش خود برساند و سطح دانش آموزان در این مرحله به سمت معلم تغییر می یابد (شکل ۲). در این روش معلم از بین دانش آموزان انتخاب می شود، یعنی فردی که دانشش از بقیه بیشتر و بهتر باشد به عنوان معلم انتخاب می شود.



شکل ۲ نمودار جابجایی در فاز معلم

در نمودار شکل ۲، T_1 به عنوان معلم کلاس انتخاب شده و تلاش میکند میانگین سطح کلاس یعنی M_1 را به سطح خودش برساند. اما در عمل این امر میسر نیست که همه دانش آموزان به سطح معلم برسند بلکه نهایت به سطح میانگین جدید M_2 خواهند رسید. در اینجا به یک جمعیت دیگر خواهیم رسید

که دارای میانگین M_2 است و معلم جدید، همان بهترین شخص در جمعیت جدید یا T_2 انتخاب می شود. در این فاز معلم جدید یا همان T_2 تلاش می کند که میانگین سطح کلاس را به خودش برساند و این روند ادامه خواهد داشت تا جمعیت بهتر شود و به عنوان مرحله اول الگوریتم مطرح شده است.

مدل ریاضی برای مرحله معلم:

اندازه گام جابجایی برابر است با $Teacher^k - Mean^k$ که در این رابطه $Teacher^k$ همان میانگین مطلوب یا بهترین فرد کلاس می باشد و $Mean^k$ نیز میانگین اعضای جمعیت در تکرار فعلی است. بنابراین رابطه ریاضی برای مرحله معلم بدین صورت می باشد:

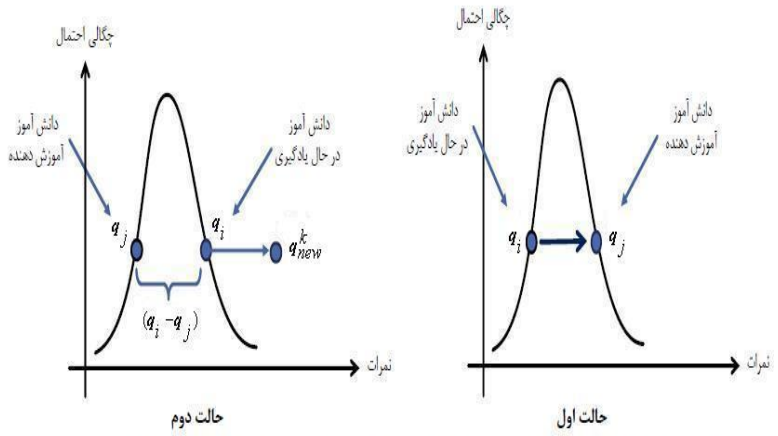
$$\boldsymbol{q}_{new}^{k} = \boldsymbol{q}_{old}^{k} + rand(.)(Teacher^k - TF^k\ Mean^k$$

که در آن $rand$ یک بردار تصادفی بین صفر و یک بوده که میزان موفقیت یک دانش آموز در یادگیری مطالب آموزش داده شده توسط معلم را نمایش می دهد. بدین صورت که اگر $rand$ صفر باشد یعنی دانش آموز از دانشی که معلم به او آموزش داده چیزی یاد نگرفته است و اگر $rand$ برابر یک باشد یعنی تمام دانش معلم را فراگرفته است. البته مقدار $rand$ بین صفر و یک است و بسته به عدد تصادفی یادگیری متفاوت می باشد. بدرستی $rand$ را می توان ضریب هوشی دانش آموز نیز در نظر گرفت. همچنین TF^k یا ضریب معلم نشان دهنده ضریب موفقیت معلم است که می‌تواند عدد ۱ یا ۲ باشد. اگر TF^k یک باشد، آموزش معمولی است ولی اگر این ضریب ۲ باشد شتاب یادگیری بیشتر خواهد شد. TF^k قدرت بیان یک معلم در نظر گرفته می شود. در واقع هدف از

$rand$ و TF^k در رابطه بالا ایجاد تنوع جمعیتی است تا فضای جستجو به صورت تصادفی توسط افراد جمعیت جستجو شوند.

مرحله دانش آموز یا فاز یادگیری:

مرحله دانش آموز یا یادگیری بعد از مرحله معلم اجرا می شود و دانش آموزان می توانند از یکدیگر نیز آموزش ببینند و بر روی یکدیگر تاثیر داشته باشند و این تعامل باعث می شود که سطوح دانش آموزان ارتقا یابد. همان طور که در شکل ۳ نمایش داده شده دانش آموزان با تعامل با یکدیگر سعی در افزایش سطح دانش هم دارند.



شکل ۳ حالت اول: اگر نمرات آموزش گیرنده از آموزش دهنده بدتر باشد. حالت دوم: اگر نمرات آموزش گیرنده از آموزش دهنده بهتر باشد.

با توجه به شکل ۳ دو دانش آموز بصورت تصادفی از بین جمعیت انتخاب می شوند و و در آن دانش آموز اول یعنی q_i می خواهد از دانش آموز دوم یعنی

q_j آموزش ببیند. بسته به میزان نمره این دو دانش آموز دو حالت برای تاثیر پذیری علم دانش آموز q_i و دانش آموز q_j بوجود می آید:

- حالت اول: اگر نمرات دانش آموز در حال یادگیری از دانش آموز آموزش دهنده بدتر باشد.
- حالت دوم: اگر نمرات دانش آموز در حال یادگیری از آموزش دهنده بهتر باشد.

حالت اول: اگر نمرات دانش آموز در حال یادگیری از دانش آموز آموزش دهنده بدتر باشد

در این حالت یک دانش آموز ضعیف q_i از یک دانش آموز با نمرات بهتر آموزش q_j می ببیند یعنی تا حد ممکن می خواهد فاصله خودش را با همکلاسی اش کم کند. در نتیجه مشابه مرحله معلم برای افزایش تنوع جمعیتی یک ضریب تصادفی $rand$ اضافه می نماییم. رابطه این حالت بصورت زیر تعریف شده است:

$$q_{new}^{k} = q_i + rand(.)(q_j - q_i)$$

حالت دوم: اگر نمرات دانش آموز در حال یادگیری از آموزش دهنده بهتر باشد

همان طور که در شکل ۳ نمایش داده شده است در این حالت دانش آموز در حال یادگیری که همان q_i می باشد از دانش آموز در حال آموزش یعنی q_j دارای نمرات بهتری می باشد. لذا برای بهبود موقعیت q_i باید تا جای ممکن از q_j دور شود یا فاصله بگیرد. بنابراین عکس حالت قبلی اتفاق می افتد یعنی:

$$q_{new}^{k} = q_i + rand(.)(q_i - q_j)$$

در هر دو مرحله معلم و دانش آموز با ایجاد دانش آموز جدید q_{new}^{k} مقدار تابع هدف محاسبه می شود و اگر این مقدار از مقدار تابع هدف دانش آموز قبلی بهتر باشد، دانش آموز جدید جایگزین دانش آموز قدیمی می شود در غیر این صورت دانش آموز قدیم بدون تغییر می ماند.

ترکیب الگوریتم آموزش و یادگیری و الگوریتم دایکسترا:

برای محاسبه مقدار تابع هدف برای هر بردار تصمیم مدافع ($\mathbf{q} \in [0, \gamma]$)، دو مقدار زیر محاسبه می شوند:

۱) کمینه مجموع وزن ها از ξ به تمام راس ها باتوجه به بردار $\mathbf{q}$؛
۲) فاصله تمام راس ها تا راس c، که در واقع کمینه مجموع وزن ها از تمام راس ها به راس c است.

هریک از این مسایل، یک مساله کوتاهترین مسیر است که الگوریتم دایکسترا (کورمن[۱] و همکاران، ۲۰۰۹) یک روش کارآمد برای حل آن است. برای حل CDLP با روش ترکیبی ارایه شده، ابتدا الگوریتم آموزش و یادگیری از یک جواب اولیه ($\mathbf{q} \in [0, \gamma]$) در فضای جواب مدافع حرکت می کند و سپس جواب بهینه مهاجم (کوتاهترین مسیر از ξ به c) با استفاده از الگوریتم دایکسترا بدست می آید. بنابراین، تکرارهای روش ترکیبی ارایه شده شامل جستجوی بهترین مقدار برای تسهیلات دفاعی در هر راس با استفاده از الگوریتم آموزش و یادگیری است. زمانی که مقدار تسهیلات دفاعی در هر راس تعیین شد، جواب بهینه زیرمساله مهاجم بدست می آید. الگوریتم دایکسترا یک استراتژی بهینه برای کوتاهترین مسیر از ξ به c توسط مهاجم ارایه می کند. پیاده‌سازی

[۱] Cormen

الگوریتم آموزش و یادگیری مبنی بر دایکسترا ارایه شده طی مراحل زیر در شکل (۴) انجام می‌پذیرد.

مراحل اجرای الگوریتم آموزش و یادگیری مبنی بر دایکسترا به صورت زیر می باشد:

گام ۱: مقداردهی به پارامترهای زیرمساله مدافع، جمعیت اولیه، متغیرهای $\mathbf{q}$ و معیار توقف

گام ۲: ارزیابی جمعیت اولیه

گام ۳: فراخوانی الگوریتم دایکسترا برای حل زیرمساله مهاجم و بدست آوردن جواب بهینه مهاجم (کوتاهترین مسیر از ξ به C)

گام ۴: محاسبه میانگین هر متغیر زیرمساله مدافع

گام ۵: انتخاب بهترین جواب

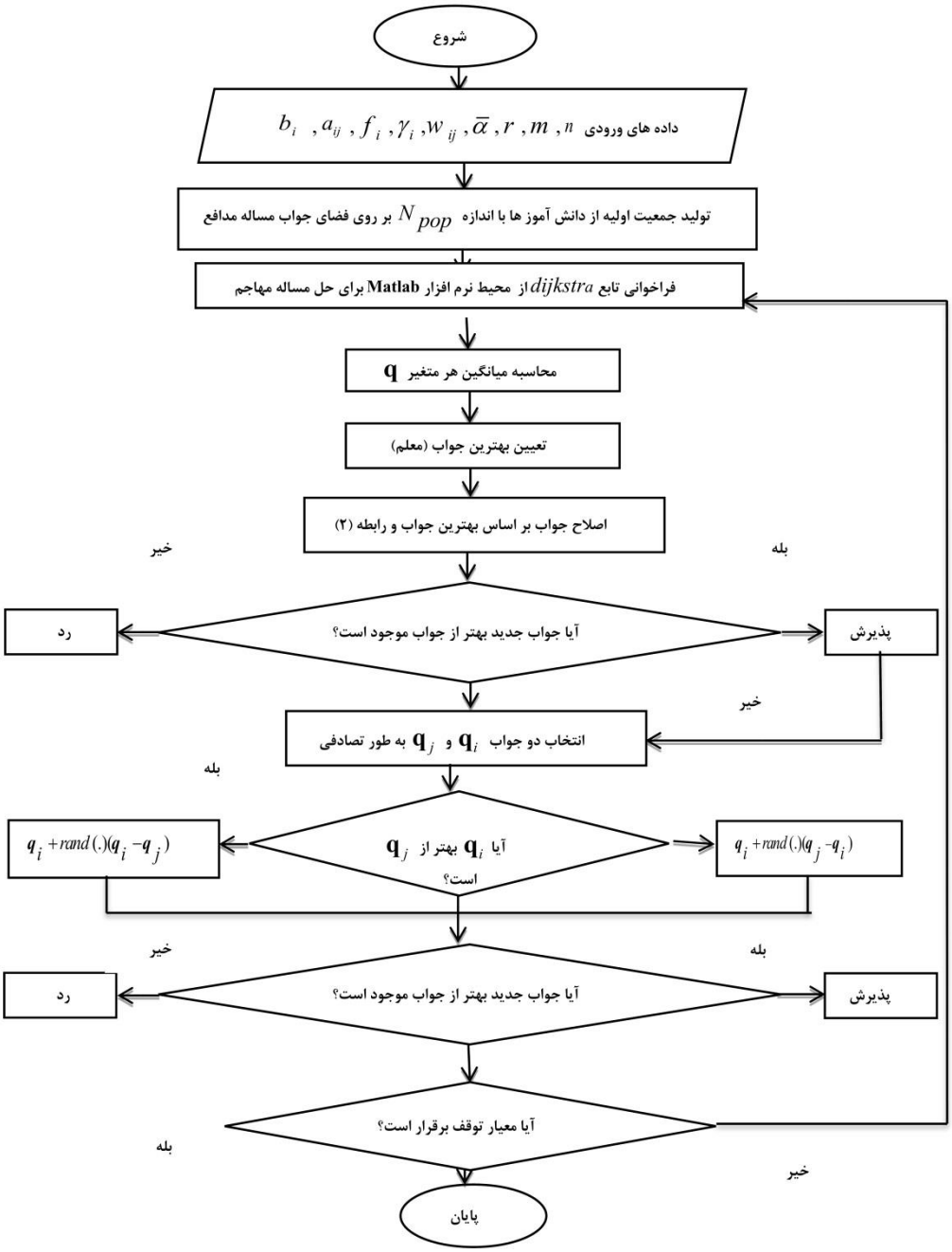
گام ۶: محاسبه اختلاف سطح دانش بین میانگین کلاس و معلم و اصلاح جواب ها بر اساس بهترین جواب

گام ۷: اگر جواب جدید از جواب فعلی بهتر است، جواب ها را به صورت تصادفی انتخاب و با مقایسه با یکدیگر آنها را اصلاح کن؛ وگرنه جواب قبلی را حفظ کن

گام ۸: اگر جواب جدید از جواب فعلی بهتر است، برو به گام ۹؛ وگرنه جواب قبلی رو حفظ کن و به گام ۹ برو

گام ۹: اگر جواب $\mathbf{q}$ به فضای جواب زیرمساله مدافع متعلق نیست، روش برآوری قیود مساله را اعمال کن وگرنه به گام ۱۰ برو

گام ۱۰: اگر شرط توقف برقرار شده است، مقدار نهایی جواب را برگردان؛ وگرنه به گام ۳ برو



شکل ۴ فلوچارت الگوریتم آموزش و یادگیری مبنی بر دایکسترا برای حل CDLP

پیاده سازی الگوریتم و نتایج محاسباتی

به منظور نشان دادن کارایی روش پیشنهادی چند نمونه عددی از مساله به صورت تصادفی طراحی و توسط روش ترکیبی مبنی بر TLBO و الگوریتم دایکسترا حل شده است.

نمونه های عددی:

در این قسمت تعریف نمونه‌های عددی گوناگون از CDLP موردبررسی قرار می‌گیرد. در نمونه های کوچک، یک شبکه شامل $n=200$ راس و $r=1970$ یال در نظر گرفته‌شده است. وزن‌های هر یال یعنی w_{ij} به‌طور تصادفی از مجموعه $\{1,2,...,1000\}$ انتخاب‌شده‌اند. انرژی اولیه مهاجم $\overline{\alpha}=200$ و برای $i=1,2,...,n-1$ کل توان دفاعی و ارزش دفاعی یک واحد از تسهیلات متفاوت روی راس i ام ، یعنی γ_i و f_i به‌طور تصادفی از $\{1,2,...,50\}$ و $\{1,2,...,5\}$ به ترتیب انتخاب‌شده‌اند. همچنین $m=50$ محدودیت در نظر گرفته‌شده است که در آن درایه‌های ماتریس A یعنی $a_{ij}\,(i=1,2,...,m\,,j=1,2,...,n)$ به‌طور تصادفی از $\{1,2,...,1000\}$ انتخاب‌شده‌اند. برای ماتریس b ، هر b_i به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$b_i=\theta_i\sum_{j=1}^{a}a_{ij}\quad i=\qquad m$$

که در آن $\theta_i\,(i=1,2,...,m)$ یک مقدار ثابت تصادفی بین $[0.1,0.2]$ است.

نمونه هایی در اندازه بزرگ با توجه به تعداد راس ها، تعداد یال ها، انرژی اولیه مهاجم، ارزش دفاعی یک واحد از تسهیلات و کل توان دفاعی روی راس i ام نیز

در نظرگرفته شده است. مشخصات این نمونه ها در جدول (۲) نمایش داده شده است؛ دیگر پارامترهای نمونه های بزرگ مشابه نمونه های کوچک است.

جدول ۲. مشخصات نمونه های بزرگ از CDLP

نمونه	n	r	$\bar{\alpha}$	γ_i	f_i
۱	۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۲۰۰۰	{۱،۲،...،۱۰۰}	{۱،۲،...،۱۰}
۲	۶۰۰۰	۳۰۰۰۰	۴۰۰۰	{۱،۲،...،۱۵۰}	{۱،۲،...،۱۵}
۳	۱۰۰۰۰	۴۵۰۰۰	۱۰۰۰۰	{۱،۲،...،۴۰۰}	{۱،۲،...،۳۰}
۴	۳۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	{۱،۲،...،۱۰۰۰}	{۱،۲،...،۵۰}

نتایج عددی :

مدل ریاضی با استفاده از روش ترکیبی در نرم افزار MATLAB و با به کارگیری تابع dijkstra حل شده است. همچنین پارامترهای در نظرگرفته شده برای حل CDLP توسط TLBO به شرح زیر است:

- ✓ جمعیت اولیه (N_{pop}): ۱۰۰
- ✓ حداکثر تعداد تکرارها (IT): ۲۰۰

به ازای ۸ نمونه عددی، مدل با روش های ترکیبی مبنی بر TLBO، ICA (ملکی و همکاران، ۲۰۱۷) و TS (خاندوزی و همکاران، ۲۰۱۵) حل شده و نتایج در جداول (۳) و (۴) نمایش داده شده است. در جداول (۳) و (۴) مقدار میانگین تابع هدف، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف، میانگین زمان اجرا و انحراف استاندارد مقادیر تابع هدف هر یک از الگوریتم ها به ازای ۳۰ بار اجرای آنها داده شده است. آزمایش هایی به شرح ذیل داده شده است:

آزمایش ۱: جداول (۳) و (۴) نتایج کاربرد ۳ الگوریتم فراابتکاری را روی ۸ نمونه عددی از CDLP نشان می دهد. این آزمایش عملکرد خوب الگوریتم

ترکیبی TLBO را در دقت نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که ICA در مقایسه با TS از لحاظ دقت بهتر است. این آزمایش کارای TLBO را برحسب دقت در مقایسه با ICA و TS تایید می کند. یعنی بیشترین فاصله بین هسته و مهاجم توسط TLBO بدست آمده است که اهمیت دفاع شبکه را نشان می دهد.

آزمایش ۲: . نتایج جداول (۳) و (۴) همچنین نشان می دهد TLBO دارای زمان محاسباتی کمتر از ICA و TS است. برطبق نتایج این جداول، TLBO و ICA برحسب زمان محاسباتی بهتر از TS هستند. همانطورکه در جدول (۳) مشاهده می شود میانگین زمان حل روش پیشنهادی مبنی بر TLBO به اندازه ٪ ۶۰ میانگین زمان حل روش TS می باشد که این موضوع به معنی کاهش ٪ ۴۰ زمان حل است.

آزمایش ۳: انحراف معیار میزان پراکندگی جواب های یک الگوریتم را تعیین می کند؛ لذا هرچه پراکندگی یک الگوریتم کمتر باشد، پایداری آن الگوریتم بیشتر است. نتایج جداول (۳) و (۴) نشان می دهند که الگوریتم ترکیبی مبنی بر TLBO پایدارتر از ICA و TS با توجه به معیار انحراف معیار می باشند. بر حسب این معیار، ICA پایدارتر از TS است. لذا TLBO پایدارترین الگوریتم در حل نمونه های CDLP است.

آزمایش ۴: نتایج جدول (۳) همچنین عملکرد خوب TLBO را روی حل نمونه های کوچک CDLP در مقایسه با جواب بهینه حاصل از روش دقیق نشان می دهد. این نتایج از شکاف حاصل از بهترین جواب TLBO، ICA و TS و جواب بهینه ای که از حل کننده CPLEX حاصل شده، به دست می آید. لذا برای هر نمونه عددی کوچک و هر روش فراابتکاری، شکاف بر حسب درصد محاسبه شده است. نتایج جدول (۳) اثبات می کنند که بر حسب معیار شکاف، TLBO با توجه به شکاف کوچکتر، بهترین روش در بین روش های فراابتکاری است.

آزمایش ۵: به سبب پیچیدگی محاسباتی مساله، نمونه های عددی در ابعاد بزرگ به وسیله روش های فراابتکاری TLBO، ICA و TS حل می شوند. نتایج عددی این روش ها برای نمونه های عددی بزرگ در جدول (۴) گزارش شده است. برطبق نتایج این جدول، TLBO برحسب دقت

محاسباتی و زمان بهتر از ICA و TS است. مقایسه این روش ها در مقدار تابع هدف پیشرو نشان می دهد که TLBO دارای عملکرد بهتری است و نتایج ICA و TS به ترتیب با ٪۴/۷۱ و ٪۱۰/۴۷ اختلاف با نتایج TLBO مطابقت دارند.

جدول ۳. نتایج محاسباتی الگوریتم های فراابتکاری بر روی۴ نمونه عددی تصادفی کوچک از CDLP

الگوریتم / نمونه	معیار	۱	۲	۳	۴
TLBO	بهترین مقدار	۱۴۶	۱۳۵	۱۶۱	۱۱۱
	مقدار میانگین	۱۴۱/۷	۱۳۰/۷	۱۵۶/۱	۱۰۷/۱
	بدترین مقدار	۱۳۵	۱۲۴	۱۴۷	۱۰۱
	میانگین زمان	۱۱۹/۱	۸۲/۵	۱۲۱/۹	۱۳۳/۶
	انحراف معیار	۲/۱۳	۲/۲۷	۲/۴۱	۱/۹۶
	شکاف	۲/۶۷	۶/۲۵	۵/۸۵	۱/۷۷
ICA (ملکی و همکاران، ۲۰۱۷)	بهترین مقدار	۱۴۲	۱۳۰	۱۵۵	۱۱۰
	مقدار میانگین	۱۳۷/۲	۱۲۵/۳	۱۴۹/۵	۱۰۵/۱
	بدترین مقدار	۱۳۰	۱۱۷	۱۴۰	۹۹
	میانگین زمان	۱۳۷/۱	۱۰۳/۲	۱۴۰/۷	۱۵۵/۸
	انحراف معیار	۲/۵۰	۲/۸۴	۳/۳۹	۲/۳۴
	شکاف	۵/۳۳	۹/۷۲	۹/۰۴	۲/۶۵
TS (خاندوزی و همکاران، ۲۰۱۵)	بهترین مقدار	۱۳۲	۱۲۷	۱۵۱	۱۰۷
	مقدار میانگین	۱۲۷/۲	۱۲۲/۵	۱۴۵/۳	۱۰۳/۸
	بدترین مقدار	۱۱۹	۱۱۷	۱۳۵	۹۶
	میانگین زمان	۱۸۴/۹	۱۵۷/۳	۱۹۸/۱	۲۱۳/۹
	انحراف معیار	۳/۲۵	۲/۹۸	۴/۸۶	۲/۸۵
	شکاف	۱۲	۱۱/۸۱	۱۱/۶۹	۵/۳۱
الگوریتم دقیق	تابع هدف	۱۵۰	۱۴۴	۱۷۱	۱۱۳
	زمان	۵۸۴۷	۵۷۴۵	۶۳۱۲	۶۱۹۸

جدول ۴. نتایج محاسباتی الگوریتم های ترکیبی بر روی۴ نمونه عددی تصادفی بزرگ از CDLP

نمونه / الگوریتم	معیار	۱	۲	۳	۴
TLBO	بهترین مقدار	۸۴۳	۱۲۹۲	۱۶۸۲	۳۰۶۶
	مقدار میانگین	۷۱۶/۶۵	۱۰۹۸/۴۱	۱۵۰۲/۲۳	۲۷۹۹/۳۵
	بدترین مقدار	۵۹۸	۸۹۶	۱۳۰۳	۲۶۰۸
	میانگین زمان	۵۸۲	۱۱۸۰	۱۷۱۸	۲۵۶۴
	انحراف معیار	۵۵/۲۴	۸۷/۲۵	۹۰/۵۹	۱۰۸/۴۲
ICA (ملکی و همکاران، ۲۰۱۷)	بهترین مقدار	۸۰۳	۱۲۳۳	۱۶۰۲	۲۹۲۰
	مقدار میانگین	۶۷۵/۱	۱۰۴۱/۱۵	۱۴۲۶/۴۵	۲۶۶۱/۰۵
	بدترین مقدار	۵۶۰	۸۴۹	۱۲۳۰	۲۴۷۲
	میانگین زمان	۷۳۲	۱۴۸۲	۲۱۴۸	۳۲۰۵
	انحراف معیار	۷۱/۲۵	۱۰۰/۸۲	۱۰۹/۵۶	۱۲۲/۳۴
TS (خاندوزی و همکاران، ۲۰۱۵)	بهترین مقدار	۷۵۴	۱۱۵۹	۱۵۰۵	۲۷۴۴
	مقدار	۶۴۸/۳۷	۹۷۸/۶۵	۱۳۴۰/۲۵	۲۵۰۱/۶۴

میانگین بدترین مقدار	۵۲۲	۷۹۴	۱۱۵۱	۲۳۱۸
میانگین زمان	۹۴۱	۱۹۰۶	۲۷۴۲	۴۱۰۶
انحراف معیار	۷۷/۳۴	۱۱۵/۳۵	۱۲۱/۳۹	۱۴۰/۸۱

نتیجه گیری

مکان یابی مناسب تجهیزات نظامی همواره مهم ترین مرحله در فرآیند پدافند عامل است. در این راستا باید تلاش کرد تا بر اساس محدودیت ها و توان دفاعی مورد نیاز، نسبت به انتخاب مکان مناسب اقدام کرد. صنایع دفاعی پیوسته در پی افزایش امنیت کشور ها و پایتخت آنها هستند. از عوامل مهم و تاثیرگذار در حفاظت سایت های کلیدی، مکان یابی درست پایگاه های نظامی است که اگر ظرفیت و توان دفاعی آنها نیز در حالت مطلوب قرار داشته باشند، بر پایداری و کارایی آنها خواهد افزود. مراقبت از پایتخت کشورها برای مقابله با حمله مهاجم، یک روش منطقی است. از آنجا که مهمترین هدف مورد نظر مهاجم به هر کشوری، پایگاه های نظامی آن کشور است، مکان یابی مناسب تجهیزات نظامی باعث می شود که حداکثر حفاظت و استحکام سازی و حداقل خسارت و صدمه را برای کشور فراهم کند. یکی از مهم ترین عوامل قابل بحث در مورد مکان یابی پایگاه های نظامی، کاربرد تجهیزات نظامی با توان دفاعی گوناگون می باشد. در این پژوهش به ارزیابی تاثیر عوامل مهم بر دفاع عامل در یک شبکه پرداخته شده و مکان های مناسب برای استقرار تجهیزات نظامی نیز شناسایی گردید. بدین منظور مساله مکان یابی تدافعی (DLP[1]) در قالب یک مساله برنامه

[1] Defensive Location Problem

ریزی دوسطحی بین یک مدافع (تصمیم گیرنده سطح بالا) و مهاجم (تصمیم گیرنده سطح پایین) مطرح شده است که در دسته مسایل NP- سخت قرار می گیرد و لذا برای حل نیازمند الگوریتم های فراابتکاری کارا می باشد. در این مقاله یک روش ترکیبی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری آموزش و یادگیری و الگوریتم دایکسترا ارایه شد. با توجه به نتایج عددی به دست آمده از پیاده سازی روش ترکیبی، مشخص است که این روش ترکیبی جدید برای حل DLP پیوسته و تک هدفه مفید است و به جواب های مناسبی از نظر دقت و زمان اجرا برای مساله مطرح شده دست یافته است. نتایج محاسباتی نشان دهنده کارایی مناسب الگوریتم ارایه شده در مقایسه با الگوریتم های موجود در ادبیات برای مساله مورد بررسی می باشد. همچنین نتایج حاصل نشان داد که به طور کلی در نظرگرفتن تجهیزات نظامی گوناگون با ارزش دفاعی متفاوت نسبت به مدل ارایه شده توسط اونو و کاتاگیری (۲۰۰۸)، بر میزان رضایت برای انتخاب مکان های مناسب جهت استقرار تجهیزات نظامی افزوده می شود.

مراجع

[۱] اله سهامی، حبیب (۱۳۸۶) آمایش و مکان یابی، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

[۲] پیمان کار، محبوبه؛ رنجبر، محمد؛ ایزدی پور، احمد؛ بلوچیان، سعید (۱۳۹۷) مدل‌سازی و حل مسئله چیدمان پایگاه های آتش. پدافند الکترونیکی و سایبری, ۶، ۳، ۵۷-۴۵.

[۳] ستاره، علی اکبر؛ زنگنه شهرکی، سعید؛ حسینی، علی (۱۳۹۰) آمایش و مکان یابی از منظر پدافند غیرعامل، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

[۴] عباسی رائی، علی؛ فرورش، حمید؛ نخعی کمال آبادی، عیسی (۱۳۹۷) مکان یابی، استقرار و ضد استقرار یگان ها در رزمایش های نظامی با استفاده از رویکرد برنامه ریزی دوسطحی، فصلنامه مدیریت نظامی، سال هجدهم، شماره ۳، ۱۸۱-۱۵۹.

[۵] محمودبابویی امید. (۱۳۹۲). تحلیل مکانیابی در آمایش دفاعی و پدافند غیرعامل. کنفرانس بین المللی اقتصاد در شرایط تحریم. بابلسر، ایران

[۶] روستایی, فتحی, فخری, محمدی فر, & عادل. (۱۳۹۲). تحلیل ژئو مورفولوژیکی مکان گزینی مراکز نظامی (نمونه موردی: دامنه های غربی کوهستان سهند). *پژوهشهای جغرافیای انسانی*, ۴۵ (۳), ۲۰۹-۲۲۸.

حنفی، & موسوی، (۱۳۹۲). مکان یابی مراکز حساس و مهم نظامی در مناطق مرزی ایران و ترکیه با توجه به شاخص های هیدروژئومورفوکلیمایی، با رویکرد دفاع غیر عامل، *فصلنامه مدیریت نظامی*،۱۳(۵۱)، ۴۵-۷۲.

[۷] کریمی کردابادی, & خلیلی. (۱۳۹۳). تحلیل ملاحظات ژئومورفولوژیکی در مکان‌یابی مراکز نظامی (مطالعه موردی: جنوب استان ایلام). *مجله آمایش سرزمین*, ۶(۱), ۱۱۳-۱۲۸.

[۸] آقاطاهر, فلاح ززولی, محمد, زرافشار, & جعفری. (۱۳۹۴). ارائه نقشه پهنه بندی مراکز مستعد دفاعی در مناطق جنگلی با تکیه بر AHP و GIS مطالعه موردی: علی آباد کتول-استان گلستان. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*, ۲۴ (۹۵), ۸۱-۹۲

[۹] حنفی, & لطفی.(۱۳۹۵). ارائه مدل گسترش سامانه‌های متحرک موشکی در جنگ‌های آینده با استفاده از نظریه بازی و GIS (مطالعه موردی: منطقه کرمانشاه). *آینده پژوهی دفاعی*, ۱ (۲), ۶۷-۹۲.

[۱۰] فلاح ززولی, آقاطاهر, زرافشار, & جعفری. (۱۳۹۵). نقشه پتانسیل احداث مراکز مستعد دفاعی در جنگل های غرب کشور-استان ایلام با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. *سنجش از دور و*

سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی), ۷(۲), ۴۷-۵۸.

[۱۱] احمدی سید مرتضی؛ غلامحسینی اسماعیل؛ سرکارگر اردکانی علی؛ قلی زاده سید ابراهیم. (۱۳۹۶). عوامل و عناصر مؤثر بر مکان یابی سایت های موشکی ساحل به دریا. مجله سیاست دفاعی. دوره ۲۵، شماره ۱۰۰، ۱۲۹-۱۰۵

[۱۲] جعفرزاده, جعفر, ولیزاده کامران, & خلیل. (۱۳۹۷). مکان یابی پادگان نظامی در شهر اردبیل با رویکرد پدافند غیرعامل (با استفاده از تلفیق سنجش از دور، GIS و روش های تصمیم گیری چندمعیاره). *فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش و برنامه ریزی شهری*, ۹(۳۲), ۴۱-۵۲.

[۱۳] اصغری سراسکانرود, صیاد, موسوی, میر نجف, مهدوی, & سجاد. (۱۳۹۸). تحلیل عوامل ژئومورفولوژیکی در مکانیابی مراکز نظامی-دفاعی با استفاده از ANP و GIS. منطقه مورد مطالعه: پادگان‌های شهرستان‌های مرزی استان آذربایجان غربی. *آمایش جغرافیایی فضا*, ۹(۳۳), ۷۷-۹۶.

[۱۴] نوری, & جابر. (۱۳۹۸). معیارهای مکان گزینی پادگان‌های نظامی با در نظر گرفتن جنبه‌های پدافند غیرعامل. *پدافند غیرعامل*, ۱۰(۱), ۳۱-۴۴.

[۱۵] قندهاری, & موسوی‌زاده. (۱۳۹۳). مکان‌یابی بهینه تسهیلات پدافند غیر عامل با رویکرد تئوری بازی‌ها. *مهندسی صنایع (دانشکده فنی دانشگاه تهران)*, ۴۸, ۱۹-۳۲.

[۱۶] Rao, R. V., Savsani, V. J., & Balic, J. (۲۰۱۲). Teaching–learning-based optimization algorithm for unconstrained and constrained real-parameter optimization problems. *Engineering Optimization*, ۴۴(۱۲), ۱۴۴۷-۱۴۶۲.

[۱۷] Rao, R. V., & Patel, V. (۲۰۱۳). An improved teaching-learning-based optimization algorithm for solving unconstrained optimization problems. *Scientia Iranica*, ۲۰(۳), ۷۱۰-۷۲۰.

[۱۸] Berglund, P. G., & Kwon, C. (۲۰۱۴). Solving a location problem of a Stackelberg firm competing with Cournot-Nash firms. *Networks and Spatial Economics*, ۱۴(۱), ۱۱۷-۱۳۲.

[۱۹] Berman, O., Drezner, T., Drezner, Z., & Wesolowsky, G. O. (۲۰۰۹). A defensive maximal covering problem on a network. *International Transactions in Operational Research*, ۱۶(۱), ۶۹-۸۶.

[۲۰] Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (۲۰۰۹). *Introduction to algorithms*. MIT press.

[۲۱] Drezner, T., Drezner, Z., & Kalczynski, P. (۲۰۱۵). A leader–follower model for discrete competitive facility location. *Computers & Operations Research*, *۶۴*, ۵۱-۵۹.

[۲۲] Esmaeili, M., & Sedehzade, S. (۲۰۲۰). Designing a hub location and pricing network in a competitive environment. *Journal of Industrial & Management Optimization*, *۱۶*(۲), ۶۵۳-۶۶۷.

[۲۳] Fletcher, R. (۲۰۱۳). *Practical methods of optimization*. John Wiley & Sons.

Gill, H. S., Khehra, B. S., Singh, A., & Kaur, L. (۲۰۱۹). Teaching-learning-based optimization algorithm to minimize cross entropy for Selecting multilevel threshold values. *Egyptian Informatics Journal*, ۲۰(۱), ۱۱-۲۵.

[۲۴] Hansen, P., Jaumard, B., & Savard, G. (۱۹۹۲). New branch-and-bound rules for linear bilevel programming. *SIAM Journal on scientific and Statistical Computing*, *۱۳*(۵), ۱۱۹۴-۱۲۱۷.

[۲۵] Jia, L., & Li, Z. (۲۰۱۶, December). An Ameliorated Teaching-Learning Based Optimization Algorithm for Nonlinear Bilevel Programming. In *۲۰۱۶ ۱۲th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS)* (pp. ۵۲-۵۶). IEEE.

[۲۶] Kanwar, N., Gupta, N., Niazi, K. R., & Swarnkar, A. (۲۰۱۵). Simultaneous allocation of distributed resources using improved teaching learning based optimization. *Energy Conversion and Management*, *۱۰۳*, ۳۸۷-۴۰۰.

[۲۷] Kardani, O., & Kardani, N. (۲۰۱۳). On Defensive Location Problem and its Solution Using Heuristic Methods. *Asian Journal of Applied Sciences (ISSN: ۲۳۲۱–۰۸۹۳)*, *۱*(۰۲).

[۲۸] Ketabi, A., Karimizadeh, A., & Shahidehpour, M. (۲۰۱۹). Optimal generation units start-up sequence during restoration of power system considering network reliability using bi-level optimization. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *۱۰۴*, ۷۷۲-۷۸۳.

[۲۹] Khanduzi, R., Maleki, H. R., & Akbari, R. (۲۰۱۸). Two novel combined approaches based on TLBO and PSO for a partial interdiction/fortification problem using capacitated facilities and budget constraint. *Soft Computing*, ۲۲(۱۷), ۵۹۰۱-۵۹۱۹.

[۳۰] Khanduzi, R., Peyghami, M. R., & Maleki, H. R. (۲۰۱۵). Solving continuous single-objective defensive location problem based on hybrid directed tabu search algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *۷۶*(۱-۴), ۲۹۵-۳۱۰.

[۳۱] Maleki, H. R., Khanduzi, R., & Akbari, R. (۲۰۱۷). A novel hybrid algorithm for solving continuous single-objective defensive location problem. *Neural Computing and Applications*, ۲۸(۱۱), ۳۳۲۳-۳۳۴۰.

[۳۲] Rao, R. V., Savsani, V. J., & Vakharia, D. P. (۲۰۱۱). Teaching–learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Computer-Aided Design*, ۴۳(۳), ۳۰۳-۳۱۵.

[۳۳] Uno, T., & Katagiri, H. (۲۰۰۸). Single-and multi-objective defensive location problems on a network. *European Journal of Operational Research*, *۱۸۸*(۱), ۷۶-۸۴.

[۳۴] Uno, T., Katagiri, H., & Kato, K. (۲۰۰۷). An application of particle swarm optimization to bilevel facility location problems with quality of facilities. *Asia Pacific Management Review*, ۱۲(۴), ۱۸۳.

[۳۵] Zhang, Y., Snyder, L. V., Ralphs, T. K., & Xue, Z. (۲۰۱۶). The competitive facility location problem under disruption risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, ۹۳, ۴۵۳-۴۷۳.