

جایابی حسگرها در سیستم‌های پارکینگ هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا با الگوریتم هوش جمعی ملخ

احمد براتیان و اسماعیل خیرخواه

صرف یافتن یک فضای خالی در پارکینگ‌های موجود در آن مکان نمایند. بنابراین جستجوی این فضای خالی، باعث ایجاد مشکلات جدی در حوزه پارکینگ خودرو شده و در بسیاری از نقاط به کابوسی برای رانندگان تبدیل شده است. به منظور حل این مشکل، بسیاری از رانندگان از تلفن‌های هوشمند یا راهنماهای وسیله نقلیه برای یافتن پارکینگ‌های موجود در اطراف خود که توسط متولیان پارکینگ تدارک دیده شده، استفاده می‌کنند. با این حال چنین سیستم‌هایی فقط می‌توانند محل پارکینگ‌های اطراف را تعیین کنند و دیگر نمی‌توانند اطلاعاتی درباره مکان دقیق فضاهای خالی یا ظرفیت موجود در این پارکینگ‌ها ارائه دهند. بنابراین چگونگی یافتن یک پارکینگ که بتواند تعداد فضای موجود برای پارک در یک پارکینگ را مشخص کند، اهمیت داشته و لازمه این کار، جایابی مناسب حسگرها برای پوشش پارکینگ و مشخص شدن فضاهای پارک خالی است [۱] تا [۳].

تاکنون برای پارکینگ هوشمند در بستر اینترنت اشیا، مدل‌های مختلفی ارائه شده که در این مدل‌ها، فقط به مبحث رزرو فضای پارک پرداخته شده است. اما مسئله این است که موقعیت‌یابی شبکه حسگرهای بی‌سیم (WSN) در بستر اینترنت اشیا چگونه می‌تواند برای تشخیص فضاهای خالی پارک در پارکینگ‌ها استفاده شود؟ موقعیت‌یابی حسگرها در پارکینگ هوشمند یک مسئله بهینه‌سازی است؛ زیرا هدف، انتخاب گره‌های لنگر برای جمع‌آوری داده‌ها از حسگرها (سایر گره‌ها) و ارسال این داده‌ها به ایستگاه پایه است. در این خصوص، بهینه‌سازی خطی ترکیبی در زمان متوالی برای تعداد گره‌ها در پارکینگ می‌تواند استفاده شود تا با موقعیت‌یابی مناسب حسگرها، کاربران را به پارکینگ مناسب در هر منطقه هدایت کند [۴]. در نظریه تصمیم‌گیری مبتنی بر الگوریتم موقعیت‌یابی حسگرهای بی‌سیم برای شهرهای هوشمند، شبیه‌سازی‌ها برای موقعیت‌های مختلف پارکینگ ساده مانند فضای باز، زیرزمین و خیابان‌ها انجام شده و سازگاری خوبی را برای همه موقعیت‌ها نشان می‌دهد [۴].

برخی مدل‌های ارائه‌شده در رابطه با پارکینگ هوشمند از طرح نظارت بر دروازه استفاده می‌کنند. در طرح نظارت بر دروازه، از شبکه حسگرهای بی‌سیم و سامانه شناسایی با امواج رادیویی^۲ (RFID) برای پارکینگ و نظارت بر دروازه استفاده شده است. این طرح، یک مدل کم‌هزینه و ساده است که در آن فرض می‌شود برچسب‌های رادیوفرکانس به کاربران مشترک اختصاص داده شده است یا می‌تواند به صورت پویا در ورودی پارکینگ، توسط کاربران ارائه شود. همچنین طرح پارکینگ مبتنی بر

چکیده: با توجه به رشد جمعیت شهرها و تعداد وسایل نقلیه که به صورت تصاعدی در حال افزایش است، یک چالش در پارکینگ‌ها، جایابی وسایل نقلیه است. در یک سیستم پارکینگ هوشمند، راننده می‌تواند بدون تأخیر و با صرف انرژی کمتر پارک کند؛ ولی الزام آن استفاده از حسگرها (جای پارک خالی) و راهنماهای پارکینگ برای این منظور است. با پیشرفت تحقیقات در اینترنت اشیا، محققان در سیستم پارکینگ هوشمند مبتنی بر حسگرهای بی‌سیم، راهکارهای امیدوارکننده‌ای ارائه نمودند. از جمله این تحقیقات، استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری (GWO) در موقعیت‌یابی بهینه حسگرهای بی‌سیم در محیط اینترنت اشیا پارکینگ است. در این مقاله با توجه به قدرت جستجو و همگرایی بالای الگوریتم بهینه‌سازی ملخ (GOA) برای اولین بار از این الگوریتم در جایابی حسگرهای بی‌سیم در پارکینگ استفاده شده است. الگوریتم بهینه‌سازی ملخ برای مشخص کردن بهترین گره‌های لنگر برای جمع‌آوری داده از سایر حسگرها به کار می‌رود؛ به طوری که بتواند خطای موقعیت‌یابی و میزان مصرف انرژی حسگرها را کاهش و طول عمر آنها را افزایش دهد. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی توانسته به طور میانگین بهبود ۵۹۲٪ در کاهش خطای موقعیت‌یابی، ۶۴۳٪ در کاهش میزان مصرف انرژی و ۶۲۳٪ در افزایش میزان طول عمر شبکه نسبت به الگوریتم گرگ خاکستری داشته باشد. همچنین روش پیشنهادی توانسته زمان بیشتری برای مرگ اولین گره داشته باشد و این یک مزیت مهم در پارکینگ‌های هوشمند بوده است؛ زیرا کارایی تمام حسگرها در محیط پارکینگ الزامی می‌باشد.

کلیدواژه: الگوریتم بهینه‌سازی ملخ، پارکینگ هوشمند، جایابی حسگرها، موقعیت‌یابی حسگرها.

۱- مقدمه

شهرهای هوشمند و برنامه‌ریزی شهری بر توسعه کشورها بسیار تأثیرگذار می‌باشند. آنها با اخذ یک تصمیم هوشمند و مؤثر در زمان درست، قدرت تصمیم‌گیری جوامع را افزایش می‌دهند. در این مقاله روشی برای پارکینگ‌های هوشمند بر مبنای اینترنت اشیا در شهرهای هوشمند پیشنهاد شده است. با توسعه اقتصاد و پیشرفت شهرنشینی، مردم کلان‌شهرها در اوقات فراغت یا انجام کارهای روزمره خود به مکان‌هایی با مراجعین زیاد و پارکینگ‌های وسیع مانند مراکز خرید یا سازمان‌های بزرگ مراجعه می‌کنند و به محض رسیدن به مقصد، باید وقت زیادی را

این مقاله در تاریخ ۲۴ آذر ماه ۱۴۰۲ دریافت و در تاریخ ۱۷ فروردین ماه ۱۴۰۳ بازنگری شد.

احمد براتیان، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران، (email: baratian.ahmad.22@gmail.com).

اسماعیل خیرخواه (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران، (email: e.kheirkhah@gmail.com).

1. Wireless Sensor Network
2. Radio Frequency Identification

هوشمندسازی پارکینگ‌ها صورت گرفت، تأیید می‌کند که موقعیت‌یابی خودرو در محیط پارکینگ به عنوان عاملی مهم جهت هوشمندسازی پارکینگ‌ها است که در نتیجه آن، هدایت خودرو امکان‌پذیر بوده و عاملی جهت افزایش کیفیت خدمت‌رسانی در پارکینگ فراهم می‌شود. با توجه به بسته‌بودن محیط پارکینگ، موقعیت‌یابی اجسام در آن از دسته مکان‌یابی‌های اجسام در محیط‌های سرپوشیده می‌باشد. استفاده از امواج رادیویی و روش‌های مربوط به آن به‌منظور مکان‌یابی در محیط سرپوشیده، از جمله راهکارهای ارائه‌شده در این زمینه است. در برخی روش‌های دیگر این حوزه، تنها با استفاده از تجهیزات موجود در محیط (مشابه رادارهای مکان‌یاب)، مکان جسم در فضای سرپوشیده محاسبه می‌گردد. از معایب هر دوی این روش‌ها می‌توان به نیاز به تجهیزات اضافی با قیمت‌های بالا، حساسیت بسیار زیاد نسبت به شرایط محیطی و پارازیت‌های موجود اشاره نمود [۱۰]. در این پژوهش تلاش شده تا با بهره‌گیری از آنتن‌های مونوپل و استفاده از ماتریس پراکندگی، فرایند مکان‌یابی انجام پذیرد. بدین منظور در ابتدا محیط پارکینگ با صفحه‌ای شامل چند آنتن مونوپل شبیه‌سازی شده و با استفاده از نرم‌افزار مبتنی بر المان محدود، ماتریس پراکندگی برای حالت عدم حضور و حضور جسم در شرایط محیطی مختلف، شبیه‌سازی گردیده است. پس از محاسبه ماتریس‌های پراکندگی، داده‌های مورد نیاز انتخاب شده و با استفاده از شبکه عصبی، هر یک از این مقادیر به یک موقعیت جسم نسبت داده می‌شود. در فاز بعد به ازای قرارگرفتن جسم در موقعیت جدید، ماتریس پراکندگی مربوط به‌دست آمده و با مقایسه با اطلاعات جمع‌آوری‌شده در مرحله قبل، مکان جسم محاسبه می‌شود. این فرایند مشابه با الگوریتم اثر انگشت می‌باشد؛ با این تفاوت که به‌جای استفاده از مقادیر توان سیگنال، از ماتریس پراکندگی استفاده شده است. از مزایای این روش می‌توان به عدم نیاز به کالیبراسیون و اندازه‌گیری دقیق موقعیت آنتن‌ها، قابلیت توسعه‌پذیری و ارائه راهکاری جدید جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت محاسبه موقعیت جسم اشاره کرد [۱۱].

در پژوهش‌های دیگری در حوزه پارکینگ هوشمند، به استفاده از خودروهای برقی و ارتباط این خودروها با اشیاء در شبکه اینترنت اشیاء پرداخته شده است. به‌عنوان مثال در [۱۲] به مدیریت انرژی پارکینگ هوشمند خودروهای برقی در یک ریزشبکه (پارکینگ هوشمند) با در نظر گرفتن اثرات برنامه پاسخ‌گویی بار پرداخته شده و در آن پارکینگ هوشمند در دو نقش پاسخ‌گویی بار و منبع تولید انرژی برای شبکه توزیع ایفای نقش می‌کند که منجر به سیستم پارکینگ هوشمند با کاهش هزینه‌ها شده است. در [۱۳] با عنوان تخصیص همزمان پارکینگ وسایل نقلیه الکتریکی و منابع تجدیدپذیر توزیع‌شده نیز موضوع پارکینگ وسایل نقلیه مورد توجه قرار گرفته است. در خصوص زمان‌بندی شارژ خودروهای برقی در پارکینگ هوشمند در [۱۴] یک مدل ریاضی به منظور تعیین استراتژی بهینه شارژ خودروهای برقی در پارکینگ‌های هوشمند با هدف حداکثر نمودن سود پارکینگ و با در نظر گرفتن رضایت صاحبان خودروها، معرفی شده است.

در پژوهش‌های دیگری در حوزه پارکینگ هوشمند، به استفاده از سیستم توصیه‌گر سعی شده است یک سیستم هوشمند پارکینگ برای شهرهای هوشمند با استفاده از اینترنت اشیاء ارائه شود و اشغال وسایل نقلیه را به‌طور دقیق در زمان واقعی بررسی کرده تا رانندگان را به محل پارک موجود هدایت کند؛ بنابراین ازدحام ترافیک و بار محیطی مربوطه را کاهش دهد. نشان داده شده که پیشرفت‌های اخیر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محاسبات ابری و فناوری‌های کلان‌داده می‌تواند با تکامل

امواج رادیویی، توسط پروتکل Zigbee و GSM، شرایط یک پارکینگ امن را با وارد کردن رمزهای عبور دوطرفه فراهم می‌کند [۵]. در اکثر طرح‌های گزارش‌شده از حسگرهای بی‌سیم و رادیوفرکانس بر روی «قراردادن سازماندهی‌شده حسگر در پارکینگ» و استفاده از «شبکه عصبی پیشرو و شبکه عصبی رگرسیون» برای موقعیت‌یابی حسگر تمرکز شده است [۶]. از آنجا که پیچیدگی الگوریتم، ارتباط نزدیکی با زمان اجرای آن دارد، بنابراین استفاده از الگوریتم‌های پیچیده، زمان محاسبه و موقعیت‌یابی حسگرها را زمان‌بر خواهد کرد. موقعیت‌یابی حسگرهای بی‌سیم مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی از جمله الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) از نظر زمان محاسبه بهتر بوده است؛ اما در میزان خطای موقعیت‌یابی، پیشرفت چندانی نشان نمی‌دهد [۷]. همچنین الگوریتم خفاش برای موقعیت‌یابی حسگرهای بی‌سیم که از رفتار خفاش‌ها برای یافتن طعمه در تاریکی با کمک امواج ارسالی الهام گرفته است، آزمایش شده است. در این کار، محققان الگوریتم خفاش را بهبود داده‌اند تا دقت موقعیت‌یابی را در بازه زمانی کوتاه محاسبه کنند و افزایش دهند [۸]. در این مقاله، ما روشی جدید با استفاده از الگوریتم هوش جمعی ملخ [۹] برای موقعیت‌یابی حسگرهای بی‌سیم در پارکینگ هوشمند ارائه نموده‌ایم. مسئله پیدا کردن موقعیت بهینه برای قراردادن حسگرهای بی‌سیم در سیستم‌های پارکینگ هوشمند، یک مسئله پیچیده است که نیازمند رویکردهای پیشرفته برای حل آن می‌باشد. این مسئله از نظر پیچیدگی محاسباتی به عوامل مختلفی مانند «تعداد سنسورها و ابعاد فضا»، «محدودیت‌ها و قیدها»، «هدف مسئله»، «روش‌های حل» و ... بستگی دارد که باید در نظر گرفته شوند. افزایش تعداد سنسورها و ابعاد فضایی که باید پوشش دهند، پیچیدگی مسئله را افزایش می‌دهد. این باعث افزایش تعداد متغیرها و محدودیت‌ها در مسئله می‌شود که به تجزیه و تحلیل مسئله، سختی بیشتری اضافه می‌کند. همچنین محدودیت‌هایی مانند موانع فیزیکی، فاصله مجاز بین سنسورها و نیاز به پوشش کلیه مناطق پارکینگ، نیازمند در نظر گرفتن محدودیت‌های خاص در فرایند جستجو و تصمیم‌گیری هستند که باعث افزایش پیچیدگی مسئله می‌شوند. از طرفی در مسائل بهینه‌سازی، معمولاً هدف مشخصی برای به‌دست آوردن راه‌حل وجود دارد. این هدف می‌تواند مینیمم کردن خطاهای مکانی حسگرها، بیشینه‌کردن پوشش، کمینه‌کردن هزینه‌ها و ... باشد که اضافه‌کردن این هدف‌ها به مسئله، پیچیدگی را افزایش می‌دهد. به‌طور کلی، پیچیدگی مسئله بهینه‌سازی موقعیت‌یابی سنسورها در سیستم‌های پارکینگ هوشمند به عوامل فراوانی بستگی دارد که باید در هر مورد خاص بررسی شود. در واقع نوآوری این تحقیق، استفاده از الگوریتم هوش جمعی ملخ برای اولین بار به منظور حل مسئله موقعیت‌یابی (جایابی) حسگرهای بی‌سیم در پارکینگ هوشمند با تعیین موقعیت حسگرهای ارسال‌کننده و حسگرهای لنگر است.

۲- مرور ادبیات

تحقیقات زیادی در رابطه با هوشمندسازی پارکینگ‌ها چه در داخل و چه در خارج از کشور صورت گرفته که در آن از سیستم‌های چندلایه برای انجام پژوهش‌های مورد نظر استفاده شده است. در ادامه به برخی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

پژوهشی که با عنوان ارائه روشی نوین جهت مکان‌یابی اشیای متحرک با استفاده از آنتن‌های مونوپل به‌منظور افزایش کیفیت خدمت در

آ (SPS) را با تغییر تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های داده اشغال، موقعیت آنها، چرخه‌های قدرت ترکیبی و استراتژی‌های تجمیع داده‌ها بررسی کردند. علاوه بر این، یک قالب داده مختصر را برای انتشار مؤثر داده‌ها پیشنهاد نمودند. بر اساس مطالعات شبیه‌سازی آنها، یک مدل جمع‌آوری چندگانه به همراه یک تکنیک تطبیق داده‌ها بهترین روش برای تحقق یک سیستم پارکینگ هوشمند کارآمد است.

Raj و همکارانش [۲۳] در مقاله خود راه‌حل‌های پارکینگ هوشمند را از منظر فنی مرتبط با اینترنت اشیا و یادگیری ماشین که دو حوزه محبوب در حال پیشرفت هستند، تحلیل کرده‌اند. هدف آنها ارائه یک خلاصه کامل در مورد اکوسیستم پارکینگ هوشمند یا SP است که به محققان کمک کند تا مبانی و دانش عمیق فناوری‌ها، معماری‌ها و سایر الگوهای تکاملی مورد استفاده در توسعه SPS را بدانند. با توجه به بررسی و تحلیل جامع انجام‌شده در تحقیق، آنها دریافتند که SPS با تاکتیک‌های چندگانه در SC آینده تسلط خواهد داشت. آنها همچنین چالش‌های مختلف و جذب فناوری‌های پیشرفته مختلف را مورد بحث قرار دادند که می‌توانند در توسعه سیستم‌های پارکینگ جدید مورد استفاده قرار گیرند که به نفع محققان آینده و سایر افراد علاقه‌مند به اجرای SPS است.

جدول ۱ خلاصه برخی از مطالعات پرداخته‌شده در مرور ادبیات را نشان داده و همچنین به ابزارها، تکنیک‌ها و کارهای آینده بیان‌شده در این مقالات اشاره می‌کند.

همان طور که مشخص است، یکی از موضوعات مهم و قابل توجه وضعیت حمل‌ونقل شهری، مسئله پارکینگ خودروها در فضای شهر می‌باشد. ضرورت توجه به این امر باعث شده که در دهه‌های اخیر، راهکارهای متعددی برای ساماندهی و مدیریت وضعیت پارک خودروها در فضاهای درون‌شهری ارائه گردد که در این میان، توجه به تکنولوژی‌های روز و نقش و جایگاه آنها در مدیریت این فضاها روزبه‌روز در حال افزایش می‌باشد. در این ارتباط شاید یکی از به‌روزترین پارکینگ‌های هوشمند در سطح دنیا، پارکینگ‌های حسگرهای بی‌سیم و دوربین محور باشد که ظرفیت قابل توجهی را هم از نظر مدیریت حمل‌ونقل شهری و هم از نظر درآمدزایی برای مدیریت شهری فراهم نموده است. نکته مهم در استفاده از حسگرهای بی‌سیم در پارکینگ هوشمند، مصرف انرژی گره‌ها و کارایی آنها در پوشش محیط پارکینگ است که نیازمند بهینه‌سازی مکان مطلوب حسگرها و نحوه مناسب جمع‌آوری داده این حسگرها در بستر اینترنت اشیا است. در این مقاله به ارائه راهکاری در این خصوص پرداخته شده که در قسمت بعد شرح داده خواهد شد.

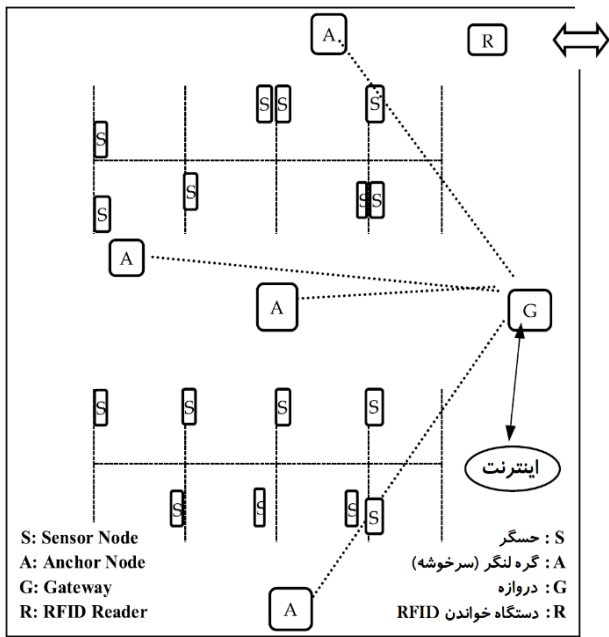
۳- روش پیشنهادی

مدل پارک هوشمند بر اساس نمونه اولیه پارکینگ پیشنهادشده توسط کرباب و همکاران در نظر گرفته شده [۲۴] که برای پارکینگ در فضای باز در الجزایر آزمایش گردیده است. این نمونه اولیه دارای چهارچوب چندلایه مبتنی بر حسگرها، مقیاس‌پذیری را ارائه می‌دهد و هدف آن ارائه خدمات مختلف پارکینگ به کاربران است. این چهارچوب شامل لایه حسگر، لایه شبکه، لایه میان‌افزار و لایه برنامه است که در شکل ۱ نشان داده شده است. در لایه حسگر، گره‌های حسگر در پارکینگ مستقر شده و به دو دسته گره‌های حسگر بی‌سیم ساده (فرستنده) و گره‌های لنگر با قابلیت اتصال به اینترنت اشیا طبقه‌بندی می‌شوند. علاوه بر این، دستگاه‌های رادیوفرکانس در دروازه پارکینگ قرار می‌گیرند. خودروها با

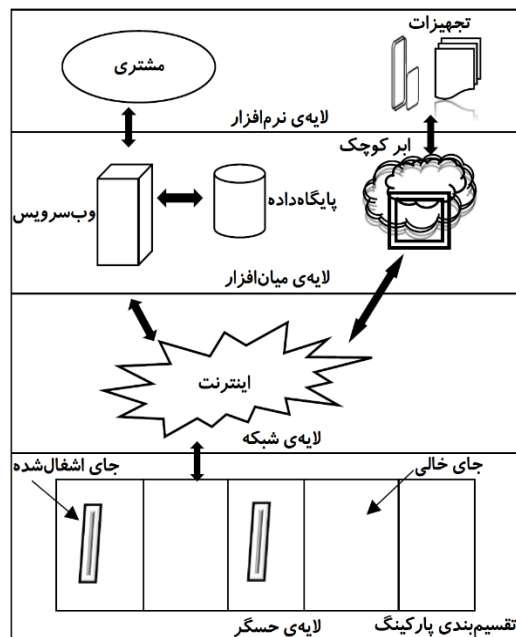
اینترنت اشیا این نیاز را برطرف کند [۱۵]. در [۱۶] نیز یک روش توصیه‌گر جای پارک خالی کنار خیابان چندمعیاره مبتنی بر الگوریتم گروه ذرات انجام شده است. زمانی که رانندگان قصد دارند در کنار خیابان پارک کنند، معیارهای زیادی را مد نظر دارند؛ از قبیل فاصله از مقصد مورد نظر، هزینه پرداختی، یافتن سریع‌تر جای پارک و ... در مقالات کمی به مسأله یافتن جای پارک بر اساس معیارهای متعدد رانندگان توجه شده است. هدف در این مقاله، یافتن جای پارک مطلوب رانندگان بر اساس معیارهای مشخص شده آنها و پیشنهاد مناسب‌ترین موارد ممکن بوده است.

مدیریت پارکینگ هوشمند با هدف استفاده از فناوری‌های پیشرفته، سنجش و نظارت برای استفاده بهینه از مکان‌های پارکینگ و سهولت پارک برای رانندگان با هدایت آنها به پارکینگ‌های موجود، در نتیجه استرس و تأخیر بی‌مورد را کاهش می‌دهد که باعث بهتر شدن شرایط رانندگی می‌شود. ایده توسعه پارکینگ هوشمند با سهولت کمتری در مصرف منابعی که به تدریج از بین می‌روند، پارک را آسان‌تر و سریع‌تر کرده است. در [۱۷] سیستم مدیریت پارکینگ یک بستر سنجش را پشتیبانی می‌کند که توسط یک برنامه تلفن همراه پشتیبانی می‌شود تا تعامل رانندگان در زمان واقعی با زیرساخت پارکینگ را امکان‌پذیر کند؛ به‌گونه‌ای که زمان جستجوی رانندگان را برای یک مکان خالی پارکینگ در پارکینگ‌های بزرگ به حداقل برساند. سیستم مدیریت پارکینگ و برنامه تلفن همراه دارای عملکردی هستند که از افزایش جمعیت در پارکینگ جلوگیری می‌کند. در [۱۸] توسعه یک سیستم مدیریت هوشمند پارکینگ با استفاده از اینترنت اشیا انجام شد. سیستم پیشنهادی امکانات متعددی از جمله جستجو برای جای پارک، رزرو، پرداخت، دریافت اعلان، نمایش آمار و نظارت بر وضعیت پارک را فراهم می‌کند. در این مقاله از اینترنت اشیا و با استفاده از سخت‌افزار و حسگرهای قابل پشتیبانی برای شناسایی و در دسترس بودن پارکینگ و شناسایی آنها برای کنترل فرایندهای دسترسی بهره گرفته شده است. همچنین در [۱۹] سیستم پارکینگ هوشمند بر اساس تشخیص مختصات نوری انجام شد. در این تحقیق، تشخیص فضای خالی پارکینگ در ابتدا با استقرار تعدادی حسگر در پارکینگ انجام می‌شود؛ اما پیشرفت پردازش تصویر این امکان را فراهم کرده است که می‌تواند از تصاویر منطقه پارکینگ برای کشف فضای خالی استفاده شود.

Veeramanickam و همکارانش [۲۰] در مقاله خود مدل پارکینگ هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا را با استفاده از مدل آردوینو UNO در پیاده‌سازی پیشنهاد کردند. در مدل آنها، مادون قرمز غیرعامل با سنسورهای مافوق صوت استفاده شده که به تشخیص مکان پارک موجود کمک می‌کند و به سیستم امکان می‌دهد اولویت‌بندی را بر اساس FCFS^۱ زمان‌بندی پارکینگ‌ها بر اساس تعداد اسلات‌های خالی پیدا کند. Rocco و همکارانش در [۲۱]، یک امکان‌سنجی را با هدف پیشنهاد طراحی یک معماری پارکینگ هوشمند که قادر به ارائه خدمات جدید با بهره‌برداری از آخرین فناوری‌های اینترنت اشیا باشد، ارائه دادند. تلاش آنها برای تعریف الزامات و انتخاب‌های فنی بود که بتوان برای طراحی سیستمی انجام داد که به پارادایم نوآوری و کارایی در پارکینگ هوشمند پایبند باشد. نتایج آزمایش‌های آنها نشان داده که سیاست پارکینگ مبتنی بر رزرو پیشنهادی، پتانسیل ساده‌سازی عملیات سیستم‌های پارکینگ و همچنین کاهش تراکم ترافیک شهرها را دارد. همچنین Anusha و همکارانش در [۲۲] مدل‌های ارتباطی مختلف سیستم پارکینگ هوشمند



شکل ۲: جاهای حسگرها در یک پارکینگ هوشمند نمونه [۲۵].



شکل ۱: چهارچوب پارکینگ هوشمند [۲۵].

جدول ۱: خلاصه برخی از کارهای مرتبط.

مقاله	مسائل پرداخته شده	مشارکت	پارامترها و نتایج	کار آینده
[۱۱]	مشکل پارک در شبکه IoT فوق مترامم	حداقل محاسبه	زمان و مکان	وضعیت کاربر تلفن همراه و پویا مورد بررسی قرار می‌گیرد.
[۱۲]	فناوری‌های ارتباطی فعلی نمی‌توانند خواسته‌های پارکینگ‌های هوشمند را به صورت کامل برآورده کنند.	معماری 5G مبتنی بر IoT ارائه شده است.	سرعت انتقال بالا، پوشش زیاد، تأخیر کم و قابلیت اطمینان بالا	کاربرد ترکیبی محاسبات ابری در تولید
[۱۳]	عدم وجود راه حل‌های شارژ پایانه‌های تلفن همراه در 5G در مکان‌یابی پارکینگ	زمان شارژ و مقدار شارژر بهینه شده است.	تعداد شارژر و زمان (های) شارژ	فرایند شارژر دوبعدی
[۱۵]	محیط پیچیده بی‌سیم صنعتی و منابع ارتباطی محدود در پارک هوشمند	بهبود دقت برآورد با منابع ارتباطی محدود	هزینه و زمان	باید معیارهای کاربردمحور بیشتری در نظر گرفته شود.
[۱۴]	ازدحام پردازش داده و شبکه ارتباطی در پارکینگ هوشمند	بهبود عملکرد IoT-Io، استفاده و QoS	زمان و پردازش	ادغام اطلاعات و DRL در نظر گرفته خواهد شد.
[۲۶]	انتقال داده از مشکل بارگذاری در پارکینگ هوشمند	بهبود بازده تخلیه	زمان و پردازش	توسط دانش ماتریس خصوصی محدود شده است.
[۱۷]	مصرف انرژی در بستر محاسبات لبه در پارکینگ هوشمند	برآورد مصرف انرژی سیستم عامل‌های IoT مبتنی بر ابر	زمان و انرژی	فقط کار بر اساس دوربین در سناریوهای دیگر اعمال نمی‌شود.
[۱۸]	مشکل در شبکه بی‌سیم در پارکینگ هوشمند	راه حل ارائه شده در لایه‌های مختلف برای بهبود استحکام شبکه	زمان و انرژی	تدوین سیاست‌های تخصیص منابع
[۱۹]	افزایش بهره‌وری انرژی در پارکینگ هوشمند	افزایش بهره‌وری انرژی در مدیریت تولید زمان واقعی	مصرف انرژی، زمان (دقیقه)	REEOM با MM و WM ادغام خواهد شد.
[۱۶]	تصمیم تخلیه را برای هر کار در پارکینگ هوشمند	تأخیر محاسبه کاهش می‌یابد و خدمات محاسباتی مه را با تأخیر کم انجام می‌دهد.	تأخیر (ثانیه)، کیفیت، هزینه کل	ورود پویای وظایف محاسباتی در نظر گرفته نمی‌شود.

بخش ورودی به کاربران به صورت لحظه‌ای ارائه شود. این سیستم، بلیط و راهنمای خودکار خودروها را برای حرکت به سمت محل پارک از پیش تعیین شده هدایت می‌کند. در صورت عدم تخصیص پیش‌بینی جای پارک، با در نظر گرفتن موقعیت فعلی خودرو، نزدیک‌ترین محل موجود بازبایی و اختصاص داده می‌شود.

طرح یک سیستم پارکینگ هوشمند که در آن گره لنگر مشخص است در شکل ۲ نشان داده شده است. هر جای پارک دارای یک گره ساده حسگر بی‌سیم با قابلیت اینترنت اشیاست که با حسگر اولتراسونیک قرار گرفته شده است.

استفاده از برجسب‌های رادیوفرکانس شناسایی می‌شوند. لایه شبکه، ارتباطی را از فرستنده به گره‌های لنگر و سپس به دروازه و نهایتاً به کاربران ارائه می‌دهد. الگوریتم‌های بهینه‌سازی و نظارت‌ها در لایه میان‌افزار برای شناسایی وضعیت و ارائه خدمات هوشمند استفاده می‌شود. لایه برنامه خدمات مختلفی را تعریف کرده و به کاربران ارائه می‌دهد.

به طور کلی، تلفن‌های همراه به پایگاه داده پارکینگ متصل گردیده و برای وضعیت پارکینگ‌ها در زمان واقعی به روز می‌شوند. در سیستم پیشنهادی پارکینگ هوشمند، فرض می‌شود برجسب‌های رادیوفرکانس به کاربران مشترک اختصاص داده می‌شود یا می‌تواند به صورت پویا در

که در آن A_i مجموعه گره‌های موجود در شبکه و \bar{l}_{im} فاصله بین گره l و m است که توسط (۴) محاسبه می‌شود

$$\bar{l}_{im} = \begin{cases} \sqrt{(u_l - u_m)^2 + (v_l - v_m)^2} & \text{if } m \text{ is an anchor node} \\ \sqrt{(u_l - u_m)^2 + (v_l - v_m)^2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$f_v = \sum_{l=M+1}^N \left(\sum_{m \in N_m^c} x_{lm} + \sum_{m \in N_m^c} (1 - x_{lm}) \right) \quad (5)$$

$$x_{lm} = \begin{cases} 1 & \text{if } \bar{l}_{im} > C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

در روابط فوق X_{lm} متغیری برای تعیین تأثیر محدوده ارتباطی گره لنگر بر روی \bar{l}_{im} می‌باشد. تعیین مختصات گره‌ها می‌تواند به عنوان بررسی راه حل بهینه برای بهینه‌سازی چندهدفه که با کاهش مقادیر هر دو تابع هدف به دست می‌آید، تلقی شود [۲۵].

در این مقاله، اهداف به صورت یک تابع هدف تبدیل شده تا با الگوریتم هوش جمعی ملخ به صورت تک‌هدفه حل شود؛ لذا داریم

$$F = af_v + bf_r \quad (7)$$

در (۷)، تابع f_r و f_v باید کمینه شوند تا نهایتاً برآیند نهایی تابع هدف کمینه شود. در این رابطه، a و b دو ضریب به عنوان وزن هستند که به دلیل دارا بودن اهمیت یکسان، این دو متغیر نسبت به سایر متغیرها در تابع هدف مورد مطالعه در این شبیه‌سازی‌ها، مقدار یک برای آنها در نظر گرفته شده است. در (۷) مقدار کمینه F را T می‌نامیم که در ادامه از آن استفاده خواهد شد.

در این مقاله، یک الگوریتم جایابی مبتنی بر الگوریتم هوش جمعی ملخ برای حل مسئله جایابی حسگرهای بی‌سیم در سیستم‌های پارکینگ هوشمند ارائه شده است. الگوریتم بهینه‌سازی ملخ دارای مکانیسم جستجوی قوی در فضای مسئله است و در بهینه‌سازی توابعی با ابعاد بالا نشان داده که از دقت بالایی برای رسیدن به راه حل بهینه سراسری برخوردار است و به علت حرکت دسته‌جمعی ملخ‌ها به ناحیه‌ای از فضا که راه حل بهینه سراسری در آن منطقه است، راه حل بهینه مسئله با دقت بیشتری پیدا می‌شود که این خود باعث دقت همگرایی بالای این الگوریتم است.

۳-۱- نگاهت مراحل الگوریتم بهینه‌سازی ملخ برای جایابی حسگرها در پارکینگ هوشمند

نگاشت مراحل الگوریتم بهینه‌سازی ملخ برای جایابی حسگرها در پارکینگ هوشمند به شرح زیر است:

- ۱- تولید تصادفی جمعیت ملخ‌ها در فضای جستجو
- ۲- هر ملخ یک آرایه است. به تعداد همه حسگرها برای هر حسگر، حسگری به عنوان سرخوشه یا لنگر مشخص می‌شود. به عنوان مثال برای پارکینگی با ۷ حسگر، در شکل ۳ برای حسگر ۱، حسگر ۶ سرخوشه می‌باشد و برای حسگرهای ۲ تا ۵، حسگر ۷ سرخوشه است.

همان طور که مشخص است، ملخ در شکل ۳ به صورت رشته عددی ۶۷۷۷۷۶۷ است.

- ۳- تعیین مقدار پارامترهای مسئله از جمله حد بالا و پایین فضای جستجو و همچنین حد پایین (c_{\min}) و حد بالا (c_{\max}) ناحیه آسایش و

هنگامی که یک ماشین در محل پارک تشخیص داده می‌شود، آدرس و محل گره حسگر نصب‌شده در آن شکاف از طریق نزدیک‌ترین گره لنگر به مدیر پارکینگ اعلام می‌شود. این سیستم مدیریت پارکینگ را قادر می‌سازد تا پایگاه داده را به‌روز، تعرفه را دریافت و همچنین تأیید کند که خودروی شناسایی‌شده مجاز به دسترسی به شکاف است یا خیر.

در اکثر مدل‌های پارکینگ هوشمند گزارش‌شده، گره‌های حسگر بی‌سیم در محدوده پارکینگ با محدودیت موقعیت جغرافیایی قرار می‌گیرند که منجر به پوشش ضعیف و ناتوانی در انتقال داده‌های حس‌شده به دروازه می‌شود. از این رو گره‌های لنگر در سیستم پارکینگ هوشمند با جایابی مطلوب برای افزایش پوشش و اتصال گره‌های حسگر گنجانده شده‌اند. برای جایابی بهینه گره‌های لنگر و فرستنده در پارکینگ، فرض می‌شود که شبکه حسگر بی‌سیم با تعداد M گره لنگر و تعداد N گره فرستنده که در آن $M < N$ است، در فضای دوبعدی مستقر هستند. مدل بهینه‌سازی دوهدفه است که شامل مختصات N گره فرستنده و همچنین موقعیت M گره لنگر است. محدودیت‌ها باعث می‌شود تا مختصات ارزیابی‌شده به مقادیر واقعی نزدیک شوند و همچنین توپولوژی منحصر به فردی را ایجاد کند [۲۵].

برای محدودیت فاصله در فضای جستجو، تابع هدف دارای یک فرایند دومرحله‌ای است:

- در مرحله اول، گره فرستنده با استفاده از نشانگر قدرت سیگنال دریافتی و زمان رسیدن سیگنال دریافتی از گره لنگر، فاصله تا گره لنگر را تعیین می‌کند.

- در مرحله دوم، اطلاعات بازایابی‌شده در مرحله اول برای تعیین موقعیت گره‌های فرستنده استفاده می‌شود.

الگوریتم بهینه‌سازی برای به حداقل رساندن خطای جایابی با این فرض استفاده می‌شود که گره لنگر l و دیگر گره‌های m در محدوده ارتباطی یکدیگر قرار دارند و تأثیر اندازه‌گیری نویز نیز شبیه‌سازی شده است. هر گره لنگر در منطقه خود، فاصله خود را از تمام گره‌های فرستنده مجاور خود تعیین می‌کند. \bar{l}_{im} یعنی فاصله بین l و m به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$i_{lm} = a_{lm} + e_{lm} \quad (1)$$

که در آن a_{lm} فاصله واقعی بین گره l و گره m است که توسط (۲) تعیین می‌شود و e_{lm} خطای متغیر است [۲۵]

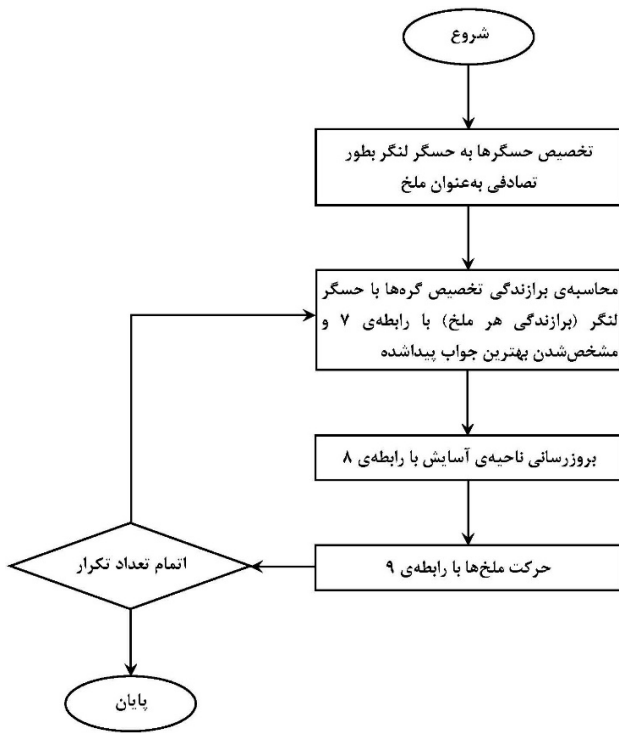
$$a_{lm} = \sqrt{(u_l - u_m)^2 + (v_l - v_m)^2} \quad (2)$$

که (u_m, v_m) و (u_l, v_l) به ترتیب موقعیت مختصات گره m و l هستند [۲۵].

اگر C محدوده ارتباطی گره لنگر l باشد، مجموعه گره‌هایی که می‌توانند با گره لنگر متصل شوند N_{lm} می‌باشد و مکمل آن N_{lm}^c است. اگر $a_{lm} \leq C$ ، آن گره $(u_m, v_m) \in N_{lm}$ و اگر $a_{lm} > C$ ، آن گره $(u_m, v_m) \in N_{lm}^c$ است. خطای e_{lm} دارای مقدار تصادفی با توزیع یکنواخت در محدوده $[d_l - d_l(p_n/100), d_l + d_l(p_n/100)]$ و P_n مقدار تصادفی با توزیع یکنواخت است که $0 \leq P_n \leq 1$ و d_l فاصله بین گره لنگر l و بقیه گره‌هاست [۲۵].

در مرحله دوم، توابع هدف f_r و f_v برای محدودیت فاصله در فضا و محدودیت توپولوژی هندسی به ترتیب در (۳) و (۵) تعریف شده است

$$f_r = \sum_{l=M+1}^N \sum_{m \in A_l} (\bar{l}_{lm} - i_{lm})^2 \quad (3)$$



شکل ۶: فلوچارت روش پیشنهادی.

صورت عدد صحیح اصلاح می‌گردد. مثلاً در شکل ۴ ملخ بعد از تغییر دارای اعداد اعشاری است و به‌صورت رند شده اصلاح می‌شود. ۲-۳ در صورتی که ملخی از فضای جستجو خارج شده است، به فضای جستجو برگردانده شود.

۴- مثلاً ملخ شکل ۵ یک جواب خارج از فضای جستجو است؛ زیرا به گره ۸ اشاره دارد ولی تعداد گره‌های شبکه ۷ عدد است.

۵-۳ به‌روزرسانی T در صورتی که ملخی با برازندگی بهتر پیدا شود.

۵-۴ اضافه‌نمودن شماره تکرار داخلی الگوریتم $(l = l + 1)$

۶- برگرداندن بهترین ملخ (T) به عنوان جواب نهایی

۲-۳ فلوچارت الگوریتم هوش جمعی ملخ برای موقعیت‌یابی حسگرهای بی‌سیم

در شکل ۶ فلوچارت الگوریتم هوش جمعی ملخ برای موقعیت‌یابی حسگرهای بی‌سیم آمده است.

۴- شبیه‌سازی و نتایج

روش پیشنهادی بر روی یک سیستم با مشخصات سخت‌افزاری زیر شبیه‌سازی می‌گردد:

- نوع سیستم: ۶۴ bit
 - مقدار حافظه RAM: ۴ GB
 - پردازنده اصلی: Intel(R) Core(TM) i۵ CPU@۱.۸۰GH
 - پردازنده گرافیکی: GeForce ۷۱۰M
- برای شبیه‌سازی نیاز به تولید شبکه حسگر بی‌سیم است که پارامترهایی از جمله تعداد گره شبکه، طول و عرض محیط شبیه‌سازی، انرژی اولیه هر حسگر و انرژی ارسال و دریافت اطلاعات در هر حسگر شبکه باید در آن مشخص گردد. در جدول ۲ تنظیمات عددی با توجه به مقاله‌های این حوزه انتخاب شده است.

سرخوشه‌ها	۶	۷	۷	۷	۷	۶	۷
حسگرها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

شکل ۳: نمایش ملخ بصورت یک رشته عددی.

سرخوشه‌ها	۶.۴	۷.۵	۷.۱	۷.۴	۶.۴	۶.۴	۷.۰۱
حسگرها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

سرخوشه‌ها	۶	۷	۷	۷	۶	۶	۷
حسگرها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

شکل ۴: نمونه‌ای از رندسازی در جواب‌های تولیدشده.

سرخوشه‌ها	۶.۴	۷.۵	۷.۹	۷.۴	۶.۴	۶.۴	۷.۰۱
حسگرها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

سرخوشه‌ها	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۷
حسگرها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

شکل ۵: نمونه جواب‌های تولیدشده خارج از فضای جستجو.

حداکثر تعداد دور تکامل^۱

- به عنوان مثال برای پارکینگی با ۷ حسگر، برای هر ملخ حد پایین فضای جستجو عدد ۱۱۱۱۱۱۱ و حد بالای آن ۷۷۷۷۷ است.

۳- محاسبه برازندگی هر ملخ با استفاده تابع بهینه‌سازی برازندگی در این مسئله با استفاده از (۷) که در بخش قبل شرح داده شد، محاسبه می‌شود.

۴- مشخص کردن بهترین ملخ (ملخ با برازندگی بهتر یعنی دارای مقدار کمینه در (۷)) در متغیر T . T متغیری است که در این مرحله اولین مقدار خود را می‌گیرد و سپس در صورت پیداشدن مقدار بهتر طی مرحله ۵، مقدار آن تغییر خواهد کرد و بنابراین در انتهای الگوریتم (مرحله ۶) بهترین مقدار برای T استخراج خواهد شد.

۵- تا وقتی که به شرط خاتمه نرسیده است
 $(l < \text{maximum number of iteration})$

۱-۵ به‌روزرسانی ناحیه آسایش با استفاده از رابطه زیر

$$c = c_{\max} - l \frac{c_{\max} - c_{\min}}{L} \quad (8)$$

- در محاسبه ناحیه آسایش، میزان حد پایین (c_{\min}) و حد بالای (c_{\max}) ناحیه آسایش، مقادیری ثابت بوده و پیش‌فرض الگوریتم هستند و l تعداد تکرار فعلی و L حداکثر تعداد تکرار است.

۲-۵ برای هر ملخ انجام شود:

۱-۲-۵ نرمال‌سازی فاصله ملخ‌ها در بازه $[۱,۴]$

۲-۲-۵ به‌روزرسانی مکان هر ملخ با استفاده از رابطه زیر

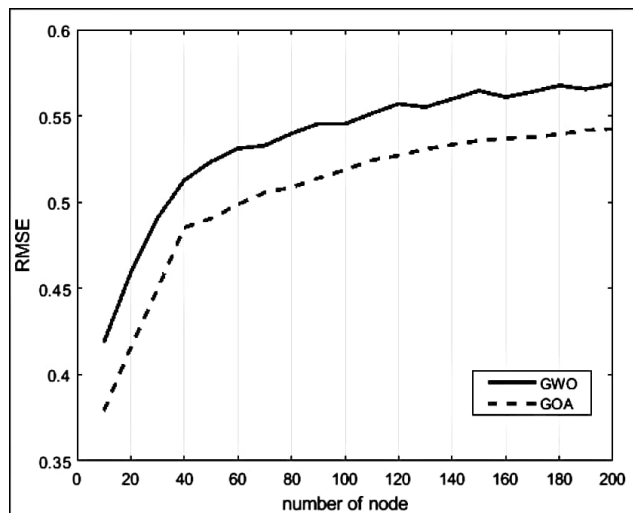
$$X_i^d = c \left(\sum_{j=1}^N c \frac{ub_d - lb_d}{2} s(|x_j^d - x_i^d|) \frac{x_j - x_i}{d_{ij}} \right) + \hat{t}_d \quad (9)$$

در رابطه فوق ub_d حد بالا در بعد d ام، lb_d حد پایین در بعد d ام، c یک ثابت برای کم کردن منطقه آسایش، s یک تابع برای تعریق فشار نیروی اجتماعی بین ملخ‌ها، \hat{t}_d مقدار بعد d ام در هدف (بهترین جوابی که تاکنون دیده شده است) و x_i ملخ i ام است.

- با توجه به این که جواب‌ها در هر ملخ به صورت عدد اعشاری است، بعد از انجام به‌روزرسانی ملخ‌ها با استفاده از رندسازی، هر ملخ به

جدول ۳: مقایسه خطای موقعیت‌یابی بین روش پیشنهادی و روش GWO.

تعداد گره شبکه	روش GA	روش PSO	روش پایه GWO	روش پیشنهادی GOA
۱۰	۰,۴۴۵۲	۰,۴۳۵	۰,۴۱۸۸	۰,۳۷۹۰
۲۰	۰,۴۷۵۴	۰,۴۶۵۲	۰,۴۵۹۰	۰,۴۱۵۷
۳۰	۰,۵۱۷۲	۰,۵۰۷	۰,۴۹۰۸	۰,۴۴۹۴
۴۰	۰,۵۲۹۱	۰,۵۱۸۹	۰,۵۱۲۷	۰,۴۸۵۳
۵۰	۰,۵۴۹۹	۰,۵۳۹۷	۰,۵۲۳۵	۰,۴۹۰۵
۶۰	۰,۵۴۷۵	۰,۵۳۷۳	۰,۵۳۱۱	۰,۴۹۸۷
۷۰	۰,۵۵۹۲	۰,۵۴۹	۰,۵۳۲۸	۰,۵۰۵۵
۸۰	۰,۵۵۶۲	۰,۵۴۶	۰,۵۳۹۸	۰,۵۰۸۵
۹۰	۰,۵۷۱۸	۰,۵۶۱۶	۰,۵۴۵۴	۰,۵۱۳۹
۱۰۰	۰,۵۶۱۷	۰,۵۵۱۵	۰,۵۴۵۳	۰,۵۱۸۷
۱۱۰	۰,۵۷۷۸	۰,۵۶۷۶	۰,۵۵۱۴	۰,۵۲۴۲
۱۲۰	۰,۵۷۳۴	۰,۵۶۳۲	۰,۵۵۷۰	۰,۵۲۷۱
۱۳۰	۰,۵۸۱۵	۰,۵۷۱۳	۰,۵۵۵۱	۰,۵۳۰۷
۱۴۰	۰,۵۷۶۲	۰,۵۶۶	۰,۵۵۹۸	۰,۵۳۳۳
۱۵۰	۰,۵۹۱	۰,۵۸۰۸	۰,۵۶۴۶	۰,۵۳۵۶
۱۶۰	۰,۵۷۷۳	۰,۵۶۷۱	۰,۵۶۰۹	۰,۵۳۷۰
۱۷۰	۰,۵۹۰۴	۰,۵۸۰۲	۰,۵۶۴۰	۰,۵۳۷۶
۱۸۰	۰,۵۸۴	۰,۵۷۳۸	۰,۵۶۷۶	۰,۵۳۹۵
۱۹۰	۰,۵۹۱۹	۰,۵۸۱۷	۰,۵۶۵۵	۰,۵۴۱۶
۲۰۰	۰,۵۸۴۷	۰,۵۷۴۵	۰,۵۶۸۳	۰,۵۴۲۵
میانگین	۰,۵۵۷۰۷	۰,۵۴۶۸۷	۰,۵۳۵۶	۰,۵۰۵۷



شکل ۷: مقایسه خطای موقعیت‌یابی بین روش پیشنهادی و روش GWO.

جدول ۲: پارامترهای شبیه‌سازی.

پارامتر	مقادیر
تعداد گره شبکه	۱۰ الی ۲۰۰
طول و عرض محیط	۲۰۰ × ۲۰۰
انرژی اولیه	۰,۵ J
انرژی الکتریکی	۵۰ nJ/bit
انرژی ارسال	۱۰ pJ/bit/m ²
انرژی دریافت	۰,۰۰۱۳ pJ/bit/m ⁴
انرژی جمع‌آوری داده	۵ nJ/bit/signal
سایز بسته‌ها	۴۰۰۰ Bits
دامنه انتقال	۱۰ تا ۴۰

تعداد حسگر لنگر در هر شبکه، یک‌دهم تعداد حسگرها است و در واقع هدف، موقعیت‌یابی درست این حسگرهای لنگر در بین حسگرهای دیگر است. محور x نشان‌دهنده تعداد گره‌ها و محور y نشان‌دهنده خطای میانگین مربع ریشه در هر شبکه می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۷ مشخص شده است، در تعداد گره بالای شبکه به علت وجود موقعیت‌های بیشتر گره‌ها، خطای میانگین مربع ریشه بیشتر است؛ ولی با افزایش تعداد گره شبکه، موقعیت‌یابی حسگرها مشکل‌تر بوده و نیاز به دقت روش تکاملی است. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است، روش پیشنهادی و روش پایه بر روی بیست شبکه مختلف از نظر تعداد گره شبکه ارزیابی شده است.

میانگین میزان بهبود نتایج روش پیشنهادی در بیست شبکه مختلف، ۲/۲۸ درصد نسبت به روش پایه بیشتر بوده است. همچنین در این جدول نتایج دو روش الگوریتم ژنتیک (GA) و گروه ذرات (PSO) نیز ذکر شده است.

همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است با افزایش تعداد گره‌ها، نمودار نرخ خطا افزایش خطی داشته است؛ اما روش پیشنهادی توانسته به طور میانگین ۰,۵۰۵۷ خطا داشته باشد، در صورتی که روش GWO توانسته به طور میانگین ۰,۵۳۵۶ خطا داشته باشد که بهبود ۵,۹۲ درصدی را در روش پیشنهادی نشان می‌دهد. همچنین روش‌های GA و PSO به ترتیب ۰,۵۵۷۰۷ و ۰,۵۴۶۸۷ خطا داشته‌اند که روش پیشنهادی نسبت به روش GA بهبود ۱۰,۱۶ درصدی و نسبت به روش PSO بهبود ۸,۱۴ درصدی داشته است.

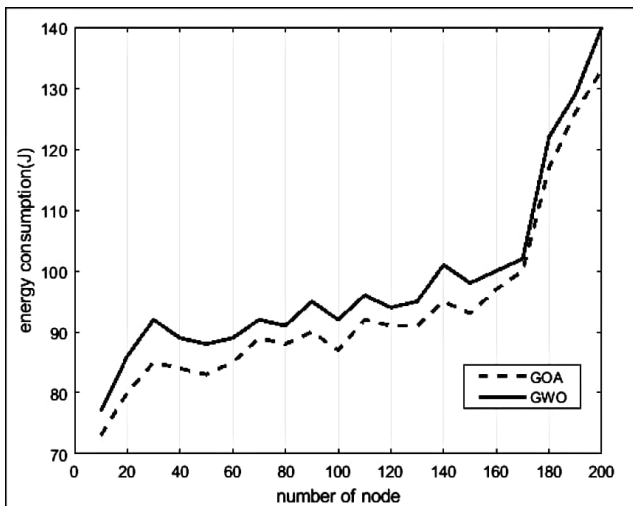
۴-۱ بررسی مدل پیشنهادی در خطای موقعیت‌یابی

برای آزمایش و تجزیه و تحلیل عملکرد روش پیشنهادی برای سیستم‌های پارکینگ هوشمند، شبیه‌سازی‌های گسترده‌ای انجام شده است. گره‌های حسگر به طور تصادفی در منطقه موقعیت‌یابی مستقر می‌شوند تا دقت هر الگوریتم موقعیت‌یابی را آزمایش کنند. خطای موقعیت‌یابی به عنوان فاصله بین مختصات واقعی گره‌های ناشناخته (U, V) و مختصات برآورد شده (U', V') تعریف می‌شود.

از خطای میانگین مربع ریشه ($RMSE$)^۱ به عنوان معیار آماری استاندارد برای اندازه‌گیری عملکرد استفاده شده است؛ زیرا برای داده‌هایی با نمونه‌های بیشتر، بازسازی توزیع خطا قابل اطمینان‌تر است. $RMSE$ ناپرابری مثلث را برای معیار تابع فاصله که برای محدودیت فاصله فضایی مورد استفاده در مدل ضروری است، برآورده می‌کند. علاوه بر این $RMSE$ معیار بهتری برای توزیع عادی نسبت به توزیع یکنواخت است.

در شکل ۷، خطای موقعیت‌یابی در بیست شبکه آزمایش شده و مقدار خطای موقعیت‌یابی همواره بین صفر و یک است. در شکل ۷، نمودار خطای موقعیت‌یابی به ازای بیست شبکه مختلف با تعداد گره مختلف از ۱۰ الی ۲۰۰ گره برای الگوریتم بهینه‌سازی ملخ (GOA) و الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (GWO) نشان داده شده است.

1. Root Mean Square Error
2. Grasshopper Optimization Algorithm
3. Grey Wolf Optimization



شکل ۸: مقایسه مصرف انرژی بین روش پیشنهادی و روش GWO.

پایه GWO را نشان می‌دهد. همچنین میانگین میزان نتایج در روش‌های GA و PSO به ترتیب ۱۰۰/۳۵ و ۱۰۲/۴ می‌باشد که روش پیشنهادی نسبت به روش GA بهبود ۸/۵۵ درصدی و نسبت به روش PSO بهبود ۱۰/۷۶ درصدی داشته است.

۳-۴ بررسی مدل پیشنهادی از دیدگاه زمان مرگ گره‌ها

در این بخش، روش پیشنهادی (GOA) از نظر زمان مرگ گره‌ها با روش GWO [۲۵] و الگوریتم PSO و ژنتیک مقایسه شده است. در واقع در این قسمت، زمان مرگ اولین گره مورد بررسی قرار گرفته که شماره دوری که در آن اولین گره شبکه به دلیل اتمام انرژی از کار می‌افتد و همچنین زمان مرگ نیمی از گره‌ها که شماره دوری که در آن نیمی از گره‌های شبکه به دلیل اتمام انرژی از کار افتاده باشند و زمان مرگ آخرین گره شامل شماره دوری که در آن آخرین گره شبکه به دلیل اتمام انرژی از کار می‌افتد، در نظر گرفته شده است.

نتایج به دست آمده از GOA در مقایسه با سایر روش‌ها از نظر زمان مرگ گره‌ها بر اساس تعداد دور^۱ هر الگوریتم در جدول ۵ آمده است. نتایج با میانگین‌گیری از جامعه آماری (۲۰ اجرا به ازای هر الگوریتم در شبکه‌ای با ۱۰۰ گره و در ۴۰۰ دوره) به دست آمده است.

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، روش GOA توانسته که زمان مرگ اولین گره را با تأخیر بیشتری نسبت به سایر روش‌ها داشته باشد؛ ولی در روش GWO زمان مرگ آخرین گره با زمان تأخیر بیشتری است. این نتایج ثابت می‌کنند که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند طول عمر شبکه را بهتر از GA و الگوریتم PSO تضمین کند. این ویژگی در کاربردهایی که پوشش شبکه‌ای در آنها از اهمیت بالایی برخوردار است، حائز اهمیت می‌باشد. همچنین زمان مرگ اولین گره در روش پیشنهادی نشان می‌دهد که در کاربردهایی از جمله پارکینگ هوشمند که نیاز به پایش همه محیط است و به‌تعمیق‌انداختن زمان مرگ اولین گره بسیار مهم‌تر از زمان مرگ آخرین گره می‌باشد، روش پیشنهادی می‌تواند مدل برتری باشد. در مقابل ممکن است در برخی از کاربردها، افزایش طول عمر کلی شبکه (به‌تعمیق‌افتادن زمان مرگ آخرین گره) مطلوب‌تر باشد؛ برای مثال در پایش دورهای آب و هوا که در این خصوص روش الگوریتم GWO برتری دارد.

جدول ۴: مقایسه مصرف انرژی بین روش پیشنهادی و روش GWO.

تعداد گره شبکه	روش GA	روش PSO	روش پایه GWO	روش پیشنهادی GOA
۱۰	۷۹	۸۲	۷۷	۷۱
۲۰	۸۷	۸۹	۸۶	۷۹
۳۰	۹۵	۹۶	۹۲	۸۳
۴۰	۹۱	۹۴	۸۹	۸۳
۵۰	۸۹	۹۱	۸۸	۸۱
۶۰	۹۲	۹۳	۸۹	۸۴
۷۰	۹۴	۹۷	۹۲	۸۷
۸۰	۹۲	۹۴	۹۱	۸۷
۹۰	۹۸	۹۹	۹۵	۸۸
۱۰۰	۹۴	۹۷	۹۲	۸۶
۱۱۰	۹۷	۹۹	۹۶	۹۰
۱۲۰	۹۷	۹۸	۹۴	۹۰
۱۳۰	۹۴	۱۰۰	۹۵	۸۹
۱۴۰	۱۰۲	۱۰۴	۱۰۱	۹۴
۱۵۰	۱۰۲	۱۰۲	۹۸	۹۱
۱۶۰	۱۰۲	۱۰۵	۱۰۰	۹۶
۱۷۰	۱۰۳	۱۰۵	۱۰۲	۹۸
۱۸۰	۱۲۵	۱۲۶	۱۲۲	۱۱۶
۱۹۰	۱۳۱	۱۳۴	۱۲۹	۱۲۴
۲۰۰	۱۴۱	۱۴۳	۱۴۰	۱۳۲
میانگین	۱۰۰/۳۵	۱۰۲/۴	۹۸/۴	۹۲/۴۵

جدول ۵: مقایسه نتایج چهار الگوریتم از نظر زمان مرگ گره‌ها بر اساس تعداد دور الگوریتم.

تعداد گره	الگوریتم	زمان مرگ اولین گره	زمان مرگ نیمی از گره‌ها	زمان مرگ آخرین گره
۱۰۰	GA	۳	۱۳۰	۱۸۰
	PSO	۲	۱۶۴	۳۶۱
	GWO	۴	۲۰۲	۳۹۹
	GOA	۳۴	۱۹۰	۳۸۹

۲-۴ بررسی مدل پیشنهادی از دیدگاه مصرف انرژی

مصرف انرژی برای الگوریتم پیشنهادی GOA و الگوریتم GWO در شکل ۸ آمده است. محور x نشان‌دهنده تعداد گره و محور y نشان‌دهنده انرژی مصرفی است. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است، انرژی مصرف‌شده برای الگوریتم GWO نسبت به الگوریتم GOA با توجه به تعداد گره‌ها بیشتر است؛ زیرا در الگوریتم GWO برای ارسال بسته‌ها از برخی مسیرهای بهینه استفاده نشده که منجر به اتلاف انرژی شده است.

در جدول ۴، مصرف انرژی با تعداد گره‌های مختلف برای چهار روش متفاوت با درج انرژی مصرف‌شده مقایسه شده است. نتایج این جدول در حالتی استخراج گردیده که شبکه‌های مختلف ساخته‌شده با تعداد گره مختلف از نظر انرژی مصرف‌شده بر اساس کیلوژول در ۳۰۰ دور ارسال پیام در شبکه مقایسه شده‌اند. در واقع میزان مصرف انرژی شبکه در هر چهار روش در تعداد دور ارسال پیام ثابت در شبکه اندازه‌گیری شده است. همان‌طور که در جدول ۴ درج شده است، میانگین میزان نتایج روش پیشنهادی در بیست شبکه مختلف برابر ۹۲/۴۵ بوده و روش GWO برابر ۹۸/۴ بوده است که بهبود ۶/۴۳ درصدی روش پیشنهادی نسبت به روش

جدول ۶: مقایسه نتایج چهار الگوریتم از نظر زمان مرگ گره‌ها بر اساس تعداد دور الگوریتم در ۵۰۰ گره.

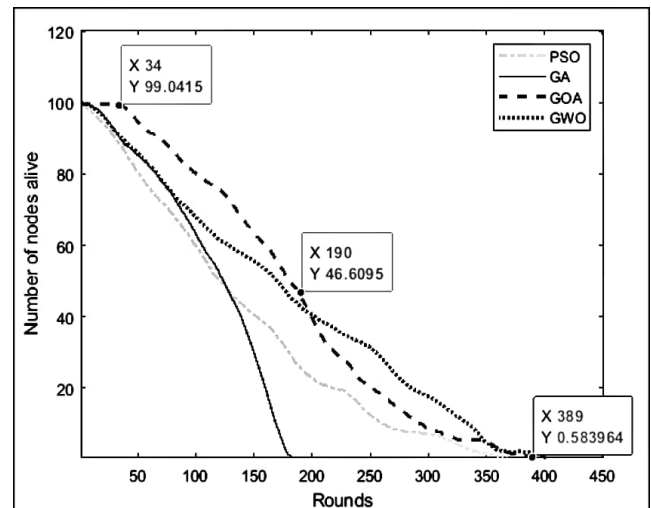
تعداد گره	الگوریتم	زمان مرگ اولین گره	زمان مرگ نیمی از گره‌ها	زمان مرگ آخرین گره
۵۰۰	GA	۸	۱۴۱	۲۰۱
	PSO	۴	۱۶۸	۳۶۱
	GWO	۵	۲۱۸	۴۱۲
	GOA	۴۱	۲۴۱	۳۹۶

خاکستری نشان داده که توانسته با خطای جایابی کمتری مکان حسگرها را مشخص نماید. نتایج شبیه‌سازی روش جدید موقعیت‌یابی با استفاده از GOA ارائه گردید. جهت مقایسه بهتر نتایج، شبکه‌هایی با تعداد مختلف گره تولید شد. سپس با نتایج نموداری و آماری حاصل از شبیه‌سازی، اثبات گردید که روش GOA از لحاظ خطای جایابی، مصرف انرژی، طول عمر شبکه و افزایش طول عمر مفید شبکه (به تعویق انداختن زمان مرگ اولین گره) نسبت به روش‌های دیگر از جمله الگوریتم گرگ خاکستری بهتر بوده است. در واقع روش پیشنهادی توانسته به طور میانگین بهبود ۵/۹۲ درصدی در کاهش خطای جایابی داشته باشد. در خصوص میزان مصرف انرژی شبکه، در هر دو روش میزان انرژی مصرفی در تعداد دور ارسال پیام ثابت در شبکه اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد که میانگین میزان مصرف انرژی در بیست شبکه مختلف برابر ۹۲/۴۵ درصد و برای روش GWO برابر ۹۸/۴ درصد است که بهبود ۶/۴۳ درصدی در کاهش مصرف انرژی با استفاده از روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در روش پیشنهادی، میانگین طول عمر شبکه ۱۷۰۹/۱۵ ثانیه و در روش GWO با طول عمر شبکه ۱۶۰۸/۸۵ ثانیه بود که این نشان می‌دهد روش پیشنهادی به طور میانگین، بهبود ۶/۲۳ درصدی را در افزایش طول عمر شبکه داشته است. همچنین مشاهده شد که روش پیشنهادی توانسته زمان مرگ اولین گره با تأخیر بیشتری را نسبت به سایر روش‌ها داشته باشد؛ ولی در روش GWO، زمان مرگ آخرین گره با زمان تأخیر بیشتری اتفاق افتاد. این نتایج ثابت کرد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند طول عمر شبکه را بهتر از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم گروه ذرات تضمین کند. این ویژگی در کاربردهایی از جمله پارکینگ هوشمند که پوشش شبکه‌ای در آنها از اهمیت خاصی برخوردار است، حائز اهمیت می‌باشد. همچنین زمان مرگ اولین گره در روش پیشنهادی نشان می‌دهد در کاربردهای پایشی یا ردیابی همانند پارکینگ هوشمند که به تعویق انداختن زمان اولین مرگ گره بسیار مهم‌تر از زمان آخرین مرگ گره می‌باشد، روش پیشنهادی مدل برتری است.

با توجه به کارایی مدل پیشنهادی به نظر می‌رسد که استفاده از راهکارهای بهبود الگوریتم تکاملی از جمله ترکیب با الگوریتم‌های تکاملی دیگر و یا اضافه کردن نگاشت‌های آشوب می‌تواند به قدرت همگرایی و ارتقای نتایج در حوزه جایابی حسگرها کمک نماید. همچنین با توجه به شباهت جایابی حسگر به مسئله خوشه‌بندی شبکه برای انتخاب سرخوشه در کاربردهای حسگر بی‌سیم، استفاده از پروتکل‌های مطرح در این حوزه از جمله پروتکل لیچ قابل استفاده است.

مراجع

- [1] P. Sadhukhan, "An IoT-based E-parking system for smart cities," in *Proc. Int. Conf. on Advances in Computing, Communications and Informatics*, pp. 1062-1066, Udupi, India, 13-16 Sept. 2017.
- [2] M. Ramasamy, S. G. Solanki, E. Natarajan, and T. M. Keat, "IoT based smart parking system for large parking lot," in *Proc. IEEE 4th*



شکل ۹: مقایسه کارایی از لحاظ تعداد گره‌های زنده به شماره دورهای الگوریتم.

همان طور که در شکل ۹ مشخص است، GOA توانسته در ۱۰۰ گره شبکه، طول عمر شبکه را بر اساس زمان مرگ اولین گره، نسبت به سایر روش‌ها با تأخیر بیشتری داشته باشد؛ ولی الگوریتم GWO مرگ آخرین گره را با تأخیر بیشتری دارد. در شکل ۹ دلیل رفتار روش پیشنهادی می‌تواند در انتخاب مناسب مکان گره‌های لنگر باشد که بدین جهت انرژی مصرفی گره‌ها در کمترین میزان خود است و مرگ اولین گره در این شبکه نسبت به سایر روش‌ها دیرتر انجام می‌شود. مرگ اولین گره در روش‌های دیگر زودتر انجام می‌شود و این موضوع برای کاربردهایی از جمله پارکینگ هوشمند که باید تمام حسگرها ظرفیت پارکینگ را نشان دهند، مطلوب نیست. اما در روش پیشنهادی، مرگ اولین گره دیرتر بوده ولی در عوض مرگ آخرین گره که تمام شبکه بدون انرژی می‌شود زودتر اتفاق می‌افتد. همچنین نتایج با تعداد گره بالاتر در جدول ۶ آمده است. همان طور که از جدول ۶ مشخص است با افزایش تعداد گره در شبکه نیز زمان مرگ اولین گره در روش پیشنهادی از سایر روش‌ها بیشتر است. روش GOA از نظر پیچیدگی و زمان اجرا از الگوریتم GWO کمتر است؛ زیرا اپراتورهای این الگوریتم نسبت به الگوریتم GWO کمتر بوده و زمان پردازش کمتری را صرف می‌کند. روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم PSO زمان بیشتری را صرف نموده است؛ اما نسبت به GA زمان اجرای کمتری داشته است.

باید توجه داشت که در جدول‌های ۵ و ۶، زمان مرگ گره‌ها بر اساس تعداد دورهایی که شبکه نیاز به تعیین سرخوشه داشته و الگوریتم به این تعداد دور نیاز داشته است، لحاظ و مقایسه شده است. این دورها در الگوریتم‌های مختلف لزوماً در زمان‌های یکسانی اتفاق نمی‌افتند؛ زیرا برای انجام این دورها در هر الگوریتم، دو شرط «حد بالای زمانی» و «از دست دادن تعدادی گره مشخص» وجود دارد. به عنوان مثال ممکن است یک دور در یک الگوریتم، بعد از مرگ سه گره اتفاق افتاده و در یک الگوریتم دیگر، پس از مرگ یازده گره اتفاق بیفتد؛ بنابراین زمان طی شدن یک دور یک الگوریتم، لزوماً با زمان طی شده یک دور در یک الگوریتم دیگر برابر نخواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با توجه به قدرت همگرایی بالای الگوریتم هوش جمعی ملخ، برای اولین بار استفاده از این الگوریتم در جایابی بهینه حسگرها در پارکینگ ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم گرگ

- [17] S. Djahel and F. Nait-Abdesselam, "Towards a smart parking management system for smart cities," in *Proc. IEEE Int. Smart Cities Conf.*, pp. 542-546, Casablanca, Morocco, 14-17 Oct. 2019.
- [18] A. Athira, S. Lekshmi, P. Vijayan, and B. Kurian, "Smart parking system based on optical character recognition," in *Proc. 3rd Int. Conf. on Trends in Electronics and Informatics*, pp. 1184-1188, Tirunelveli, India, 23-25 Apr. 2019.
- [19] C. Tang, X. Wei, C. Zhu, W. Chen, and J. J. P. C. Rodrigues, "Towards smart parking based on fog computing," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 70172-70185, 2019.
- [20] M. R. M. Veeramani, et al., "IoT based smart parking model using Arduino UNO with FCFS priority scheduling," *Measurement: Sensors*, vol. 24, Article ID: 100524, Dec. 2022.
- [21] G. Rocco, C. Pipino, and C. Pagano, "An overview of urban mobility: revolutionizing with innovative smart parking systems," *Sustainability*, vol. 15, Article ID: 13174, 17 pp., 2023.
- [22] T. Anusha and M. Pushpalatha, "Efficient communication model for a smart parking system with multiple data consumers," *Smart Cities*, vol. 5, no. 4, pp. 1536-1553, 2022.
- [23] A. Raj and S. D. Shetty, "Smart parking systems technologies, tools, and challenges for implementing in a smart city environment: a survey based on IoT & ML perspective," *Int. J. Mach. Learn. & Cyber.*, vol. 15, pp. 2673-2694, 2024.
- [24] E. Karbab, D. Djenouri, S. Boulkaboul, and A. Bagula, "Car park management with networked wireless sensors and active RFID," in *Proc. IEEE Int. Conf. Electro/Inf. Technol.*, pp. 373-378, DeKalb, IL, USA, 21-23 May 2015.
- [25] S. N. Ghorpade, M. Zennaro, and B. S. Chaudhari, "GWO model for optimal localization of IoT-enabled sensor nodes in smart parking systems," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 22, no. 2, pp. 1217-1224, Feb. 2020.
- [۲۶] ب. شایسته، و حکمی، س. ا. مصطفوی و ا. اکبری ایزرانی، "ارائه روشی نوین برای محاسبه اعتماد در کاربردهای اینترنت اشیا،" *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، سال ۵۰، شماره ۲، صص. ۴۵۵-۴۳۷، شهریور ۱۳۹۹.
- احمد براتیان** در سال ۱۴۰۲ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر- نرم افزار خود را از دانشگاه آزاد اسلامی مشهد دریافت نمود. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده عموماً مربوط به حوزه مهندسی نرم افزار می‌باشد. به طور خاص ایشان توجه و علاقه‌مندی ویژه‌ای به حوزه اینترنت اشیا و کاربرد روش‌های هوش مصنوعی در حل مسائل مربوط به این حوزه دارند.
- اسماعیل خیرخواه** دانش‌آموخته دکترای کامپیوتر از دانشگاه ملی مالزی (UKM) است. ایشان در حال حاضر عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد می‌باشد. علایق تحقیقاتی او در حوزه مهندسی نیازمندی‌های داده‌محور، مهندسی نرم‌افزار اتکاپذیر و انواع متدولوژی‌های توسعه نرم افزار است. علاقه اصلی ایشان مطالعات تجربی در مهندسی نرم‌افزار است، جایی که می‌تواند رویکردهای تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها را اعمال کند و از روش‌های یادگیری ماشین و روش‌های هوش مصنوعی در جهت بهبود فرایند مهندسی نرم‌افزار بهره‌مند شود. اینترنت اشیا و مسائل مربوط به مهندسی نرم‌افزار در حوزه اینترنت اشیا از دیگر حوزه‌های مورد علاقه دکتر خیرخواه می‌باشد.
- Int. Symp. in Robotics and Manufacturing Automation*, 4 pp., Perambalur, India, 10-12 Dec. 2018.
- [3] A. M. Said, A. E. Kamal, and H. Afifi, "An intelligent parking sharing system for green and smart cities based IoT," *Computer Communications*, vol. 172, pp. 10-18, Apr. 2021.
- [4] Y. Geng and C. G. Cassandras, "A new 'smart parking' system infrastructure and implementation," *Procedia-Social Behav. Sci.*, vol. 54, pp. 1278-1287, Oct. 2012.
- [5] Y. He, L. R. Tang, X. J. Liu, and S. Y. Ji, "Decision theory-based localization algorithm in smart park," *Wireless Pers. Commun.*, vol. 100, no. 3, pp. 1023-1046, 2018.
- [6] A. Payal, C. S. Rai, and B. V. R. Reddy, "Artificial neural networks for developing localization framework in wireless sensor networks," in *Proc. Int. Conf. on Data Mining and Intelligent Computing*, 6 pp., Delhi, India, 5-6 Sept. 2014.
- [7] P. H. Namin and M. A. Tinati, "Node localization using particle swarm optimization," in *Proc. Int. Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, pp. 288-293, Adelaide, Australia, 6-9 Dec. 2011.
- [8] S. Goyal and M. S. Patterh, "Modified bat algorithm for localization of wireless sensor network," *Wireless Pers. Commun.*, vol. 86, no. 2, pp. 657-670, 2016.
- [9] S. Mumtaz, et al., "Massive Internet of Things for industrial applications: addressing wireless IIoT connectivity challenges and ecosystem fragmentation," *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 11, no. 1, pp. 28-33, Mar. 2017.
- S. Sarem, S. Mirjalili, and A. Lewis, "Grasshopper optimisation [۱۰] algorithm: theory and application," *Advances in Engineering Software*, vol. 105, pp. 30-47, Mar. 2017.
- [۱۱] س. م. ر. امامی میبدی، ب. تارویردی‌زاده، ع. هادی و معمارزاده طهران، "ارائه روشی نوین جهت مکان‌یابی اشیاء متحرک با استفاده از آنتن‌های مونوپل و ماتریس پراکندگی بمنظور افزایش کیفیت خدمت در هوشمندسازی پارکینگ‌ها،" *نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت کیفیت*، سال ۷، شماره ۴، صص. ۲۸۶-۲۷۱، اسفند ۱۳۹۶.
- [۱۲] ج. جنتی و د. نظریور، "مدیریت انرژی پارکینگ هوشمند خودروهای برقی در یک ریزشیکه با در نظر گرفتن اثرات برنامه پاسخ‌گویی بار،" *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، سال ۴۷، شماره ۲، صص. ۴۶۷-۴۵۵، شهریور ۱۳۹۶.
- [۱۳] M. H. Amini, M. P. Moghaddam, and O. Karabasoglu, "Simultaneous allocation of electric vehicles' parking lots and distributed renewable resources in smart power distribution networks," *Sustainable Cities and Society*, vol. 28, pp. 332-342, Jan. 2017.
- [۱۴] ف. باشتی، ر. احدی و ب. رضائی خوشان، "زمان‌بندی شارژ خودروهای برقی در پارکینگ هوشمند با در نظر گرفتن رضایت صاحبان خودروها،" *مجموعه مقالات دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات*، صص. ۱۵-۹، بابلسر، ایران، ۱۱-۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۸.
- [15] S. R. Rizvi, S. Zehra, and S. Olariu, "Aspire: an agent-oriented smart parking recommendation system for smart cities," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 11, no. 4, pp. 48-61, Winter 2018.
- [۱۶] س. زینلیان و ن. فرزانه بهالگردی، "یک روش پیشنهاددهنده جای پارک خالی کنار خیابان چند معیاره مبتنی بر الگوریتم PSO،" *نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران*، سال ۱۸، شماره ۳، صص. ۲۶-۱۸، پاییز ۱۴۰۰.