

## مدل ترکیبی مکان یابی سایت های راداری سطحی با ملاحظه پدافند عامل و غیرعامل

سید محسن توحیدی<sup>۱\*</sup>، اردشیر احمدی<sup>۲</sup>، حسینعلی حسن پور<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد و ۲- استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)

(دریافت: ۱۳۹۰/۰۸/۱۵، پذیرش: ۱۳۹۱/۰۹/۰۶)

### چکیده

تحقیق حاضر تلاشی جهت ارائه یک مدل ریاضی جدید و روش ترکیبی برای حل آن به منظور مکان یابی سایت های راداری سطحی است. در این تحقیق پس از بیان مفاهیم، هدف ها و روش های مکان یابی سایت های راداری، مدل ریاضی مسئله یابی سایت های راداری سطحی ارائه می شود. سپس روشی دو مرحله ای برای حل این مسئله پیشنهاد می شود. در مرحله نخست، مؤلفه های معیار برای انتخاب محل استقرار سایت های راداری بر مبنای اصول پدافند (غیرعامل و عامل) شناسایی، دسته بندی، امتیازدهی و اولویت بندی می شوند و به سبب آن که مسائل مکان یابی از نوع NP-hard هستند، در مرحله دوم از الگوریتم فرا ابتکاری شبیه سازی تبرید برای حل مدل ریاضی جدید استفاده می شود. در روش حل مسئله، جمع امتیازات اکتسابی توسط هر یک از محل های پیشنهادی، تعیین کننده اولویت آن محل برای ورود به شبکه راداری است تا تمام حالت های ممکن آن توسط الگوریتم شبیه سازی تبرید بررسی شود. همچنین با داده های فرضی، مسئله مکان یابی سایت های راداری سطحی در منطقه خلیج فارس با استفاده از روش ترکیبی پیشنهادی حل می شود.

**کلیدواژه ها:** مکان یابی، سایت راداری، الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، پدافند عامل و غیرعامل.

## A Combination Model for Surface Radar Sites Location Considering Active and Passive Defence

S. M. Towhidi\*, A. Ahmadi, H. A. Hassanpour

Imam Hossein University

(Received: 06/11/2011; Accepted: 26/11/2012)

### Abstract

In this research a mathematical model for surface radar sites' location and a combination methodology for its resolution are presented. Hence after expressing the related conceptions, the goals and radar sites location method, mathematical model for radar sites location is expressed. Then a two-step method for solving this problem is offered. At the first step, the criteria parameters for selecting radar sites' location based on passive and active defense are identified, classified, scored and prioritized. Since these kinds of problems are NP-hard, simulated annealing algorithm for solving this new mathematical model has been used. In this method the total score for each candidate location determines the position priority for radar network. So all of the possible states for the radar network are survived by stimulated annealing algorithm. Finally, a radar sites' location problem in the Persian Gulf beaches using presented simulated annealing algorithm with hypothesis data has been resolved.

**Keywords:** Location, Radar Sites, Simulated Annealing Algorithm, Passive and Active Defense.

\* Corresponding author E-mail: m.towhidi@ihu.ac.ir

## ۱. مقدمه

پالسی با فرکانس معین به دست می‌آید. سیگنال مزبور به وسیله آنتن که قدرت تعیین قسمتی از فضا در جهت کاوش را دارد، ساطع می‌شود [۲]. با ملاحظه و بررسی پایگاه‌های نظامی قدرت‌های خارجی در منطقه، حضور مستقیم ناوگان‌های کشورهای بزرگ در خلیج فارس، خرید تسلیحات انبوه کشورهای حوزه خلیج فارس، ضرورت و اهمیت مکان‌یابی سایت‌های راداری در این منطقه به خوبی آشکار می‌شود. بنابراین این تحقیق تلاش دارد با روشی ترکیبی و جدید و همچنین با داده‌های فرضی، به مکان‌یابی سایت‌های راداری در منطقه خلیج فارس بپردازد. در روش ترکیبی، ابتدا عوامل تأثیرگذار در مکان‌یابی سایت‌های راداری شناسایی، دسته‌بندی و اولویت‌بندی می‌شوند و سپس مدل ریاضی جدید مسئله مکان‌یابی، با استفاده از روش فرا ابتکاری حل می‌شود.

## ۲. بررسی مدل‌های مکان‌یابی

یکی از مسائلی که می‌بایست در مراحل اولیه طراحی تسهیلات مورد توجه قرار گیرد، مکان‌یابی تسهیلات است. این امر را می‌توان در سه دسته زیر تقسیم‌بندی کرد:

۱) مسئله مکان‌یابی شامل: تعیین مکان یک یا چندین تسهیلات در یک مکان بالقوه است. واضح است تعداد مکان‌ها می‌بایست حداقل با تعداد تسهیلات جدید جای‌گیر شونده، برابر باشد.

۲) مسئله تخصیص: فرض بر این است که تعداد تسهیلات و مکان آنها از قبل مشخص و چگونگی ارائه خدمت به هر مشتری تعیین شود.

۳) مسائل مکان‌یابی - تخصیص: نه تنها تعیین می‌کند که هر مشتری چه مقدار کالا از هر واحد دریافت می‌کند، بلکه تعداد تسهیلات، محل قرارگیری و ظرفیت آنها را نیز مشخص می‌کند. حل مسائل مکان‌یابی روش‌های متعددی دارد. در این نوشتار به بررسی کلی روش‌های موجود می‌پردازیم:

- تحلیل کیفی

روش رتبه‌بندی موقعیت‌ها، بسیار مورد توجه همه قرار گرفته و یک ابزاری برای تصمیم‌گیری‌های انتزاعی است [۴].

- تحلیل‌های کمی

برای حل مسائل مکان‌یابی یک واحدی در فضای گسسته چندین روش وجود دارد. هر کدام از این روش‌ها، محدودیت‌ها و هدف‌های خاصی دارند. به‌طور مثال، مدل مکان‌یابی MiniMax برای تعیین مکان تسهیلات ارائه‌کننده خدمات فوری مناسب است. زیرا هدف، کمینه کردن بیشترین فاصله پیموده شده بین واحد و هر مشتری است. به‌طور مشابه، اگر هدف، کمینه کردن کل مسافت طی شده باشد، مدل حمل و نقل مناسب است [۴].

- تحلیل‌های ترکیبی

نقطه ضعف روش کیفی در تصمیم‌گیری مکان‌یابی به‌طور کامل براساس ارزیابی انتزاعی است. با وجود اینکه روش کمی به این نقطه ضعف فائق آمده، اما این امکان را فراهم نمی‌کند تا فاکتورهایی که قابلیت کمی شدن ندارند و در عین حال برای تصمیم‌گیری در مورد

تعیین و شناسایی مکان مناسب برای فعالیت‌ها، کارچندان ساده‌ای نیست. برای این مکان‌یابی برنامه‌ریزان باید عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، محیطی، جمعیتی و در عین حال خط‌مشی‌های بالادست و هدایت‌کننده را در نظر داشته باشند. انتخاب مکان‌های بهینه دارای سابقه‌های طولانی و قدمتی به درازای تاریخ بشری دارد، به‌گونه‌ای که از دوران پیش از تاریخ، یکی از موضوعاتی که ذهن بشر را همواره به‌خود مشغول داشته، انتخاب مکان مناسب برای فعالیت‌ها است.

در تحلیل‌های مکانی، سه دیدگاه و روش وجود دارد: اولین روش، تولید نقشه از محل اشیا فضایی است. برای تولید نقشه از مختصات جغرافیایی استفاده می‌شود و در واقع نقشه ظرفی برای نمایش عوارض سطح زمین به‌شمار می‌آید. در این حالت گردآوری، تهیه و گرفتن داده‌های مکانی کار بسیار مهمی محسوب می‌شود. امروزه با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی امکان تولید نقشه‌ها و مدل‌سازی فضایی به‌شکل مناسبی میسر شده است، زیرا این سامانه‌ها دارای قابلیت بالایی برای گردآوری، ذخیره، بازیابی، تحلیل و ترسیم داده‌های مکان محور هستند.

روش دوم به تحلیل داده‌های مکانی مربوط می‌شود. در این روش به‌طور عمده به چرایی یا علت موضوع‌های مکانی می‌پردازند. ضمن آنکه به چرایی چنین تصمیم‌گیری مکانی و چرایی نتایج آن می‌اندیشند. این رهیافت، روش تبیینی نام دارد. این رهیافت به تحول‌های فضایی رخ داده در طی زمان پرداخته و بیان می‌دارد، چه اشیا در فضا شکل گرفته‌اند و فرایند تکاملی آنها چگونه بوده است.

روش سوم تحلیل‌های مکانی، شناسایی بهترین مکان برای فعالیت مورد نظر، یا بهترین مجموعه مکان‌ها برای سامانه فعالیت‌ها است. به چنین روشی از الگوسازی، روش دستوری یا روش معیاری گفته می‌شود. در این روش مشخص می‌شود که بهترین مکان کجاست و یا اینکه علت شکل‌گیری الگوهای مکانی خاص مورد بررسی چیست؟ به‌عبارتی؛ ویژگی اساسی این گونه مدل‌سازی، یاری رساندن به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران برای حال و آینده است.

مطالعه‌های مکان‌یابی و علوم مکانی به‌طور معمول بین رشته‌ای است، زیرا اغلب تصمیم‌های اتخاذ شده، به‌نوعی به مکان ارتباط می‌یابد و لازم است مختصات مکانی در تحلیل‌ها در نظر گرفته شود. حوزه مورد بررسی در این تحقیق، تلفیقی است از سه شاخه متفاوت، هرچند که در مواردی نیز به هم مرتبط‌اند، ولی سیر و فرایند تکامل کاملی مستقل از یکدیگر داشته‌اند. این سه شاخه عبارت است از: علم مکان، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحقیق در عملیات.

رادار یک سیستم الکترومغناطیسی متشکل از اجزای آنتن، فرستنده، گیرنده و عنصر آشکارساز انرژی است و به‌منظور توسعه توانایی حس‌های چندگانه انسانی برای مشاهده محیط اطراف به‌ویژه حس بصری به‌کار گرفته می‌شود [۱-۳].

بنابراین رادار وسیله‌ای است که می‌تواند وجود یک شیء یا هدفی را در فضا کشف و مختصات آن را از نظر زاویه و برد با استفاده از امواج الکترومغناطیسی تعیین کند. این امر به‌طور معمول توسط یک سیگنال

دیگری است و سرویس دهنده‌ها تا حد مشخصی می‌توانند سرویس ارائه کنند. به‌طور مثال یک کلانتری نمی‌تواند تمامی شهر تهران را مورد پوشش خود قرار دهد. در این مدل امکان تأمین تقاضای هر مشتری از چند سرویس دهنده وجود دارد، هزینه اولیه استقرار هر یک از تسهیلات جدید در نظر گرفته شده، ظرفیت آن تأمین می‌شود، ضمن آنکه ارتباطی بین تسهیلات جدید وجود ندارد.

همان‌طور که نشان داده شد، با تغییر هر یک از مفروضات مدل پایه مکان‌یابی - تخصیص، می‌توان به مدل جدیدی دست یافت که سه نمونه از این مدل‌ها ذکر شد. سایر فرض‌های ذکر نشده نیز می‌توانند دستخوش تغییر شوند. به‌عنوان مثال وقتی فقط تعداد محدودی نقطه برای استقرار تسهیلات جدید وجود داشته باشد، فرض پیوسته بودن فضای جواب نقض می‌شود. بنابراین می‌بایست مدل شایسته آن را طراحی کرد. در واقع این بدان معنی است که شما در دنیای واقعی ممکن است با مسائلی برخورد کنید که منطبق بر هیچ یک از مدل‌های فوق نباشند. این مدل‌ها می‌توانند دید مناسبی به‌طور خاص جهت مدل‌سازی مسئله به شما اعطا کنند. با تغییر مفروضات بالا رویکردهای کارآمدی در علم مکان‌یابی به‌وجود آمده که در ادامه به تعدادی از آنها که بسیار مرتبط با تحقیق جاری است، اشاره می‌شود.

## ۲-۲. مکان‌یابی با رویکرد مسئله پوشش مجموعه (SCP)

مسئله مکان‌یابی - تخصیص، یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری کارا و مؤثر در ارتباط با بحث طراحی قرارگاه‌هاست. براساس این مدل‌ها تعداد بهینه و مکان بهینه استقرار قرارگاه‌های جدید، با توجه به جریان و تعداد حاضر از قرارگاه‌ها و معیار تصمیم مورد نظر، تعیین می‌شود. به‌طوری که حداقل هزینه (مسافت/زمان) یا حداکثر سود عاید بنگاه اقتصادی شود [۹].

مسئله مکان‌یابی - تخصیص، در صدد پاسخگویی به پنج موضوع اساسی زیر است [۹]:

الف- در یک شبکه توزیع، مشتریان و قرارگاه‌ها از قبل وجود دارند، اما در این شبکه چند قرارگاه جدید استقرار می‌یابد؟

ب- قرارگاه‌های جدید در کجا باید مستقر شوند؟

ج- قرارگاه جدید، چقدر باید ظرفیت داشته باشد. به‌عبارتی ظرفیت قرارگاه جدید چقدر است؟

د- هر مشتری چگونه باید به قرارگاه جدید و موجود، تخصیص داده شود. به‌عبارت دیگر، کدام قرارگاه کدامین مشتری را تحت پوشش خدمات خود قرار می‌دهد؟

ه- آیا مشتری می‌تواند تحت پوشش بیش از یک قرارگاه قرار گیرد (تا خدمات دریافت کند)؟

معیاری که بهینه‌گی تخصیص هر مشتری به قرارگاه مورد نظر را تضمین کند، بسیار اساسی است. چرا که هدف اصلی، تحت پوشش قرار گرفتن چندین مشتری (منطقه) توسط قرارگاه‌های موجود یا جدید است. تأسیس آن قرارگاه در آن مکان مستلزم صرف هزینه،

مکان‌یابی تأثیر زیادی دارند، در نظر گرفته شوند. در نتیجه به روش‌هایی نیاز داریم تا علاوه بر در نظر گرفتن هزینه‌های کمی، هزینه‌های انتزاعی و دیگر فاکتورهای مهم را در نظر بگیرند [۴].

## ۲-۱. انواع مسائل مکان‌یابی و تخصیص

مسائل مکان‌یابی - تخصیص را می‌توان با توجه به ماهیت مسئله مطرح شده به دسته‌های مختلفی طبقه‌بندی کرد. به برخی از این موارد اشاره می‌شود [۴]:

۱) دسته‌بندی بر مبنای فضای تخصیص

۲) دسته‌بندی بر مبنای ظرفیت سرویس دهنده‌ها

۳) دسته‌بندی بر مبنای تقاضا

۴) دسته‌بندی بر مبنای کالا/خدمات قابل ارائه

مدل‌سازی مسئله به دو بخش کلی مدل عمومی و مدل‌های توسعه‌یافته تقسیم می‌شود که به قرار زیر است:

الف) مدل عمومی [۵]

این مسئله اولین بار توسط کوپر در سال ۱۹۶۳ برای مدلی با دو تسهیل جدید و ۷ تسهیل موجود معرفی و حل شد.

برای مدل کردن این گونه مسائل از روش‌های تحقیق در عملیات استفاده می‌شود که هدف آنها حداقل کردن هزینه‌هاست.

ب) مدل‌های توسعه یافته [۶-۸]

مدل عمومی دارای فرضیاتی است که با تغییر یک و یا بیش از یک مورد از آن، مدل‌سازی مسئله نیز تغییر کرده و به‌طور کلی مسائل پیچیده‌تری شکل می‌گیرد که برای حل آن نیازمند استفاده از محاسبات بیشتری هستند. بنابراین مدل‌های مربوط به تغییرات فرض‌های مسئله که در دنیای واقعی بسیار پرکاربردند، در زیر آورده شده‌اند:

۱. استفاده هر مشتری تنها از یک سرویس دهنده

در این مدل فرض بر آن است که هر مشتری می‌بایستی تنها با یک سرویس دهنده در ارتباط باشد و بنابراین می‌بایستی تمامی نیاز خود را نیز از این سرویس دهنده تأمین کند. در واقع در این مدل با تعیین این که کدام مشتری به کدام سرویس دهنده باید تخصیص یابد مقدار جریان کالا/خدمات بین سرویس دهنده‌ها و مشتریان خود به خود تعیین می‌شود.

۲. در نظر گرفتن هزینه استقرار تسهیلات جدید

در این مدل، تنها فرض دوم مسئله یعنی هزینه استقرار تسهیلات جدید تغییر می‌کند و با در نظر گرفتن این هزینه، در واقع تعیین تعداد سرویس دهنده‌ها نیز در مدل گنجانده شده است.

۳. سرویس دهنده‌ها با ظرفیت محدود

تاکنون در تمامی مدل‌های مطرح شده، فرض بر آن بود که سرویس دهنده‌ها از نظر ظرفیت دچار محدودیت نیستند. بنابراین مشتریان می‌توانند به هر مقدار که بخواهند از سرویس دهنده‌ها کالا/خدمات دریافت کنند. در واقع پس از اینکه مسئله حل شد، با توجه به تخصیص‌های مقرر، ظرفیت سرویس دهنده‌ها تعیین می‌شود. اما در اکثر مسائلی که در دنیای واقعی وجود دارند، وضع به‌گونه

<sup>1</sup> Set Covering Problem

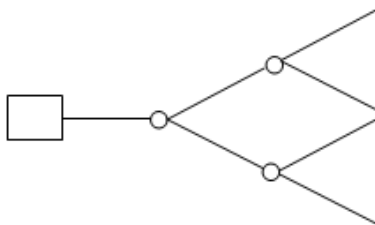
که در آن تسهیل مستقر شده است) و حجم تقاضای گره نام از تسهیل بستگی دارد.

جدول ۱. مطالعات کاربردی مدل‌های مکان‌یابی با داده‌های واقعی و فرضی

مرجع	فضای کاربردی	داده (سال)
[۱۲]	مکان‌یابی سازمان‌های پیوند عضو	ایتالیا (۲۰۰۶)
[۱۳]	طراحی ساختار لجستیکی برای جمع‌آوری و بازفراوری ضایعات موکت	آلمان (۱۹۹۹)
[۱۴]	برنامه‌ریزی خدمات بهداشتی	انگلیس (۲۰۰۵)
[۱۵]	برنامه‌ریزی تور تسهیلات بهداشتی همراه	سنگال (۲۰۰۷)
[۱۶]	تخلیه پزشکی در نیروی هوایی	داده فرضی (۲۰۰۱)
[۱۷]	مکان‌یابی اعزام آمبولانس‌ها	داده فرضی (۲۰۰۸)
[۱۰]	تعیین مراکز پستی	استرالیا (۲۰۰۶)
[۱۸]	مکان‌یابی محل تسهیلات مربوط به آزمون کارشناسی ارشد	برزیل (۲۰۰۴)

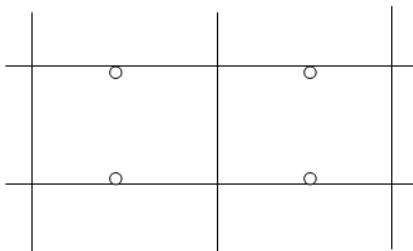
۲-۴. بررسی شبکه‌های راداری و روش‌های مکان‌یابی استقرار سایت‌های راداری

در گذشته شبکه‌های راداری به صورت یک الگوی محوری یا شبه هرمی به مانند نمودار شکل (۱) سازمان داده می‌شدند [۳].



شکل ۱. الگوی محوری شبکه‌ها [علامت  $\circ$  معرف یک مرکز عملیاتی است.]

در این الگو هر مرکز عملیاتی به یک مرکز محلی جمع‌آوری اطلاعات اختصاص داده و فقط به همان مرکز اطلاعات ارسال می‌کند. اشکال الگوی محوری، عدم تبادل اطلاعات توسط مراکز عملیاتی با یکدیگر بود. بنابراین برای رفع این اشکال الگوی ماتریسی ارائه شد [۳]. نمودار شکل (۲) الگوی ماتریسی شبکه‌ها را نمایش می‌دهد. این الگو، دسترسی به اطلاعات هر مرکز عملیاتی را از چند راه ممکن می‌سازد.



شکل ۲. الگوی ماتریسی شبکه‌ها

وقت یا ... بوده و لازم است شرط پوشش (مسافت، زمان و ...) را رعایت کرده باشد. در علم مکان‌یابی، این مسئله به «مسئله پوشش مجموعه (SCP)» معروف است.

### ۲-۳. مسئله مکان‌یابی میانه

مسئله‌های مکان‌یابی میانه یکی از بزرگ‌ترین دسته‌های شناخته شده مسئله‌های مکان‌یابی - تخصیص است. این مسائل در صدد پیدا کردن نقاط میانه در بین نقاط پیشنهادی‌اند و تابع هدف در مسائل میانه از نوع MinSum هستند. در واقع در این مسائل سعی می‌شود مجموع فاصله‌ها (هزینه‌ها) کمینه شود. استقرار سرویس‌های عمومی نظیر مدارس، بیمارستان‌ها، آتش‌نشانی‌ها، آمبولانس‌ها، ایستگاه‌های بازرسی فنی خودرو و... از این گونه مسائل‌اند.

### ۲-۳-۱. مشخصات مسائل میانه

- در مسائل میانه رابطه بین فاصله (فاصله بین گره تقاضا و تسهیل سرویس‌دهنده) و هزینه، اغلب به صورت خطی است. هر چند که در بیشتر موارد در نظر گرفتن یک رابطه غیرخطی در مورد هزینه - فاصله به واقعیت نزدیک‌تر است [۱۰].

- در مسائل میانه، هزینه استقرار برای تسهیلات در نظر گرفته نمی‌شود. باید توجه داشت در صورت در نظر گرفتن هزینه، با یک مسئله مکان‌یابی با هزینه ثابت مواجه خواهیم بود.

- مسائل میانه جزء مسائل برون‌زا هستند. مسائل میانه به دلیل فرض عدم وجود هزینه استقرار اولیه اگر درون‌زا در نظر گرفته شوند، جواب به دست آمده برای تعداد تسهیلات مناسب با تعداد گره‌های تقاضا (یعنی در هر گره یک تسهیل مستقر شود) برابر خواهد بود.

- در مسائل میانه، مکان‌یابی از نوع شبکه‌ای یا گراف است. مسائل میانه بر روی گراف یا شبکه پیوسته بحث نمی‌شود. یعنی امکان تسهیل بر روی هر نقطه از شبکه یا گراف مستقر شود، وجود ندارد و فقط امکان استقرار تسهیل بر روی گره‌ها وجود دارد.

- تسهیلات مورد نظر برای استقرار، یکسان فرض می‌شوند. تسهیلات می‌توانند از بعد مالکیت، خصوصی و یا عمومی باشند. در بیشتر موارد این مالکیت عمومی است و تسهیلات جنبه خدماتی دارند.

چنانچه ذکر شد، مسائل میانه جزء مسائل گسسته‌اند که فقط بر روی گره‌ها به دنبال جواب می‌گردند. ولی در عمل و دنیای واقعی، برای استفاده از این دسته مسائل، باید مفروضاتی را در نظر گرفت. در جدول (۱) تعدادی از مسائل دنیای واقعی مکان‌یابی معرفی شده است.

### ۲-۳-۲. مدل کلاسیک مسئله میانه

مسائل میانه، از جمله مسائلی هستند که در صدد پیدا کردن مکان P تسهیل بر روی شبکه هستند، به گونه‌ای که هزینه کل حداقل شود. منظور از هزینه، هزینه تأمین خدمات یا ارائه سرویس از گره  $i$  به نزدیک‌ترین گره‌ای است که در آن تسهیلی مستقر شده باشد [۱۱]. این هزینه به عواملی از قبیل فاصله بین گره سرویس‌دهنده (گره‌ای

خود را بر روی توسعه رادار و کاربردهای آن معطوف کردند. بعد از جنگ جهانی دوم با تألیف کتاب «دستگاه های تاریکی» توسط پرایس -که شرحی جالب از جنگ الکترونیک در جنگ جهانی دوم بود- ارتش آمریکا در استقرار رادارهای زمینی و انتخاب محل استقرار این رادارها از پرسشنامه استفاده کرد. اساس کار در روش پرسشنامه، مبتنی بر دیگرام پوششی رادارها بود [۳].

جدول (۲) به مقایسه دو روش ارتفاع و پرسشنامه می پردازد.

جدول ۲. مقایسه روش های مکان یابی سایت های راداری

ردیف	روش مکان یابی	پوشش در ارتفاعات پست	پوشش در منطقه	قابلیت پشتیبانی	پوشش در ارتفاعات بالا
۱	ارتفاع	بدون پوشش	مقدورات سیستم	سخت	محدود
۲	پرسشنامه	به نسبت خوب	مقدورات سیستم	مناسب	محدود

با دقت بیشتر در روش های مکان یابی محل استقرار سایت های راداری پی خواهیم برد که در این روش ها برای انتخاب محل استقرار سایت راداری بسیار مهم است و چگونگی تأثیر محل انتخابی بر روی ساختار شبکه موجود، قبل از استقرار سایت راداری در محل های پیشنهادی یا محل انتخابی، بررسی نمی شوند. ورود هر سیستم راداری، ساختارهای جدیدی را برای شبکه به وجود خواهد آورد. ورود سیستم جدید به شبکه راداری و عدم سازگاری با آن مستلزم تغییراتی در ساختار آن شبکه است. این اشکال بیشتر در کشورهای مصرف کننده سیستم های راداری که خود از تکنولوژی ساخت رادار برخوردار نیستند، مشهود است. سازندگان سیستم های راداری براساس نیاز و مقدورات خود به طراحی و تولید یک سیستم می پردازند. تحقیق حاضر پس از بررسی معیارهای لازم در انتخاب محل استقرار یک سیستم راداری، محل های پیشنهادی را براساس این معیارها اولویت بندی نموده تا بتوان کلیه حالت های امکان پذیر شبکه را مورد مطالعه و بررسی قرار داد.

### ۳. مدل سازی مسئله مکان یابی سایت های راداری

تحقیق حاضر سعی دارد که با انتخاب هر محل پیشنهادی، آن محل را به صورت فرضی وارد شبکه راداری کند و در نتیجه به بررسی ساختارهای جدید شبکه بپردازد. در صورتی که شبکه قادر به تطبیق و پاسخگویی به تغییرات باشد، می توان با به کارگیری الگوریتم شبیه سازی تبرید یک ساختار نزدیک به بهینه از بین ساختارهای امکان پذیر شبکه راداری انتخاب کرد. هدف از این انتخاب، پیشینه کردن پوشش راداری شبکه با استفاده از سیستم های راداری موجود در شبکه است. به دلیل سیار بودن اکثر رادارهای سطحی و همچنین تعدد زیاد نقاط پیشنهادی برای مکان یابی آنها، نمی توان از الگوریتم های بهینه سازی دقیق استفاده کرد. در این تحقیق از

در اصل الگوی ماتریسی شبکه های راداری به طور ذاتی بسیار پیچیده و به طور معمول بسیار گسترده اند. آنها لازم است از مرکز اصلی شبکه به مراکز محلی جمع آوری اطلاعات و همچنین به مراکز عملیاتی که ممکن است در فاصله دور یا نزدیک، در فضا یا روی زمین و یا حتی زیر سطح دریا باشند را پوشش دهند. امروزه به طور معمول از شبکه های مختلط راداری استفاده می شود. در شبکه های مختلط راداری از هر دو الگوی محوری و ماتریسی برای مکان یابی محل استقرار سایت های راداری استفاده می شود [۱۹]. در تحقیق حاضر نیز شبکه های مختلط را مدنظر قرار داده و برای مدل سازی مسئله از شبکه های موجود استفاده شده است.

پژوهشگران (NRL)<sup>۱</sup> کشور آلمان در سال ۱۹۳۳ پیشنهادی ارائه کردند. این پیشنهاد مبتنی بر این است که در موقع استفاده از سایت های راداری به صورت زنجیره ای، از ایستگاه های فرستنده و گیرنده در طول یک خط می توان اطلاعاتی در مورد فاصله و سرعت به دست آورد. در سال ۱۹۳۷ یک سری از ایستگاه های زنجیره ای رادار (CHR)<sup>۲</sup> در کشور بریتانیا با موفقیت در معرض نمایش قرار گرفت. بسیاری از این ایستگاه ها در سپتامبر ۱۹۳۸ فعال شدند، مسیر هواپیماهای نوبل چمبرلن، نخست وزیر وقت بریتانیا را که برای مشورت با هیتلر و موسولینی به مونیخ می رفت، ترسیم کردند. در همان ماه ایستگاه های راداری CHR مأموریت خود را شروع کردند. در سال ۱۹۴۰ مسئولیت تحقیق در زمینه کاربرد رادارهای ماکروویو به عهده آزمایشگاه تشعشع تحت نظر دانشگاه MIT گذاشته شد [۱-۲].

در تحقیقات مربوط به کاربردهای رادارها از چگونگی به کارگیری این سیستم ها صحبتی نبود. بعدها مطرح شد که برای به کارگیری رادارها جهت کسب اطلاعاتی چون: فاصله و سرعت هواپیماها، لازم است این سیستم ها در نقطه ای بالاتر از سطح زمین قرار گیرد. بنابراین دو موضوع در به کارگیری رادارها اهمیت پیدا کرد. مورد اول استفاده زنجیره ای از ایستگاه های راداری و مورد دیگر قرار دادن سیستم های راداری در نقاط مرتفع و بالاتر از سطح زمین بود.

### ۲-۴-۱. روش ارتفاع

در طول جنگ جهانی دوم آلمانی ها چند نوع رادار ساختند و پی بردند که: برای کاربرد رادارهای زمینی، به عنوان جستجوگر هوایی می بایست آنتن فرستنده و گیرنده رادارها در محل هایی قرار گیرند که محدوده بالای سطح زمین و حتی کمی بالاتر از سطح زمین را پوشش داده و کاوش کنند. این وضعیت در صورتی امکان پذیر است که اشعه ساطع شده توسط فرستنده رادار از نقطه ای بالاتر از سطح زمین ساطع شود [۱-۳].

### ۲-۴-۲. روش پرسشنامه

همان گونه که اشاره شد، از سال ۱۹۴۰ آزمایشگاه های آمریکا توجه

<sup>1</sup> National Reference Laboratories

<sup>2</sup> Chain Home RADAR

$C_i$ : نمایانگر ظرفیت هر مرکز محلی جمع‌آوری اطلاعات است.  
 $C_j$ : نمایانگر ظرفیت هر مرکز عملیاتی جمع‌آوری اطلاعات است.  
 $R_L$ : نمایانگر شعاع عملیاتی هر مرکز محلی جمع‌آوری اطلاعات است.  
 $T_S$ : تعداد کل سیستم‌های راداری موجود.  
 $X_i$ : نمایانگر طول جغرافیایی مرکز محلی جمع‌آوری اطلاعات  $i$ ام است.  
 $X_j$ : نمایانگر طول جغرافیایی مرکز عملیاتی جمع‌آوری اطلاعات  $j$ ام است.  
 $Y_i$ : نمایانگر عرض جغرافیایی مرکز محلی جمع‌آوری اطلاعات  $i$ ام است.  
 $Y_j$ : نمایانگر عرض جغرافیایی مرکز عملیاتی جمع‌آوری اطلاعات  $j$ ام است.

### ۳-۴. محدودیت‌های مدل

محدودیت‌های مدل عبارت است از:

۱- اختصاص هر مرکز عملیاتی جمع‌آوری اطلاعات، فقط به یک مرکز محلی مجاز است. این مرکز برگرفته از مدل‌های توسعه یافته مکان‌یابی - تخصیص است و بیان می‌کند: هر سرویس‌دهنده تنها می‌تواند به یک مشتری خدمات ارائه دهد [۸-۶].

$$\sum_{j=1}^n R_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, m \quad \forall i \quad (1)$$

مجموع مراکز عملیاتی اختصاص داده شده به هر مرکز جمع‌آوری اطلاعات، برابر یا کمتر از نسبت ظرفیت هر مرکز محلی بر ظرفیت هر مرکز عملیاتی است. این محدودیت با توجه به مدل‌های توسعه یافته مکان‌یابی - تخصیص که نشان‌دهنده ظرفیت سرویس‌دهنده‌ها بوده، برگزیده شده است [۸-۶].

$$\sum_{j=1}^m R_{ij} \leq \frac{C_i}{C_j}, i=1, 2, \dots, n \quad \forall i \quad (2)$$

۲- حفظ هم‌جواری مراکز عملیاتی اختصاص داده شده به یک مرکز محلی جمع‌آوری اطلاعات الزامی است. این محدودیت نشان‌دهنده بیشینه شعاع پوششی است که یک مرکز عملیاتی قادر به دریافت اطلاعات آن است.

$$\left[ (X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times R_{ij} \leq R_L \quad \forall i, j \quad (3)$$

$i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m$

۳- تعداد مراکز عملیاتی جمع‌آوری اطلاعات به تعداد سیستم‌های راداری موجود محدود می‌شود. این محدودیت برگرفته از مدل کلاسیک مسئله میانه است [۱۱].

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij} \leq T_S \quad (4)$$

۴- در صورت تخصیص هر مرکز عملیاتی  $j$  به هر مرکز جمع‌آوری اطلاعات  $i$  برای  $R_{ij}$  عدد یک منظور می‌شود در غیر این صورت عدد صفر منظور خواهد شد.

$$R_{ij} = 0, i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m \quad (5)$$

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به دلیل کارایی بالای آن استفاده می‌شود که زمان حل را برای ابعاد وسیع مسئله کاهش داده و قدرت و مانور بیشتری را برای استقرار سایت‌های راداری فراهم خواهد کرد.

### ۳-۱. مدل‌سازی مسئله

در این مسئله، هدف، بیشینه کردن پوشش راداری در یک شبکه است. برای این منظور، دیاگرام پوششی رادارها در تابع هدف قرار می‌گیرد. یعنی تابع هدف بر مبنای دیاگرام پوششی رادارها تعریف شود. یا می‌توان در صورت ثابت بودن دیاگرام پوششی رادارها، تابع هدف را بر مبنای کمینه کردن انحرافات هر یک از مراکز عملیاتی جمع‌آوری اطلاعات نسبت به مراکز محلی جمع‌آوری اطلاعات تعریف کرد. در این صورت فرض‌هایی را در مدل‌سازی مسئله خواهیم داشت که به شرح زیر می‌باشند:

### ۳-۲. مفروضات مدل

- ۱- دیاگرام پوششی رادارها به شکل دایره و با شعاع مشخص و ثابت در نظر گرفته می‌شود.
- ۲- شکل انتشار امواج رادارها به صورت دویبعدی فرض می‌شود.
- ۳- در مدل‌سازی مسئله به منظور دویبعدی شدن مسئله، ارتفاع محل‌های استقرار سیستم‌های راداری نسبت به سطح دریا، در نظر گرفته نمی‌شود و فقط طول و عرض جغرافیایی محل در مدل منظور می‌شوند.
- ۴- انتشار امواج در تمامی جهات از توزیع نرمال تبعیت می‌کند.
- ۵- در این مدل‌سازی هیچ هزینه‌ای اعم از هزینه استقرار یا بهره‌برداری سیستم‌ها در نظر گرفته نمی‌شود، زیرا تابع هدف بر مبنای بیشینه شدن پوشش راداری و دید شبکه راداری طرح شده است.
- ۶- مقدرات فنی سیستم‌های راداری به صورت ثابت و متشابه در نظر گرفته می‌شوند.
- ۷- تغییرات باندهای فرکانسی رادارها منظور نشده است و فرض می‌شود رادارها در یک باند فرکانسی ثابت و متشابه کار می‌کنند.
- ۸- در این مدل‌سازی به علت دویبعدی شدن مسئله، فقط رادارهای جستجوگر سطحی مدنظر واقع شده است.
- ۹- تنوع سیستم‌های راداری بر مبنای سازندگان این سیستم‌ها مدنظر نیستند.
- ۱۰- برد عملیاتی رادارها ثابت و متشابه در نظر گرفته شده است.

### ۳-۳. متغیرها و پارامترها

نمادهای مدل ارائه شده به شرح زیر می‌باشند:

$i$ : نمایانگر مراکز محلی جمع‌آوری اطلاعات است.

$j$ : نمایانگر مراکز عملیاتی جمع‌آوری اطلاعات است.

$R_{ij}$ : نمایانگر رادار مستقر در مرکز عملیاتی جمع‌آوری اطلاعات  $j$ ام بوده که به مرکز محلی جمع‌آوری اطلاعات  $i$ ام تخصیص داده شده است.

### ۳-۵. مدل ریاضی

مدل ریاضی جدید مسئله مکان یابی سایت های راداری سطحی به صورت زیر است:  
تابع هدف:

$$R_{Max} = Min \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2]^{\frac{1}{2}} * R_{ij} \right\} \quad (1)$$

محدودیت ها:

$$\sum_{i=1}^n R_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, m \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m R_{ij} \leq \frac{C_i}{C_j}, i = 1, 2, \dots, n \quad \forall i \quad (3)$$

$$\left[ (X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times R_{ij} \leq R_L \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij} \leq T_s$$

$$R_{ij} = 0, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

تابع هدف مسئله، بیشینه سازی پوشش رادارها است که از طریق کمینه کردن فاصله مراکز عملیاتی جمع آوری اطلاعات از مراکز محلی جمع آوری اطلاعات امکان پذیر شده است. محدودیت ها هم در بخش (۳-۴) معرفی شدند.

### ۴. روش ترکیبی حل مسئله

در این تحقیق از روش ترکیبی جدید برای مکان یابی سایت های راداری استفاده می شود. در مرحله اول، عوامل تأثیرگذار در مکان یابی سایت های راداری شناسایی، دسته بندی، امتیازدهی و اولویت بندی می شوند. جمع امتیازات اکتسابی، تعیین کننده اولویت محل برای ورود به شبکه راداری است تا تمام حالت های ممکن شبکه راداری در مرحله دوم توسط الگوریتم شبیه سازی تیرید بررسی شوند. این الگوریتم با تخصیص محل انتخابی به یکی از مراکز محلی جمع آوری اطلاعات، ساختارهای امکان پذیر شبکه راداری را در حالت های جدید بررسی می کند و به معرفی ساختاری مطلوب و نزدیک به بهینه برای شبکه راداری در وضعیت جدید می پردازد.

مدیران و برنامه ریزان می توانند با به کارگیری الگوی پیشنهادی، قبل از صرف هزینه های کلان برای استقرار یک سیستم راداری در یک منطقه، تمامی شرایط و اصول پدافند عامل و غیرعامل اعم از شرایط جوی، جغرافیایی، ارتفاعات موجود در منطقه، نقاط کور راداری، وضعیت پوشش رادار، دسترسی جاده ای، مقدرات سیستم و مسائل پشتیبانی و الزامات ارتباطی را در نظر بگیرند.

### ۵. تعیین اولویت محل های پیشنهادی

مؤلفه های معیار در انتخاب محل استقرار سیستم های راداری در بخش قبل معرفی شدند. در این بخش مؤلفه ها به صورت مجزا دسته بندی و در جداول مختلف جای گذاری می شوند. سپس روش

تعیین امتیاز برای هر مؤلفه در جداول تشریح خواهد شد. به هر مؤلفه با توجه به شرایط موجود در محل، یک امتیاز خاص منظور می شود. امتیاز منظور شده، در ستون مربوطه ثبت خواهد شد. با در نظر گرفتن امتیاز ثبت شده برای هر محل پیشنهادی، رتبه هر یک از محل های پیشنهادی، تعیین می شود. با تعیین ترتیب اولویت انتخاب محل، هر محل پیشنهادی مطابق اولویت خود به صورت فرضی وارد شبکه راداری موجود شده تا حالت های امکان پذیر و وضعیت های احتمالی شبکه توسط الگوریتم شبیه سازی تیرید مورد بررسی قرار گیرد. نتیجه اینکه در پایان مکان های نزدیک به بهینه، از محل های پیشنهادی، توسط الگوریتم شبیه سازی تیرید انتخاب خواهد شد.

جدول (۳) برای امتیازدهی و اولویت بندی محل ها برای ورود به شبکه راداری طراحی شده است.

جدول ۳. بررسی محل های پیشنهادی

ردیف	عامل تحت بررسی	ضریب اهمیت	امتیاز محل اول	امتیاز محل دوم
۱	پوشش راداری			
۲	امکان دفاع مؤثر			
۳	پدافند غیرعامل			
۴	حداقل شدن نقاط کور راداری			
۵	تأمین پوشش جانبی و مشترک			
۶	الزامات ارتباطی			
۷	عوارض زمین			
۸	مسائل پشتیبانی			
۹	انعطاف پذیری			
۱۰	امکانات پرسنلی			
۱۱	جمع امتیازها			

در ستون دوم این جدول، مؤلفه اصلی مکان یابی سایت های راداری دسته بندی شده است. در ستون سوم، ضریب اهمیت هر مؤلفه ثبت می شود. در ضمن، ضریب اهمیت هر یک از مؤلفه ها از طریق پرسشنامه به وسیله خبرگان تعیین می شوند. در ستون های بعد، امتیاز هر محل پیشنهادی متناظر با مؤلفه درج می شود. امتیاز اختصاصی به هر مؤلفه می تواند اعداد ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ باشد. امتیاز هر مؤلفه در ضریب اهمیت هر عامل ضرب شده و در نهایت در سطر آخر این جدول جمع امتیازهای هر محل پیشنهادی ثبت می شود تا بتوان با مقایسه جمع امتیازها ترتیب اولویت محل های پیشنهادی را به صورت نزولی به دست آورد.

اولویت محل های پیشنهادی، جهت انجام ادامه بررسی های بعدی برای هر محل پیشنهادی به منظور تخصیص آن محل به هر یک از مراکز محلی جمع آوری اطلاعات راداری و همچنین ورود آن محل به شبکه راداری خواهد بود.

## ۶. حل مدل پیشنهادی

اندیس  $z=1$  نشان دهنده مرکز عملیاتی جمع آوری اطلاعات واقع در جزیره هرمز، اندیس  $z=2$  نشان دهنده مرکز عملیاتی جمع آوری اطلاعات واقع در جزیره هنگام، اندیس  $z=3$  نشان دهنده مرکز عملیاتی جمع آوری اطلاعات فرضی واقع در یکی از دو جزیره کاندیدا (یعنی جزایر ابوموسی و تنب بزرگ) است، در شکل (۳) مراکز محلی و عملیاتی جمع آوری اطلاعات راداری نمایش داده شده است. در تابع،  $R_{ij}$  نمایانگر رادار مستقر در مرکز عملیاتی  $j$ ام که به مرکز محلی جمع آوری اطلاعات  $i$ ام تخصیص داده شده است.



شکل ۳. مراکز فرضی محلی و عملیاتی جمع آوری اطلاعات راداری

محدودیت‌های مسئله طبق مدل کلی ارائه شده به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- اختصاص هر مرکز عملیاتی جمع آوری اطلاعات، فقط به یک مرکز محلی جمع آوری اطلاعات مجاز است.

$$\sum_{i=1}^n R_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, m$$

این محدودیت در مسئله به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_{11}+R_{21} \geq 0, R_{11}+R_{21} \leq 1, R_{12}+R_{22} \geq 0, R_{12}+R_{22} \leq 1, R_{13}+R_{23} \geq 0, R_{13}+R_{23} \leq 1$$

در این مسئله از دو محل واقع در جزایر لارک و قشم به عنوان مراکز محلی جمع آوری اطلاعات استفاده می‌شود.

۲- مجموع مراکز عملیاتی اختصاص داده شده به هر مرکز جمع آوری اطلاعات، برابر یا کمتر از نسبت ظرفیت هر مرکز محلی به ظرفیت هر مرکز عملیاتی است.

$$\sum_{j=1}^m R_{ij} \leq \frac{C_i}{C_j}, i=1, 2, \dots, n \quad \forall i$$

این محدودیت در این مسئله به صورت زیر تعریف می‌شود:

طبق ظرفیت تعیین شده برای هر مرکز محلی جمع آوری اطلاعات، حداقل یک و حداکثر دو مرکز عملیاتی جمع آوری اطلاعات را می‌توان به هر مرکز محلی جمع آوری اطلاعات تخصیص داد.

$$R_{11}+R_{12}+R_{13} \geq 1, R_{11}+R_{12}+R_{13} \leq 2, R_{21}+R_{22}+R_{23} \geq 1, R_{21}+R_{22}+R_{23} \leq 2$$

۳- حفظ هم‌جواری مراکز عملیاتی اختصاص داده شده به یک مرکز محلی جمع آوری اطلاعات الزامی است.

مدل ریاضی جدید مسئله مکان‌یابی محل استقرار سیستم‌های راداری در بخش (۳) ارائه شد. در این بخش یک مسئله نمونه با داده‌های فرضی با استفاده از روش پیشنهادی حل و نتیجه‌های آن تحلیل می‌شود. برای حل مسئله نمونه، بخشی از شبکه راداری در منطقه خلیج فارس به عنوان شبکه موجود مد نظر قرار می‌گیرد. شبکه مورد بررسی تعداد ۵ محل واقع در ۵ جزیره مختلف را شامل خواهد شد. این ۵ جزیره عبارت است از: قشم، لارک، هرمز، هنگام و جزیره پنجم یکی از دو محل پیشنهادی یعنی ابوموسی و تنب بزرگ می‌باشند. با این فرض که محل‌های پیشنهادی، جزء شبکه راداری کشور نبوده و هیچ سیستم راداری نیز در آن محل‌ها مستقر نیست. تصمیم این است که یکی از دو جزیره پیشنهادی، به منظور محل استقرار یک سیستم راداری، انتخاب و وارد شبکه راداری کشور شود. بر همین اساس دو جزیره لارک و قشم را به عنوان مراکز محلی جمع آوری اطلاعات تعیین کرده و بقیه جزیره‌های فوق به عنوان مراکز عملیاتی جمع آوری اطلاعات به این دو جزیره طوری تخصیص داده می‌شوند که مطابق تابع هدف، بیشترین پوشش راداری را در شبکه دارا بوده و تمام محدودیت‌های ذکر شده در قسمت مدل‌سازی مسئله تأمین شود. بنابراین جزیره‌های ابوموسی و تنب بزرگ با موقعیت جغرافیایی مشخص به عنوان محل‌های پیشنهادی برای استقرار یک سیستم راداری اند که با حل مسئله بر مبنای الگوریتم شبیه‌سازی تیرید، بهترین مکان برای استقرار سیستم راداری انتخاب می‌شوند.

فرض می‌شود که اطلاعات محل‌های پیشنهادی توسط متخصصین جمع آوری شده و مطابق جدول (۳) بر مبنای ده، مؤلفه معیار امتیازدهی شده‌اند و این دو محل پیشنهادی به صورت زیر اولویت‌بندی شده‌اند:

۱- ابوموسی

۲- تنب بزرگ.

حال تابع هدف مسئله و محدودیت‌های آن مشخص می‌شوند. تابع هدف مطابق با معادله (۱) می‌باشد که در این مسئله نمونه به صورت زیر است:

$$R_{Max} = \text{MIN} \{ [(X_1 - X_1)^2 + (Y_1 - Y_1)^2]^{\frac{1}{2}} \times R_{11} + [(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2]^{\frac{1}{2}} \times R_{12} + [(X_1 - X_3)^2 + (Y_1 - Y_3)^2]^{\frac{1}{2}} \times R_{13} + [(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2]^{\frac{1}{2}} \times R_{21} + [(X_2 - X_2)^2 + (Y_2 - Y_2)^2]^{\frac{1}{2}} \times R_{22} + [(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2]^{\frac{1}{2}} \times R_{23} \}$$

در تابع هدف فوق  $X$  نشان دهنده طول جغرافیایی یک نقطه و  $Y$  نشان دهنده عرض جغرافیایی یک نقطه است. اندیس  $i=1$  نشان دهنده مرکز محلی جمع آوری اطلاعات ۱ است که در این مسئله جزیره لارک می‌باشد. اندیس  $i=2$  نشان دهنده مرکز محلی جمع آوری اطلاعات ۲ است که در این مسئله جزیره قشم است. اعداد اندیس هر کدام نشان دهنده یک مرکز عملیاتی جمع آوری اطلاعات است.



شمالی و ۵۵ درجه و ۲ دقیقه شرقی  
 ۶- تنب بزرگ به مختصات جغرافیایی ۲۶ درجه و ۳۲ دقیقه  
 شمالی و ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی  
 در صورتی که یک مرکز عملیاتی به مرکز محلی جمع آوری اطلاعات  
 تخصیص داده شود، در خانه مربوطه به جدول (۴) عدد یک درج  
 خواهد شد، در غیر این صورت عدد صفر درج می شود.

جدول ۴. جواب یا حالت اولیه شبکه

	عملیاتی	۱	۳	۴
	محل	هرمز	۲ هنگام	تنب بزرگ
	۱ / لارک	۱	۰	۱
	۲ / قشم	۰	۱	۰

جدول (۴) جواب اولیه ای برای مسئله است.  
 الگوریتم شبیه سازی تبرید این جواب را به عنوان جواب بهینه یا  $Z_0$   
 انتخاب کرده و در ادامه به دنبال یک جواب همسایه می رود، جواب  
 همسایه به عنوان جواب جدید یا  $Z_C$  در نظر گرفته و سطح انرژی آن  
 محاسبه می شود. در مقایسه دو سطح انرژی  $Z_C$  و  $Z_0$  در صورتی که  
 $Z_C$  کمتر از  $Z_0$  باشد،  $Z_C$  را به عنوان جواب بهینه انتخاب و جایگزین  
 $Z_0$  می شود. در غیر این صورت  $Z_0$  به عنوان جواب بهینه باقی  
 می ماند. الگوریتم شبیه سازی تبرید برای اینکه از دام بهینه محلی  
 خارج شود، به صورت احتمالی جواب های بد را هم انتخاب می کند.  
 به عبارت دیگر، با احتمال معینی حتی جواب هایی که  $Z_C$  کمتر از  $Z_0$   
 نیست، به عنوان یک جواب پذیرفته می شوند. سپس الگوریتم  
 شبیه سازی تبرید دمای اولیه  $T_0$  را کاهش داده، تمام مراحل فوق را  
 در دمای جدید اجرا می کند، تا اینکه به دمای نهایی  $T_f$  رسیده و  
 متوقف می شود. در دماهای متفاوت برای هر یک نیز سطح انرژی را  
 محاسبه و با جواب بهینه مقایسه می کند [۲۱-۲۲].

جدول (۵) نتایج بررسی حالت های امکان پذیر شبکه را با ورود فرضی  
 محل های کاندیدا با امتیاز برتر به شبکه راداری موجود نشان می دهد.  
 ستون اول جدول مربوط به ردیف و ستون دوم اندازه مسئله را بیان  
 می کند. در این تحقیق اندازه مسئله  $4 \times 2$  در نظر گرفته شده است.  
 زیرا در این مسئله تعداد ۲ مرکز محلی جمع آوری اطلاعات و ۴ مرکز  
 عملیاتی جمع آوری اطلاعات وجود دارد. همچنین ۲ مرکز از این ۴  
 مرکز، کاندیدای مکان یابی سایت جدید راداری هستند. ستون سوم  
 ضریب کاهش دما در الگوریتم شبیه سازی تبرید را نشان می دهد.  
 لازم به ذکر است که این ضریب متغیر بوده و تغییرات آن تأثیر بسیار  
 زیادی در دمای اولیه و زمان رسیدن به جواب بهینه خواهد داشت.  
 به همین منظور در حالت های مختلف الگوریتم، با ضریب های متفاوت  
 بررسی شده و جواب های حاصل و نیز تأثیرات آن بر روی دمای اولیه،  
 در جدول ثبت می شود. ستون چهارم دمای اولیه را نشان می دهد.  
 این دمای اولیه طوری انتخاب می شود که با توجه به ضریب تغییر  
 دمای در نظر گرفته شده، بتوان در زمان مناسبی به جواب بهینه و یا  
 نزدیک به بهینه دست یافت.

$$\left[ (X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times R_{ij} \leq R_L$$

$i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m$

$$\left[ (X_1 - X_1)^2 + (Y_1 - Y_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times R_{11} \leq 400$$

$$\left[ (X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times R_{12} \leq 400$$

$$\left[ (X_1 - X_3)^2 + (Y_1 - Y_3)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times R_{13} \leq 400$$

$$\left[ (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times R_{21} \leq 400$$

$$\left[ (X_2 - X_2)^2 + (Y_2 - Y_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times R_{22} \leq 400$$

$$\left[ (X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times R_{23} \leq 400$$

۴- تعداد مراکز عملیاتی جمع آوری اطلاعات به تعداد سیستم های  
 راداری موجود محدود می شود.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij} \leq T_S$$

این محدودیت در مسئله به صورت زیر تعریف می شود:

$$R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{21} + R_{22} + R_{23} \geq 2$$

$$R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{21} + R_{22} + R_{23} \leq 3$$

۵- در صورت تخصیص هر مرکز عملیاتی  $i$  به هر مرکز جمع آوری  
 اطلاعات  $j$  برای  $R_{ij}$  عدد یک منظور می شود، در غیر این صورت عدد  
 صفر منظور خواهد شد.

$$R_{ij} = 0, \quad i=1,2, \quad j=1,2,\dots,5$$

تابع هدف و محدودیت های مسئله به طور واضح مشخص شدند،  
 اکنون به تشریح عملکرد الگوریتم پیشنهادی پرداخته می شود. تمامی  
 حالت های ممکن برای مسئله، مجموعه جواب های مسئله را تشکیل  
 می دهند. الگوریتم ابتدا یک دمای اولیه  $T_0$  را دریافت کرده و در این  
 دمای اولیه، از بین مجموعه جواب ها یا حالت های امکان پذیر جواب  
 اولیه ای به صورت تصادفی انتخاب می کند. به عنوان نمونه برای این کار  
 مطابق جدول (۴) دو محل واقع در جزایر لارک (۱) و قشم (۲) را  
 به عنوان دو مرکز محلی جمع آوری اطلاعات انتخاب کرده و این دو  
 محل ستون اول جدول را تشکیل می دهند و تعداد ۴ محل تعیین  
 شده به ترتیب شماره در سطر اول جدول قرار می گیرند و باید در نظر  
 داشت که محل پنجم یکی از دو شماره ۳ یا ۴ هستند که هر یک  
 محل های واقع در دو جزیره کاندیدا بوده و بهتر است از محلی شروع  
 شود که امتیاز بیشتر را به خود اختصاص داده است. مختصات جزایر  
 بدین شرح می باشند:

۱- هرمز به مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و  
 ۲۳ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی

۲- هنگام به مختصات جغرافیایی ۲۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی  
 و ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی

۳- قشم به مختصات جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و  
 ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی

۴- لارک به مختصات جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی  
 و ۵۶ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی

۵- ابوموسی به مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۵۲ دقیقه

**جدول ۵. نتایج حاصل با ورود جزیره تنب بزرگ به شبکه راداری**

ردیف	اندازه مسئله	M (ضریب کاهش دما)	T (دما)	جزیره بهینه	جواب بهینه
۱	۴×۲	۰/۹۵	۶۸۰	تنب بزرگ	۱۰۰۳۶ ۳۶
۲	۴×۲	۰/۹	۱۶۰۰۰	تنب بزرگ	۱۰۰۳۶ ۳۶
۳	۴×۲	۰/۸۵	۶۰۰۰۰۰	تنب بزرگ	۱۰۰۳۶ ۳۶
۴	۴×۲	۰/۸	۳۳۰۰۰۰ ۰۰	تنب بزرگ	۱۰۰۳۶ ۳۶

**جدول ۷. اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی**

مستله	P1	P2	P3	P4	درصد اختلاف
	تعداد مراکز محلی	۲	۲	۲	
تعداد مراکز عملیاتی	۱۰	۱۲	۱۵	۲۴	۰
SAI	۹۰/۲۵۷۹۳	۱۵۲/۳۶۱۹	۱۷۶/۱۶۷۴	۴۵۰/۵۱۴۵	۰/۲۳
زمان (ثانیه)	کمتر از یک ثانیه	کمتر از یک ثانیه	کمتر از یک ثانیه	کمتر از یک ثانیه	۰/۹۱
Lingo 8	۹۰/۲۵۷۹۳	۱۵۲/۳۶۱۹	۱۷۶/۱۶۷۴	۴۴۶/۴۳۰۶	۰
زمان (ثانیه)	کمتر از یک ثانیه	کمتر از یک ثانیه	کمتر از یک ثانیه	کمتر از یک ثانیه	۰

**۸. نتیجه گیری**

در این تحقیق، یک مدل ریاضی جدید و یک روش ترکیبی برای مکان‌یابی سایت‌های راداری سطحی ارائه شد. در روش ترکیبی، ابتدا عوامل تأثیرگذار برای انتخاب محل استقرار سایت‌های راداری (بر مبنای اصول پدافند عامل و غیرعامل) دسته‌بندی شدند و سپس محل‌های پیشنهادی برای استقرار، براساس معیارها امتیازدهی و اولویت‌بندی شدند.

در مرحله دوم از الگوریتم فرا ابتکاری شبیه‌سازی تبرید برای حل مدل ریاضی جدید استفاده شد. امتیازدهی در مرحله اول، مبنای اولویت ورود محل به شبکه راداری است تا تمام حالت‌های ممکن شبکه راداری در مرحله دوم توسط الگوریتم شبیه‌سازی تبرید بررسی شود.

همچنین با استفاده از روش ترکیبی (امتیازدهی و شبیه‌سازی تبرید) و با داده‌های فرضی، مسئله مکان‌یابی سایت‌های راداری در منطقه خلیج فارس حل شد. به‌منظور تأیید صحت نتیجه‌ها، مسئله نمونه با نرم‌افزار Lingo حل شد که نتیجه‌های به‌دست آمده منطبق بر نتیجه‌های روش ترکیبی و شبیه‌سازی تبرید است. برخی از پیشنهادها برگرفته از این نوشتار به شرح زیر ارائه می‌شود:

- ۱- عامل ارتفاع در تابع هدف تأثیر داده و مسئله سه‌بعدی شود تا بتوان نقاط کور را بیشتر پوشش داده و به نتیجه‌های مطلوب‌تری دست یافت.
- ۲- هزینه‌های آماده‌سازی، استقرار و پشتیبانی را می‌توان در مدل تأثیر داد تا به‌عنوان یک عامل کلیدی در استقرار بررسی شود.
- ۳- این مدل برای انواع مختلف رادار با شعاع و فرکانس‌های مختلف بسط داده شود تا میزان دقت رادار افزایش یابد و پوشش آن بیشینه شود.
- ۴- از الگوریتم‌های دیگر مثل الگوریتم ژنتیک (G.A) و جستجو ممنوع (T.S) در حل مسئله مکان‌یابی بهینه سایت‌های راداری سطحی استفاده شود.

با در نظر گرفتن تابع هدف مسئله و با دقت در جدول (۵) چنین نتیجه می‌شود که هر چند محل واقع در جزیره تنب بزرگ، در مرحله کسب امتیاز اولویت دوم را به‌خود اختصاص داده بود، ولی در تست ساختارهای امکان‌پذیر شبکه براساس الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به‌عنوان جواب بهینه تعیین و معرفی شده است. بر اساس این جواب بهینه، بهترین حالت شبکه به‌صورت جدول (۶) است.

**جدول ۶. حالت بهینه شبکه با حل مسئله توسط شبیه‌سازی تبرید**

عملیاتی محلی	۱ هرمز	۲ هنگام	۳ ابوموسی	۴ تنب بزرگ
۱ / لارک	۱	۰	۰	۰
۲ / قشم	۰	۱	۰	۱

همچنین با حل مسئله توسط نرم‌افزار Lingo جواب بهینه در جزیره تنب بزرگ قرار می‌گیرد که به مرکز محلی قشم تخصیص می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم شبیه‌سازی تبرید جواب نزدیک به بهینه را پیشنهاد می‌دهد.

**۷. اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی**

برای مقایسه کیفیت جواب و زمان حل مدل پیشنهادی لازم است مسئله در ابعاد بزرگ حل شود. از این رو جواب دقیق مسئله از طریق نرم‌افزار Lingo 8 با جواب الگوریتم شبیه‌سازی تبرید با نرم‌افزار Matlab 2010 طی چهار مرحله تست و اجرا شد. در هر مرحله زمان مسئله توسط الگوریتم شبیه‌سازی تبرید بهبود پیدا کرد و کیفیت جواب در ابعاد بسیار وسیع کاهش یافت، اما درصد اختلاف ناچیزی مشاهده شد. از آنجایی که برای مکان‌یابی سایت‌های راداری مهم‌ترین عامل کاهش زمان برای استقرار مدنظر است، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید کمک شایانی در کاهش زمان داشته و جوابی نزدیک به بهینه ارائه می‌دهد. در جدول (۷) ابعاد گوناگون مسئله تشریح و بیان شده است.

- [12] Bruni, M. E.; Conforti, D.; Sicilia, N.; Trotta, S. "A new Organ Transplantation Location-Allocation Policy: A Case Study of Italy"; *Health Care Manage Sci.* 2006, 9, 125-142.
- [13] Louwers, D.; Kip, B. J.; Peters, E.; Souren, F.; Flapper, S. D. P. "A Facility Location- Allocation Model for Reusing Carpet Materials"; *Computers & Industrial Eng.* 1999, 36, 855-869.
- [14] Harper, P. R.; Shahani, A. K. "Gallagher, J. E. and Bowie, C, Planning Health Services with Geographic Considerations: a Stochastic Location-Allocation Approach"; *Omega* 2005, 33, 141-152.
- [15] Doerner, K.; Focke, A.; Gutjahr, W. J. "Multicriteria Tour Planning For Mobile Healthcare Facilities in a Developing Country."; *Eur. J. Operational Research* 2007, 179, 1078-1096.
- [16] Chan, Y.; Carter, W. B; Burnes, M. D. "A Multiple – Depot, Multiple – Vehicle, Location- Routing Problem with Stochastically Processed Demands"; *Computers & Operations Research* 2001, 28, 803-826.
- [17] Rajagoplan, H. K; Saydam, C; Xiao, J. "A Multiperiod Set Covering Location Model for Dynamic Redeployment of Ambulances"; *Computers & Operations Research* 2008, 35, 814-826.
- [18] Teresinha, A. M.; Steiner, A.; Alex, A. "A Genetic Algorithm for Solving a Capacitated P-Median"; *Numerical Algorithm* 2004, 35, 373 – 388.
- [19] Tomoji, C. "Radar Principles"; *Iran Univ. Sci. Tech.*, 1991 (In Persian).
- [20] Kamran, H. "Military Geography of Islands"; *Society of Geography Iran Press*, 2009 (In Persian).
- [21] Yildiz, H. "Simulated Annealing & Applications to Scheduling Problems"; *Bilkent Univ.*, 2000.
- [22] Persson, P.; Nordeno, S. "Combinatorial Optimization Using Simulated Annealing Applied to Active Noise Control System Configuration"; *Active Control J. Combinatorial Optimization* 2002, 3, 229-250.
- [23] Towhidi, S. M. "Mathematical Modeling for Surface Radar Sites' Location for Persian Gulf Region"; *M. Sc. Thesis, Imam Hossein Univ.* 2012 (In Persian).

۵- الگوریتم های مختلف به منظور حل مسئله مکان یابی سایت های راداری سطحی در جهت رسیدن به جواب مطلوب در مدت زمان کوتاه تر ادغام شود.

## ۹. منابع

- [1] Soleymani, H. M. "Introduction to Radar Systems"; *Shahid Beheshti Elect. Research Press*, 1991 (In Persian).
- [2] Sadeghnezhad, A. "Introduction to Radar Systems"; *Air Force Press*, 2003 (In Persian).
- [3] Hajizadeh, H. "Site Tracking Radar"; *Shahid Sattari Univ. Press*, 1992 (In Persian).
- [4] Heragu, S. S. "Facilities Design"; *Boston, PWS Pub.* 1997, 32, 221-372.
- [5] Cooper, L. "Location-Allocation Problems"; *Operations Research* 1963, 23, 331-343.
- [6] Jian, Zh.; Boading, L. "New Stochastic Models for Capacitated Location-Allocation Problem"; *Computer & Industrial Eng.* 2003, 45, 111-125.
- [7] Salhi, S.; Gamal, M. D. H. "A Genetic Algorithm Based Approach for the Uncapacitated Continuous Location-Allocation Problem"; *Annals of Operations Research* 2003, 31, 203-222.
- [8] Liu, C. M.; Kao, R. L.; Wang, A. H. "Solving Location-Allocation Problems with Rectilinear Distances by Simulated Annealing"; *J. Operation Research* 2005, 45, 1304-1315.
- [9] Hassanpour, H. "Design Modeling to Possible Location-Routing and Solutions With Integrated Approach"; *Ph.D. Thesis, Imam Hossein Univ.*, 2008 (In Persian).
- [10] Alba, E.; Dominquez, E. "Comparative Analysis of Modern Optimization Tools for the P-Median Problem"; *J. Statistics and Computing* 2006, 16, 251-260.
- [11] Revelle, C.; Swain, R. "Central Facilities Location"; *Geographical Analysis* 1970, 2, 30-42.