
بسم الله الرحمن الرحيم

معاونت پژوهش و فن آوری

به نام خدا

منشور اخلاق پژوهش

با یاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خدا ست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جای گاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری، ما دانشجویان و بهش اعضای هیئت علمی واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

۱-اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت.

۲-اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.

۳-اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه هم کاران پژوهش.

۴-اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه هم کاران پژوهش.

۵-اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.

۶-اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.

۷-اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی.

۸-اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج آن به هم کاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.

۹-اصل برائت: التزام به برائت جویی از هرگونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شائبه های غیر علمی می آلایند.

«مدونه الاخلاق و البحث»

بعون الله تعالی و اعتقادا بان العالم قریب من الله و یراقب دائما افعال الانسان، و حفاظا علی المکانه الرفیعه للمعرفه و البحث و اعتبارا لاهمیه مکانه الجامعه فی النهوض بالانسان.

الثقافه و الحضاره، یلتزم طلابنا و اعضا هیئه التدریس بالجامعات آزاد الاسلامی بمراعاه المبادی التالیه فی اجرا الانشطه البحثیه و عدم انتهاکها :

۱- مبدا تقصی الحقیقه : محاوله البحث عن الحقیقه و التکنولوجیا اللازمه لها و الابتعاد عن ای کتمان للحقیقه.

۲- مبدا احترام الحقوق : الالتزام بالاحترام الکامل لحقوق الباحثین و اصحاب الحقوق الآخرین.

۳- مبدا الملکیه المادیه و الفکریه هو الالتزام بالاحترام الکامل للحقوق المادیه و الفکریه للجامعه و جمیع شرکاء البحث.

۴- مبدا المصالح الوطنیه : الالتزام بالالتزام بالمصالح الوطنیه و مراعاه تقدم الدوله و تطورها فی جمیع مراحل البحث.

۵- مبدا العداله و الجداره بالثقه : الالتزام بتجنب ای تحیز غیر علمی و حمایه الممتلکات و المعدات و الموارد الموجوده تحت تصرف الفرد.

۶- مبدا السریه : الالتزام بحمایه الاسرار و المعلومات السریه للافراد و المنظمات و الدوله و کافه الافراد و الموسسات ذات الصله بالبحث.

۷- مبدا الاحترام : الالتزام باحترام الخصوصیه و الکرامه فی اجرا البحوث و احترام جانب النقد و الامتناع عن ای انتهاک للحرمه.

۸- مبدا الترقیه : الالتزام بنشر المعرفه و نشر نتائج البحوث و نقلها الی الزملا العلمیین و الطلاب ، باستثنا الحالات التی یخدرها القانون.

۹- مبدا البرائه : الالتزام بالتبرئه من ای سلوک غیر مهنی و اعلان موقف تجاه من یلوث مجال العلم و البحث بشکوک غیر علمیه.

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد اصفهان (خوراسگان)

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کامپیوتر

گرایش هوش مصنوعی و رباتیکز

عنوان

مسیریابی داده ایمن و کم مصرف در شبکه مبتنی بر اینترنت اشیاء

استاد راهنما

دکتر عبد الوهاب احساني راد

نگارنده:

مناف حسن لفته المساعدي

خرداد ۱۴۰۲

اللهَ الذینَ آمَنوُا مِنکُم وَ الذینَ اوُتوالعِلم دَرَجَات
«قرآن کریم»

تصویب نامــه

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای

با عنوان:

در جلسه مورخ **۱۴۰۲/۳/** تحت نظارت شورای پایان نامه متشکل از استادان زیر با درجه و نمره مورد تأیید قرار گرفت.

۱- استاد (استادان) راهنما : امضاء

۲- استاد داور داخل گروه: امضاء

۳- استاد داور خارج گروه: امضاء

دکتر مجید طغیانی
معاون پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی
واحد اصفهان (خوراسگان)
امضا تاریخ

تعهد نامه اصالت رساله یا پایان نامه

اینجانب مناف حسن لفته علي المساعدی دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته **.مهندسی کامبیوتر گرایش هوش مصنوعی و رباتیکز** که در تاریخ از پایان نامه/ رساله خود تحت عنوان" **مسیریابی داده ایمن و کم مصرف در شبکه مبتنی بر اینترنت اشیاء**

" با کسب نمره و درجه دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم:

۱) این پایان نامه/ رساله حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران(اعم از پایان نامه، کتاب،مقاله و....) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه موجود،نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده ام.

۲) این پایان نامه/ رساله قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی(هم سطح،پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و موسسات آموزشی عالی ارائه نشده است.

۳) چنانچه بعد از فراغت تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب،ثبت اختراع و... از این پایان نامه داشته باشم،از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

٤) چنانچه در هر مقطعی زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود،عواقب ناشی از آن را می پذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی: .....

تاریخ و امضا:.....

تقدیم

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به:

محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم به خاطر همه ی تلاشهای محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام داده اند و با مهربانی چگونه زیستن را به من آموخته اند.

و همچنین به استادان فرزانه و فرهیخته ای که در راه کسب علم و معرفت مرا یاری نمودند.

به آنان که در راه کسب دانش راهنمایم بودند .

به آنان که نفس خیرشان و دعای پرورشان بدرقه راهم بود.

الهابه من کمک کن تا بتوانم ادای دین کنم و به خواسته های آنان جامه ی عمل بپوشانم.

پروردگارا حسن عاقبت ، سلامت و سعادت را برای آنان مقدرنما.

خدایا توفیق خدمتی سرشار از شور و نشاط و همراه و همسو با علم و دانش و پژوهش جهت رشد و شکوفایی ایران عزیز عنایت بفرما.

سپاسگزاری

پروردگارا به پیشگاه پاک و مقدست تقدیم میدارم که بندگی فقط و فقط تو را سزد.

آنچه داده‌ای بیش از شایستگی من است، گرچه در خور بخشندگی توست ؛ پروردگارا سپاس می گویمت که بر من منت نهادی و خلقت تحصیل برمن پوشاندی؛ چه زیباست ستایش خالق، او که زندگی می‌کنیم برای وصالش در حالی که تقدیر از مخلوق جنبه‌ای از ستایش خالق است.

بر خود وظیفه میدانم تا از تمامی بزرگوارانی که صبورانه و دلسوزانه در راستای انجام این پژوهش مرا یاری کردند؛ تشکر و قدردانی نمایم .

چراکه اگر یاری این عزیزان نبود، امروز این تلاش به پایان نمی رسید.

از استاد راهنمای محترم..... که در طول تحصیل و نیز و مراحل مختلف این پژوهش ؛ مشتاقانه مرا راهنمایی کردند کمال تشکر و قدردانی را دارم .

از خداوند برای تمامی این بزرگواران ارجمند اجری عظیم را خواستارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول ها

فهرست شکلها

چکیده

ظهور پدیده‌ی اینترنت اشیاء یکی از هزاران نتیجه‌ی گسترش اینترنت و البته توسعه‌ی فناوری‌های بیسیم (Technologies Wireless) و سامانه‌های میکرو-الکترومکانیکی (Micro-electromechanical Systems) است. به‌دلیل قابلیت‌های فراوانی که در تعاملات «ماشین با ماشین» در فناوری اینترنت اشیاء موجود است، این پدیده تا به امروز در بخش‌های صنعت (به خصوص در انواع کارخانجات تولیدی)، انرژی و گاز کاربرد فراوانی داشته‌است. یکی از مهمترین چالشها در اینترنت اشیاء، مسیریابی ایمن و کم مصرف می باشد لذا در این تحقیق روش نوینی برای این امر پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی، به‌منظور مسیریابی و انتخاب گره مطمئن بهینه در شبکه‌های اینترنت اشیاء از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره استفاده شده است. روش پیشنهادی در هر گام از انتقال اطلاعات، گره مطمئن بهینه را با توجه به پارامترهای شبکه، با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره انتخاب می‌کند. یافتن گره مطمئن بهینه موجب می‌شود که بسته‌های اطلاعتی در کوتاهترین فواصل ممکن ارسال شوند و از این رو اهداف کیفیت سرویس شامل مصرف انرژی، تأخیر انتقال پیام، نرخ تحویل داده‌ها و گذردهی بهبود یابند. همچنین روش پیشنهادی به منظور ساخت مسیر باکیفیت بین گره‌های حسگر تا دروازه، از عامل‌های مطمئن بهینه استفاده می‌کند. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد، روش پیشنهادی با تکیه بر رویکردچندعاملی و الگوریتم ژنتیک چندمعیاره توانسته است عامل‌های مطمئن بهینه را به خوبی در هر مرحله از انتقال اطلاعات شناسایی کند، از این رو انتقال اطلاعات در کوتاهترین فواصل در مسیر بهینه از گره حسگر تا دروازه، موجب مصرف کمترین مقدار انرژی در گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء در روش پیشنهادی شده است. روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های موجود در این زمینه، میانگین مصرف انرژی کمتر و طول عمر بیشتری را به دست آورده است.

کلمات کلیدی: مسیریابی داده ها، ایمن، کم مصرف، شبکه های مبتنی بر اینترنت اشیاء

فصل اول:
کلیات تحقیق

۱-۱-مقدمه

امروزه اینترنت اشیاء کاربردهای وسیعی در تمام زمینه های زندگی انسانها ایفا می کند. این تکنولوژی باعث شده تا زندگی مردم در اقصی نقاط دنیا آسانتر شود. مردم قادر هستند تا از نقاط دوردست با اشیای مورد نظر خود ارتباط برقرار کرده و اقدام به انجام اعمالی مانند مانیتورینگ یا کنترل این اشیاء از راه دور بنمایند. در این بین، یکی از مهمترین چالشها در اینترنت اشیاء، کاهش مدت زمان تاخیر در ارسال یا دریافت پیام ها می باشد که نیازمند ایجاد یک میسر امن با کمترین ازدحام می باشد. در این پایان نامه روش نوینی برای مسیریابی امن داده ها در شبکه های مبتنی بر اینترنت اشیاء پیشنهاد خواهیم کرد. در این فصل کلیات مربوط به این تحقیق را بیان می کنیم.

۱-۲-بیان مساله

اینترنت اشیا (IoT) نقش مهمی را در زندگی روزمره ما ایفا می کند، زیرا کیفیت خدمات بهتری را از طریق جمع آوری مداوم داده ها حفظ می کند. اینترنت اشیاء پایدار سیستمی از ماشین‌های مکانیکی هوشمند، دستگاه‌های محاسباتی، ماشین‌های دیجیتال و اشیاء به هم پیوسته با قابلیت انتقال داده‌ها در شبکه‌ای از گره‌های میانی متصل به مرکز داده ابری است. دستگاه‌های IoT ثابت و سیار به ارائه خدمات ساده و پیچیده برای محیط‌های ابری و برنامه‌های کلان داده کمک می‌کنند. با این حال، با افزایش اندازه یک برنامه IoT، می توان به محدودیت های چنین دستگاه های IoT توجه کرد. تحمل خطا، امنیت، مصرف انرژی و **تعادل بار همگی نمونه‌هایی از** چالش‌هایی هستند که انتقال داده‌ها در برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا در مقیاس بزرگ با آن مواجه هستند[۱].

در کاربردهای اینترنت اشیاء، اشیاء اطلاعات مربوط به عوامل را در محیط تحت نظارت جمع آوری کرده و با استفاده از شبکه های ارتباطی و به خصوص اینترنت، این اطلاعات را به کاربردهای راه دور ارسال می کنند. تحلیل اطلاعات می تواند منجر به بهبود نظارت و اقدامات به موقع در راستای حفاظت و مراقبت از محیط تحت نظارت شود[۲]. با توجه به این که برخی از کاربردهای استرنت اشیاء مانند مراقبت های بهداشتی در مراکز بیمارستانی، به منظور استفاده در شرایط بحرانی تدارک دیده شده اند، انتقال سریع و مطمئن داده ها به سمت کاربردهای راه دور یکی از چالش های اصلی در اینترنت اشیا می تواند باشد[۳, ٤].

از سوی دیگر خرابی سیستم یکی دیگر از علل عدم انتقال مطمئن داده های به سمت کاربردهای راه دور در اینترنت اشیاء می تواند باشد[۵]. خرابی های سیستم ممکن است به دلیل سو عملکرد سخت افزار ، اشکالات نرم افزار ، کمبود برق یا خطرات زیست محیطی رخ دهد.علاوه بر این ، با افزایش تعداد گره ها در یک سیستم IoT ، احتمال وقوع خطا افزایش می یابد و باعث اختلال در عملکرد سیستم می شود. از دست رفتن داده ها به دلیل خرابی سیستم در محیط های تحت نظارت می تواند تأثیر منفی در کاربرد های اینترنت اشیاء داشته باشد و خسارات جبران ناپذیر به به ابر آورد. [٦-۸]

در این تحقیق یک پروتکل انتقال داده مطمئن و کم مصرف در بستر اینترنت اشیاء ارائه شده است که از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره استفاده می کند. روش پیشنهادی از ترکیب الگوریتم ژنتیک چندمعیاره به منظور یافتن مسیرهای بهینه بین گره های موجود در شبکه IoT و دروازه های هوشمند تعبیه شده و انتخاب عامل های مطمئن بر اساس

وزندهی در هر مسیر در شبکه به منظور یافتن مسیرهای پشتیبان استفاده می کند. مسیرهای پشتیبان به منظور انتقال داده ها در صورت خرابی و عدم دریافت داده های اصلی از مسیر بهینه، معرفی شده است. در الگوریتم ژنتیک چندمعیاره در روش پیشنهادی از یک تابع هدف چند معیاره برای بهبود اهداف اصلی در شبکه استفاده شده است. معیارهای مربوط به تابع ارزیابی در روش پیشنهادی شامل، فاصله بین اشیاء، فاصله گره تا مقصد، کیفیت لینک و درجه اطمینان است. در واقع در هرگام در روش پیشنهادی به انتخاب گرهی با کمترین فاصله نسبت به شیء مبدأ و کمترین فاصله تا نقطه دسترسی ، با بیشترین کیفیت لینک و از همه مهمتر بیشترین درجه اطمینان به عنوان گره بهینه و مطمئن ترین عامل در شبکه انتخاب می شود. همچنین گره پشتیبان به عنوان دومین گره بهینه در گره های همسایه مبدأ با مقادیر معیارهای ارزیابی در رده دوم، به عنوان عامل مطمئن در مسیر پشتیبان انتخاب می شود. انتخاب گره های بهینه در هر گام به یک بهینه سراسری در مسیریابی مطمئن در سیستم های نظارتی در بستر IoT می انجامد. انتظار می رود روش پیشنهادی با ترکیب الگوریتم ژنتیک چندمعیاری و وزن دهی عامل های هوشمند نتایج نزدیک به بهینه ای برای مسیریابی امن در شبکه اینترنت اشیاء به دست آورد.

۱-۳-اهداف تحقیق

- افزایش قابلیت اطمینان در شبکه اینترنت اشیاء
- افزایش نرخ تحویل داده در شبکه اینترنت اشیاء
- کاهش تأخیر در شبکه اینترنت اشیاء

۱-٤-فرضیه های پژوهش

- ناهمگونی اشیاء در بستر اینترنت اشیا موجب قابلیت اطمینان پایین در شبکه‌ها می‌باشد.
- عدم انتخاب گره‌های مطمئن در مسیرهای انتقال داده‌ها موجب از دست رفتن داده‌های زیاد و نرخ تحویل داده کم می‌شود.
- استفاده از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره موجب یافتن مسیر انرژی بهینه و مطمئن در شبکه برای انتقال داده‌ها شده و باعث ایجاد توازن در پارامترهای کیفیت سرویس خواهد شد.

۱-۵-پرسش اصلی

- چگونه می توان در شبکه های اینترنت اشیاء، داده های جمع آوری شده از محیط را به صورت مطمئن و بدون از دست رفتن به دروازه های هوشمند انتقال داد؟

- آیا استفاده از الگوریتم ژنتیک با معیارهای ارزیابی چندگانه می تواند مسیرهای انرژی بهینه و مطمئن بین دستگاه های هوشمند را پیدا کرد؟

۱-٦-جنبه نوآوری و جدید بودن تحقیق

در این تحقیق یک پروتکل مسیریابی مطمئن و کم مصرف در شبکه اینترنت اشیاء ارائه شده است که از الگوریتم ژنتیک چندمعیاری استفاده می کند. روش پیشنهادی در هر گام از انتقال اطلاعات از معیارهای مربوط به تابع ارزیابی چندمعیاره شامل، فاصله بین اشیاء، فاصله گره تا مقصد، کیفیت لینک و درجه اطمینان به منظور یافتن مسیر بهینه و مسیر پشتیبان استفاده می کند که به عنوان نوآوری اصلی تحقیق می توان از آن یاد کرد.

۱-۷-روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

مراحل کلی انجام تحقیق به شرح زیر خلاصه شده است:
مرحله اول: مطالعات کتابخانه ای
مرحله دوم: امکان سنجی ایده پیشنهادی
مرحله سوم: پیاده سازی روش پیشنهادی بر اساس پارامترهای استاندارد شبکه اینترنت اشیاء
مرحله چهارم: ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی بر اساس معیارهای ارزیابی موجود
مرحله پنجم: بررسی فرضیه ها و تطبیق نتایج با اهداف ارائه شده

۱-۸-ساختاربندی پایان نامه

این پایان نامه در پنج فصل تنظیم شده است.

فصل دوم، شامل تعاریف کلیدی مرتبط با این پایان نامه است و در ادامه پیشینه تحقیقات انجام شده مرتبط با موضوع این پایان نامه را مورد بررسی قرار می دهد.

فصل سوم، روش پیشنهادی در این پایان نامه را به طور کامل توضیح می دهد.

فصل چهارم، پیاده سازی روش پیشنهادی و ارزیابی نتایج بدست آمده را در این فصل خواهیم گنجاند.

فصل پنجم، نتیجه گیری و کارهای آتی در این فصل گنجانده خواهد شد.

فصل دوم :

مروری بر پیشینه تحقیقات انجام شده

۲-۱-مقدمه

اطلاعات به‌روز و مفید آن‌گاه که در زمان مناسب در اختیار اهل فن قرار گیرد، منجر به تولید محصولات و خدماتی می‌شود که زندگی بشر را هر روز بیش از پیش آسان و آسوده می‌کند. فناوری اینترنت اشیاء نیز با همین فلسفه توسعه یافته است. دریافت، ثبت و ارسال اطلاعات به‌روز و لحظه‌ای برای استفاده، تحلیل و بهبود محصولات و خدمات و البته در نهایت برای استفاده‌ی مصرف‌کنندگان صورت می گیرد. در این پایان نامه، درباره مسیریابی داده ها در شبکه های اینترنت اشیاء بحث خواهیم کرد. در این فصل ابتدا توضیحاتی درباره تکنولوژی اینترنت اشیاء ارائه نموده و در ادامه درباره مسیریابی در این شبکه ها بحث نموده و برخی از تحقیقات انجام شده توسط محققان مختلف در این زمینه را مرور خواهیم کرد.

۲-۲-اینترنت اشیاء

واژه "اینترنت اشیاء[1]" همانند یک کلمه کلیدی پوشاننده برای پوشش دادن جنبه های مختلف مربوط به توسعه و گسترش اینترنت و وب در قلمرو فیزیکی و دنیای واقعی و مملوس انسانها، می باشد. بدین وسیله ایجاد و گسترش ابزارهای توسعه یافته و هوشمند در فضاهای مختلف با هویت های تعریف شده که قادر به حس کردن هستند و یا توانایی تحریک شدن را داشته باشند، به واقعیت تبدیل می شود. رویای اینترنت اشیاء این است که در آینده تمام موجودیتهای فیزیکی و دیجیتالی بتوانند باهم ارتباط داشته باشند و اطلاعات مفیدی را با استفاده از

[1] Internet Of Things (IOT)

تکنولوژیهای ارتباطات و اطلاعات باهم به اشتراک بگذارند و در نهایت کلاس (نوع) جدیدی از کاربردها و سرویسها را به وجود آورند [9].

اینترنت اشیاء در راستای یکی از اساسی ترین گرایشها در راستای توسعه تکنولوژیهای مربوط به ICT به وجود آمد [10]. حرکت سمت اینترنتی که برای ارتباط برقرار کردن بین ابزارهای سمت کاربران باهمدیگر به سمت اینترنتی که برای ایجاد ارتباط بین اشیای فیزیکی که باهمدیگر و یا با انسان، ارتباط برقرار می کنند تا سرویسی را به آنها ارائه کنند، نیازمند به ایجاد تغییراتی در روشهای قدیمی و سنتی مورد استفاده در شبکه، محاسبات و سرویسهای مدیریتی و روشهای درآمدزایی حاصل از فروش سرویس به مشتریان، می باشد.

از نقطه نظر ادراکی، اینترنت اشیاء بر اساس سه جزء اساسی بنیان نهاده شده است که مرتبط به توانایی هوشمندسازی اشیاء می باشند و عبارتند از:

- قابل تشخیص و هویت پذیر بودن (هر شیئی بتواند خودش را با هویت نسبت داده شده به آن، شناسایی کند)
- توانایی ارتباط برقرار کردن (هر شیئی بتواند ارتباط برقرار کند)
- دارا بودن قابلیت فعل و انفعال (هر چیزی بتواند فعل انفعالاتی با اشیای دیگر داشته باشد، بتواند شبکه هایی از اشیای متصل بهم یا با کاربران یا با موجودیتهای دیگر در شبکه) ایجاد کند، یا

توسعه تکنولوژیها و راه حلها برای تحقق بخشیدن به این اهداف در حال حاضر به یکی از مهمترین زمینه های تحقیق و تفحص تبدیل شده است.

به طور کلی، در بررسی اینترنت اشیایی که بر مبنای اشیای هوشمند طراحی شده است، به عبارت دیگر، اشیایی که تمام موجودیت ها یا قسمتهای تشکیل دهنده یا مورد استفاده در اینترنت اشیا مانند پایانه ها، مسیریاب ها و میزبان ها را ایجاد می کنند [11]. اگر اشیای هوشمند (یا چیزها) به عنوان موجودیت تعریف شوند آنگاه:

- یک تجسم فیزیکی با یک مجموعه از خصلتهای فیزیکی مرتبط به آن (از قبیل: اندازه، شکل، رنگ و....) داشته باشد.
- یک مجموعه کوچک از تابع های متعددی (مانند تابع توانا سازی کشف و قبول پیام های و دستورات ورودی و تابع مربوط به پاسخگویی به پیامها) برای ایجاد ارتباط، مورد استفاده قرار می گیرد.

- یک شناسه کاملا منحصربفرد داشته باشد.
- یک اسم و یک آدرس منحصربفرد برای آن داشته باشد. نام یا اسم، یک توصیفی از اشیاء است که قابل خواندن برای انسان باشد و برای استدلال در مورد اهداف به کار می رود. آدرس منحصربفردی که برای این منظور استفاده می شود باید یک رشته باشد که قابلیت خوانده شدن توسط ماشین را داشته باشد و بتواند برای ایجاد ارتباطات بین اشیای مختلف در محیطهای متفاوت، مورد استفاده قرار گیرد.
- برخی از تواناییهای اساسی محاسباتی را دارا باشد. از قبیل توانایی جور کردن یک پیام ورودی با پیام زیرنویس (همانند RFID های غیرفعال یا تاثیرپذیر) که قادر به اجرای محاسبات پیچیده (شامل کشف سرویس و وظایف مدیریت شبکه) گردند.
- ممکنست دارای ابزاری یا ابزارهایی به منظور حس کردن محیط اطراف خود (همانند درجه حرارت، نور، سطح تابش الکترومغناطیس) یا راه انداختن اعمالی که تاثیر بر واقعیات فیزیکی داشته باشند (فعال کننده یا محرک)، باشند.

رویای تحقق اینترنت اشیاء یک مجموعه ای از فرصتها را برای کاربران، تولید کنندگان و کمپانی ها فراهم می آورد. در واقع، تکنولوژیهای اینترنت اشیاء کارایی بسیار گسترده ای در بیشتر زمینه های تولیدی شامل: مانیتورینگ محیط، مراقبت از سلامتی و بهداشت، سرمایه گذاری و مدیریت محصول، پشتیبانی از خانه و محیط کار، امنیت و ....) می تواند داشته باشد.

از دیدگاه کاربر، اینترنت اشیاء بسیاری از سرویسهای واکنشی را توانا می کند تا به نیازهای کاربران پاسخ داده و فعالیتهای آنها را پشتیبانی می کند.

به طور کلی، اینترنت اشیاء بعد از ایجاد تکنولوژیهایی همانند RFID[1] گسترش پیدا کرد [12] که در حال حاضر به طور گسترده در تعدادی از کاربردهای اینترنت اشیاء از آنها استفاده می شود. همزمان در مسیر توسعه، اینترنت اشیاء احتمالا از بسیاری از فیلدهای مرتبط همانند شبکه های بی سیم WSN[2] (به عنوان ابزاری برای جمع آوری

[1] Radio Frequency Identification
[2] Wireless Sensor Networks

ترکیبی از داده ها) و معماریهای مبتنی بر سرویس SoA[1] (به عنوان روشی برای معماری نرم افزار) به منظور گسترش سرویسهای مبتنی بر وب از طریق تواناییهای اینترنت اشیاء، نیز بهره می جوید.

به طور خلاصه، خصوصیات عمده ای که باید اینترنت اشیاء آنها را پشتیبانی کند عبارتند از [13]:

- ناهمگون بودن ابزارها : اینترنت اشیاء بوسیله یک ناهمگونی بزرگ در ابزارهای مورد استفاده در سیستم های مورد استفاده ، قابل توصیف هستند. انتظار می رود که این ناهمگونی انتظار می رود تا قابلیتهای مختلفی محاسباتی و ارتباطی را به سیستم اضافه کند. مدیریت اینهمه ناهمگونی بایستی در هر دو سطح پروتکلها و سطح معماری سیستم مورد پشتیبانی قرار گیرد.
- تغییر اندازه : از آنجا که همه روزه تعداد زیادی از اشیاء به زیرساختهای اطلاعات جهانی وصل می شوند، مشکلات مربوط به تغییر اندازه در سطوح مختلف شامل: نامگذاری و آدرس دهی(بعلت اندازه مطلق سیستم نتیجه گیری) ، ارتباط داده ها در شبکه (بعلت سطح بالای ارتباط بین تعداد زیادی از موجودیتها)، مدیریت اطلاعات و دانش (بعلت امکان ایجاد قرین برای هر موجودیت یا محیط در سیستم فیزیکی)، سیستم ایجاد و مدیریت (بعلت تعداد حجیم سرویسها یا گزینه های اجرای سرویس که می تواند در دسترس قرار گیرد و نیاز به حل مشکل ناهمگونی دارد)، بایستی سازماندهی شوند.
- تبادل داده ها با استفاده از تکنولوژیهای بی سیم : در اینترنت اشیاء، تکنولوژیهای ارتباطات بی سیم یک نقش مهم در تبادل داده ها بازی می کند که اشیای هوشمند را قادر می سازد تا باهم شبکه ای را ایجاد کنند. بعلت خصلت سازگاری و امکان حضور در همه مکانها، ابزارهای بی سیم برای تبادل داده ها می توانند ابزارهای بسیار مناسبی محسوب شوند که بعلت قابل دسترس بودن در تمامی فضاها، روش مناسبی برای ایجاد ارتباط و تبادل داده ها محسوب می شوند.
- راه حلهای بهینه سازی مصرف انرژی : برای طیف گسترده و متنوع موجودیتهای اینترنت اشیاء، می نیمم کردن میزان انرژی که برای ارتباطات یا محاسبات لازم است، بسیار حیاتی می باشد. با ابزارهایی همانند اصول و ابزار فیزوالکتریک یا قطعات خورشیدی کوچک[2] از محدودیتهای ناشی از باتریها می توان نجات داد.

[1] Service-Oriented Architectures (SoA)
[2] Micro Solar Panels

انرژی اغلب فقط با صرفه جویی در مصرف آن، قابل ترمیم نیست لذا به راه حلهایی نیاز داریم تا مصرف انرژی را بهینه سازی نماید (حتی اگر به قیمت کاهش کارایی تمام شود).

- توانایی رصد کردن: از آنجایی که اینترنت اشیاء می تواند با تواناییهای ارتباطات موج کوتاه بی سیم مرتبط باشد، لذا امکان جایابی و رصد اشیاء ی هوشمند در دنیای فیزیکی ، وجود دارد. برای کاربردهای لجستیکی مدیریت چرخه زندگی محصول، این ویژگی بسیار لازم و حیاتی است که با تکنولوژی هایی همانند RFID این امر پیاده سازی می شود.

- توانایی های خودسازماندهی: پیچیدگی و پویایی طراحی سیستمهای هوشمند توزیع شده در اینترنت اشیاء، ایجاد اشیای هوشمند به منظور می نیمم کردن مداخلات انسانها، که قادر به پاسخگویی به شرایط متفاوت پیرامون خود باشند ، نیز وجود خواهند داشت [14]. پیرو تقاضاهای کاربران، گره های اینترنت اشیاء خودشان را به صورتی سازماندهی می کنند که اتومات به شبکه های بی سیم با موج کوتاه وصل نمایند یا با ابزارهای اساسی برای باشتراک گذاری داده ها به منظور اجرای وظایف هماهنگ شده، همکاری نمایند. این امر توانایی لازم ، برای کشف سرویسها و ابزارها بدون نیاز به مداخله خارجی، ایجاد پوشش ها و پروتکلهای رفتاری مناسب برای سازگاری با محیط اطراف را ، مهیا می سازد [15].

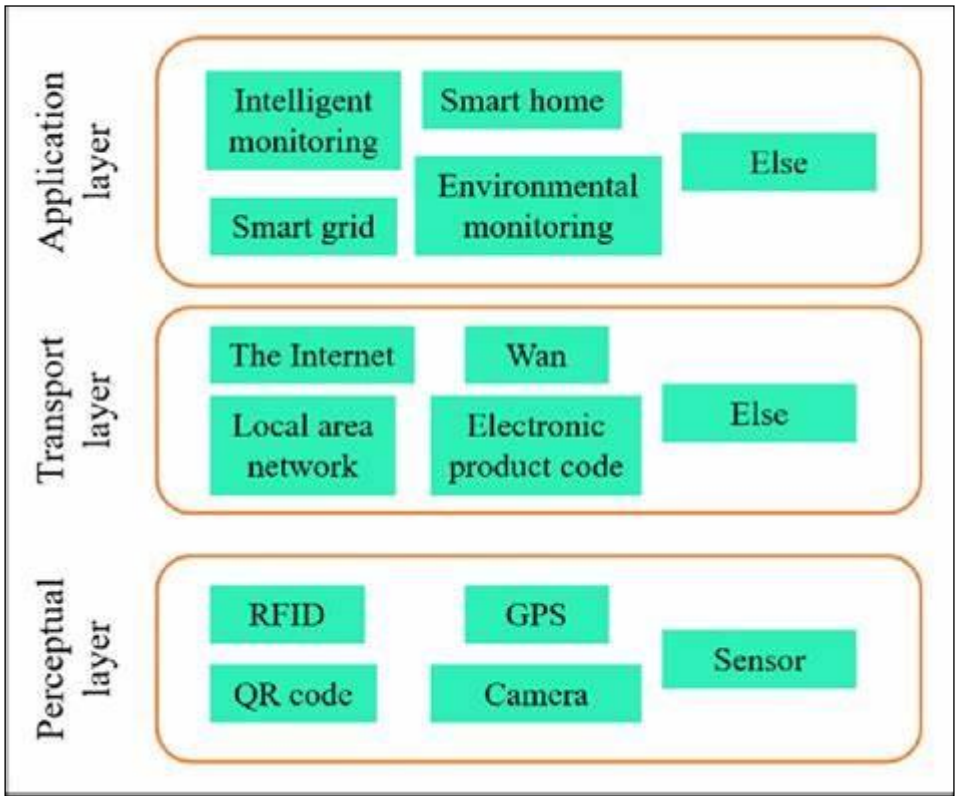
- مدیریت داده و توانایی ارتباط برقرار کردن با استفاده از درک سمانتیک : اینترنت اشیاء در مورد تبادل داده ها و آنالیز حجم بسیار زیادی از داده ها باید تواناییهای لازم را دارا باشد. بعبارت دیگر، برای اینکه داده ها را به اطلاعات قابل استفاده تبدیل کنیم و بین کاربردهای مختلف بتوانیم تبادل داده ها را داشته باشیم، لازم است داده ها را با سازگاری مناسب و فرمتهای استاندارد شده، مدلها و توصیف معنایی محتوای داده های مبادله شده، استفاده از زبانها و فرمتهای قابل فهم و درک، جمع آوری نماییم. این امر اینترنت اشیاء را قادر می سازد تا کاربردهای پشتیبانی کننده از منطق اتوماسیون را به عنوان یک خصلت کلیدی برای ایجاد سازگاریهای وسیعی در تکنولوژی پشتیبانی نماید.

- مکانیزمهای حفظ امنیت و محرمانگی : بعلت وابسته بودن به ساختار فیزیکی، تکنولوژی اینترنت اشیاء بایستی طوری طراحی شود که در آنها مکانیزمهای امنیت و محرمانگی کاملا رعایت گردد. بعبارت دیگر، امنیت بایستی به عنوان یکی از مهمترین خصلتهای کلیدی سیستم در نظر گرفته شده

و به هنگام طراحی معماری ها و متدها برای راه حلهای اینترنت اشیاء لحاظ گردد. انتظار می رود که رعایت نیازهای کلیدی بهنگام طراحی و پیاده سازی سیستمهای مرتبط به اینترنت اشیاء در پذیرش سیستمهای طراحی شده توسط مشتریان نقش کلیدی دارد.

۲-۲-۱-معماری اینترنت اشیاء

معماری پیشنهاد شده برای اینترنت اشیاء مبتنی بر تکنولوژی ارتباطات و تبادل اطلاعات، دارای سه سطح می باشد که در شکل ۲-۱ قابل مشاهده می باشد.



شکل ۲-۱-ساختار معماری اینترنت اشیاء [15]

همانطور که در شکل ۱-2 مشاهده می شود ساختار کلی معماری اینترنت اشیاء دارای سه لایه می باشد که عبارتند از:

- حسگرها : اولین و مهمترین مورد در ایجاد اینترنت اشیاء بعد از تعیین هدف، انتخاب یا تولید حسگرهای مرتبط به هدف جهت جمع آوری داده های مورد نیاز از محیط اطراف می باشد. عمده ترین وظیفه

حسگرها همانا ارتباط با دنیای پیرامون و جمع آوری داده ها و یا انجام واکنشهایی به رخدادهای خارجی می باشد.

- ارتباطات داده ها و شبکه: ایجاد ارتباط بین اشیایی که قرار است در دنیای اینترنت اشیاء باهم مرتبط باشند از طریق استفاده از تکنولوژیهای مختلف ارتباطی همانند شبکه های AD Hoc می تواند صورت گیرد.
- کاربردها (موارد استفاده): کاربردهای مختلفی بر حسب درخواست مشتری یا نیاز جامعه می توان برای اینترنت اشیاء تعریف نمود به عنوان مثال کاربردهای تجاری، کشاورزی، نظامی، آموزشی و...

۲-۲-۲-موارد استفاده از اینترنت اشیاء

برخی از کاربردهای عمده اینترنت اشیاء در جدول ۱-۲ توضیح داده شده اند.

جدول ۱-۲-کاربردهای عمده اینترنت اشیاء [14]

استفاده کنندگان	توضیح	مثالها
انسان ها	وسایل/ابزارهای متصل به بدن انسان یا در خارج از بدن انسان بدون تماس با بدن وی	ابزارهایی متصل به بدن انسان که یا توسط انسان پوشیده شده باشد یا با بدن وی تماس داشته باشد تا بتواند وضعیت سلامتی وی را مانیتور کرده و در صورت وقوع هر خطری اطلاع رسانی به پزشک یا پرستار بنماید، مدیریت بیماریها، کاهش وزن، افزایش بازدهی انسان در زمینه های مختلف
منازل	محل زندگی انسان	کنترل وسایل منازل و موارد مربوط به امنیت منزل
مراکز فروش	محلهایی که مشتریان تشویق به تجارت یا خرید و فروش می شوند.	رستورانها، مغازه ها و تمام مراکزی که به نحوی مشتریان آنجا تمایل به خرید دارند بایستی به صورت خودکار بازرسی انجام شده و روشهایی برای درآمدزایی بیشتر اتخاذ گردد.
اداره ها و سازمانهای اداری	محلی که بسیاری از متخصصان و افراد کارگر و کارمند در آن مشغول به کار هستند.	استفاده از اینترنت اشیاء در این مکانها باعث کاهش انرژی مصرفی، افزایش میزان بازدهی پرسنل و افزایش سطح امنیت در ساختمانهای اداری و سازمانها می شود.

محلهای کار	محیطهای استاندارد کار	مراکز سلامت و بهداشت، معادن، کارخانه ها، استخراج گاز و نفت و...
وسایل نقلیه	سیستمهای داخل وسایل نقلیه	وسایل نقلیه از قبیل: ماشین های سواری، کامیونها، کشتی ها، هواپیماها جهت ارائه خدمات در مواقع لزوم، طراحی مبتنی بر موارد استفاده و...
شهرها	محیطهای شهری	مدیریت منابع، کنترل ترافیک، مانیتورکردن محیط، اندازه گیری های هوشمند، تنظیم فضاهای پارک ماشین ها و ...
جاده ها	بین شهرها (مسیرهای خارج از شهر که بین دو شهر ارتباط ایجاد می کند)	ابزارهایی که برای رصد کردن وضعیت جاده ها (از قبیل یخ زدگی، ریزش کوه و.....)، ماشینهای هوشمند خارج از شهر و در مسیرهای بین شهری برای دادن امکانات مختلف رفاهی یا کمک به حادثه دیدگان، رصد کردن کشتی ها در دریا، سیستم ناوبری هواپیمایی و....

همانطور که در جدول ۱-۲ مشاهده می شود، بر اساس محتوای مندرج در جدول می توان نتایج زیر را گرفت:

- اینترنت اشیاء در زندگی انسانها نقش بسیار مهمی در آینده بازی خواهد کرد. به خصوص در زمینه حفظ و نگهداری سلامتی افراد و هشدار در مورد وقوع بیماری، مراقبت از بیماران، کنترل روند بهبود یا عود بیماری و... اینترنت اشیاء می تواند نقش بسیار مهمی ایفاء نماید.
- همچنین در منازل در صورتیکه تمام وسایل منزل به اینترنت اشیاء مرتبط باشند کسی به هنگام مسافرت نگران باز ماندن شیر آب یا گاز خود نخواهد بود و به راحتی با استفاده از اینترنت اشیاء به این وسایل در خانه خود از طریق اینترنت و از راه دور وصل شده و وضعیت آنها را بررسی کرده و در صورت روشن بودن اقدام به خاموش نمودن آنها می نماید.

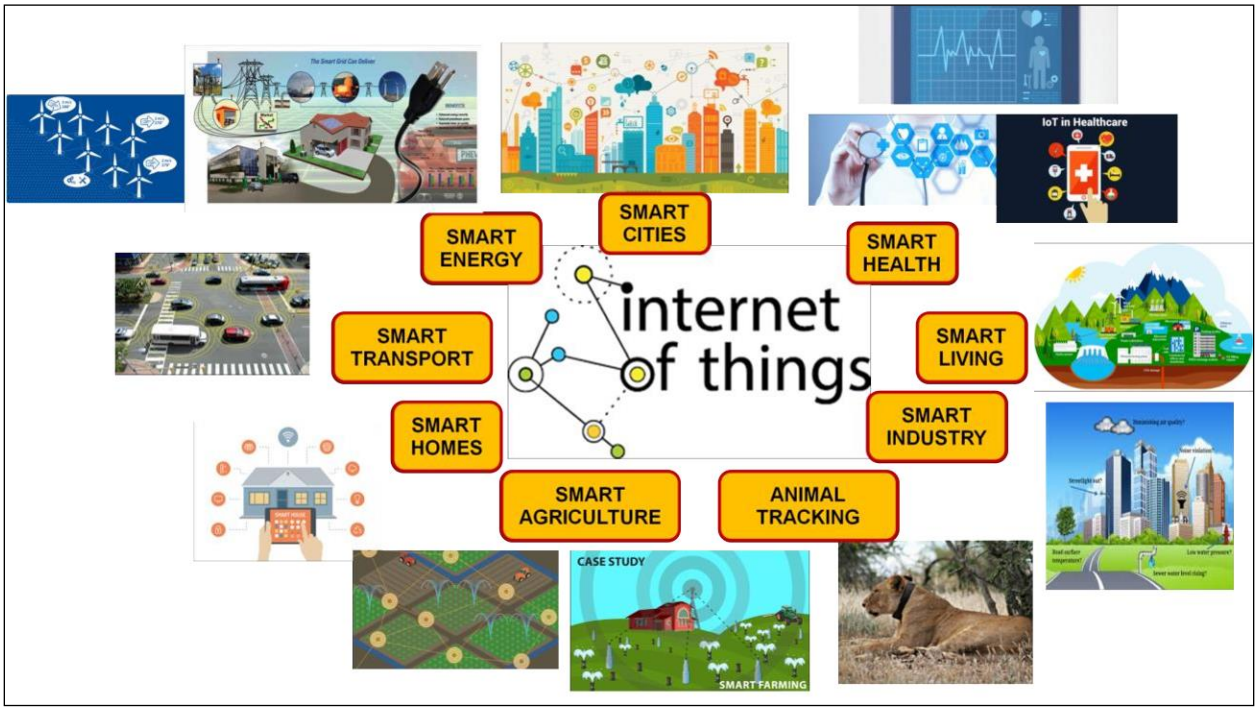
- در مورد مراکز خرده فروشی می توان از اینترنت اشیاء برای معرفی اشیای مورد نیاز مشتریان به آنها بر حسب موجودی انبار مراکز خرده فروشی اطلاع رسانی نمود و یا از محل وجود کالای مورد نیاز خود هر مشتری می توان آگاهی یافت.
- در ادارات با استفاده از اینترنت اشیاء مصرف انرژی در هر قسمت بر اساس تعداد افراد شاغل در آن قسمت یا ساعات کاری آنها می تواند انجام شود و از اتلاف انرژی در ساعات غیراداری جلوگیری نماید همچنین با رصد نحوه کار هر یک از کارمندان نقاط مثبت و منفی تاثیرگذار بر کارایی آنها را کشف نموده و توصیه هایی جهت افزایش کارایی آنها ارائه نمود.
- در محیطهای مختلف کاری از قبیل معادن، مراکز بهداشت، خانه بهداشتها و بیمارستانها، بانکها، رستورانها و هر جای دیگری بایستی بر روی نیازهای مشتریان/مراجعه کنندگان بررسی هایی قرار گیرد و روشهایی را برای راضی نگهداشتن مشتریان و افزایش سرمایه اتخاذ نمود.
- در کارخانجات برای بهینه سازی کارهای روزمره بایستی با استفاده از اینترنت اشیاء روشهای جدیدی ارائه نمود.
- در داخل وسایل نقلیه با استفاده از اینترنت اشیاء روشهایی برای کمک به حفظ سلامتی راننده و سرنشینان اتخاذ گردد مثلا با استفاده از سنسورهای خاصی اقدام به کنترل فاصله وسایل نقلیه از همدیگر نموده و در صورت نزدیک شدن وسایل نقلیه به همدیگر و عدول از حدود تعیین شده در این سنسورها با روشهایی همانند بوق زدن و اطلاع رسانی و در نهایت در صورت عدم توجه راننده اقدام به کاهش سرعت خودرو نموده شود. همچنین می توان برای هواپیماها و کشتی ها هم با استفاده از اینترنت اشیاء راههایی برای افزایش میزان امنیت و اطلاع رسانی در موارد خطر و ارائه خدمات لازم در صورت وجود مشکلی، ارائه نمود.
- در محیطهای شهری با استفاده از اینترنت اشیاء می توان اقدام به مدیریت و کنترل ترافیک، تنظیم پارک، اندازه گیری رطوبت هوا، اندازه گیری وضعیت آلاینده های هوا و...نمود.
- در جاده ها و مسیرهای بین شهری با استفاده از اینترنت اشیاء راههایی برای رصد کردن وضعیت جاده ها از قبیل میزان لغزندگی جاده ها، ترافیک یا ازدحام، ریزش کوه و....اتخاذ گردد و یا روشهایی برای امدادرسانی به حادثه دیدگان در مسیرهای بین شهری و مسیرهای روستایی دورافتاده ایجاد شود.

۲-۲-۳-برخی از کاربردهای مهم اینترنت اشیاء در زندگی روزمره انسانها

برخی از کاربردهای اینترنت اشیاء در زندگی روزمره انسانها در شکل ۲-۲ قابل مشاهده می باشد [16].

همانطور که در شکل ۲-۲ مشاهده می شود برخی از مهمترین کاربردهای اینترنت اشیاء عبارتند از:

- خانه و ساختمان : از جمله کاربردهای اینترنت اشیاء در ایجاد خانه ها و ساختمانهای هوشمند می توان به مواردی همانند: سیستم های شناسایی نفوذ بدون اجازه به خانه (شناسایی دزدان)، مانیتورینگ و کنترل محیط داخلی ساختمان و منزل، کنترل سلامت ساختاری خانه و پایه ها و ستونهای آن.
- سلامتی: نظارت بر روند درمان یا پیشرفت بیماری در بیماران مختلف، مانیتورینگ و کنترل میزان تشعشات رادیولوژی بر روی سلامت بیماران و پرسنل شاغل در این بخشها، مراقبت از ورزشکاران و غیره.
- کشاورزی: شناسه مزرعه و سنسورهای بکار رفته در مزرعه و وسایل کشاورزی، مانیتورینگ وضعیت جوی، آبیاری هوشمند.



شکل ۲-۲-برخی از کاربردهای اینترنت اشیاء

- محیط هوشمند: مدیریت آلاینده های هوا، کنترل آلودگی هوا، رصدکردن حیوانات در محیط زیست، شناسایی کردن فجایای طبیعی همانند سیل و زلزله و طوفان.

- خرده فروشی هوشمند: شامل کنترل زنجیره تامین، مدیریت هوشمند محصولات، سنسورهای بسته بندی غذا، کاربردهای مربوط به خرید هوشمندانه.

- صنعت هوشمند : شامل ایجاد و توسعه ابزارهای ارتباط دهنده ماشین به ماشین[1]، کنترل کیفیت هوای داخل ساختمانها یا مکانهای صنعتی (همانند معادن و نیروگاهها)، کنترل محل نصب یا نگهداری تجهیزات در مکانهای سربسته صنعتی، مانیتورینگ درجه حرارت (مثلا در کوره های آجرپزی یا در پتروشیمی).

- موقعیت جغرافیایی: همانند یافتن مکان جغرافیایی هر آیتم، رصد کردن ناوگان حمل و نقل، کنترل کیفیت هر آیتم موجود در موقعیت های جغرافیایی مختلف.

- حمل و نقل : همانند کنترل هوشمندانه حجم ترافیک در مسیرهای مختلف، ارتباطات خودروها، مسیرهای هوشمند، مدیریت پارکینگ های خودروها.

در ادامه برخی از کاربردهای اینترنت اشیاء در جنبه های مختلف زندگی انسانها را به طور کامل توضیح می دهیم.

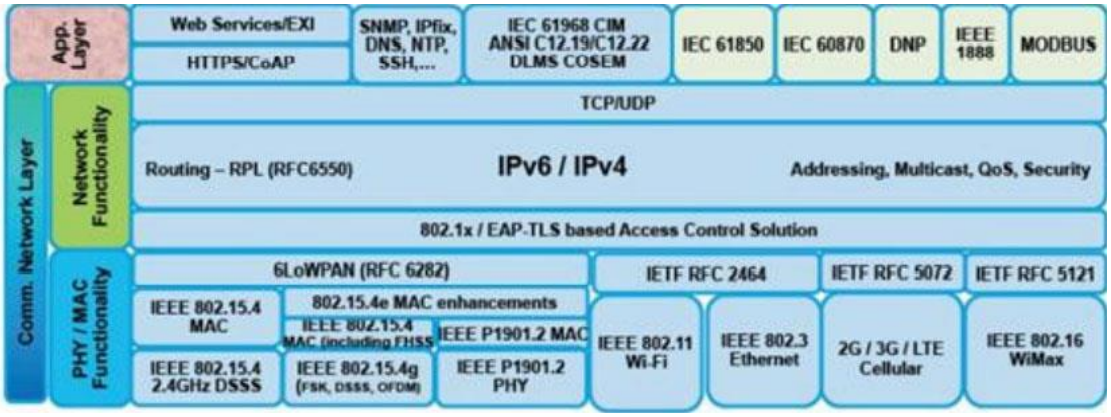
۲-۳-پروتکلهای مسیریابی در اینترنت اشیاء

یکی از جنبه های اساسی اینترنت اشیا، نحوه سازماندهی دستگاه های کم مصرف و به اشتراک گذاری اطلاعات (اطلاعات مسیر و داده) در بین اشیای مختلف است.علیرغم اینکه این دستگاههای حسگر انرژی بسیار کم یا محدودی را مصرف می کنند اما عملکردهای مربوط به ذخیره سازی و عملیات محاسباتی را انجام می دهند. این دستکاهها توانایی ایجاد ارتباط و انجام عملیات به صورت هماهنگ را دارند. همچنین این گرهها می توانند در هر لحظه ای که ما نیاز داشته باشیم به شبکه ملحق شده و یا از آن خارج شوند. مهم است که راه‌حل مسیریابی

[1] M2M (Machine to Machine)

بی‌سیم برای این شبکه‌های حسگر باید مقیاس‌پذیر، مستقل و در عین حال کارآمد از نظر مصرف انرژی باشد. دستگاه‌های مورد استفاده در این شبکه‌های کم تلفات (LLN[1]) اساساً حسگرها و محرک‌ها هستند، اما دارای قابلیت مسیریابی هستند. تعدادی از این گرههای حسگر می توانند به عنوان مسیریاب مرزی مورد استفاده قرار بگیرند. لذا LLN ها را می توان به شبکه های محلی یا اینترنت وصل کرد. چنین روترهایی معمولاً به عنوان روترهای مرزی (LLN (LBR[2])) نامیده می شوند. شکل ۲-۳ یک معماری لایه ای برای IPv6 از یک اتصال پایانه به پایانه را نشان می دهد که یک شبکه منطقه میدانی را پوشش می دهد [17].

کارگروه مهندسی اینترنت (IETF[3]) گروه‌های کاری (WGs[4]) ایجاد کرد که پروتکل‌های مختلف اینترنت اشیا را برای دستگاه‌های اینترنت اشیا توسعه دادند. در ادامه این بخش درباره پروتکل‌های مسیریابی IETF که برای اینترنت اشیا (IoT) توسعه یافته‌اند، توضیحاتی ارائه داده و مروری بر ضعف‌های ذاتی این پروتکل‌ها خواهیم کرد.



شکل ۲-۳- معماری لایه ای برای IPv6 [17]

[1] Low Power Lossy Networks (LLN)
[2] LLN border routers (LBR)
[3] Internet Engineering Task Force (IETF)
[4] working groups (WGs)

٦-٢-٣-IPv١ روی شبکه های شخصی بی سیم کم مصرف (٦LoWPAN)

٦LoWPAN یک لایه انطباق IPv6 استاندارد شده توسط (IETF پیوند داده و پروتکل چند لایه) است که اتصال IP را روی شبکه های کم توان و با تلفات امکان پذیر می کند. این پروتکل می تواند به عنوان پایه و اساسی برای شبکه های اینترنت اشیا در ایجاد خانه ها و شهرهای هوشمند و یا توسعه سیستم های کنترل صنعتی مورد استفاده قرار بگیرد. برای ایجاد ارتباطات مبتنی بر IP ، تعداد زیادی از برنامه های کاربردی از این پروتکل با استفاده از یک پروتکل لایه بالایی از قبیل پروتکل مسیریابی RPL بهره میگیرند. ٦LoWPAN اساسا بسته‌های IPv6 را در فریم‌های ١٢٧ بایتی تنظیم می‌کند که دستگاه‌های حسگر کم مصرف می‌توانند از آن استفاده کنند. بعلاوه این پروتکل از انتقال بسته هایی با اندازه بزرگ در IPv6 و لایه پیوند داده ها با استفاده از استاندارد IEEE ٨٠٢.١٥.٤ پشتیبانی می کند. علاوه بر این، پشتیبانی از تکه تکه شدن داده ها را در لایه سازگاری فراهم می کند، اگرچه، سیستم تکه تکه شدن فرآیندهایی مانند بافر، ارسال و پردازش بسته های تکه تکه شده را در این دستگاه های دارای منابع محدود گران می کند. گرههای مهاجم می توانند بسته های تکراری را برای ایجاد اختلال یا سرریز در شبکه ارسال نمایند. یک مشکل امنیتی در این لایه مشاهده می شود زیرا در این لایه، احراز هویتی انجام نمی شود. لذا گرههای دریافت کننده پیامها، قادر به تشخیص بسته های قانونی و جعلی نیستند. گرههای دریافت کننده در طول مونتاژ مجدد معمولاً قطعات دریافتی را برای جمع آوری مجدد آنها ذخیره می کنند. اگر کل مجموعه فریم هایی که بسته را تشکیل می دهند پس از یک بازه زمانی مشخص دریافت نشوند، دور انداخته می شوند. این سیستم توسط گرههای مخرب می تواند مورد سوء استفاده قرار بگیرد و بسته های جعلی را برای پرکردن مسیر ارسال نماید و در نتیجه باعث ایجاد مشکل امنیتی شود. [18]. با این حال، برخی از پروتکل‌هایی که از 6LoWPAN استفاده کرده‌اند، به زیرلایه امنیتی ٨٠٢.١٥.٤ وابسته هستند تا از فریم‌های ٨٠٢.١٥.٤ که توسط گره‌های مخرب معرفی می‌شوند، جلوگیری کنند. در واقع، زیرلایه امنیتی ٨٠٢.١٥.٤ با افزودن یک کد یکپارچگی پیام (MIC[1]) و یک شمارنده فریم به هر فریم، به طور فعال به این هدف دست می یابد. طراحی یک ٨٠٢.١٥.٤ شامل یک کلید نامشخص برای اهداف امنیتی است، اگرچه هدف کلید نامشخص است، بنابراین استفاده از این کلید برای بارگذاری اولیه هر گره با یک کلید مشترک برای شبکه، گره ها را در معرض حملات شبکه قرار می دهد. یک مهاجم برای رمزگشایی جزئیات رمزنگاری می تواند بسته هایی ارسال کند که با بسته های ارسالی توسط گرههای دیگر تداخل نماید.سخت افزار مقاوم در برابر دستکاری می تواند برای جلوگیری از این نوع حمله استفاده شود [19]، اما با وجود اینکه امنیت مطلق را تضمین نمی کند، هزینه بالایی دارد. هنگامی که یک

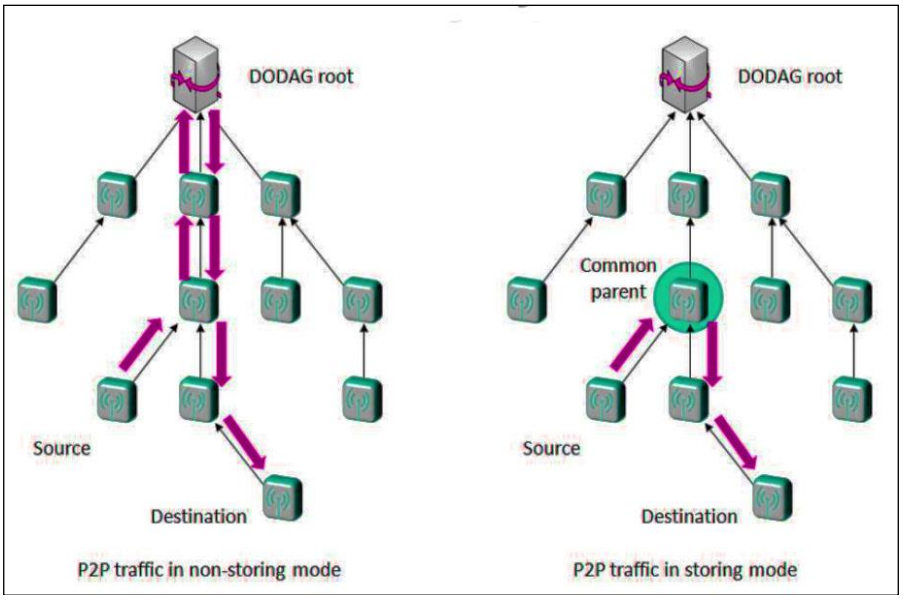
[1] Message Integrity Code (MIC)

گره در معرض خطر واقع می شود، مهاجم می تواند به آسانی بسته های جعلی را در شبکه وارد نماید، لذا، گره های غیرمجاز دیگری را در داخل شبکه تزریق می نماید. این خطا و حفره امنیتی می تواند حتی به لایه بالایی پروتکل ها نیز منتشر شود زیرا پروتکل های لایه بالایی برای امنیت فریم ها به زیرلایه امنیتی ۸۰۲.۱۵.٤ متکی هستند.

۲-۳-۲-پروتکل مسیریابی برای شبکه های کم مصرف و با تلفات (RPL[1])

RPL توسط گروه کاری IETF [ROLL WG] توسعه داده شد زیرا عملکردهای مسیریابی در LoWPAN ٦ به دلیل ماهیت محدودیت منابع گره ها بسیار چالش برانگیز بود. RPL فقط در لایه شبکه می تواند فعالیت نماید و توانایی ایجاد مسیرها را دارد و می تواند داده ها و اطلاعات مربوط به مسیر را در بین گرههای دیگر با روشی کارآمد می تواند توزیع نماید. RPLیک پروتکل مسیریابی IPv6 بردار فاصله برای LLN ها است، بنابراین اطلاعات مسیر شبکه به عنوان مجموعه ای از گراف های غیر چرخه ای جهت دار (DAG[2]) سازماندهی می شود و این بیشتر به عنوان مجموعه ای از گراف های غیر چرخه جهت دار مقصد (DODAG[3]) طبقه بندی می شود. در ایجاد یک DODAG از یک یا چند گره حسگر و یک گره سینک استفاده می شود که داده ها از طریق این گرهها جمع آوری می شوند. شکل ۲-٤ نمونه ای از این DODAG را نشان می دهد.

[1] Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL)
[2] Directed Acyclic Graphs (DAGs)
[3] Destination Oriented Directed Acyclic Graphs (DODAG)



شکل ۲-٤-یک شبکه RPL [20]

برای شناسایی هر DODAG از چهار عامل (شامل: یک شناسه برای DODAG، شماره شناسه برای DODAG ، یک شناسه برای RPL و یک رتبه برای ایجاد ارتباطات در هر سینک DODAG) استفاده می شود [20]. در انتخاب مسیر پارامترهایی مانند هزینه انتقال داده ها، حجم کار، بهینه سازی توان عملیاتی، میزان انرژی هر گره، میزان کاهش تاخیر یا افزایش قابلیت اطمینان تاثیر دارند.

برای تولید توپولوژی مسیر، هر گره مجموعه ای از والدین را انتخاب می کند که شامل گره هایی با مسیرهای مساوی یا بهتر به سمت سینک است. گرهی که دارای بهترین پیوند در مسیر هستند به عنوان والد انتخاب می شود. RPL از سه نوع پیام کنترلی برای تشکیل و مدیریت مسیریابی اطلاعات در شبکه استفاده می کند که عبارتند از [20] :

- (DIO[1]) شی اطلاعاتی DODAG، که برای تنظیم و به روز رسانی توپولوژی شبکه استفاده می شود
- (DAO[2]) شیئی تبلیغات DODAG ، تبلیغات مورد استفاده برای پخش تبلیغات در مقصد در طول به روز رسانی مسیر شبکه افزایش می یابد.

[1] DODAG Information Object (DIO)
[2] DODAG Advertisement Object (DAO)

- (DIS[1]) درخواست اطلاعات در DODAG، زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که یک گره جدید در مدت زمانی که منتظر برای پیوستن به شبکه است، اطلاعات مربوط به توپولوژی را جستجو می نماید.

DAO و DIS در طول فرآیند تغییر توپولوژی درگیر هستند در حالی که پیام DIO پخش می شود و عمدتاً برای شروع فرآیند تغییر توپولوژی استفاده می شود. DIO معمولاً برای توزیع وضعیت مسیریابی خود به گره های دیگر با استفاده از رتبه آن (رتبه کیفیت پیوند به گره سینک را مشخص می کند) و تابع هدف استفاده می شود [21]. هر گره با توجه به رتبه والد و تابع هدف، رتبه خودش را محاسبه می کند. هر بار که یک گره رتبه یا والد ترجیحی خود را به روزرسانی می کند، یک پیام DIO به همه گره ها ارسال می شود. برای جلوگیری از تشکیل حلقه‌ها، RPL از قانون رتبه استفاده می‌کند که به موجب آن یک گره در والد باید همیشه رتبه پایین‌تری نسبت به فرزندان خود داشته باشد. همچنین، برای محدود کردن میزان پخش، RPL از الگوریتم قطره‌ای برای زمان‌بندی پیام‌های DIO برای ارسال استفاده می‌کند. برای این منظور اقدام به تنظیم یک شمارنده می نماید که این شمارنده توپولوژی شبکه را مدنظر قرار می دهد و در نهایت می تواند تصمیم گیری کند که یک گره تا چه زمانی بایستی به ارسال پیام DIO اقدام نماید. بدون مقایسه با DIO پیام قبلی، هر پیام جدید، می تواند باعث افزایش یک واحدی شمارنده شود و وقتی مقدار شمارنده به حدآستانه تعیین شده رسید، دوباره شمارنده اقدام به تنظیم مجدد DIO خود می نماید. این کار برای تثبیت توپولوژی شبکه در یک دوره زمانی و جلوگیری از به‌روزرسانی‌های مکرر مسیر غیرضروری که می‌تواند قدرت و پهنای باند محدود موجود را مصرف کند، انجام می‌شود. این کار، به محدود شدن تعداد DIOهای ایجاد شده برای حفظ منابع می انجامد. برای ترافیک ورودی، گره DIO خود را به صفر بازنشانی می کند و زمان راه اندازی آن را کاهش می دهد و این فرصت را برای به روز رسانی سریع مسیر شبکه از طریق یک نسل سریع DIO می دهد [21].

پروتکل مسیریابی RPL ظرفیت ترکیب انواع مختلف اطلاعات ترافیک و سیگنالینگ مبادله شده در بین گره ها را دارد، اگرچه این به الزامات جریان داده در نظر گرفته شده بستگی دارد. RPL از ترافیک های چند نقطه به نقطه (MP2P[2])، نقطه به چند نقطه (P2MP[3]) و نقطه به نقطه (P۲P) پشتیبانی می کند [20].

[1] DODAG Information Solicitation (DIS)
[2] Multipoint-to-Point (MP2P)
[3] Point-to-Multipoint (P2MP)

ویژگی رتبه مرکزی برای عملیات مسیریابی کارآمد پروتکل مسیریابی RPL است. ویژگی رتبه به مدیریت سربار کنترل، جلوگیری از تشکیل حلقه و ایجاد توپولوژی شبکه بهینه کمک می کند. بنابراین هرگونه حمله به ویژگی رتبه (rank) به شدت در عملکرد صحیح پروتکل RPL اختلال ایجاد می کند. RPL فرض می‌کند که گره‌ها در شبکه سازگار هستند و از قوانین پروتکل پیروی می‌کنند، بنابراین، سیستمی برای بررسی رفتار گره سازگار ارائه نمی‌دهد و این فرصتی را برای گره‌های مخرب ایجاد می‌کند تا به ویژگی رتبه حمله کنند [20]. RPL همچنین مستعد حمله پیام HELLO است. این یک پیام پخش است که یک گره هنگام تلاش برای پیوستن به یک شبکه ارسال می کند. این گره های مخرب معمولا سیگنال پخش قوی دارند تا به گره های دیگر برسند و یک معیار مسیریابی خوب درک شده را پخش کنند. یک گره مخرب، خود را تبلیغ می کند و هنگامی که گره ها به دنبال هماهنگی با آن هستند، پیام های درخواست آنها از بین می رود زیرا از محدوده گره مخرب خارج می شوند. و این تا زمانی ادامه می‌یابد که گره‌های قانونی باتری خود را در تلاش برای اتصال به گره مخرب تمام کنند. پیام‌های DIO که برای تبلیغ اطلاعات DODAG استفاده می‌شوند می‌توانند توسط این گره‌های مخرب برای راه‌اندازی مختصر حملات سیل HELLO مورد استفاده قرار گیرند، اگرچه با روشن بودن امنیت لایه پیوند می‌توان از این امر جلوگیری کرد. با این حال، گره‌های مخرب که متوجه این موضوع می‌شوند، سعی می‌کنند یکی از گره‌های قانونی شبکه را به خطر بیاندازند تا همچنان حمله سیلاب hello را اجرا کنند [21]. باز هم، حمله دیگری که RPL مستعد آن است، حمله Sinkhole است. پروتکل RPL جزئیات زیادی را به گره‌ها در DODAG می‌دهد تا گرهی را که به عنوان مسیر پیش‌فرض عمل می‌کند، تعیین کند. یکی از این جزئیات رتبه است، که محاسبه شده و از ریشه DODAG به گره های همسایه ارسال می شود. یک گره مخرب به سادگی رتبه بهتری را برای گره های دیگر تبلیغ می کند، بنابراین، گره ها را به سمت خود جذب می کند تا در DODAG والد آنها شود. حتی اگر RPL از کیفیت لایه پیوند برای محاسبه مسیرها استفاده می‌کند، این باعث می‌شود که حمله Sinkhole در RPL کمتر موثر باشد، اما حملات همچنان امکان‌پذیر هستند.

٦-٢-٣-IPv٣ در حالت پرش کانال با شکاف زمانی IEEE ٨٠٢.١٥.٤ e (6TiSCH)

توسعه این پروتکل اینترنت اشیا در حال حاضر ادامه دارد و هنوز اجرا نشده است. این پروتکل مبتنی بر زیرشبکه چند پیوندی IPv٦ خواهد بود که بر روی شبکه‌های مش بی‌سیم IEEE٨٠٢.١٥.٤ با سرعت بالا که از طریق مسیریاب های همگام‌سازی شده به ستون فقرات سیستم متصل شده‌اند [22]. پروتکل جدید شامل جزئیاتی در مورد نحوه رسیدگی به بسته‌های متعلق به جریان IPv٦ قطعی و مسائلی مانند طبقه‌بندی، مسیریابی و ارسال بسته

ها از طریق شبکه مش می تواند آدرس دهی شود. زمینه های تحقیقاتی دیگری که باید به آنها توجه شود عبارتند از: زمینه های امنیتی، مدیریت پیوند در لایه شبکه پروتکل IPv6، جستجو و یافتن همسایه و مسیریابی هستند.

۲-٤-آسیب پذیری در مسیریابی در اینترنت اشیاء

اینترنت اشیا کاملاً مبتنی بر استفاده از طرح آدرس دهی IPv٦ است. این امر، باعث می‌شود که آن را در معرض تهدیدات حمله‌ای مشابه IPv4، مانند حملات سیاه‌چاله، شناسایی، Sybil ، جعل هویت، شنود، کشف همسایه، حمله مرد میانی و حملات تکه تکه شدن و غیره قرار دهد. علاوه بر این، از آنجایی که اینترنت اشیاء به عنوان نقطه اتصال اینترنت با دنیای فیزیکی در نظر گرفته می شود، مجموعه جدیدی از نگرانی های امنیتی را بیشتر نشان می دهد. این امر، باعث ایجاد تعدادی پیامدهای امنیتی جدی می شود که به موجب آن تهدیدات امنیتی از دستکاری اطلاعات به کنترل واقعی دستگاه های فعال کننده یعنی انتقال تهدیدات از دنیای سایبری به دنیای فیزیکی تغییر می کند. بر این اساس، این امر به طور اساسی یک سطح حمله گسترده از تهدیدات و دستگاه‌های شناخته‌شده، تا تهدیدات امنیتی افزوده شده دستگاه‌ها، پروتکل‌ها و جریان‌های کاری جدید ایجاد می‌کند، زیرا سیستم‌های الکترونیکی بیشتری از سیستم‌های بسته (مانند Modbus، SCADA) به سیستم های مبتنی بر IP منتقل می‌شوند و این امر، خطر حملات بیشتر را افزایش می دهد [23].

۲-٤-۱-تهدیدات مربوط به پروتکل های مسیریابی

برای ایجاد یک مسیر در یک شبکه تلفن همراه بی سیم، اطلاعات مسیر از یک گره به گره دیگر (چند پرش) منتقل می شود تا مقصد مورد نظر پیدا شود. در تمام مراحل نگهداری مسیر، گره‌ها می‌توانند انتقال اطلاعات کنترلی (مربوط به گره‌های خودخواه یا نادرست) را اضافه یا حذف کنند. در طول این اقدامات، کشف مسیر یا ارسال مسیر انجام می شود که گره های مخرب فعالیت های خود را انجام می دهند، بنابراین چندین نوع حمله در مسیریابی اطلاعات امکان پذیر است. به عنوان مثال، یک گره می تواند یک حمله سرریز جدول مسیریابی را با ارسال مقدار زیادی از اطلاعات مسیر نادرست به همسایگان خود به گونه ای معرفی کند که باعث سرریز شدن جدول مسیریابی همسایه خود شود. این کار باعث اشغال جدول مسیریابی توسط مسیرهای جعلی می گردد. لذا

در جدول مسیریابی، مسیرهای واقعی ثبت نمی شوند. بعلاوه، گرههای مهاجم قادر به ارسال مسیرهای ساخته شده جعلی به جدول مسیریابی و گرههای همسایه می باشند تا مسیرهای موجود در جدول مسیریابی را بروزرسانی نموده و آنرا با مسیرهای اشتباه پر نماید. در AODV که یک پروتکل مسیریابی موقت است، یک گره مخرب می تواند یک مسیر نادرست را با کمترین تعداد پرش و با آخرین شماره دنباله تبلیغ کند، بنابراین گره های دیگر که این را به عنوان یک به روز رسانی مسیر می بینند، به سرعت مسیر قدیمی خود را بی اعتبار می کنند تا اشتباه جدید را بی گناه بپذیرند. مسیر علاوه بر این، در مرحله تعمیر و نگهداری مسیر، یک گره مخرب می‌تواند پیام‌های خطای مسیر نادرست را ارسال کند که می‌تواند شروع یک فرآیند پرهزینه نگهداری مسیر را ایجاد کند [24]. شبکه‌های اینترنت اشیا به امنیت کافی برای یک عملیات بدون مشکل و همچنین برای اعتماد عمومی به این فناوری جدید و نوظهور مخرب نیاز دارند. ارتباط داده‌ای بین دستگاه‌های IoT می‌تواند بر اساس سرتاسر یا بر اساس هاپ به هاپ به دست آید. استقرار IPsec می تواند امنیت سرتاسری را بین دو میزبان اینترنت اشیا در حال ارتباط فراهم کند. در 6LoWPAN که یک پروتکل اینترنت اشیا است، IPsec فعال است که می تواند برای ارتباط امن بین میزبان های اینترنت اشیا استفاده شود، زیرا محفظه بار امنیتی (ESP[1]) پروتکل IPsec می تواند محرمانه بودن، یکپارچگی و احراز هویت داده ها را تضمین کند در حالی که سربرگ احراز هویت پروتکل (AH)[2] یکپارچگی کل دیتاگرام IPv٦ را که از داده های برنامه و هدرهای IPv٦ تشکیل شده است، تضمین می کند. به عنوان مثال، پروتکل برنامه محدود (CoAP)[3] از امنیت سرتاسری در میان دو برنامه کاربردی مبتنی بر میزبان ارتباطی استفاده می‌کند که از امنیت لایه انتقال داده‌گرام (DTLS[4]) استفاده می‌کند در حالی که امنیت لایه پیوند IEEE ٨٠٢.١٥.١٤ می‌تواند برای امنیت هر هاپ اجرا شود. علیرغم امنیت ارائه شده برای ارتباطات داده در لایه بالاتر و ارائه امنیت لایه پیوند، لایه شبکه اینترنت اشیا در برابر حملات مسیریابی آشکار نیست زیرا هیچ استاندارد امنیتی در این لایه تعریف نشده است. در شبکه‌های اینترنت اشیا مانند WSN و MANET، ویژگی‌های مشابهی دارند و بنابراین با حملات مسیریابی مشابهی مانند حملات سیاه‌چاله، حملات فرورفتگی در میان دیگران مواجه می‌شوند.

[1] Encapsulating Security Payload (ESP)
[2] Authentication Header (AH)

[4] Datagram Transport Layer Security (DTLS)

۲-٤-۲-پروتکل های مسیریابی ایمن در اینترنت اشیاء

در جلوگیری از حملات مسیریابی، چندین استراتژی مسیریابی ایمن توسط محققان مختلف ارائه شده است. در این قسمت، شمای کلی پروتکلهای مختلف پیشنهاد شده توسط محققان مختلف برای مسیریابی ایمن را ارائه می دهیم.

- **مسیریابی امن چند هاپ برای ارتباطات اینترنت اشیا:** در [25] یک پروتکل مسیریابی چند هاپ ایمن (SMRP[1]) معرفی شد که به دستگاه های اینترنت اشیا امکان می دهد تا به شیوه ای ایمن با همدیگر ارتباط برقرار کنند. این کار، با اطمینان از احراز هویت دستگاه های اینترنت اشیاء قبل از اینکه بتوانند به شبکه جدیدی بپیوندند یا ایجاد شوند، انجام می شود. پروتکل مسیریابی پیشنهادی در این تحقیق، یک پارامتر چند لایه ای را در الگوریتم مسیریابی پیشنهاد نموده است لذا زمانی که گره ها می خواهند به شبکه ملحق شوند، باید احراز هویت شوند. نویسندگان ادعا می‌کنند که این پروتکل بدون هزینه اضافی در فرآیند مسیریابی ارائه می‌شود، زیرا پارامترهای چندلایه شامل برنامه‌های مجاز در شبکه، یک شناسه منحصربه‌فرد قابل کنترل توسط کاربر و خلاصه‌ای از دستگاه‌های مجاز در شبکه هستند. با این حال، می توان دید که در ایجاد یک پارامتر چند لایه که حتی ۱۰۰۰۰۰ گره اینترنت اشیاء را در این نوع شبکه میزبانی می کند، هزینه زیادی وجود خواهد داشت. این کار باعث غیراستفاده شدن پروتکل پیشنهادی در مقیاس بزرگ شبکه می شود.

- **TSRF[2]: چارچوب مسیریابی ایمن آگاه از اعتماد در شبکه های حسگر بی سیم:** چارچوب مسیریابی امن آگاه (TSRF) طراحی شده برای WSN ها بر اساس مشتق اعتماد است که شامل مشاهدات مستقیم و غیرمستقیم الگوهای رفتاری گره های حسگر با اعتماد است. مقادیر بین گره ها در محدوده ۰

[2] trust-aware secure routing framework (TSRF)

تا ۱ نشان داده شده است. صفر نشان دهنده عدم اعتماد بین گره ها و ۱ نشان دهنده سطح خوبی از اعتماد برای گره مربوطه است.

این محققان حملات مختلفی (مانند on-off، حمله تبانی، حمله با اهداف خودخواهانه و..) را مورد بررسی قرار دادند. همچنین TSRF مقدار زیادی حافظه را به منظور انجام محاسبات پیچیده مورد استفاده قرار می دهد. گرههای مهاجم می توانند به راحتی به شبکه وصل شوند اگر این گرهها بتوانند برای مدتی خوب رفتار کنند به عنوان گرههای قابل اعتماد شناسایی میشوند. لذا می توانند شروع به انجام عملیات مخرب خود نمایند [26] .

- **اعتماد مبتنی بر اعتراف دو طرفه (2-ACKT)[1]**: این سیستم در یک حالت غیر محرمانه عمل می کند و تنها مشروط به اعتماد مستقیم بین گره ها است. این روش برای ایجاد اعتماد در میان گرههای همسایه، از یک سیستم قدردانی دوگانه استفاده می نماید. این طرح بیشتر مسیری را به سمت گره سینک توسعه می دهد و همچنین یک گره جدید (که به عنوان گره حامی و شخص ثالث در نظر گرفته می شود) معرفی می کند که یک تایید دو پرشی در شبکه ایجاد می کند. این روش تمام گرههای مخرب که بسته های داده را رها می کنند، شناسایی می نمایند ولی قادر به شناسایی حملات Greyhole نیستند. همچنین، از آنجایی که گرههای همسایه منبع توصیهها نبودند، نتیجهگیری در مورد روابط اعتماد ممکن است با وضعیت شبکه همخوانی نداشته باشد [26].
- **طرح مدیریت اعتماد مبتنی بر گروه (GTMS[2])**: طرح مدیریت اعتماد مبتنی بر گروه (GTMS) توسط [28] پیشنهاد شد که یک طرح مبتنی بر اعتماد است که شامل محاسبه اعتماد از طریق مشاهده مستقیم بین گرهها، یعنی تعداد موفق و تعاملات ناموفق بین گره ها نویسندگان تعامل موفق را به عنوان همکاری مثبت بین گره ها و مشاهده غیرمستقیم (توصیه همتایان قابل اعتماد در مورد یک گره در شبکه) بین گره ها تعریف کردند. در درون هر گروهی یک(CH) ایجاد می شود و یک روش مدیریت اعتماد توزیع شده به منظور جمع آوری پیشنهادات از تمام گرهها و اعضای دیگر گروه ایجاد می شود و از سینک به طور مستقیم برای ارسال داده ها و اطلاعات به سایر CH ها استفاده شده است. سطح اعتماد با استفاده از اعداد صحیح بدون علامت از ۰ تا ۱۰۰ برای کاهش استفاده از حافظه تعریف شد. حتی اگر سیستم به

[1] Two-way acknowledgment-based trust (2-ACKT)
[2] Group-Based Trust Management Scheme (GTMS)

حملات سیاه‌چاله‌ها رسیدگی می‌کرد، سر خوشه‌ها در سطح درون گروهی نیاز به انرژی بالایی برای برقراری ارتباط با گره سینک (گره مرکزی) داشتند و این می‌تواند به راحتی باتری‌های حسگر گره‌های CH را تخلیه کند.

- **پروتکل مسیریابی مبتنی بر اعتماد سبک وزن CLT**: تمرکز اصلی این پروتکل بر ایجاد اعتماد بین گره ها می باشد و می تواند میزان سربار حافظه و اتلاف انرژی در گره ها را می نیمم سازد. جدید بودن این سیستم، در استخدام یک مشاور اعتماد است که هر گرهی را که سطح اعتماد آن در حال کاهش است نظارت، هشدار و بهبود می بخشد. این امر با استفاده از یک سیستم پنجره کشویی برای ایجاد یک تاریخچه اعتماد از تمام گره‌های همسایه به دست می‌آید. برای تعیین گرههای غیرمجاز از یک روش نوین استفاده می کند تا بتواند حملات مختلف انجام شده توسط این گرهها را شناسایی نماید. روش پیشنهادی در این تحقیق قادر به اعمال بر روی تمام گرههایی است که دارای یک هویت منحصربفرد بوده و گره خودمختار نباشد [28] .

۲-٤-۳-اعتماد به مسیریابی ایمن در اینترنت اشیاء

اعتماد را می توان به عنوان وابستگی بین دو طرف تعریف کرد که در آن یک طرف (اعتماد کننده) آماده است تا روی اقدامات (مورد انتظار) انجام شده توسط طرف دوم (امین) حساب کند. به عبارت دیگر، امانت‌گذار به عنوان ارزیاب عمل می نماید در حالی که امین برای تعیین سطح اعتماد آن مورد سنجش و ارزیابی قرار می گیرد. نویسندگان در [29] اعتماد را به عنوان امکان ذهنی معینی تعریف کرده‌اند که در آن یک عامل (گره) یک عامل دیگر (یا گره دیگر) یا گروهی از عوامل (گره‌ها) را بررسی می‌کند و معتقد است که آنها یک عمل خاص را همانطور که انتظار می‌رود انجام می‌دهند، قبل از اینکه فرصتی پیدا کند. کنش را در چارچوب مشاهده می کنیم، زیرا گره بر کنش خود تأثیر می گذارد. اعتماد را می توان به سه دسته تقسیم کرد: اعتماد عمومی، موقعیتی و اساسی (یا پایه). [29]

- **اعتماد عمومی،** اعتمادی است که یک عامل یا یک گره به دیگری بدون هیچ گونه سوگیری نسبت به شرایط خاص دارد.
- **اعتماد موقعیتی،** اعتمادی است که یک عامل یا یک گره به دلیل یک تجربه یا موقعیت خاص به دیگری دارد.

- **اعتماد پایه یا اساسی،** بر اساس تجربیات گذشته یک گره به طور کلی نسبت به گره دیگر مورد سنجش قرار می گیرد.

در حوزه ارتباطات و شبکه، مفهوم اعتماد به عنوان یک موضوعی بسیار پراهمیت است و می تواند در طراحی پروتکل های ارتباطات و شبکه بسیار کاربرد داشته باشد. همکاری در توسعه روابط اعتماد بین گره‌های شرکت‌کننده حیاتی تلقی می‌شوند، زیرا مقیاس‌پذیری، بقا، قابلیت اطمینان و عملیات امن شبکه را تعیین می‌کنند. اعتماد در میان گره ها به این صورت ایجاد می شود که تحت شرایط خاص و معینی گرههای مورد اعتماد، به صورت گرههای مخرب عملیات خود را انجام نخواهند داد.

مدلسازی اعتماد به عنوان یک روش موثر به منظور محاسبه و تخمین سطح قابلیت اطمینان در بین دستگاههای درون یک سیستم اعمال می شود. این نگرانی‌ها را مشخص می‌کند که می‌تواند بر اعتماد یک سیستم تأثیر بگذارد و در عین حال به شناسایی مناطقی که ارزش پایین اعتماد می‌تواند کارایی عملیاتی و قابلیت استفاده سیستم را کاهش دهد، کمک می‌کند. مطالعه میزان اعتماد در شبکه های حسگر بی سیم بسیار مهم است.. از این رو، گره‌های اینترنت اشیاء محدود به منابع را در خود جای داده است. محققان انواع مختلفی از مدل‌های اعتماد را برای مسیریابی ایمن در شبکه‌های حسگر پیشنهاد کرده‌اند، مانند بیزین، نظریه بازی، آنتروپی، فازی، احتمال، شبکه عصبی، هوش ازدحام، گراف جهت‌دار/غیر جهت‌دار، حساب/وزن‌گذاری و زنجیره مارکوف که خاص خود را دارند. مزایا و معایب. این روشها را می توان برای مسیریابی اینترنت اشیا مورد استفاده قرار داد. جدول ۲-۲ برخی از این مدلها را شامل می باشد.

جدول ۲-۲- خلاصه ای از مدل های اعتماد برای مسیریابی ایمن در شبکه های حسگر **[29]**

مدلهای اطمینان	توضیح
مدل اعتماد بیزین	این مدل از قضیه بیزین برای رسیدن به صدق یک مقدار با استفاده از توزیع های احتمال استفاده می کند. این بیان می کند که چگونه یک درجه ذهنی از اعتماد باید به طور واقع بینانه تغییر کند تا به عنوان مدرک در نظر گرفته شود.
مدل اعتماد نظریه بازی	این مدل، متکی بر تصمیم گیری استرانژیک می باشد که معمولا برای دستیابی به یک راه حل بهینه دو یا چند بازیکن را مورد استفاده قرار می دهد. لذا می توان بهترین مقدار اعتماد را برای تصمیم گیری ایجاد کرد.
مدل اعتماد آنتروپی	این مدل از داده های مبادله شده بین گرهها استفاده می کند که بر اساس توزیع احتمالی به همه گرهها مقادیر اعتمادی را نسبت می دهد. این مقادیر با استفاده از توزیع های احتمالی محاسبه شده و بدست می آید. از مقادیر بدست آمده، مقدار ماکزیمم انتخاب شده و به عنوان میزان اعتماد برای تصمیم گیری درباره انتخاب بهترین مسیر مورد استفاده قرار می گیرد.
مدل اعتماد فازی	این مدل، بر نوعی از منطق چندارزشی تمرکز دارد که یک مقدار را به یک حقیقت واقعی خاص نسبت می دهد. در این مدل، متغیرها می توانند مقادیر درست یا غلط داشته باشند.
مدل اعتماد احتمال	این مدل با استفاده از تجزیه و تحلیل پدیده های تصادفی، بر توزیع مقادیر اعتماد به صورت یکنواخت (عادی) متمرکز می باشد. موجودیت های اساسی در این مدل شامل: متغیرهای تصادفی، نظریه احتمال رویدادها می باشند.
مدل شبکه عصبی	در این مدل از تکنیکهای هوش مصنوعی به منظور تعیین رفتار گرهها در شبکه های حسگر بی سیم بهره برداری می شود. برای این منظور به شبیه سازی رفتار یک فرد منطقی در گرههای حسگر بی سیم پرداخته می شود.

مدل گراف جهت دار و بدون جهت	این مدل، از نظریه گراف برای اتصال گرهها استفاده می کند و با استفاده از برخی محاسبات ریاضی، به هر گره یک مقدار به عنوان درجه اعتماد نسبت می دهد. جهت پیوندها برای نشان دادن جهت ارتباطات بین گرهها مورد استفاده قرار می گیرد.
مدل اعتماد حسابی/وزنی	در این مدل، حاصلضرب اعمال و مشاهدات گذشته به عنوان شهرت مدنظر قرار می گیرد و به منظور تعیین ارزش اعتماد هر گره، وزن جمعی محاسبه می شود که این وزن برای ارزیابی میزان صحت داده ها و اطلاعات گرهها مورد استفاده قرار می گیرد.
مدل زنجیر مارکوف	اساسا مدیریت یک مدل اعتماد ضروری است. این روش مقدار اعتماد را مورد ارزیابی قرار می دهد و مجوزهای اعتماد را برای مدیریت کلیدها در بین تمام گرهها توزیع می نماید. ارزش‌های اعتماد بر اساس تحلیل زنجیره مارکوف ارزیابی می‌شوند که به موجب آن ارزش اعتماد هر یک از همسایگان با توجه به عملکرد اعتماد گذشته آنها بررسی می‌شود. میزان اعتماد پیش بینی می شود و به همه گره ها اطلاع رسانی می شود. از برآوردهای اعتماد، گره با بالاترین ارزش اعتماد به عنوان مرجع صدور گواهینامه مدیریت کلیدی انتخاب می شود.
مدل هوش ازدحام یا مدل مبتنی بر رفتار جمعی سیستم‌های توزیع‌شده و خود سازمان‌یافته	این سیستم از مجموعه ای از عوامل (گره ها) استفاده می کند که به صورت محلی با یکدیگر در همسایگی خود در ارتباط هستند. این مفهوم از اکوسیستم بیولوژیکی موجودات زنده در محیط زیست الهام می گیرد. اگرچه انتظار می‌رود که گره‌ها با تعامل تصادفی، روش خاصی را انجام دهند.

5-۲-پیشینه تحقیق

در [30]، یک معماری برای محیط IoT-WSN با روشی ایمن و آگاه از انرژی طراحی می‌کنیم. کار کلی ما با برنامه‌ریزی TDMA مبتنی بر آستانه، تنظیم مسیر ایمن کارآمد انرژی (EESRA[1]) ، امنیت سطح کاربر، و امنیت سطح داده با استفاده از سیستم رمزنگاری مبتنی بر بیومتریک درگیر است. بیشتر EESRA با سه مجموعه فرآیند طراحی شده است: (الف) شناسایی مسیر آگاه از انرژی با استفاده از منطق فازی (ب) شناسایی قابلیت اطمینان مسیر بر اساس قابلیت اطمینان مسیر با استفاده از توان عملیاتی، تاخیر و نسبت تلفات بسته (ج) تنظیم مسیر.

[1] Energy Efficient Secure Route Adjustment (EESRA)

در [31]، یک روش چند عامله چندهدفه به منظور بهینه سازی پروتکل انتقال داده مطمئن در بستر مراقبت های بهداشتی ارائه شده است. با توجه به ماهیت بی سیم در شبکه هایIoT ، انتقال داده های امن در بستر مراقبت بهداشتی از اهمیت بسیاری برخوردار است. داده های جمع آوری شده از حسگرهای استفاده شده در دستگاه های مراقبت های بهداشتی به دلایل مختلف در مسیر انتقال از بین می روند. بنابراین ایجاد یک مسیر ارتباطی ایمن و مطمئن در شبکه های اینترنت اشیا در بستر مراقبت های بهداشتی بسیار ضروری می باشد. مشارکت این مقاله در دو مرحله خلاصه می شود: الف) استفاده از رویکرد بهینه سازی چندهدفه به منظور یافتن مسیرهای بهینه ب) استفاده از عامل های مطمئن در شبکه به منظور یافتن مسیرهای پشتیبان.

در [32]، یک پروتکل مسیریابی و مانیتورینگ ایمن با تاپل های چند متغیره با استفاده از رویکرد کلید متقارن دو ماهی (TF[1]) برای کشف و جلوگیری از دشمنان در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی مبتنی بر مدل احراز هویت و رمزگذاری (ATE[2]) می باشد. با استفاده از تابع وزن معتبر بودن(EWF[3]) ، گره های حفاظت کننده از حسگر انتخاب شده و با کمک روش کلید متقارن پیچیده مخفی می شود. یک پروتکل مسیریابی ترکیبی ایمن انتخاب شده است تا با به ارث بردن ویژگی های هر دو پروتکل مسیریابی وضعیت پیوند چند مسیری بهینه شده (OLSR[4]) و بردار فاصله چند مسیری مورد تقاضا (AOMDV[5]) ساخته شود. نتیجه رویکرد پیشنهادی نشان می‌دهد که دارای درصد بالایی از گره‌های نظارتی در مقایسه با طرح‌های مسیریابی موجود است. علاوه بر این، مکانیسم مسیریابی پیشنهادی در برابر چندین دشمن متحرک انعطاف‌پذیر است و از این رو تحویل چند مسیری را تضمین می کند .

در [33]، یک پروتکل مسیریابی چندلایه قابل ارتقا بر اساس CR-IoT[6] برای بهبود کارایی مسیریابی و بهینه سازی انتقال داده در یک شبکه قابل تنظیم مجدد ارائه شده است. در این پروتکل، سیستم مورد استفاده در حقیقت همانند یک کنترل کننده توزیع شده عمل می کند که دارای قابلیت های متعددی (مانند کشف همسایه ها، ساخت مسیر، متعادل سازی بار در شبکه) می باشد. آزمایش‌ها با مدل‌های معمولی انجام می‌شوند که مقیاس‌پذیری انرژی و منابع باقی‌مانده و استحکام CR-IoT قابل تنظیم مجدد را نشان می‌دهد.

[1] Two-Fish (TF)
[2] Authentication and Encryption Model (ATE)
[3] Eligibility Weight Function (EWF)
[4] Optimized Link State Routing (OLSR)
[5] Ad hoc On-Demand Multipath Distance Vector (AOMDV)
[6] Cognitive Radio network based Internet of Things (CR-IoT)

در [34]، یک روش مسیریابی مبتنی بر اولویت و کارآمد انرژی (PriNergy[1]) پیشنهاد شده است. این روش بر اساس مدل پروتکل مسیریابی برای شبکه‌های کم مصرف و تلفات (RPL[2]) است که مسیریابی را از طریق محتوا تعیین می‌کند. هنگام ارسال داده ها به مقصد در هر شکاف شبکه از الگوهای زمان بندی می توان استفاده کرد. همچنین ترافیک شبکه، فقط داده های صوتی و تصویری را در مدنظر قرار می دهد. این روش باعث پایداری پروتکل مسیریابی شده و از ایجاد ترافیک و ازدحام در شبکه جلوگیری می نماید. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش PriNergy پیشنهادی سربار روی مش، تاخیر انتها به انتها و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، از یکی از موفق‌ترین روش‌های مسیریابی در محیط اینترنت اشیا، یعنی کیفیت خدمات RPL بهتر عمل می‌کند.

در [35] یک رویکرد جمع‌آوری داده رویداد جدید به نام قابلیت اطمینان و مسیریابی برخورد چند مسیره (RMER[3]) برای برآورده کردن الزامات قابلیت اطمینان و بهره‌وری انرژی پیشنهاد شده است. عملکرد رویکرد RMERرا می توان به صورت خلاصه در چند مرحله توصیف کرد:

الف) گرههای نظارتی کمتری در نقاط هات اسپات که در نزدیکی سینک قرار دارند متمرکز می شوند در حالیکه تعداد این گرهها در نواحی غیرهات اسپات بیشتر است و این امر می تواند به افزایش طول عمر شبکه و افزایش قابلیت اطمینان در تشخیص حوادث و رویدادها منجر شود.

ب) رویکرد RMER داده ها را با همگرایی مسیرهای چند مسیری گره های نظارت بر رویداد به یک مسیر یک مسیری برای جمع آوری داده ها به سینک ارسال می کند.

لذا این روش می توان مصرف انرژی را می نیمم نماید و باعث افزایش طول عمر شبکه گردد. نتایج شبیه سازی نشان دهنده این موضوع است که روش پیشنهادی برای تشخیص اتفاقات بهتر از روشهای دیگر عمل می کند. نتایج ما به وضوح نشان می دهد که RMER بازده انرژی را تا ۵۱٪ و طول عمر شبکه را تا ۲۳٪ نسبت به راه حل های دیگر افزایش می دهد در حالی که قابلیت اطمینان تشخیص رویداد را تضمین می کند.

[1] Priority-Based and Energyefficient Routing (PriNergy)
[2] Routing Protocol for Low-Power and Lossy Network (RPL)
[3] Reliability and Multipath Encounter Routing (RMER)

در [36] یک روش جدید با ترکیب پروتکل آگاه از انرژی ایمن بهینه (OSEAP[1]) و الگوریتم بهینه سازی علوفه یابی باکتریایی بهبود یافته (IBFO[2]) پیشنهاد شد. چالش های فوق در برابر هدف آگاهی از انرژی ایمن تحت اینترنت اشیا هنوز توسط هیچ محققی مورد بررسی قرار نگرفته است. علاوه بر این، پروتکل آگاه از انرژی ایمن بهینه (OSEAP) و الگوریتم بهینه‌سازی خوراک باکتریایی بهبود یافته (IBFO) جمله روش‌هایی هستند که برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهینه سازی مصرف انرژی مورد استفاده قرار گرفته اند. تجزیه و تحلیل عملکرد روش پیشنهادی از نظر میزان کاهش تاخیر، بهینه سازی توان عملیاتی و کاهش مصرف انرژی و مقایسه با روش موجود پروتکل مسیریابی آگاه انرژی امن (SEAP[3]) انجام شد و نشان داده شد که روش پیشنهادی دارای عملکرد بهتری می باشد.

در [37] به منظور پرهیز از نیاز به زیرساخت‌های جدید (مانند ایستگاه پایه) برای پیاده سازی شبکه اینترنت اشیاء، که برای فناوری‌های اختصاصی مورد نیاز است، یک فناوری جدید دارای مجوز مبتنی بر سلولی، اینترنت اشیا باند باریک(NBIoT[4]) ، توسط ۳ GPPدر-Rel ۱۳ معرفی شده است. این فناوری به دلیل ویژگی‌هایی مانند پوشش داخلی افزایش یافته، مصرف انرژی کم، عدم حساسیت تأخیر و پشتیبانی گسترده از اتصال نسبت بهNBIoT ، کاندیدای خوبی برای مدیریت بازار LPWA است. این تحقیق دیدگاه عمیقی از اینترنت اشیا و NBIoT را مدنظر قرار می دهد که ویژگی‌های فنی، اختصاص دادن منابع و استفاده از روشها و کاربردهای مختلف را شامل می شود. چالش هایی که مانع از مسیر NBIoT به سمت موفقیت می شوند نیز شناسایی و مورد بحث قرار می گیرند. در این تحقیق، دو روش جدید و کارآمد برای مصرف انرژی انرژی «شامل: تحلیل الگوی حرارتی منطقه‌ای» و سیستم نظارت بر سلامت پیشنهاد شده است.

در [38] برای جمع‌آوری داده‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در مقیاس بزرگ(WSN[5]) ، خوشه‌بندی پویا راه‌حلی مقیاس‌پذیر و کم‌مصرف ارائه شد که از چرخش سر خوشه (CH[6]) و الگوریتم‌های تخصیص محدوده خوشه‌ای برای متعادل کردن مصرف انرژی استفاده می‌کند. با این وجود، اکثر کارهای موجود، خوشه‌بندی و مسیریابی را دو موضوع مجزا می‌دانند که برای اتصال و بهره‌وری انرژی شبکه مضر است. در این تحقیق، محققان یک تجزیه و تحلیل دقیق در مورد روابط بین خوشه‌بندی و مسیریابی ارائه کردند و سپس یک پروتکل خوشه‌بندی

[1] Optimal Secured Energy Aware Protocol (OSEAP)
[2] Improved Bacterial Foraging Optimization (IBFO)
[3] Secure Energy aware routing protocol (SEAP)
[4] New Cellular-Based Licensed Technology, Narrowband IoT (NBIoT(
[5] Wireless Sensor Network (WSN)
[6] Cluster Head (CH)

و مسیریابی مشترک (JCR[1]) برای جمع‌آوری داده‌های قابل اعتماد و کارآمد در WSN در مقیاس بزرگ پیشنهاد کردند. JCR از تایمر و مسیریابی گرادیان استفاده می نماید تا توپولوژی بین خوشه کارآمدی را با حداکثر برد انتقال تولید نماید. روابط بین خوشه‌بندی ایجاد شده و مسیریابی در JCR توسط تحلیل‌های نظری و عددی مورد استفاده قرار می گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد که مسیریابی multihop در JCR می تواند منجر به انتخاب نامتعادل سرخوشه ها شود. لذا روشی برای افزایش طول عمر شبکه با در نظر گرفتن گرادیان گره‌های همسایه تک هاپ برای تنظیم تایمر پیشنهاد شد. نتایج شبیه‌سازی کارایی JCR را اثبات نمود.

در [39] یک معماری کارآمد انرژی برای اینترنت اشیا پیشنهاد شده است که از سه لایه، یعنی حس و کنترل، پردازش اطلاعات و ارائه تشکیل شده است. این معماری به سیستم امکان می دهد تا بتواند فاصله بیکاری یا خواب بودن حسگرها را بر اساس میزان انرژی باقیمانده، سوابق استفاده از سیستم، کیفیت داده ها و اطلاعات مورد نیاز برای انجام یک برنامه خاص را پیش بینی نماید. از این مقدار پیش بینی شده می توان برای تقویت استفاده از منابع انرژی در ابر با تجهیز مجدد منابع تخصیص یافته استفاده کرد. این مکانیسم امکان استفاده بهینه از تمام منابع اینترنت اشیا را فراهم می کند. نتایج تجربی مقدار قابل توجهی از صرفه جویی در انرژی را در مورد گره های حسگر و بهبود استفاده از منابع از منابع ابری نشان می دهد.

در [40] انتشار داده‌های قابل اعتماد را برای اینترنت اشیاء با استفاده از طرح بهینه‌سازی هریس هاکس (RDDI[2]) پیشنهاد شد، که یک مکانیسم انتشار داده امن است که یک مدل شبکه سلسله مراتبی فازی را برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) مبتنی بر اینترنت اشیا ارائه می‌کند. RDDI حملات را آشکار ساخته و می تواند بر پرسه تبادل داده ها و اطلاعات نظارت نماید. طرح پیشنهادی در این تحقیق، به دنبال ترکیب قابلیت‌های مسیریابی، گردش داده‌های آگاه از انرژی و جغرافیایی، و خوشه‌بندی فازی است تا یک مسیریابی بهینه‌شده قابل اعتماد و الهام گرفته از طبیعت به نام الگوریتم بهینه‌سازی هریس هاکس (HHO[3]) برای اینترنت اشیا ارائه دهد. عملکرد RDDI، تحت پنج معیار قابلیت اطمینان، تاخیر سرتاسر، مصرف انرژی، سربار محاسباتی و همچنین فاصله ارسال بسته در سناریوهای چند خوشه‌ای، با سه رویکرد مقایسه‌ای ارزیابی می‌شود. یافته‌های شبیه‌سازی نشان می‌دهد که RDDI به یک استراتژی قابل اعتماد و دستاورد ارجح نسبت به سه روش دیگر دست می‌یابد.

[1] Joint Clustering and Routing (JCR)
[2] Reliable Data Dissemination for the Internet of Things Using Harris Hawks Optimization (RDDI)
[3] Harris Hawks Optimization (HHO)

به عنوان توسعه شبکه حسگر بی‌سیم در محیط زیر آب، شبکه‌های حسگر صوتی زیر آب (UASNs[1]) باعث نگرانی گسترده دانشگاهیان شده‌اند. در UASN ها، کارایی و قابلیت اطمینان انتقال داده ها به دلیل محیط پیچیده زیر آب در کاربردهای مختلف اقیانوسی، مانند نظارت بر خطوط لوله غیرعادی نفت زیردریایی، بسیار چالش برانگیز است. با انگیزه اهمیت مصرف انرژی در بسیاری از استقرار UASN ها، در [41] محققان، یک طرح انتقال داده با کارآمدی انرژی به نام مسیریابی شبکه با بهره وری انرژی بر اساس مکعب های سه بعدی (EGRCs[2]) در UASN ها، با در نظر گرفتن خواص پیچیده محیط زیر آب را پیشنهاد کردند.

این تحقیق، همانند توپولوژی های سه بعدی، روشهای ایجاد تاخیر در انتشار داده ها با سرعت بالا، میزان تحرک گرهها، روش چرخش سرخوشه ها را مورد بررسی قرار داد. اولا، کل مدل شبکه را به عنوان یک مکعب سه بعدی در نظر می گیریم. در ادامه، این مکعب سه بعدی را به مکعبات کوچکتری تقسیم بندی می کنیم. هر مکعب در واقع مانند یک خوشه در نظر گرفته می شود. در مکعب سه بعدی، تمام گره های حسگر در لایه کنترل دسترسی رسانه چرخه کاری می شوند.

در ادامه، برای بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه، با در نظر گرفتن مقدار انرژی باقیمانده و موقعیت جغرافیایی قرارگیری گرههای حسگر به منظور انتخاب سرخوشه های بهینه، روش نوینی پیشنهاد می شود. بعلاوه EGRC میزان انرژی مصرف شده، تاخیر در سرتاسر شبکه را برای حفظ قابلیت اطمینان در انتقال داده ها مد نظر قرار می دهد. معیارهای مختلفی از قبیل: بازده انرژی، قابلیت اطمینان، تاخیر پایانه به پایانه در روش پیشنهادی با روشهای دیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

در [42] یک طرح کارآمد انرژی برای مسیریابی داده برای اینترنت اشیا با استفاده از تکنیک‌های CS پیشنهاد شد. این تحقیق نشان دهنده این است که از CS می توان در برنامه های اینترنت اشیاء استفاده کرد. پس از فرآیند نمونه‌برداریCS ، سیستم اینترنت اشیا به جای ارسال تمام داده‌های سنجش جمع‌آوری‌شده، تنها نیاز به انتقال تعداد معینی از اندازه‌گیری‌های CS دارد. در بخش گیرنده داده ها، سیستم توانایی بازسازی داده های اصلی را بر اساس اندازه گیری ها دارا می باشد. داده های مختلف جمع آوری شده با استفاده از CS می توانند مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرند. نتایج شبیه‌سازی بر روی انواع مختلف داده‌های چندرسانه‌ای برای شفاف‌سازی عملکرد روش پیشنهادی اعمال شده است.

[1] Underwater Acoustic Sensor Networks (UASNs)
[2] Energy-Efficiency Grid Routing based on 3D Cubes (ERCsG)

در [43] یک روش تطبیقی برای کاهش داده(AM-DR[1]) ، یک رویکرد کاهش داده برای کاهش انتقال کلی داده و ارتباط بین گره‌های حسگر در شبکه‌های اینترنت اشیا توصیف شد، به طوری که می‌توان از خوانش‌های سنسور ریز دانه برای بازسازی نسخه اصلی داده ها در یک مرز دقت تعریف شده توسط کاربر استفاده کرد.

ارزیابی روش پیشنهادی با داده های واقعی جمع آوری شده نشاندهنده اینست که روش پیشنهادی تا ۹۵ درصد می تواند مصرف انرژی در ارتباطات ایجاد شده را باعث شود. همچنین روش پیشنهادی دارای دقت بالاتری در مقایسه با کارهای دیگر به منظور ایجاد ارتباط بین گرهها می باشد. برای دستیابی کامل به صرفه جویی انرژی فعال شده توسطAM-DR ، این محققان، یک مدل هزینه ارتباطی ارائه دادند. روش پیشنهادی با پروتکل LEACH می تواند ادغام شود تا عملکرد روش پیشنهادی را در کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه بهبود بخشد.

محدودیت های مختلف (مانند وجود تاخیر و زیاد بودن مصرف انرژی) در اینترنت اشیاء وجود دارد که می توانند بر کارایی شبکه های اینترنت اشیا تاثیر بگذارند. در [44] یک رویکرد هوشمند مبتنی بر الگوریتم گرگ خاکستری برای مسیریابی کارآمد انرژی در شبکه IoT ارائه شده است. در این روش، به منظور بهینه سازی میزان مصرف انرژی در اینترنت اشیاء یک ایده جدید پیشنهاد شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی از نظر توان عملیاتی شبکه و مصرف انرژی از هر دو کلنی زنبورهای مصنوعی (ABC) و الگوریتم پرورش ماهی مصنوعی (AFSA[2]) بهتر عمل می‌کند.

در [٤٥] AOMDV[3] با استفاده از نظریه سیستم خاکستری بهبود یافته است که بهترین مسیرهای مورد استفاده برای مسیرهای جداگانه را برای ارسال بسته ها انتخاب می کند. برای انجام این کار، فرمت بسته بردار فاصله چند مسیری مورد تقاضا (AOMDV) تغییر داده می شود و برخی فیلدها به آن اضافه می شود تا معیارهای انرژی، زمان انقضای پیوند و نسبت سیگنال به نویز نیز در هنگام انتخاب در نظر گرفته شود. بهترین مسیر روش پیشنهادی با نام RMPGST-IoT[4] معرفی شده است که با استفاده از روشی خاص بر اساس نظریه سیستم خاکستری، مسیرهایی را با بالاترین رتبه برای انتقال همزمان داده ها انتخاب می کند. به منظور ارزیابی نتایج، مسیریابی چندمسیری پیشنهادی بر اساس نظریه سیستم خاکستری - (RMPGST) روش اینترنت اشیا با پاسخ اضطراری

[1] Adaptive Method for Data Reduction (AM-DR)
[2] Artificial Fish Schooling Algorithm (AFSA)
[3] Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector (AOMDV)
[4] Routing Multipath based on Gray System Theory (RMPGST)-IoT

اینترنت اشیاء مبتنی بر تصمیم اطلاعات جهانی (ERGID[1]) و مدل مسیریابی توزیع شده آگاه با تاخیر (ADRM[2])مقایسه می‌شود. رویکرد اینترنت اشیا از نظر توان عملیاتی، نرخ دریافت بسته، نرخ تلفات بسته، میانگین انرژی باقیمانده و طول عمر شبکه است. نتایج بدست آمده از ارزیابی عملکرد این روش نشان می دهد که عملکرد بهتری در مقایسه با روشهای دیگر پیشنهاد شده برای اینترنت اشیا می باشد.

در [٤٦] طراحی و اجرای مسیریابی کارآمد انرژی برای اینترنت اشیا بیان شد. معیارهای مسیریابی برای بهینه سازی عملکرد شبکه ترکیب شدند. تکنیک پیشنهادی از سیستم استنتاج فازی برای ادغام معیارهای آگاه از انرژی برای انتخاب مسیر ترجیحی و افزایش طول عمر شبکه‌ها استفاده می‌کند. نتایج با استفاده از MATLAB به دست آمده و عملکرد خروجی برای سناریوی داده شده ٦٣.٤ درصد است.

در [٤٧] با هدف افزایش طول عمر شبکه، بهبود توان عملیاتی، کاهش تأخیر/از دست دادن بسته‌ها در مواجهه با گره‌های مخرب بود. در این تحقیق به منظور افزایش طول عمر شبکه و کاهش مصرف انرژی، یک پروتکل مسیریابی جدید پیشنهاد شده است که این پروتکل دارای سه لایه است. این پروتکل خوشه بندی مبتنی بر متمرکز، می تواند با فعالیتهای مخرب در گرههای حسگر بی سیم جلوگیری کرده و آن فعالیتها و گرههای انجام دهنده آن فعالیتها را در لیست سیاه قرار می دهد. این پروتکل متمرکز است و در آن گره سینک بر اساس مقدار تابع هزینه اقدام به انتخاب سرخوشه می نماید. بعلاوه، ارزیاب های کیفیت پیوند که عمدتا سخت افزاری هستند، برای بررسی میزان تاثیر پروتکل در ایجاد پیوندها و به منظور بهبود کارایی و عملکرد مسیریابی، مورد استفاده قرار می گیرند. در پایان، آزمایش‌های زیادی برای بررسی اثربخشی پروتکل پیشنهادی انجام شده است. این پروتکل از بیشتر پروتکل‌های مشابه خود مانند خوشه‌بندی نابرابر مبتنی بر منطق فازی و هیبرید مسیریابی مبتنی بر بهینه‌سازی کلنی مورچه‌ها، مستعمره زنبورهای مصنوعیSD-، مکانیسم خوشه‌بندی ترکیبی سه لایه پیشرفته و مسیریابی چند هاپ آگاه از انرژی از نظر طول عمر شبکه، افزایش توان عملیاتی در شبکه، کاهش میزان میانگین مصرف انرژی و کاهش تأخیر در تبادل بسته ها عملکرد بهتری داشته است.

در [٤٨] یک پروتکل مسیریابی کارآمد انرژی مبتنی بر RPL برای پهپادها در برنامه‌های IoT پیشنهاد شده است. این پروتکل جدید از دو حالت انتقال (شامل: الف) شبکه جمع‌آوری اطلاعات در مقیاس بزرگ، و ب) ارتباط فوری نقطه به نقطه بین پهپادها) پشتیبانی می‌کند. این دو حالت به طور مشترک انتقال داده ها را بین گره ها

[1] Emergency Response IoT based on Global Information Decision (ERGID)
[2] Ad hoc Delay-aware Distributed Routing Model (ADRM)

سازماندهی می کنند تا تقاضای برنامه های پهپاد در اینترنت اشیا را برآورده کنند. به عنوان یک ویژگی مهم شبکه های پهپاد، معیاری برای تعادل بار انرژی در پروتکل پیشنهاد شده است تا عملکرد شبکه را بهینه کند. بعد از شبیه سازی مشخص شد که پروتکل پیشنهادی دارای عملکرد بهتری در مقایسه با پروتکلهای مسیریابی دیگر می باشد.

اینترنت اشیا (IoT) چارچوبی است که به عنوان شبکه ای از تریلیون ها دستگاه (به نام اشیاء) ساخته شده است که با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند تا راه حل های نوآورانه ای برای مشکلات بلادرنگ ارائه دهند. دستگاه‌ها یا اشیا بر حوادثی که در محیط فیزیکی اتفاق می افتد، نظارت می کنند و داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری‌شده را به ایستگاه یا ایستگاههای پایه تعریف شده ارسال می کنند. در بسیاری از موارد، گره‌های حسگر منابع محدودی مانند انرژی، حافظه، سرعت محاسباتی پایین و پهنای باند ارتباطی دارند. در این سناریو، حسگرهایی که در نزدیکی محل اتفاق افتادن حادثه ای دارند، به جمع آوری داده پرداخته و در نتیجه انرژی آنها سریعتر تخلیه می شود. در شبکه های حسگر بی سیم از سینک های سیار برای کمک به این گرهها استفاده می شود. موقعیت قرارگیری سینک های سیار باعث افزایش میزان سربار شبکه و کاهش مصرف انرژی در این گرهها می شود. در [49]

یک روش نوین برای مسیریابی داده ها به منظور ارسال داده ها به ایستگاههای پایه تعبیه شده پیشنهاد می شود. در روش پیشنهادی، یک مسیر مشخص و از پیش تعریف شده توسط دو جمع آوری کننده داده ها برای پوشش کل شبکه پیشنهاد می شود. روش پیشنهادی از لحاظ بهینه سازی عملکرد شبکه، کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه کارایی خوبی دارد.

در شبکه های آینده با اینترنت اشیا (IoT)، هر یک از اشیاء با اشیای دیگر ارتباط برقرار می کند و به خودی خود اطلاعاتی را به دست می آورد. در شبکه های توزیع شده برای اینترنت اشیا، بهره وری انرژی گره ها یک عامل کلیدی در عملکرد شبکه است. در [۵۰]، یک الگوریتم مسیریابی احتمالی کارآمد انرژی (EEPR[1]) پیشنهاد شده است که انتقال بسته‌های درخواست مسیریابی را به صورت تصادفی به منظور افزایش طول عمر شبکه و کاهش تلفات بسته تحت الگوریتم سیلاب کنترل می‌کند. الگوریتم EEPR پیشنهادی، کنترل احتمالی کارآمد انرژی را با استفاده همزمان از انرژی باقیمانده هر گره و متریک ETX در زمینه پروتکل AODV معمولی اتخاذ می‌کند. در شبیه‌سازی‌ها، این محققان تأیید کردند که الگوریتم پیشنهادی طول عمر شبکه طولانی‌تری دارد و در مقایسه با پروتکل AODV معمولی، انرژی باقی‌مانده هر گره را به طور یکنواخت‌تر مصرف می‌کند.

[1] Energy-Efficient Probabilistic Routing (EEPR)

فصل سوم:
روش پیشنهادی

۳-۱-مقدمه

اینترنت اشیا (IoT) یک الگوی شبکه پرکاربرد است که دستگاه های فیزیکی را از طریق اینترنت به هم متصل می کند و داده ها را از یک دستگاه به دستگاه دیگر رد و بدل می کند. اینترنت اشیا یک مفهوم محاسباتی است که امکان اتصال همه جا به اینترنت و تبدیل اشیاء معمولی به دستگاه های متصل را فراهم می کند. هدف اصلی اینترنت اشیا استقرار میلیاردها یا تریلیون‌ها شیء با قابلیت تشخیص اطلاعات محیطی، انتقال و پردازش داده‌ها و ارائه بازخورد محیطی برای بهبود سبک زندگی انسان است.

اتصال اشیای فیزیکی یا دستگاهها به اینترنت باعث ایجاد پایداری و ارتقای امنیت در صنعت و جامعه می شود. اینترنت اشیاء دارای سه لایه (لایه کاربرد، لایه شبکه و لایه سنجش) می باشد. در لایه حسگر، حس کننده ها یا سنسورها قرار دارند همچنین محرک ها را به میکروکنترلرها وصل می کنیم. در لایه شبکه، دستگاههای بی سیم کم مصرف شبکه برای انتقال داده ها مورد استفاده قرار می گیرند. کاربر یا بیننده می تواند داده های حسگر را در لایه برنامه از طریق موبایل یا برنامه وب مشاهده کند.

برنامه های IoT عبارتند از مراقبت های بهداشتی هوشمند، کشاورزی هوشمند، شبکه هوشمند، خانه هوشمند و غیره. شبکه کم توان و تلفات یکی از رایج‌ترین بخش‌های شبکه اینترنت اشیا با منابع کمتر، توان کمتر و قابلیت‌های پردازش کند است. در اینترنت اشیا، یکی از فرآیندهای ضروری، مسیریابی برای صرفه جویی در انرژی و افزایش قابلیت اطمینان بین گره های شبکه است. پروتکل مسیریابی برای شبکه های کم مصرف می تواند به عنوان یک پروتکل مناسب اینترنت اشیا باشد. نمودار غیر چرخه ای جهت دار در پروتکل های مسیریابی برای انتقال اطلاعات و داده ها از یک شیئی به شیئی دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. پروتکل های مسیریابی در اینترنت اشیاء از

معیارهای مسیریابی مانند تعداد پرش (HC[1])، کیفیت لینک یا انرژی مورد نیاز برای تعداد انتقال مورد انتظار (ETX[۲])، انرژی باقیمانده (RER[3])، بار و شاخص کیفیت پیوند برای انتخاب بهترین گره بعدی برای انتقال داده استفاده می‌کند. مسیریابی روشی برای انتقال داده ها از گره های تعبیه شده در شبکه به سمت دروازه هوشمند به عنوان ریشه گراف غیر چرخه ای جهت دار، است. بهترین مسیر انتخاب والد بهینه با کمترین هزینه مسیر از گره در شبکه تا دروازه هوشمند است. تغییرات مکرر در مسیر شبکه باعث سربار بسته، وجود خرابی و از دست رفتن داده ها در شبکه می شود. از این رو، علاوه بر این که انرژی در گره های شبکه زودتر تخلیه می شود، مسیر ناامنی ایجاد می شود که قابلیت اطمینان در انتقال داده ها را تهدید می کند. بنابراین، ارائه روش های مسیریابی با ایجاد تعادل بین مصرف انرژی و قابلیت اطمینان می تواند به چالش های یاد شده غلبه کند. اخیراً نشان داده شده است که تکنیک الهام گرفته زیستی انتخاب درستی است و در پروتکل های مسیریابی در اینترنت اشیاء، برای انتخاب بهترین گره بعدی برای انتقال داده به کار گرفته شده است. تحقیقات موجود معیارهای مختلفی را برای بهینه سازی مسیر برای بهبود طول عمر شبکه پیشنهاد کرده است. از این رو در روش پیشنهای یک پروتکل انتقال داده مطمئن و کم مصرف در بستر اینترنت اشیاء ارائه شده است که از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره استفاده می کند. در روش پیشنهادی از معیارهای فاصله بین اشیاء، فاصله گره تا مقصد، کیفیت لینک و درجه اطمینان استفاده شده است. در ادامه به تشریح جزئیات روش پیشنهادی خواهیم پرداخت.

۳-۲-روش پیشنهادی

همانطور که اشاره شد، در این تحقیق یک پروتکل انتقال داده مطمئن و کم مصرف در بستر اینترنت اشیاء ارائه شده است که از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره استفاده می کند. روش پیشنهادی از ترکیب الگوریتم ژنتیک چندمعیاره به منظور یافتن مسیرهای بهینه بین گره های موجود در شبکه IoT و دروازه های هوشمند تعبیه شده و انتخاب عامل های مطمئن بر اساس وزندهی در هر مسیر در شبکه به منظور یافتن مسیرهای پشتیبان استفاده می کند. مسیرهای پشتیبان به منظور انتقال داده ها در صورت خرابی و عدم دریافت داده های اصلی از مسیر بهینه، معرفی شده است. در الگوریتم ژنتیک چندمعیاره در روش پیشنهادی از یک تابع هدف چند معیاره برای بهبود اهداف اصلی در شبکه استفاده شده است. معیارهای مربوط به تابع ارزیابی در روش پیشنهادی شامل، فاصله بین اشیاء، فاصله گره تا مقصد، کیفیت لینک(انرژی مورد نیاز برای گام های مورد انتظار در انتقال داده ها تا دروازه) و درجه

[1] Hop Count
[2] Expected Transmission Count
[3] Residual Energy

اطمینان است. در واقع در هرگام در روش پیشنهادی به انتخاب گرهی با کمترین فاصله نسبت به شیء مبدأ و کمترین فاصله تا نقطه دسترسی، با کمترین کیفیت لینک و از همه مهمتر بیشترین درجه اطمینان به عنوان گره بهینه و مطمئن ترین عامل در شبکه انتخاب می شود. همچنین گره پشتیبان به عنوان دومین گره بهینه در گره های همسایه مبدأ با مقادیر معیارهای ارزیابی در رده دوم، به عنوان عامل مطمئن در مسیر پشتیبان انتخاب می شود. انتخاب گره های بهینه در هر گام به یک بهینه سراسری در مسیریابی مطمئن در سیستم های نظارتی در بستر IoT می انجامد. در ادامه ابتدا به تشریح مدل شبکه و مدل مصرف انرژی خواهیم پرداخت و در انتها سایر معیاری های مورد استفاده در روش پیشنهادی بیان خواهد شد.

۳-۲-۱-مدل شبکه

روش پیشنهادی به منظور ارائه رویکرد مسیریابی کم مصرف و امن در بستر اینترنت اشیاء از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره استفاده می کند. در این بستر هر شیء هوشمند از طریق رسانه های ارتباطی بی سیم و یا سیمی می تواند به شبکه متصل شود. تجهیزات هوشمند در ساختمان ها، ادارات، بیمارستان ها، نیروگاه های برق و سایر مراکز در شهر هوشمند گسترده شده است. هر ساختمان شامل بخش های مختلف و تجهیزات ناهمگونی است که برای انجام اعمال مختلف تعبیه شده اند و توانایی ارتباط متفاوتی دارند. در هر ساختمان یک دروازه هوشمند تعبیه شده است که به عنوان یک عامل، علاوه بر برقرای ارتباط بین دستگاه های هوشمند در شبکه درون ساختمان با دستگاه های هوشمند خارج از ساختمان، وظیفه مدیریت انرژی را نیز بر عهده دارد. دروازه های هوشمند از طریق شبکه های ارتباطی در سطح شهر هوشمند به صورت گرید به هم متصل هستند و می توانند با همدیگر ارتباط اطلاعات داشته باشند. علاوه بر این در روش پیشنهادی، هر عامل به عنوان یک دروازه هوشمند به یک سیستم مدیریت انرژی در تجهیزات تعبیه شده در شبکه داخلی ساختمان خود متصل است. این سیستم اطلاعات مربوط به تجهیزات را در خود نگه می دارد و تصمیمات مدیریتی به منظور میزان انرژی مورد نیاز برای تجهیزات درون ساختمان را اتخاذ می نماید.

در روش پیشنهادی ابتدا شبکه حسگر پیشنهادی بر اساس توزیع تصادفی گره‌ها در منطقه تحت پوشش شبیه سازی می‌شود. با توجه به تعاریف مربوط به الگوریتم خوشه‌بندی، روش پیشنهادی اقدام به خوشه‌بندی گره‌های حسگر بی‌سیم تعبیه شده در تجهیزات در شبکه اینترنت اشیاء می‌نماید. در روش پیشنهادی به منظور خوشه‌بندی در ابتدا، چندین گره تصادفی انتخاب می‌شود. سپس سایر گره ها در شبکه بر اساس فاصله خود تا گره های

انتخاب شده، به آن ها تعلق می یابند. گره تصادفی اولیه به عنوان عضو اصلی خوشه انتخاب شده و سایر گره های عضو خوشه خواهند بود. بدین ترتیب خوشه‌های مربوط به گره‌های حسگر در شبکه تشکیل می‌شود.

پس از خوشه‌بندی در شبکه به منظور انتقال داده‌های حس شده، گره‌ها پس از پردازش داده‌ها، در صورتی که داده ای به عنوان داده بحرانی تشخیص داده شود، آن داده را برای ارسال به عامل گره بهینه انتخاب شده توسط الگوریتم ژنتیک چندمعیاره به عنوان عامل امن، که بیشترین مقدار شایستگی را بر اساس تابع تناسب و عملگر انتخاب در خوشه دارد، ارسال می‌کند. مقدار شایستگی در روش پیشنهادی بر اساس ترکیب چهار پارامتر فاصله گره‌های نسبت به یکدیگر، فاصله مستقیم تا دروازه، کیفیت لینک و درجه اطمینان گره تعیین می‌شود. گرهی که دارای کمترین فاصله تا همسایگان خود در شعاع همسایگی باشد و فاصله مستقیم آن تا دروازه کمتر از بقیه باشد و همچنین کیفیت لینک کمتر و درجه اطمینان بیشتری داشته باشد، بیشترین مقدار شایستگی را خواهد داشت. گرهی با بیشترین شایستگی در خوشه به عنوان عامل مطمئن بهینه در هر گام انتخاب می‌شود تا داد های دریافت شده از گره های عضو خوشه را به دروازه انتقال دهد. عامل های مطمئن اگر در مسیر خود تا دروازه با عامل های مطمئن دیگر برخورد داشته باشند، داده‌ها را به آن عامل ها ارسال می‌کنند تا از مزایای انتقال چندعامله استفاده شود. در غیر این صورت اگر عامل های مطمئن در نزدیک ترین خوشه به دروازه قرار داشته باشند، داده‌ها را مستقیماً به سمت دروازه ارسال می‌کند.

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پس از تعیین خوشه‌ها، برخی از گره‌ها ممکن است در شعاع همسایگی هیچ گره دیگری نباشند و به هیچ خوشه ای تعلق نیابند و به صورت گره‌های تکی در شبکه باقی بمانند. چنین گره‌هایی در صورتی که یک داده بحرانی برای ارسال به سمت دروازه داشته باشند، در صورتی که که این گره‌ها نزدیک به دروازه باشند، داده‌های خود را به صورت تک گامه ارسال می‌کنند و در غیر این صورت داده‌های خود را به نزدیک ترین گره از نزدیک ترین خوشه ارسال می‌کنند تا روند مسیریابی بین گره عضو خوشه و عامل های مطمئن در خوشه انجام شود. با ارسال داده‌ها به عامل مطمئن در یک خوشه روند مسیریابی از آن تا گره دروازه به صورت تک گامه یا چندگامه صورت می‌گیرد.

۳-۲-۲-انتخاب گره رهبر خوشه

همانطور که شرح داده شد، در روش پیشنهادی پس از خوشه‌بندی گره‌ها، در مرحله مسیریابی و انتقال اطلاعات، گره‌هایی که حاوی داده‌های بحرانی باشند، آن داده‌ها را به عامل های مطمئن در خوشه ارسال می‌کنند. به منظور انتخاب عامل مطمئن در روش پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره استفاده می‌شود. در این الگوریتم یکی از

مهمترین گام‌ها تعریف کروموزم‌ها و تابع تناسب است. در ادامه به تعریف روش کدگذاری پیشنهادی و تابع تناسب چندهدفه خواهیم پرداخت.

۳-۲-۳-کدگذاری کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک چندمعیاره

همانطور که اشاره شد در روش پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره برای انتخاب عامل های مطمئن استفاده شده است. در الگوریتم ژنتیک چندمعیاره یک از مهمترین مسائل مربوط به کدگذاری کروموزوم‌ها می‌باشد. کدگذاری کروموزم‌ها در واقع نمودی از کل مسئله در روش پیشنهادی است. در روش پیشنهادی به منظور کدگذاری کروموزوم‌ها از تعداد خوشه‌ها در شبکه در هر لحظه استفاده می‌شود به طوری که طول کروموزوم‌ها برابر با تعداد خوشه‌ها بوده و هر یک از ژن‌ها در هر کروموزوم نشان دهنده اندیس گره عامل مطمئن در یک خوشه است. به عبارت دیگر هر کروموزم دارای K ژن است که هر یک از این ژن‌ها مربوط به یک عامل مطمئن در شبکه می‌باشد. نمای اولیه کروموزوم‌ها در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱-کدگذاری کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک چندمعیاره

ژن K	...	ژن ۳	ژن ۲	ژن ۱	کروموزوم
سرخوشه k	...	سرخوشه ۳	سرخوشه ۲	سرخوشه ۱	راه حل

همانطور که در جدول ۳-۱ قابل مشاهده است، تعداد ژن‌ها در هر کروموزوم برابر با تعداد خوشه‌ها است و مقدار هر ژن نشان دهنده اندیس مربوط به عامل مطمئن در گام بعدی برای انتقال اطلاعات می‌باشد. جمعیت اولیه در روش پیشنهادی شامل به صورت تصادفی از بین گره‌های درون هر خوشه انتخاب می‌شود و تابع تناسب بر روی این کروموزوم‌ها اعمال می‌شود. کروموزوهای بهینه به عنوان راه حل‌هایی هستند که مقدار تابع تناسب را بهینه می‌کنند. در بخش بعدی تابع تناسب پیشنهادی تعریف می‌شود.

۳-۲-۳-۱-تابع تناسب در الگوریتم ژنتیک چندمعیاره

در روش پیشنهادی در الگوریتم ژنتیک چندمعیاره چهار فاکتور فاصله درون خوشه ای، فاصله تا دروازه، کیفیت لینک و درجه اطمینان گره به عنوان پارامترهای اصلی در تابع تناسب مورد بررسی قرار می‌گیرد. گرهی که درون خوشه بیشترین درجه اطمینان و کمترین کیفیت لینک، فاصله تا سایر گره‌های درون خوشه، کمترین فاصله تا

دروازه را داشته باشد به عنوان بهترین گزینه برای انتخاب به عنوان عامل مطمئن در نظر گرفته می‌شود. روش پیشنهادی در هر گام کل گره های عضو خوشه را مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و گرهی که شایستگی بیشتری داشته باشد، به عنوان عامل مطمئن خوشه انتخاب می‌شود. بنابراین عامل های مطمئن مدام در حال به روزرسانی و تغییر هستند که در هر مرحله فاکتورهای یاد شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه به مدلسازی فاکتورهای تابع انتخاب عامل امن در خوشه می‌پردازیم.

۳-۲-۳-۲-مدل مصرف انرژی

در این بخش از روش پیشنهادی مدل مصرف انرژی بیان خواهد شد می پردازد. مدل مصرف انرژی به منظور بررسی این که هر دستگاه هوشمند چه مقدار انرژی در دریافت و ارسال داده ها به سمت دروازه هوشمند مصرف می کند، ارائه شده است. مجموع انرژی مصرف شده در دستگاه ها، میزان مصرف انرژی هر عامل را مشخص می کند که از طریق آن می توان به محاسبه کیفیت لینک پرداخت.

مدل مصرف انرژی در روش پیشنهادی به منظور انتقال داده ها ابتدا باید دستگاه بهینه را از بین دستگاه های همسایه برگزیند و اطلاعات مربوط به آن را به عامل هوشمند به منظور به روز رسانی جداول مسیریابی و اطلاعات کلی شبکه، ارسال کند و بعد از آن داده ها را به سمت دستگاه بهینه ارسال کند. از این رو در این قسمت مدل مصرف انرژی را به صورت مجزا مورد بحث قرار میدهیم.

الف) مدل مصرف انرژی برای یافتن دستگاه بهینه

مصرف انرژی شبکه در مرحله یافتن دستگاه بهینه به شرح زیر است. در مرحله اول، دستگاه بهینه پیامی را پخش می‌کند که به بقیه اطلاع می‌دهد، این گره دستگاه بهینه است. همچنین جدول دستگاه‌های بهینه به روزرسانی شده و در بین گره‌های شبکه پخش می‌شود. جدول به گره‌های درون شبکه ارسال می‌شود و مقدار داده انتقالی برابر با t بیت است. مصرف انرژی دستگاه بهینه زمانی که اطلاعات را می‌فرستد به صورت رابطه ۳-۱ محاسبه می‌شود[۱].

$$E_{cn}(t, d_{cn}) = \begin{cases} t(E_{elec} + \tau_f d_{cn}^{2}), & d_{cn} < d_c \\ t(E_{elec} + \tau_m d_{cn}^{4}), & d_{cn} \geq d_c \end{cases} \qquad (۱-۳)$$

که در رابطه ۳-۱، E_{elec} مصرف انرژی به وسیله دستگاه برای انتقال ۱ بیت از داده‌ها است، τ_f و τ_m به ترتیب بیانگر مصرف انرژی تقویت کننده سیگنال هنگام انتقال ۱ بیت داده در هر فاصله واحد در فضای آزاد و مدل‌های

محو شدن چندگانه است. d_{cn} فاصله اقلیدسی سایر گره‌ها تا دستگاه بهینه را نشان می‌دهد. آستانه $d_0 = \sqrt{\frac{\tau_f}{\tau_m}}$ برای تبدیل بین مدل‌های کانال ارتباطی است.

سپس، گره‌های شبکه، اطلاعات t بیتی و جدول مربوط را از دستگاه بهینه می‌پذیرد و مطابق همان جدول، t بیت داده را به دستگاه بهینه به منظور تأیید هویت آن، می‌فرستد. در این فرآیند، مصرف انرژی گره‌های شبکه با استفاده از رابطه ۲-۳ محاسبه می‌شود[۱]:

$$E_{non-cn}(t, d_{cn}) = \begin{cases} t(E_{elec} + \tau_f d_{cn}^2) + t \times E_{elec}, & d_{cn} < d_c \\ t(E_{elec} + \tau_m d_{cn}^4) + t \times E_{elec}, & d_{cn} \geq d_c \end{cases} \quad (۲-۳)$$

سرانجام، مصرف انرژی فرایند برای این که دستگاه بهینه، گره‌های شبکه را قبول کند تا بسته اطلاعاتی را برای آنها ارسال می‌کند که طریق رابطه ۳-۳ محاسبه می‌شود[۱]:

$$E_{cn}(t, d_{cn}) = tE_{elec} \times \left(\frac{N}{M} - 1\right) \quad (۳-۳)$$

به طور خلاصه، مصرف انرژی کلی شبکه $Energy1$ در مرحله یافتن دستگاه بهینه توسط رابطه ٤-۳ خلاصه می‌شود[۱].

$$Energy1 = \begin{cases} \min\left(tE_{elec} \times \left(\frac{N+2}{M} - 1\right) + \tau_f d_{cn}^2 \times \left(\frac{N}{M} - 1\right)\right), d_{cn} < d_c \\ min\left(tE_{elec} \times \left(\frac{N+2}{M} - 1\right) + \tau_m d_{cn}^4 \times \left(\frac{N}{M} - 1\right)\right), d_{cn} \geq d_c \end{cases} \quad (٤-۳)$$

ب) مدل مصرف انرژی به منظور انتقال داده های حس شده به دستگاه بهینه

مصرف انرژی شبکه به منظور انتقال داده های حس شده به دستگاه بهینه از دو بخش D_{no} و D_{en} تشکیل شده است. فراوانی تعداد گره‌های درون شبکه در هر حوالی هر به منظور انتقال داده های حس شده به دستگاه بهینه با D_{no} نشان داده می شود که در رابطه ۵-۳ قابل محاسبه است[۱].

$$D_{no} = \frac{\sum_{i=1}^{m}(v_i - u)^2}{m} \quad (۵-۳)$$

که در آن v_i تعداد گره‌های عضو خوشه در خوشه i است، u میانگین تعداد گره‌های عضو هر خوشه در شبکه است. هرچه مقدار آن کوچکتر باشد، تعداد دستگاه‌ها در هر حوالی دستگاه بهینه به طور متوسط بیشتر است، به این معنی که توزیع گره‌ها در حوالی دستگاه بهینه متعادل تر است

مصرف انرژی گره‌ها در هر حوالی دستگاه بهینه D_{en} است. مقدار آن هرچه کوچکتر باشد و مصرف انرژی در حوالی دستگاه بهینه متوسط تر است و از رابطه ۳-٦ محاسبه می‌شود:

$$D_{en} = \frac{\sum_{i=1}^{m}(E_i - u_e)^2}{m} \quad (۳-٦)$$

که در آن E_i کل مصرف انرژی در حوالی دستگاه بهینه iام و u_e میانگین مصرف انرژی در کل شبکه است.

به طور خلاصه، مصرف انرژی د شبکه به منظور انتقال داده های حس شده به دستگاه بهینه از رابطه ۳-۷ محاسبه می‌شود [۱]:

$$Energy2 = \min(D_{no} + D_{en}) \quad (۳-۷)$$

بدین ترتیب به منظور بهینه سازی مصرف انرژی در روش پیشنهاید می‌توان عامل مطمئن مناسبی را انتخاب کرد که بر اساس فاکتورهای یادشده، بتواند مصرف انرژی را بهبود بخشد یا به عبارت دیگر انرژی باقیمانده بیشتری داشته باشد.

۳-۲-۳-۳- فاصله بین گره‌ها

در شبکه IoT، گره‌های میانی باید داده‌های حس شده از محیط را به سمت عامل (دروازه) هوشمند ارسال کنند. زمانی که گره مبدا به عنوان دستگاهی هی که هم اکنون بسته‌های اطلاعاتی را در اختیار دارد، اقدام به ارسال اطلاعات می‌کند، سعی دارد بسته‌های اطلاعاتی را به نزدیکترین دستگاه یا عامل موجود در همسایگی خود ارسال کند. ارسال بسته‌های اطلاعاتی در کوتاهترین فاصله بین گره‌ها علاوه بر این که تأخیر انتقال اطلاعات بین مبدأ و عامل هوشمند را کاهش می‌دهد، مصرف انرژی را نیز متعادل می‌کند. مدل فاصله بین گره‌ها در رابطه ۳-۸ بیان شده است:

$$D(K, K+1) = min\left(\sum_{K=1}^{N}\left(\sqrt{x_K - x_{K+1}}\right)^2\right) \quad (۳-۸)$$

که در آن $D(K,K+1)$ فاصله بین گره‌های فعلی و نزدیک ترین گره در گام بعدی، K تعداد گره همسایه گره فعلی، N تعداد کل گره‌ها در شبکه IoT، x_K موقعیت گره فعلی و x_{K+1} موقعیت گره بعدی است.

۳-۲-۳-٤-فاصله گره بعدی تا عامل هوشمند

در شبکه‌های IoT، تجهیزات می‌تواند به عنوان رله ای بین گره‌های مبدأ و عامل هوشمند عمل کند. به منظور انتخاب مسیر بهینه از نظر انرژی بین گره مبدأ و عامل هوشمند، نزدیک ترین مسیر می‌تواند به تأخیر کلی کمتر و صرفه جویی در مصرف انرژی بیانجامد. فاصله گره بعدی تا عامل هوشمند می‌تواند تعیین کننده همگرائی مسیر به سمت عامل هوشمند باشد. در واقع اگر فاصله گره بعدی تا عامل هوشمند کمتر از فاصله گره کنونی تا عامل هوشمند باشد، مسیر انتخاب شده در راستای عامل هوشمند همگرا می‌شود و بنابراین گره فعلی از میان همسایگان خود گرهی را که کمترین فاصله تا عامل هوشمند را داشته باشد، به عنوان گرهی در مسیر درست انتخاب می‌کند. مدل فاصله بین گره بعدی تا عامل هوشمند به صورت رابطه ۹-۳ بیان شده است.

$$D(K+1,SA) = min\left(\sum_{K=1}^{N}\left(\sqrt{x_{K+1}-x_{SA}}\right)^2\right) \qquad (۹-۳)$$

که در آن SA نشان دهنده عامل هوشمند و x_{SA} نشان دهنده موقعیت عامل هوشمند است.

۳-۲-۳-٥-کیفیت لینک

کیفیت لینک در WSN، به عنوان یک معیار برای تخمین هزینه مورد نیاز برای انتقال داده‌ها بین گره‌های حسگر در نظر گرفته می‌شود. کیفیت لینک با یک معیار به نام ETX[1] (انتقال مورد انتظار) برای نشان دادن میزان تخمینی هزینه بین یک گره سرخوشه و گره‌های عضو خوشه بالقوه آن در زمان تجمیع داده و تخمین هزینه لازم بین گره سرخوشه تا گره دروازه، استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، برای یک گره سرخوشه، ETX مجموع تخمینی هزینه برای جمع‌آوری داده‌ها از گره‌های عضو خوشه متعلق به آن و انتقال چندگامه داده‌های تجمیع شده به دروازه است. در محاسبه ETX، تعداد گام‌های لازم برای ارسال بسته‌های اطلاعاتی از یک گره عضو خوشه به یک گره سرخوشه و به دنبال آن به گره دروازه و همچنین فاصله بین گره‌ها، مهم است. از آنجایی که در WSN، اصلی ترین منبع هزینه همان مصرف انرژی است و در روش پیشنهادی هدف کاهش مصرف انرژی است، پس از یک پارامتر نوین با عنوان ازEETX (ETX آگاه از انرژی) برای سنجش کیفیت لینک بین گره سرخوشه انتخابی استفاده می‌کنیم و آن را به عنوان مقدار تخمینی انرژی لازم برای جمع‌آوری داده از گره‌های عضو خوشه و انتقال

[1] Expected transmission count

آن به دروازه می‌نامیم. بدیهی است هرچه eETX برای یک گره سرخوشه کمتر باشد، کیفیت لینک آن بهتر است. مدل سازی کیفیت لینک در رابطه ۳-۱۰ نشان داده شده است.

$$ETX(k,d) = min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{K} (\varepsilon_e * n_i * d_{ij}^{2}) + (K - 1 * D_{jK}^{2}) \quad (۱۰-۳)$$

در رابطه ۱۰-۳، ε_e ثابت مصرف انرژی برای ارسال داده‌ها، n_i تعداد اعضای خوشه i ام، d_{ij}^{2} فاصله درون خوشه ای، K تعداد خوشه‌ها و D_{jK}^{2} فاصله تخمینی سرخوشه از سایر سرخوشه‌هاست.

۳-۲-۳-۶-درجه اطمینان مسیر

در روش پیشنهادی به منظور یافتن مسیر مطمئن برای انتقال اطلاعات بین گره مقصد و ایستگاه پایه، درجه اطمینان گره‌ها در هر گام بررسی می‌شود. گره فعلی به منظور انتقال بسته‌های اطلاعاتی به گره‌های همسایه، باید گرهی را که بیشترین درجه اطمینان در همسایگی انتخاب کند که مسیر مطمئنی بین گره مقصد و ایستگاه پایه ایجاد شود. درجه اطمینان در روش پیشنهادی به صورت رابطه ۳-۱۱ محاسبه کمی شود.

$$R(K, K+1) = \min\left(\sum_{i=1}^{M} \left(1 - \frac{\mathrm{PRR}_{(K,K+1)}}{PDP_{(K,K+1)}}\right)\right) \quad (۱۱-۳)$$

که در آن $\mathrm{PRR}_{(K,K+1)}$ نرخ دریافت بسته‌های اطلاعاتی بین گره کنونی و گره همسایه و $PDP_{(K,K+1)}$ نرخ ارسال بسته‌های اطلاعاتی بین گره کنونی و گره همسایه است.

روش پیشنهادی باتوجه به پارامترهای اشاره شده، به انتخاب گره بهینه در همسایگی و در شبکه IoT می‌پردازد. از این رو تابع تناسب پیشنهادی بر اساس تجمیع مقادیر پارامترهای ذکر شده در رابطه ۳-۱۲ نشان داده شده است.

$$\mathrm{Min}\ \ g = \sum_{i,j=1}^{n} \mathrm{D_{ij}} + \sum_{i=1}^{n} \mathrm{DS_i} + \sum_{i,j=1}^{n} ETX_i - \sum_{i,j=1}^{n} R_{ij}$$

S.t.

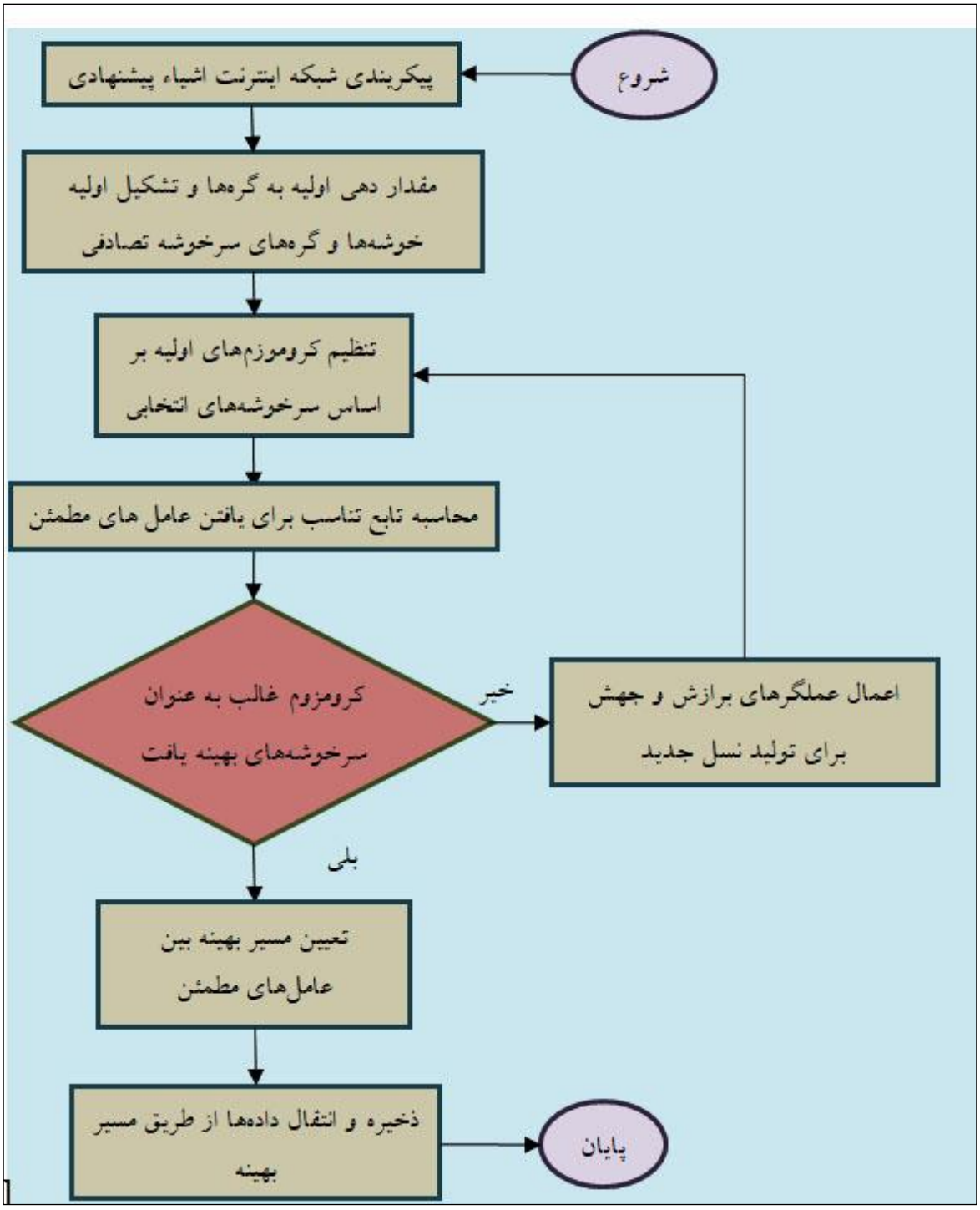
$$\sum_{i=1}^{n} \mathrm{D_i} \leq \mathrm{DS_i}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \mathrm{DS_{i-1}} \leq \mathrm{DS_i}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \mathrm{R_{ij}} \geq \varepsilon$$

$$\sum_{i,j=1}^{n} E_i \leq E_{Total} \qquad (۱۲-۳)$$

که در آن Di به عنوان فاصله گره منبع تاهاپ بعدی، DSi به عنوان فاصله تخمینی‌هاپ بعدی تا دروازه، Rij درجه اطمینان بین عامل مطمئن وهاپ بعدی و ETX برای کیفیت لینک یا انرژی لازم برای تعداد گام های مورد انتظار از گره حسگر تعبه شده در دستگاه تا دروازه می‌باشد. هر چه مقدار تابع تناسب یک دستگاه در مسیر بین گره مبدأ و دروازه کمتر باشد، درجه اطمینان آن بیشتر بوده و احتمال خرابی آن کمتر است. انتخاب راه حل‌های جزئی بهینه در مسیر از گره مبدأ تا گره دروازه منجر به مسیریابی بهینه سراسری خواهد شد. در شکل فلوچارت روش پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل ۳-۱-فلوچارت روش پیشنهادی

فصل چهارم

پیاده سازی و ارزیابی

٤-١-مقدمه

در اینترنت اشیا، دستگاه‌ها و تجهیزات هوشمند تعبیه‌شده داده‌هایی را از محیط دریافت می‌کنند که بر اساس آن‌ها برای عملکردهای خاص در دستگاه‌ها تصمیم‌گیری می‌شود. این داده‌ها ممکن است داده‌های مهمی باشند که باید به سرعت مدیریت شوند، یا داده‌هایی درباره رویدادهای رایج که نیاز به نظارت و بررسی دارند. از سوی دیگر، به دلیل محبوبیت اینترنت اشیا و تنوع دستگاه‌های هوشمند موجود، حجم داده‌های جمع آوری شده توسط دستگاه‌ها در حال افزایش است، بنابراین اکثر دستگاه‌ها قادر به ذخیره و پردازش این داده‌ها نخواهند بود. بنابراین، رویکردی که به نظر می‌رسد، انتقال داده‌ها به منابع ذخیره سازی و پردازش خارج از محیط شبکه اینترنت اشیا است. از سوی دیگر، انتقال امن داده‌ها به یکی از چالش‌های اساسی تبدیل شده است که محققان سعی در ارائه راهکارهای موثر در این زمینه داشته اند. در این تحقیق از رویکرد چند عاملی به منظور ارائه یک رویکرد مسیریابی کم مصرف و مطمئن با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره برای اینترنت اشیا استفاده شده است. در ادامه این فصل، روش پیشنهادی را پیاده سازی می‌کنیم.

٤-٢-پیاده سازی روش پیشنهادی

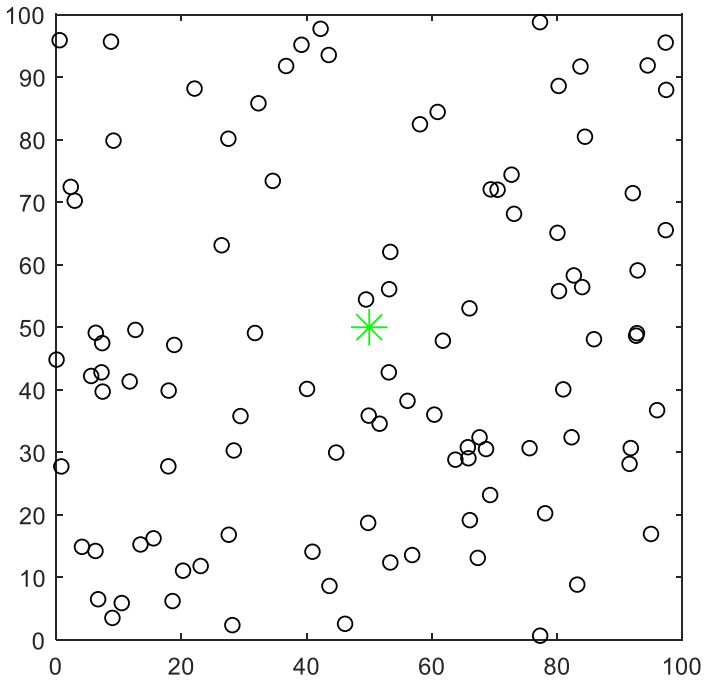
در روش پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره به منظور یافتن گره‌های امن بهینه در شبکه اینترنت اشیاء به منظور انتقال داده‌ها استفاده شده است. این روش یک پروتکل مسیریابی را در اینترنت اشیاء ارائه می‌کند که در هر گام از ارسال داده‌ها توسط سنسورها، موقعیت گره‌های امن بر اساس پارامترهای شبکه به روز رسانی می‌شود. رویکرد چندعاملی با بررسی راه حل‌های ممکن بر اساس تابع تناسب، راه حل بهینه را که شامل گره‌های مطمئن در شبکه است را پیدا می‌کند. تابع تناسب پیشنهادی پارمترهای یاد شده را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و

مقادیر شایستگی را برای گره‌های مطمئن فعلی و سایر گره‌های شبکه بر می‌گرداند. بر اساس مقدار شایستگی گره‌ها، تصمیم به ابقا گره مطمئن جاری یا تعویض آن با عضو دیگری از شبکه گرفته می‌شود. سپس جداول مسیریابی به روز رسانی می‌شود و در صورتی که گرهی در شبکه جابجا شده باشد، به روز رسانی مکان گره‌ها در جدول مسیریابی نیز مجدداً صورت می‌گیرد. این فرایند تا پایان عمر شبکه ادامه خواهد یافت.

به منظور پیاده سازی روش پیشنهادی، ابتدا نیاز به شبیه سازی شبکه اینترنت اشیاء در محیط نرم افزار متلب داریم. شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی در محیطی به ابعاد ۱۰۰*۱۰۰ بر اساس پارامترها و تنظیمات استاندارد که از سایر نشریات اقتباس شده است، شبیه سازی می‌شود. این شبکه دارای ۱۰۰ دستگاه هوشمند مجهز به حسگرهای هوشمند است که هر یک از این دستگاه‌ها به عنوان یک عامل در روش پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود و در ادامه این فصل به عنوان گره از آن‌ها یاد می‌شود. توزیع مکان گره‌ها در شبکه به صورت تصادفی صورت گرفته است تا قابلیت تعمیم برای سناریوهای خاص را نیز داشته باشد. همچنین یک دروازه در وسط شبکه پیاده سازی شده است تا مسئول دریافت داده‌های جمع آوری شده از محیط و مدیریت کل شبکه باشد و گره‌ها با دروازه تبادل اطلاعات کنند. در جدول ٤-١ پارامترهای اولیه در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی نشان داده شده است. در شکل ٤-١ شبیه سازی اولیه گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی نمایش داده شده است.

جدول ٤-١-پارامترهای اولیه شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی

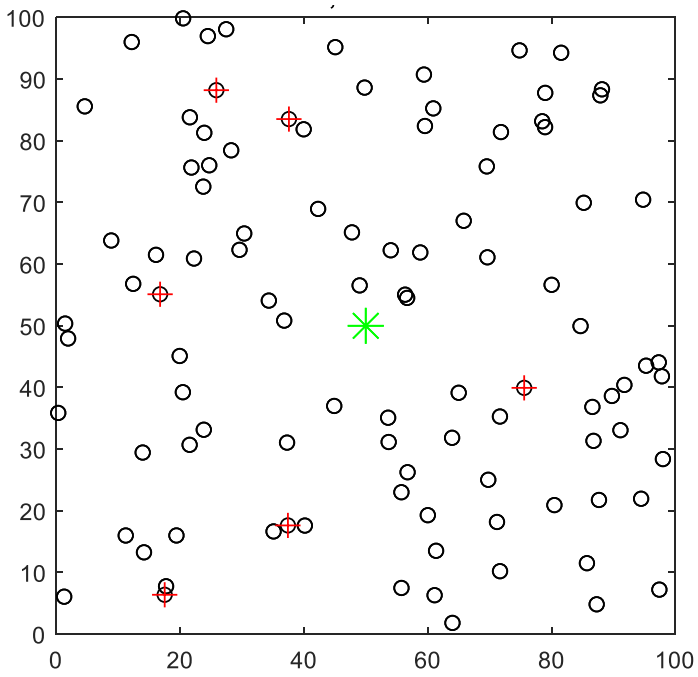
پارامتر	مقدار
ابعاد شبکه	۱۰۰×۱۰۰
تعداد گره‌ها	۱۰۰
مختصات دروازه	(۵۰،۵۰)
انرژی اولیه گره‌ها	۰.۵
ضریب مصرف انرژی در ارسال داده	۵×۱۰۸
ضریب مصرف انرژی در دریافت داده	۵×۱۰۸
ضریب مصرف انرژی در ارسال بسته مسیریابی	۱×۱۰۱۰
ضریب مصرف انرژی در ارسال بسته مسیریابی	۱۳×۱۰۱۳
ضریب مصرف انرژی در تجمیع داده	۵ ×۱۰۹
حداکثر تعداد دور	۳۵۰۰
طول بسته داده	٤۰۰۰
تعدا ارسال بسته در هر گام	۱۰
طول بسته مسیریابی	۱۰۰
برد رادیویی	۵۰۰



شکل ٤-١-پیاده‌سازی شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی

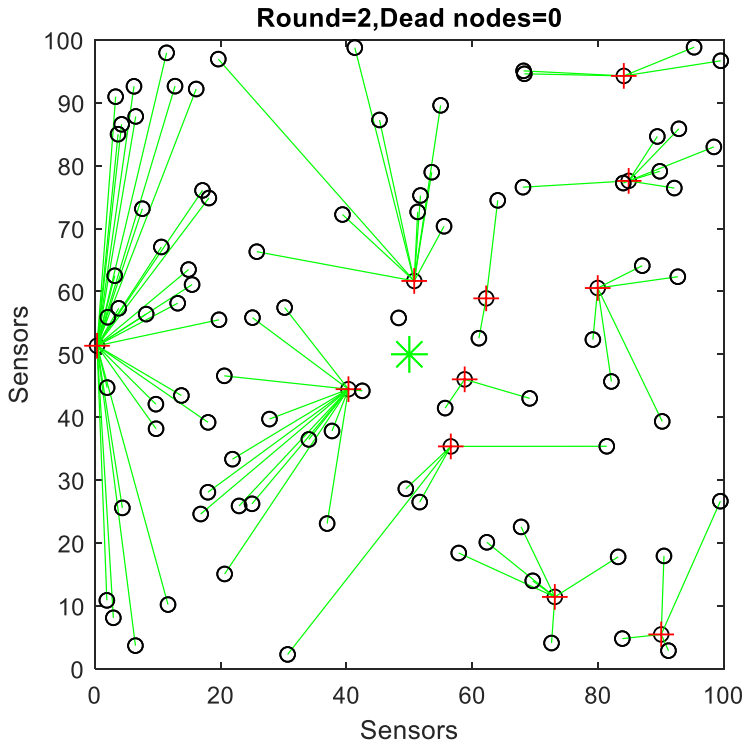
بر اساس شکل ٤-١، شبیه سازی ابتدایی شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی با ١٠٠ گره و محدوده ارتباطی هر یک از گره‌ها نشان داده شده است. شبکه حسگر بی‌سیم علاوه بر ویژگی‌های مربوط به شبکه‌های اینترنت اشیاء، ار ارتباط مستقیم گره‌ها نیز بهره می‌برد. به عبارت دیگر در شبکه اینترنت اشیاء در مرحله آغازین، گره‌های شبکه به صورت پیش فرض به برخی گره‌های دیگر ارتباط مستقیم دارند که همین امر موجب تجمیع داده‌ها در شبکه می‌شود.

در مرحله اولیه اطلاعات مربوط به گره‌ها از شبکه طی ارسال بسته‌های مسیریابی توسط دروازه جمع آوری می‌شود. در روش پیشنهادی این اطلاعات شامل مکان گره‌ها و سطح انرژی باقیمانده برای گره‌هاست. بنابراین برای هر گره یک مقدار مکان و انرژی در جداول مسیریابی ذخیره می‌شود تا در رویکرد چندعاملی پیشنهادی مورد استفاده قرار گیرد. در این گام از روش پیشنهادی، چندین گره به صورت تصادفی به عنوان گره‌های امن اولیه تعیین می‌شود. این گره‌های به عنوان یک راه حل اولیه هستند و در رویکرد چندعاملی نیاز به ارزیابی دارند. انتخاب تصادفی گره‌های امن اولیه به منظور اطلاع رسانی به گره‌ها برای انتقال اطلاعات و اعمال رویکرد چندعاملی در شبکه به منظور یافتن گره‌های امن بهینه نهایی است. در شکل ٤-٢ گره‌های امن ابتدایی در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی نمایش داده شده است.



شکل ٤-٢-خوشه‌بندی در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی

بر اساس شکل ٤-٢ می‌توان مشاهده کرد، برخی از گره‌های در شبکه به صورت علامت‌های قرمز رنگ از سایر گره‌های شبکه که با دایره مشکی رنگ نشان داده شده است، متمایز شده اند. حال در این گام به انتخاب اولیه گره‌های مطمئن و انتقال داده‌ها توسط سایر گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی خواهیم پرداخت. با توجه به این که مکان مربوط به گره‌ها در شبکه مشخص است، از این رو فاصله گره‌ها از گره‌های امن بر اساس معیار فاصله اقلیدسی سنجیده می‌شود. با توجه به این که ٦ گره امن در شبکه انتخاب شده است، پس برای هر گره ٦ مقدار فاصله محاسبه می‌شود. هر گره با گره امنی که کمترین مقدار فاصله را دارد، تبادل اطلاعات می‌کند. بنابراین تقسیم‌بندی اولیه بر اساس فاصله اقلیدسی با استفاده از کوتاهترین فاصله، تشکیل می‌شود. در شکل ٣-٤ تقسیم بندی اولیه گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی نمایش داده شده است.



شکل ٤-٣-تقسیم‌بندی اولیه گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی

بر اساس شکل ٤-٣ می‌توان مشاهده کرد، گره‌ها با توجه به فاصله خود از گره‌های امن، تقسیم بندی اولیه را تشکیل داده اند. بر ایا اساس جدول مسیریابی به روز رسانی می‌شود و مشخص می‌شود که هر گره به منظور انتقال اطلاعات باید با کدام گره تبادل اطلاعات کند. همچنین در شکل ٣-٤ می‌توان دید که برخی از گره‌ها در نزدیکی دروازه به هیچ گره مطمئنی تعلق نیافته اند. این گره‌های در صورت لزوم از دروازه برای انتقال اطلاعات استفاده خواهند کرد و دروازه نیز به عنوان یک عامل در شبکه اینترنت اشیاء تعبیه شده است.

در گام بعدی رویکرد الگوریتم ژنتیک چندمعیاره وارد عمل می‌شود و داده‌های مربوط به گره‌ها و گره‌های اولیه و تقسیم بندی اولیه به عنوان ورودی مورد استفاده قرار خواهد داد. جمعیت اولیه کروموزم ها در این رویکرد شامل راه‌حل‌هایی است که در قالب بردارهایی وارد می‌شوند. این بردارها دارای درایه‌هایی به طول تعداد گره‌های مطمئن است که هر درایه نمایش دهنده یک گره مطمئن کاندیدا می‌باشد. هر یک از بردارها در جمعیت اولیه به عنوان یک راه حل به حساب می‌آید. راه‌حل‌ها باید ارزیابی شوند تا راه حل‌های بهینه از راه‌حل‌های غیر بهینه تفکیک گردد. از این رو گره‌های مطمئن بر اساس تابع تناسب مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. تابع تناسب برای هر یک از راه حل‌ها یک مقدار بهینگی ارائه خواهد داد. سپس راه حل‌ها بر اساس مقدار بهینگی خود مرتب سازی می‌شوند و راه حلی که بالاترین مقدار بهینگی را دارد به عنوان مسیر شامل عامل‌های مطمئن شناسایی می‌شود. این راه حل به عنوان راه حل نهایی در آن مرحله از رویکرد

چندعاملی است که بر مبنای عامل‌های هوشمند مطمئن تشکیل شده است. در جدول ۲-٤ اطلاعات مربوط به راه حل بهینه در اولین دور از انتقال اطلاعات در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی نمایش داده شده است.

جدول ٤-۲-اطلاعات عامل‌های مطمئن در رویکردچندعاملی پیشنهادی

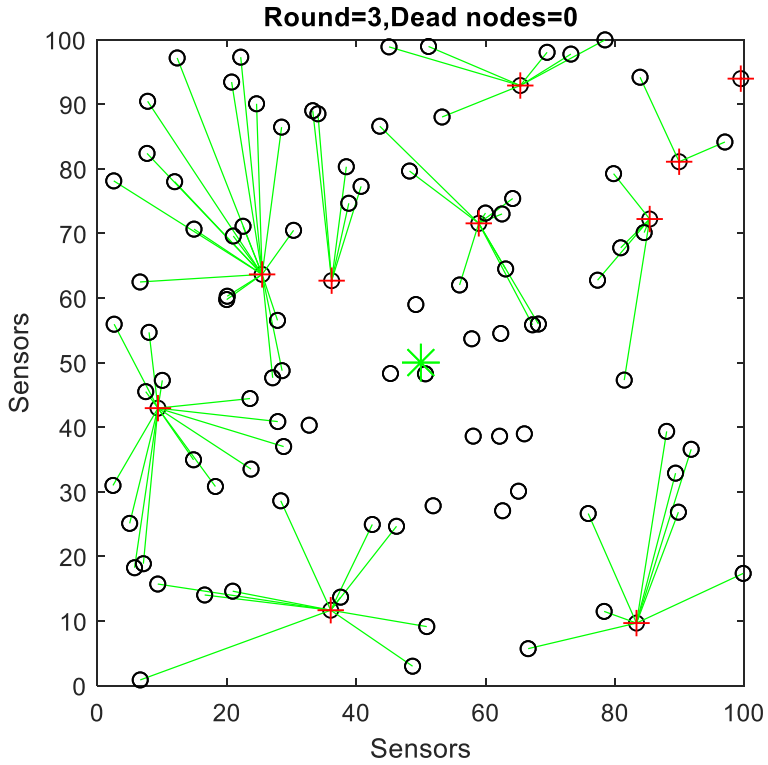
شماره سرخوشه	۱	۲	۳	٤	٥	٦
اندیس سرخوشه	۳۱	۱٤	۷٤	٦۰	٤۹	۹۷
انرژی باقیمانده	۰.٤۹۹۹٦	۰.٤۹۹۹٥	۰.٤۹۹۹٥	۰.٤۹۹۹٥	۰.٤۹۹۹٥	۰.٤۹۹۹٥
فاصله تا سرخوشه‌ها	٥٤.٦٥	٤۲.٥۲	٤٦.٦۷	٤۱.۱٤	۳۸.۲٤	۳۳.٦٥
کیفیت لینک	۰.۳٦۸٤	۰.۳۷٤۱	۰.۳۸۹٦	۰.۳٦۷٤	۰.۳٥۱۲	۰.۳٦۰۲
درجه اطمینان	۰.۸٤۳٦	۰.۷٤۹۸	۰.۸۳۲٤	۰.۷۹٥٤	۰.۷۷٤۲	۰.۸٥۱۱
مقدار بهینگی	۰.۸۷٥۳	۰.۸٦۳۲	۰.۸۸۲٤	۰.۸٤۱۱	۰.۸٥۳۸	۰.۸٥۷٤

با توجه به جدول ٤-۲ می‌توان مشاهده کرد، برای هر یک از عامل‌های مطمئن انتخاب شده، مقادیر پارامترهای مربوط به تابع ارزیابی ومقدار بهینگی با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره محاسبه شده است. حال بر اساس این راه حل و عامل‌های مطمئن انتخاب شده توسط رویکرد چندعاملی پیشنهادی، نیاز به به روز رسانی جدول مسیریابی می‌باشد.

در طول فرایند به روز رسانی جدول مسیریابی، عامل‌های مطمئن ابتدا اطلاعات خود را در جدول مسیریابی به روز می‌کنند و پیامی را در قالب یک پیام مسیریابی به تمام گره‌های شبکه ارسال می‌کنند. با این کار علاوه بر اعلام خود به عنوان گره مطمئن، اطلاعاتی در مورد گره‌ها نیز دریافت می‌کنند. بر این اساس، گره‌ها یک پیام پاسخ مسیریابی به گره مطمئن ارسال می‌کنند تا شناسایی و احراز هویت شوند. گره مطمئن پس از دریافت

پیام‌های پاسخ مسیریابی، جدول مسیریابی را به روز می‌کند و گره‌های نزدیک به خود را که وظیفه کنترل و انتقال اطلاعات آنها را به دروازه بر عهده دارند، تعیین می‌کند و آنها نیز این اطلاعات را به دروازه ارسال می‌کنند.

پس از تقسیم‌بندی اولیه، گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء ممکن است با توجه به تعیین عامل‌های مطمئن جدید، نیاز به تقسیم‌بندی مجدد داشته باشند. در این صورت نیاز است تا تقسیم‌بندی تغییر یابد. با توجه به ایده پیشنهادی در هر مرحله قبل از انتقال اطلاعات، داده‌های مربوط به مکان گره‌ها در شبکه با داده‌های مکانی جدید عامل‌های مطمئن مقایسه می‌شود و در صورتی که تغییری در این داده‌ها حاصل شود، به روز رسانی در شبکه مشخص می‌شود. در روش پیشنهادی تنها گره‌های مربوط به گره مطمئنی که تغییر کرده است، به روز رسانی می‌شوند و روند تقسیم‌بندی برای کل شبکه مجدداً اجرا نمی شود. در چنین حالتی سربار شبکه بسیار کمتر خواهد بود. در شکل ٤-٤ به روز رسانی فرایند تقسیم‌بندی گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی نمایش داده شده است.

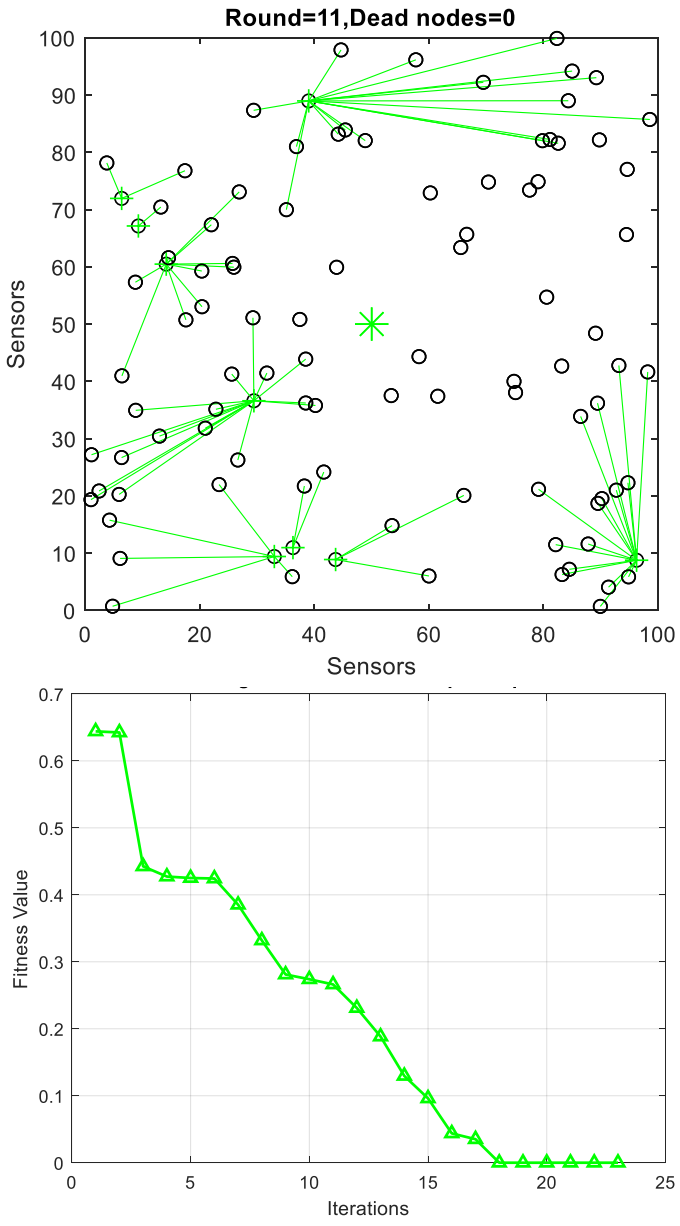


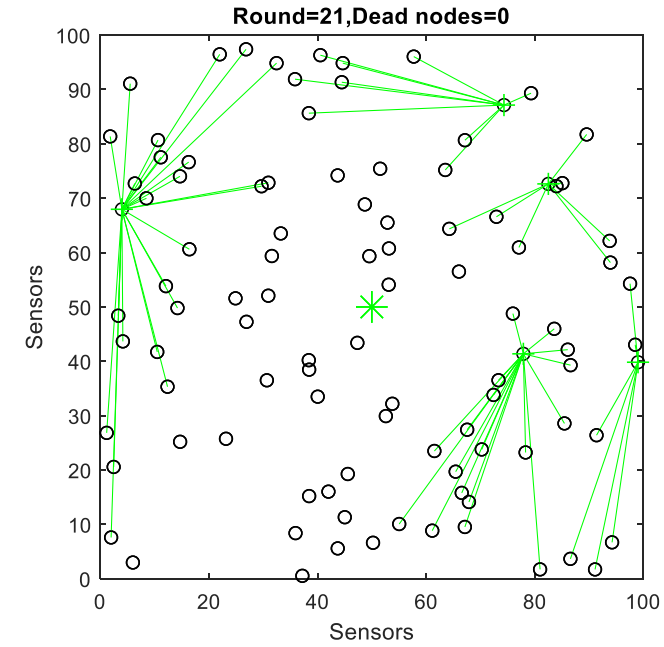
شکل ٤-٤-به روز رسانی تقسیم بندی گره‌ها در اینترنت اشیاء پیشنهادی

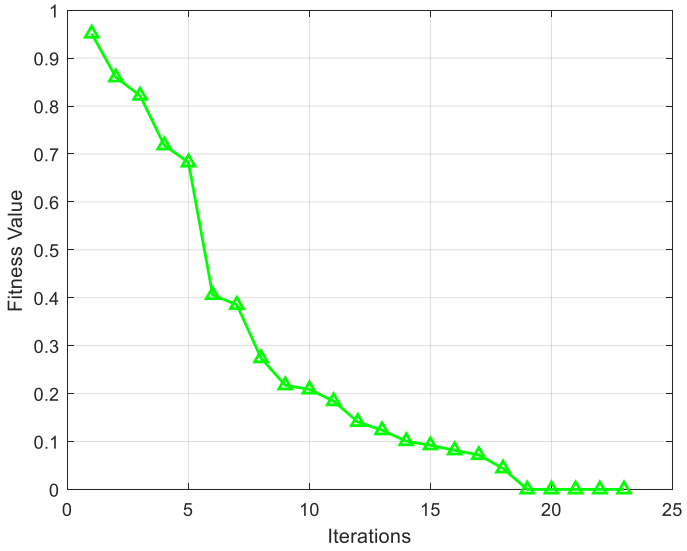
با توجه به شکل ٤-٤ نشان داده شده است، ساختار تقسیم بندی گره‌ها در شبکه با توجه به تغییر عامل‌های مطمئن، تغییر یافته است. عامل‌های مطمئن نسبت به دور قبل تغییر می‌کنند و نیاز است گره‌های متناظر به آن‌ها

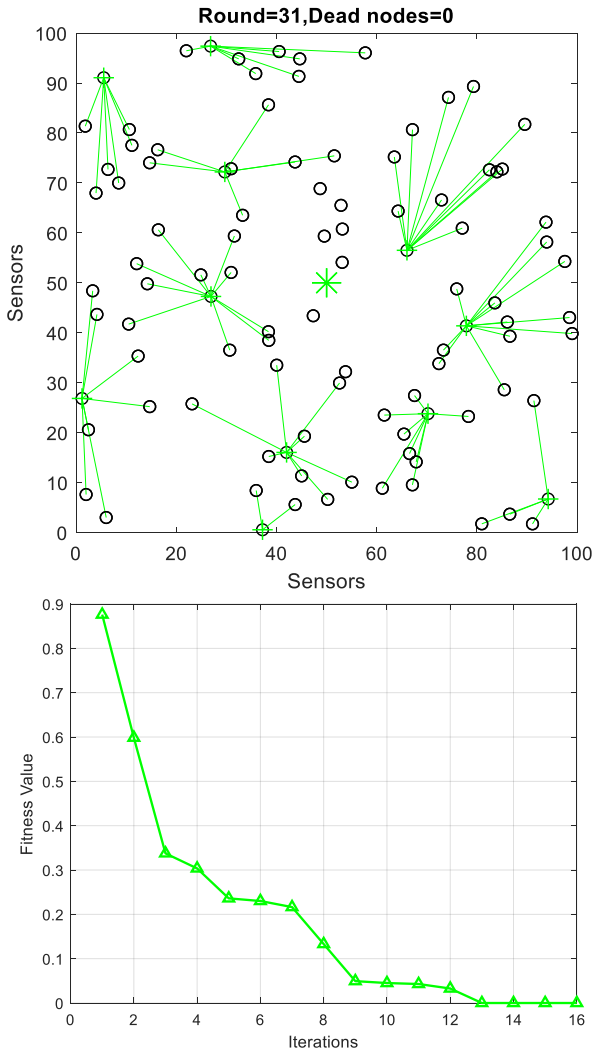
در هر دور به روز رسانی شود. عامل‌های مطمئن موقعیت جدید خود را به اعضای شبکه و دروازه اطلاع می‌دهند تا در صورت نیاز در روند به روز رسانی، داده‌های مربوطه در جداول مسیریابی نیز به روز رسانی شوند.

پس از اجرای مراحل الگوریتم ژنتیک چندمعیاره، عامل‌های مطمئن بر اساس پارمترهای یاد شده و بر اساس ارزیابی صورت گرفته توسط تابع تناسب انتخاب می‌شوند. در روش پیشنهادی عامل‌های مطمئن مسئولیت کنترل گره‌های مربوط به خود و انتقال داده‌های مورد نیاز به دروازه را بر عهده دارند. در صورتی که فاصله گره‌ها تا دروازه کمتر از فاصله گره تا نزدیک ترین گره مطمئن باشد، با یک انتقال تک گامه اطلاعات به دروازه ارسال می‌شود. در غیر اینصورت نیاز به مسیریابی بین عامل‌های مطمئن از مبدأ تا دروازه است. در این زمان است که سایر عامل‌های مطمئن نقش رله را بازی می‌کنند تا اطلاعات را از یک گره مطمئن به گره مطمئن دیگر انتقال دهند. در این زمان مسیر نهایی بین مبدأ و دروازه از میان عامل‌های مطمئن توسط رویکرد چندعاملی پیشنهادی، مشخص شده و در جدول مسیریابی کل شبکه ثبت می‌شود. همین مراحل در روند انتقال اطلاعات در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی تکرار می‌شود تا زمانی که انرژی برخی از گره‌ها به پایان رسد و نتوان به انتقال اطلاعات در گره پرداخت. در شکل‌های ۵-٤ روند انتقال اطلاعات و مقادیر تابع تناسب برای عامل‌های مطمئن در ۱۰۰ مرحله تکرار اولیه هر ۱۰ دور یکبار نمایش داده شده است.

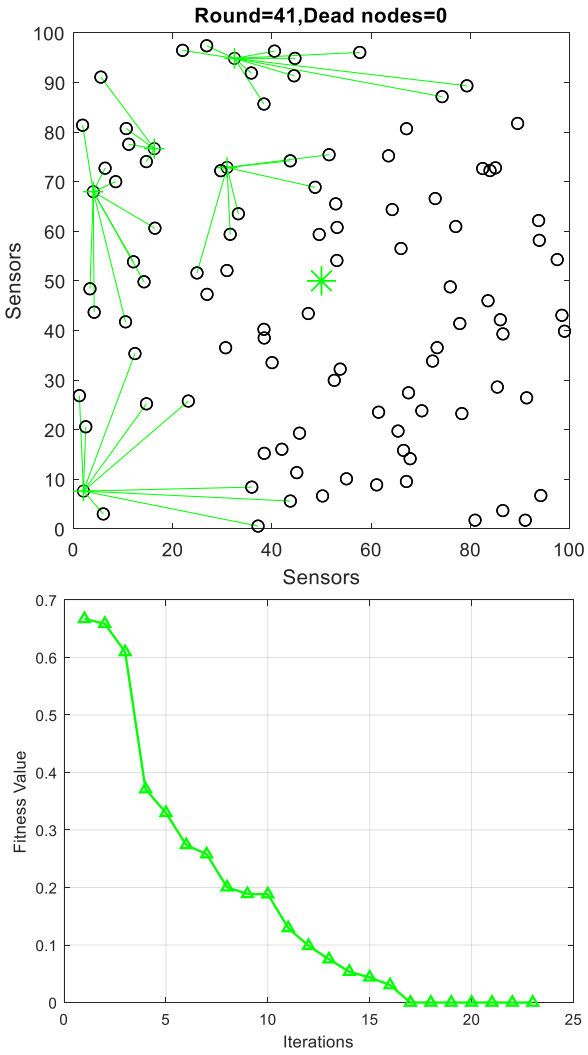

Round=11,Dead nodes=0
Sensors
Sensors
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
20
40
60
80
100
Fitness Value
Iterations
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0
5
10
15
20
25

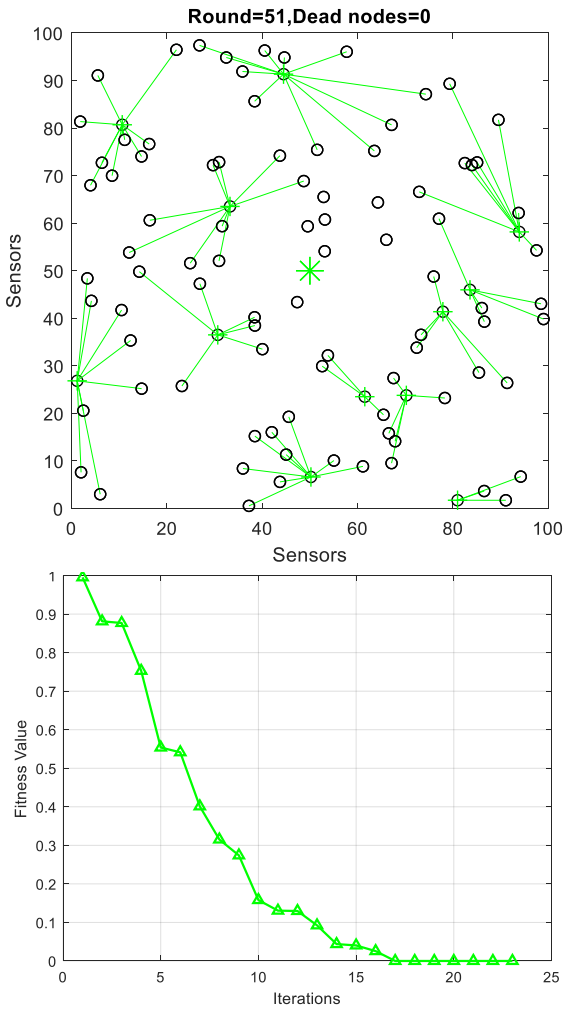

Round=21,Dead nodes=0
Sensors
Sensors
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
20
40
60
80
100

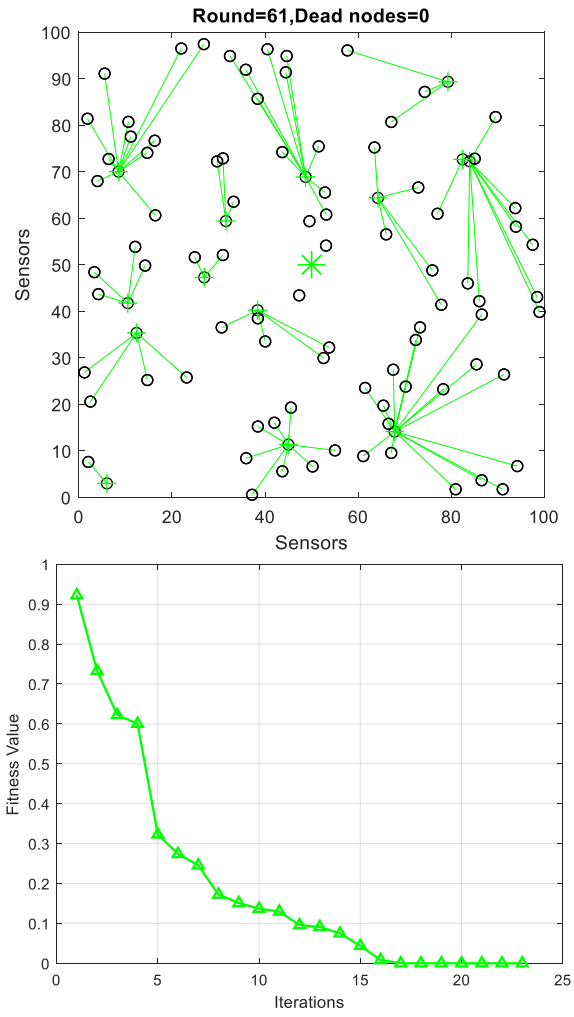

Fitness Value
Iterations
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0
5
10
15
20
25


Round=31,Dead nodes=0
Sensors
Sensors
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
20
40
60
80
100

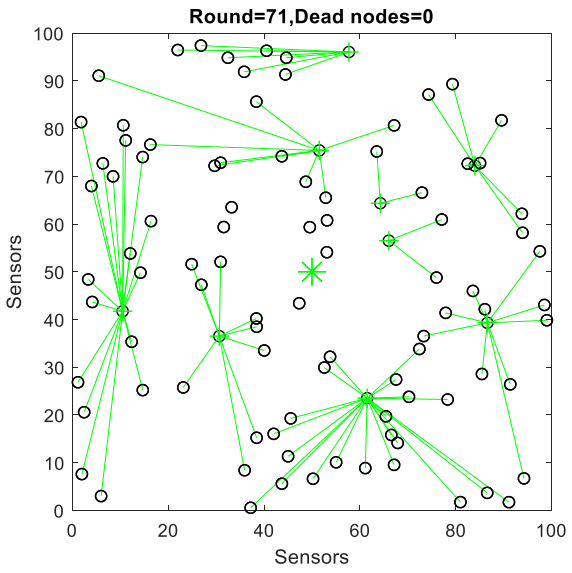
Fitness Value
Iterations
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
0
2
4
6
8
10
12
14
16

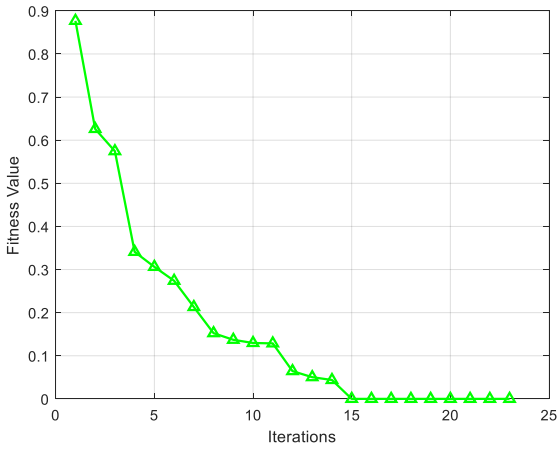

Round=41,Dead nodes=0
Sensors
Sensors
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
20
40
60
80
100
Fitness Value
Iterations
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0
5
10
15
20
25

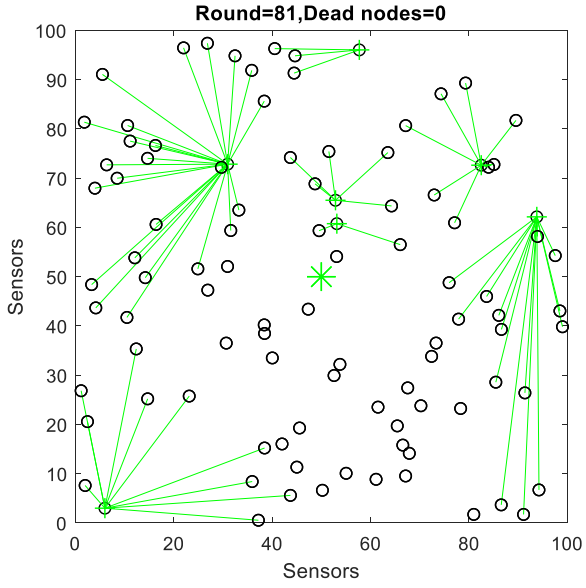

Round=51,Dead nodes=0
Sensors
Sensors
Fitness Value
Iterations

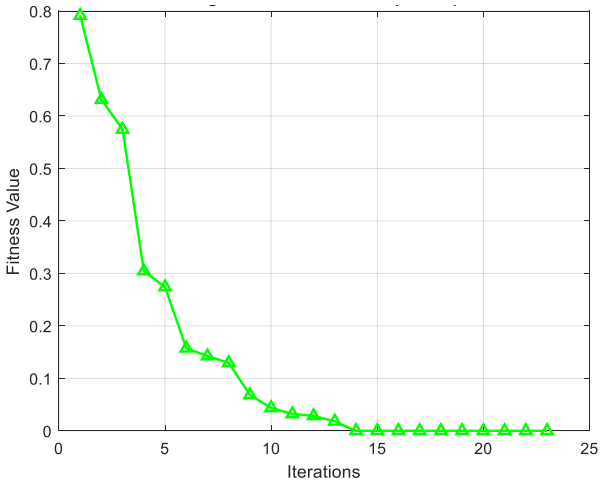

Round=61,Dead nodes=0
Sensors
Sensors
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
20
40
60
80
100

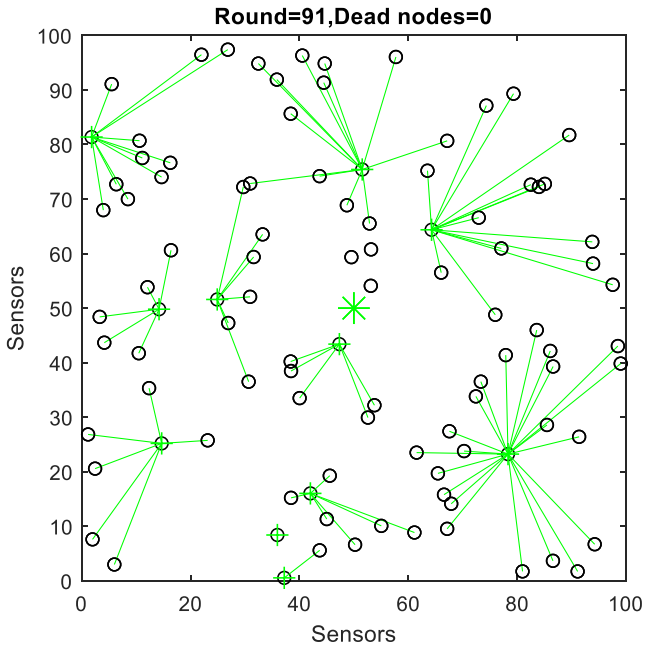
Fitness Value
Iterations
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0
5
10
15
20
25

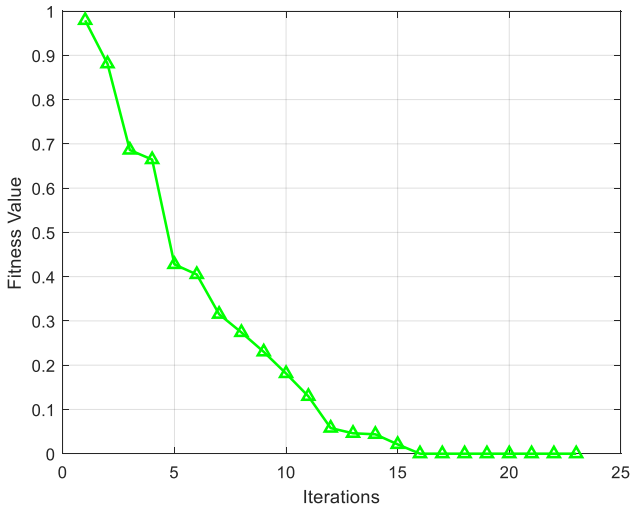

Round=71,Dead nodes=0
Sensors
Sensors
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
20
40
60
80
100

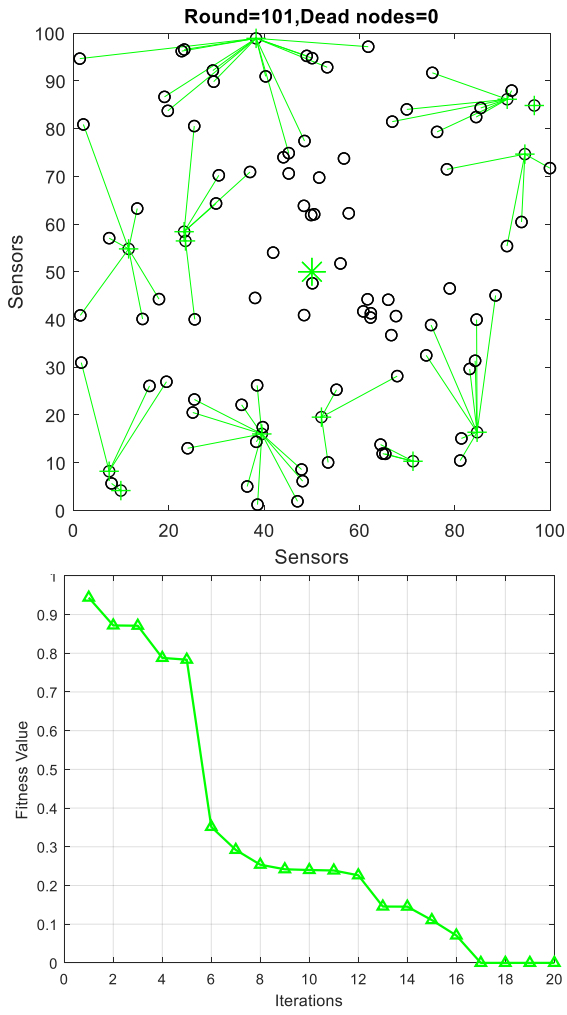

Fitness Value
Iterations
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
0
5
10
15
20
25


Round=81,Dead nodes=0
Sensors
Sensors
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
20
40
60
80
100


Fitness Value
Iterations
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0
5
10
15
20
25

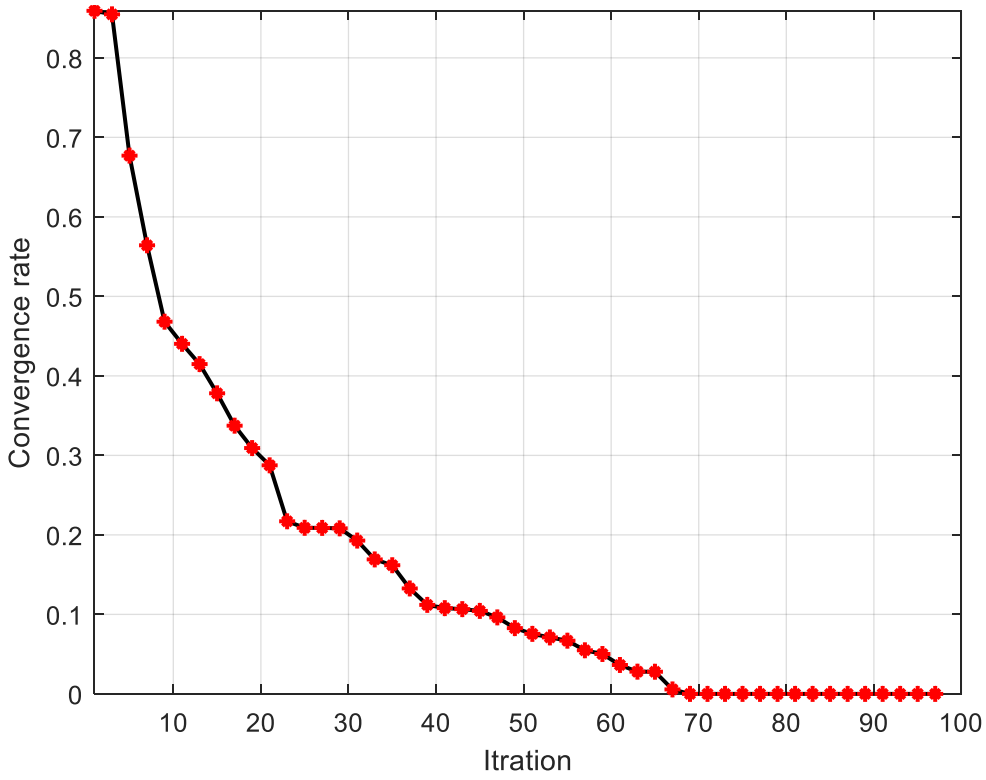

Round=91,Dead nodes=0
Sensors
Sensors
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
20
40
60
80
100


Fitness Value
Iterations
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0
5
10
15
20
25



شکل ٤-٥- مراحل به‌روزرسانی مقادیر تابع تناسب عامل‌های مطمئن در روش پیشنهادی

بر اساس شکل ٥-٤ می‌توان دید، روند انتقال اطلاعات در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی بر اساس الگوریتم ژنتیک چندمعیاره پیشنهادی ثبت شده است. در طی هر مرحله تکرار مقادیر بهینگی راه حل نهایی آن مرحله بر اساس ارزیابی تابع تناسب از پارمترهای شبکه محاسبه شده است. الگوریتم ژنتیک چندمعیاره سعی در یافتن راه حل‌های بهینه در هر مرحله دارد. از این رو گرایش الگوریتم ژنتیک چندمعیاره به سمت راه حل‌های بهینه به صورت پیوسته در طول مراحل تکرار خود خواهد بود. در شکل ٦-٤ همگرایی الگوریتم ژنتیک چندمعیاره پیشنهادی به سمت نقطه بهینه نمایش داده شده است.



شکل ٤-٦--همگرایی الگوریتم ژنتیک چندمعیاره به سمت نقطه بهینه

بر اساس شکل ٦-٤ می‌توان مشاهده کرد، الگوریتم ژنتیک چندمعیاره رفته رفته به سمت نقاط بهینه و انتخاب راه حل‌های بهینه همگرا می‌شود. شکل ٦-٤ نشان می‌دهد روش پیشنهادی بدون گیر افتادن در دام‌های محلی به صورت یکنواخت در هر مرحله از تکرار راه حل‌های بهینه را یافته است.

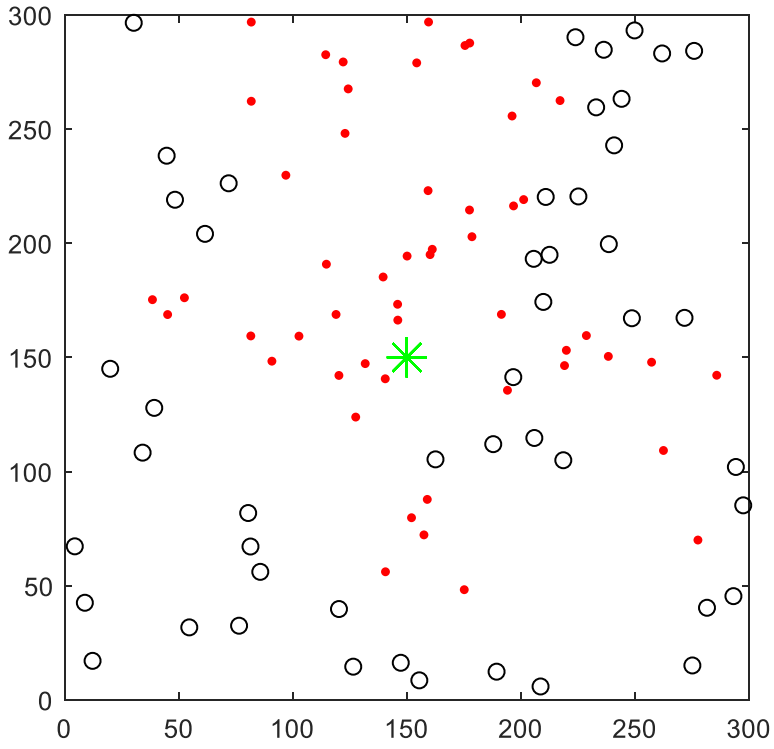
حال روش پیشنهادی وارد مرحله سوم می‌شود که در این مرحله الگوریتم ژنتیک چندمعیاره به بررسی کیفیت مسیر بر اساس عامل‌های مطمئن به دست آمده از مرحله قبلی می‌نماید. الگوریتم ژنتیک چندمعیاره با توجه به قابلیت جستجوی سراسری، توانایی یافتن مسیر بهینه در کل شبکه را دارد. در واقع در این مرحله از روش پیشنهادی تکلیف مسیر انتخاب شده مشخص می‌شود که برای انتقال بسته‌های اطلاعاتی بهینه است و یا ممکن است مسیر بهینه تری وجود داشته باشد در جدول ٣-٤ خروجی الگوریتم ژنتیک چندمعیاره به ازای مسیرهای پیشنهادی نشان داده شده است.

جدول ٤-٣-خروجی ر الگوریتم ژنتیک چندمعیاره برای یافتن مسیرهای باکیفیت

```
This route is selected by reliability 0.4606
========================================
3  9 35 39
****************************************
This route is selected by reliability 0.5526
========================================
3 25 35 37 41
****************************************
This route is selected by reliability 0.34938
========================================
3  6 14 25 31 35 37 41
****************************************
This route is selected by reliability 0.22973
========================================
6 14 31 35 37 38
****************************************
This route is selected by reliability 0.94733
========================================
3  6  9 14 16 25 31 35 38
****************************************
This route is selected by reliability 0.94733
========================================
3  6  9 13 14 17 25 31 35 41 45
****************************************
```

همانطور که جدول ٤-٣ نشان داده شده است، مسیریابی بهینه در روش پیشنهادی براساس الگوریتم ژنتیک چندمعیاره صورت گرفته است. الگوریتم ژنتیک چندمعیاره با توجه به تابع تناسب، به بررسی کیفیت مسیرهای پیشنهادی می‌نماید و مسیرهایی که اهداف شبکه را بهبود می‌بخشند با مقدار تابع تناسب آن‌ها بازگردانده می‌شود.

انتقال اطلاعات در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی تا جایی ادامه می‌یابد که انرژی گره‌ها به پایان رسد. در این زمان است که پدید سوراخ شبکه به وجود می‌آید و قسمت‌هایی از شبکه فاقد گره‌های زنده هستند و انتقال اطلاعات بین این گره‌ها و یا از طریق این گره‌ها مقدور نیست. در این زمان در واقع طول عمر شبکه به پایان می‌رسد و کاربردهایی که از شبکه استفاده می‌کنند دچار مشکلاتی می‌شوند. عملکرد کلی شبکه با وجود پدیده سوراخ در شبکه مختل می‌شود و شبکه عملاً قادر به ادامه روند طبیعی انتقال اطلاعات نخواهد بود. طول عمر شبکه ارتباط مستقیمی با مدیریت مصرف انرژی در شبکه در بین تک تک گره‌ها دارد و هر چه انرژی گره‌ها دیرتر به پایان برسد، طول عمر شبکه نیز بیشتر خواهد بود. در شکل ٤-٧ پدیده سوراخ شبکه در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی نمایش داده شده است.

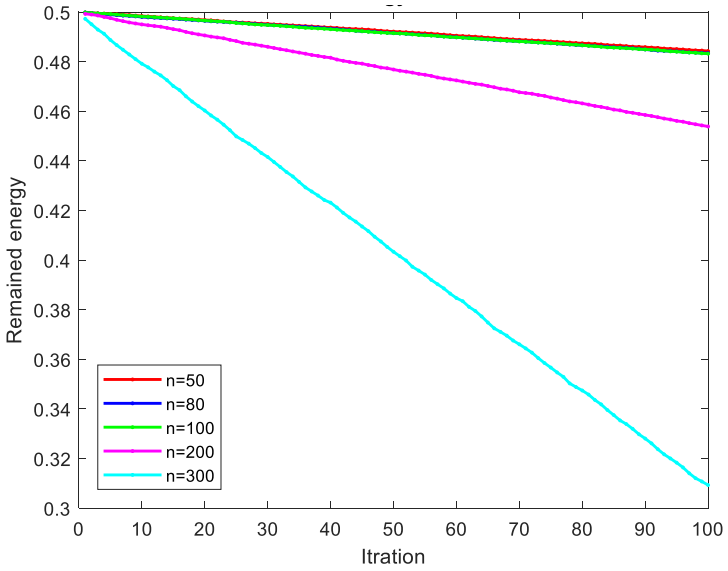


شکل ٤-٧-پدیده سوراخ شبکه در شبکه اینترنت اشیاء پس از پایان عمر شبکه

بر اساس شکل ٤-٧ قابل مشاهده است، برخی از گره‌ها در شبکه انرژی خود را زودتر از سایرین از دست داده اند و موجب ایجاد سوراخ در شبگه شده اند. در این زمان است که طول عمر شبکه به پایان می‌رسد و شبکه قادر به انتقال اطلاعات پس از آن نخواهد بود. تعداد دورهایی که انتقال اطلاعات در شبکه به صورت طبیعی بین گره‌های زنده صورت می‌پذیرد به عنوان طول عمر شبکه یاد می‌شود. پس از شبیه سازی شبکه تا زمان پایان یافتن طول عمر شبکه، حال نیاز به ارزیابی اهداف تحقیق بر اساس عملکرد روش پیشنهاد یاست. در ادامه این فصل به ارزیابی روش پیشنهادی بر اساس اهداف تحقیق خواهیم پرداخت.

٤-٣-ارزیابی روش پیشنهادی

روش پیشنهادی یک رویکرد مسیریابی مبتنی بر عامل‌های مطمئن با استفاده از رویکرد چندعاملی ارائه کرده است. در این روش عامل‌های مطمئن بهینه در هر مرحله با استفاده از رویکرد چندعاملی انتخاب می‌شود. حال در این بخش از پایان نامه به ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی بر اساس معیارهای سنجش و اهداف تحقیق خواهیم پرداخت. یکی از اهداف اصلی در روش پیشنهادی، مصرف انرژی گره‌ها و در امتداد آن طول عمر شبکه است. شکل ٨-٤ نمودار میانگین انرژی باقیمانده گره‌ها را در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی برای ٥ سناریو با تعداد گره‌های مختلف، نمایش می‌دهد.

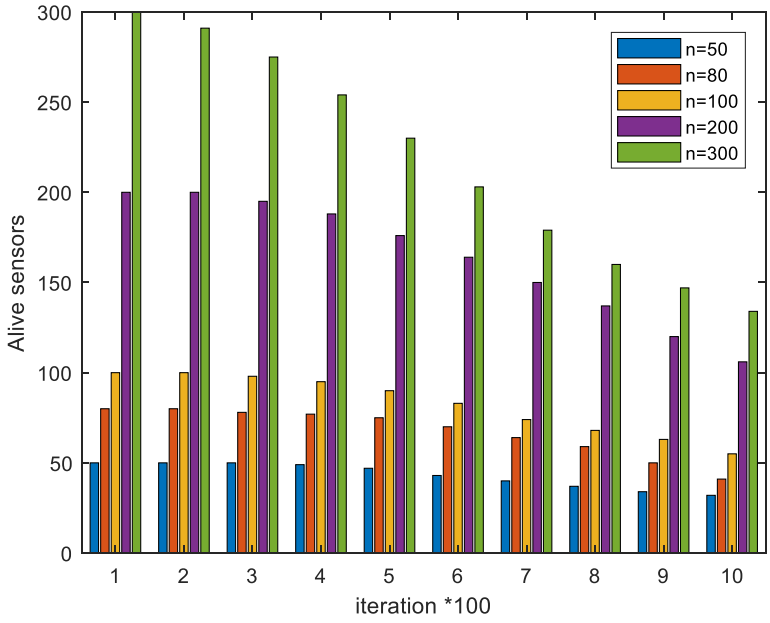


شکل ٤-٨-نمودار میانگین انرژی باقیمانده گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی

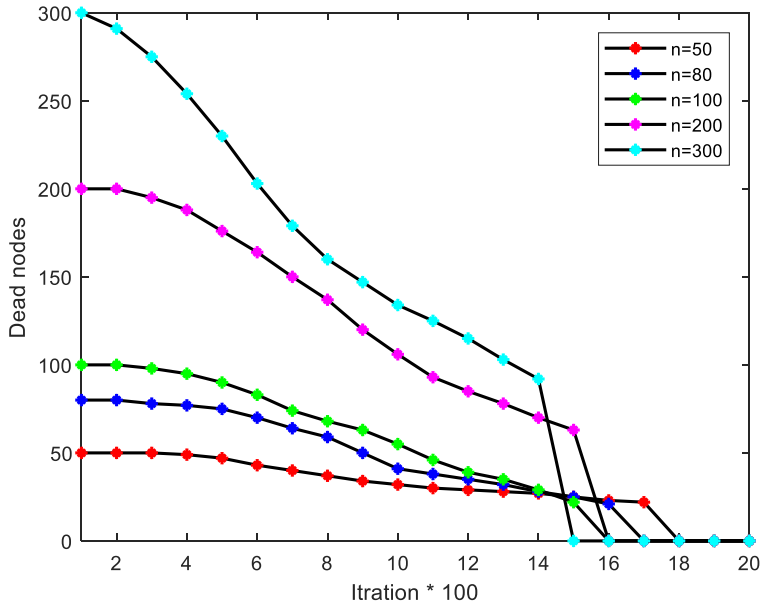
بر اساس شکل ٨-٤ می‌توان مشاهده کرد، در روش پیشنهادی مصرف انرژی گره‌ها به صورت یکنواختی است. کاهش سطح انرژی در گره‌ها به صورت خطی است واین نشان دهنده تعادل مصرف انرژی در گره‌های شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی می‌باشد. با توجه به این نکته که در روش پیشنهادی در شبکه‌های اینترنت اشیاء، انتقال اطلاعات به صورت چندگامه در فواصل نزدیک اتفاق می‌افتد، انرژی مورد نیاز برای انتقال بسته‌های کمتر از زمانی است که انتقال اطلاعات به صورت تک گامه بین گره‌ها رخ می‌دهد. از این رو رویکرد مسیریابی پیشنهادی علاوه بر تعادل در مصرف انرژی می‌تواند موجب کاهش تأخیر انتها به انتها بین گره‌ها و کاهش نرخ از دست رفتن بسته‌های اطلاعاتی شود. کاهش نرخ از دست رفتن بسته‌های اطلاعاتی به نوبه خود می‌تواند نرخ تحویل داده‌ها و قابلیت اطمینان در شبکه‌های اینترنت اشیاء را نیز افزایش دهد. همچنین تعادل مصرف انرژی می‌تواند موجب افزایش طول عمر شبکه شود. این اهداف در ادامه به صورت جداگانه مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

هدف دیگری که روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته است، طول عمر شبکه اینترنت اشیاء است. طول عمر شبکه اینترنت اشیاء یکی از معیارهای اساسی و از اهدافی است که مستقیماً تحت تأثیر نحوه مصرف انرژی گره‌ها قرار می‌گیرد. در زمینه مسیریاب در شبکه‌های اینترنت اشیاء بیشتر روش‌ها، برای بهبود این معیار تلاش می‌کنند. طول عمر شبکه اینترنت اشیاء تا زمانی که گره‌ها می‌توانند با هم دیگر ارتباط بر قرار کنند و پوشش شبکه مختل نشده باشد، برقرار است. با اتمام انرژی گره‌ها به صورتی که انتقال اطلاعات مقدور نباشد، طول عمر شبکه نیز پایان می‌یابد. در شکل ٩-٤ تعداد گره‌های زنده در طی مراحل تکرار در سناریوهای مختلف در شبکه اینترنت

اشیاء پیشنهادی نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۱۰-٤ طول عمر شبکه اینترنت اشیاء در سناریوهای مختلف در روش پیشنهادی نمایش داده شده است.

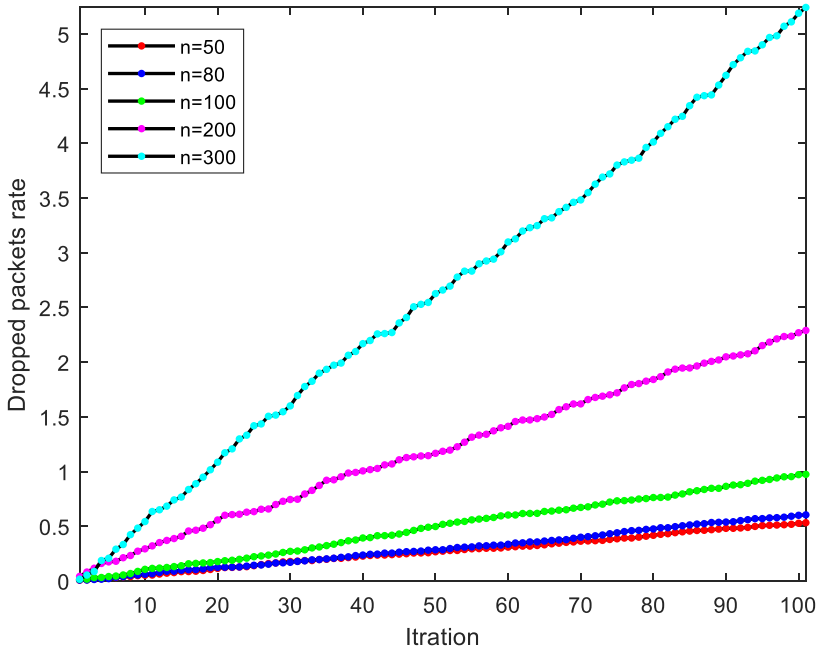


شکل ٤-۹-تعداد گره‌های زنده در طی مراحل تکرار در سناریوهایی با تعداد گره‌های مختلف



شکل ٤-۱۰-نمودار طول عمر شبکه در سناریوهایی با تعداد گره‌های مختلف در روش پیشنهادی

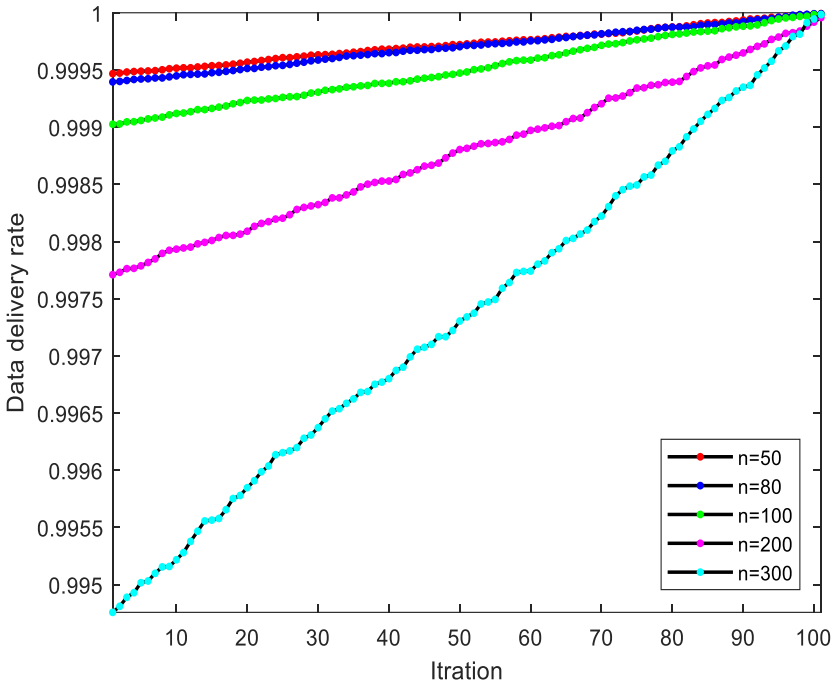
بر اساس شکل ۹-٤ می‌توان دید روش پیشنهادی برای تعدادگره‌های مختلف در شبکه پیشنهادی تعداد گره‌های زنده متفاوتی دارد. همچنین با توجه به ۱۰-٤ می‌توان مشاهده کرد، طول عمر شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی برای سناریوهای مختلف در حد بسیار خوبی است. در روش پیشنهادی طول عمر شبکه با ۵۰ گره برابر با ۱۸۰۰ دور، با ۸۰ گره برابر با ۱۷۰۰ دور، با ۱۰۰ و ۲۰۰ گره برابر با ۱٦۰۰ دور و با ۳۰۰ گره برابر با ۱۵۰۰ دور است. آنچه از شکل ۱۱-٤ می‌توان دریافت این است که با اتمام انرژی اولین گره، به ترتیب انرژی گره‌های بعدی نیز شروع به اتمام می‌کند و دلیل این مسئله توازن مصرف انرژی در گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی است. گره‌های انرژی خود را تقریباً یکسان مصرف می‌کنند و زمانی که انرژی گره‌ها به پایان می‌رسد، انرژی همه آن‌های به پایان خواهد رسید. روش پیشنهادی با انتخاب عامل‌های مطمئن بهینه در هر گام از انتقال اطلاعات به این مهم دست یافته است.



شکل ٤-۱۱ نرخ بسته‌های ازدست‌رفته در شبکه

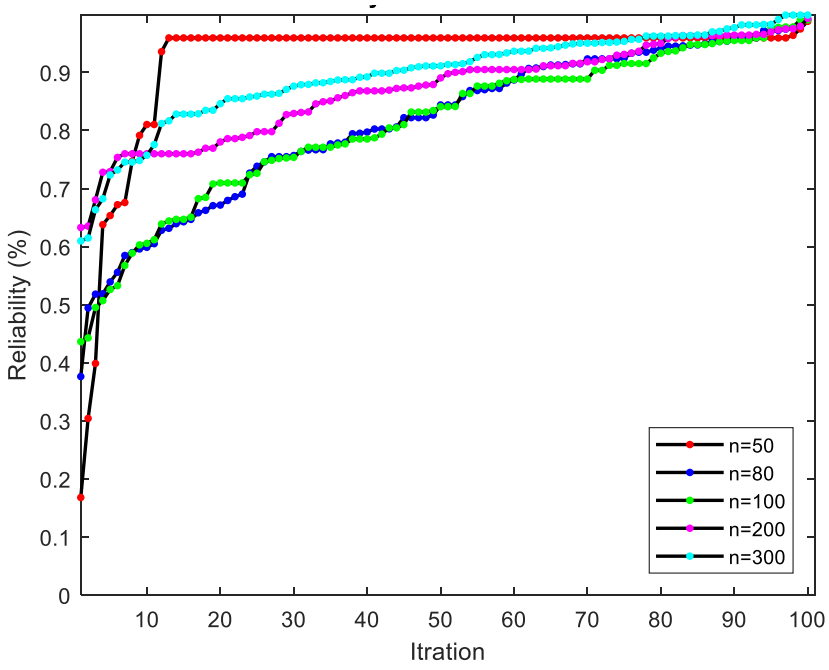
معیار دیگری که در روش پیشنهادی مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفته است، نرخ بسته‌های از دست رفته می‌باشد. نرخ بسته‌های از دست رفته از تفاوت بین تعداد بسته‌های ارسالی در مبدأ و دریافت شده در مقصد قابل محاسبه است. هر چه تعداد بسته‌های از دست رفته کمتر باشد، نرخ تحویل داده‌ها نیز افزایش می‌یابد. از این رو در ادامه نمودارهای مربوط به این معیارها بررسی خواهند شد. در شکل ٤-۱۱ نمودار مربوط به نرخ داده‌های از دست‌رفته در روش پیشنهادی در سناریوهایی با تعداد گره‌های مختلف نمایش داده شده است.

بر اساس شکل ۱۱-٤ می‌توان مشاهده کرد، تعداد بسته‌های از دست رفته برای روش پیشنهادی در سناریوهای مختلف با آهنگ بسیار ملایمی افزایش پیدا می‌کند. این نمودار نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به لطف انتخاب عامل‌های مطمئن بهینه در هر گام از انتقال اطلاعات توسط رویکرد چندعاملی، بسته‌ها را در نزدیک ترین فواصل بین گره‌ها انتقال می‌دهد و از تخریب یا تضعیف بسته‌های اطلاعاتی جلوگیری می‌کند. از این رو می‌توان انتظار داشت در روش پیشنهادی نرخ تحویل داده‌ها قابلیت اطمینان شبکه مقادیر مناسبی داشته باشند. در شکل ۱۲-٤ نمودار مربوط به میزان تحویل داده در شبکه اینترنت اشیاء پیشنهادی نمایش داده شده است.



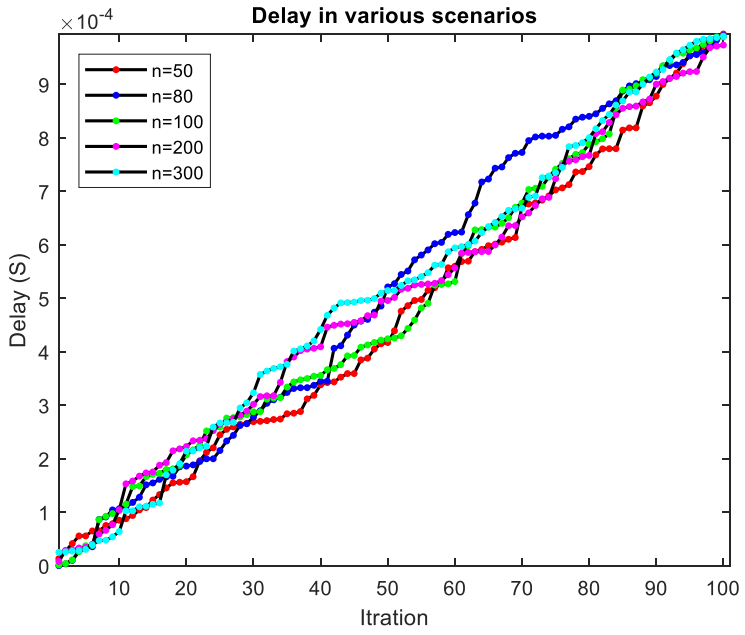
شکل ٤-۱۲-نرخ تحویل داده در روش پیشنهادی

بر اساس شکل ٤-۱۲ می‌توان مشاهده کرد، استفاده از رویکرد چندعاملی در روش پیشنهادی در سناریوهای مختلف منجر به راه حل‌های نزدیک به بهینه‌ای شده است که توانسته است نتایج بسیار خوبی برای نرخ تحویل داده‌ها در شبکه اینترنت اشیاء به دست آورد. معیار دیگری که در روش پیشنهادی بر روی آن تمرکز شده است، قابلیت اطمینان است. قابلیت اطمینان درصد بسته‌هایی را نشان می‌دهدکه به صورت سالم و بدون تغییر از گره‌های هوشمند تعبیه شده در شبکه اینترنت اشیاء از طریق مسیر مطمئن به دروازه ارسال شده اند. در شکل ۱۳-٤ نمودار قابلیت اطمینان در روش پیشنهادی در سناریوهای مختلف با تعداد گره‌های متفاوت نمایش داده شده است.



شکل ٤-١٣-قابلیت اطمینان در روش پیشنهادی

بر اساس شکل ٤-١٣ می توان مشاهده کرد، استفاده از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره در روش پیشنهادی در سناریوهای مختلف منجر به انتخاب عامل‌های مطمئن در مسیر انتقال داده‌ها از گره‌ها به دروازه شده است که توانسته است نتایج بسیار خوبی برای نرخ قابلیت اطمینان در شبکه اینترنت اشیاء به دست آورد. آخرین معیاری که در روش پیشنهادی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است، تأخیر انتها به انتها در گره‌هاست. در شکل ١٤-٤ نمودار تأخیر انتها به انتها در روش پیشنهادی در سناریوهای مختلف با تعداد گره‌های متفاوت نمایش داده شده است.



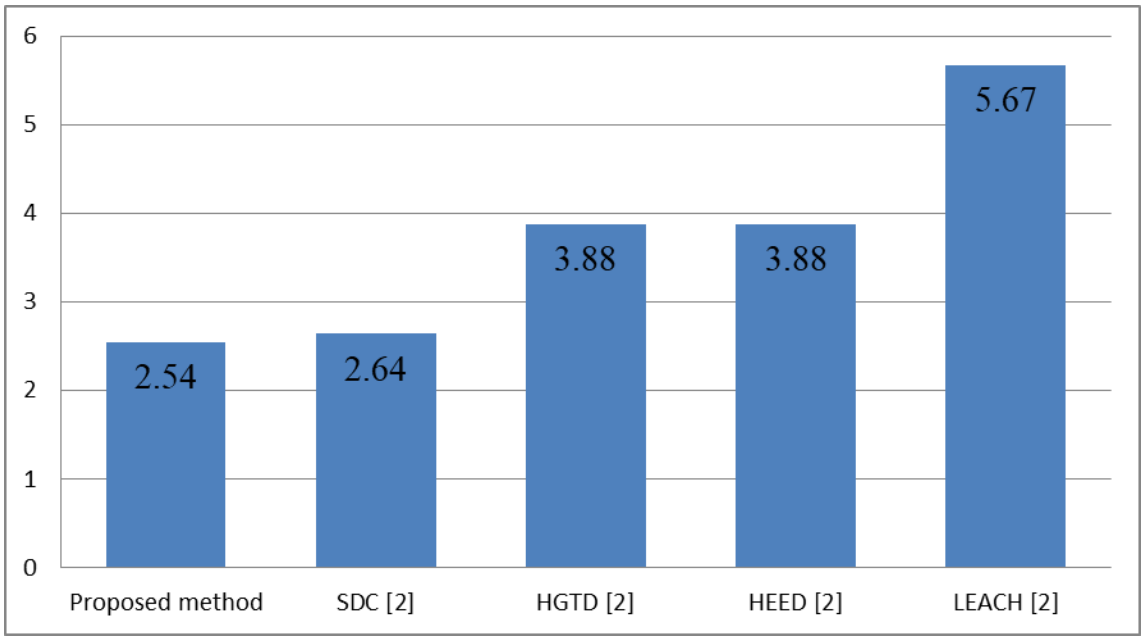
شکل ٤-١٤نمودار تأخیر انتها به انتها در سناریوهایی با تعداد گره‌های متفاوت در روش پیشنهادی

با توجه به شکل ٤-١٤ می‌توان مشاده کرد، روش پیشنهادی با استفاده از معیار فاصله بین گره‌ها به عنوان یک اهرم برای انتخاب عامل‌های مطمئن بهینه و انتقال اطلاعات در فواصل کوتاه، باعث شده است تا تأخیر انتها به انتها در گره‌ها به صورت چشمگیری کاهش یابد. از سوی دیگر با توجه به شکل ٤-١٤ می‌توان مشاهده کرد که تعداد گره‌ها در شبکه تأثیر چندانی بر روی معیار تأخیر انتها به انتها نداشته و با افزایش تعداد گره‌ها تأخیر انتها به انتهای انتقال پیام تقریباً ثابت مانده است.

٤-٤-مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های پیشین

در بخش‌های قبلی به پیاده سازی و ارزیابی روش پیشنهادی پرداختیم و اکنون به منظور بررسی اعتبار نتایج به دست آمده نیاز است که این نتایج را با برخی از روش‌های پیشین در این زمینه مقایسه کنیم تا بهبود حاصل از روش پیشنهادی معین شود. درواقع مقایسه روش پیشنهادی با روش‌ها پیشین در این زمینه این امکان را به ما می‌دهد که نقاط ضعف و قوت روش خود را شناسایی کنیم و در راستای بهبود اهداف تحقیق در پژوهش‌های آتی تلاش کنیم. در زمینه مسیریابی در شبکه‌های اینترنت اشیاء معیارهای زیادی برای ارزیابی و مقایسه معرفی شده است که معروف ترین معیاری که در میان اکثر روش‌های مسیریابی در این حوزه مورد بررسی قرار می‌گیرد،

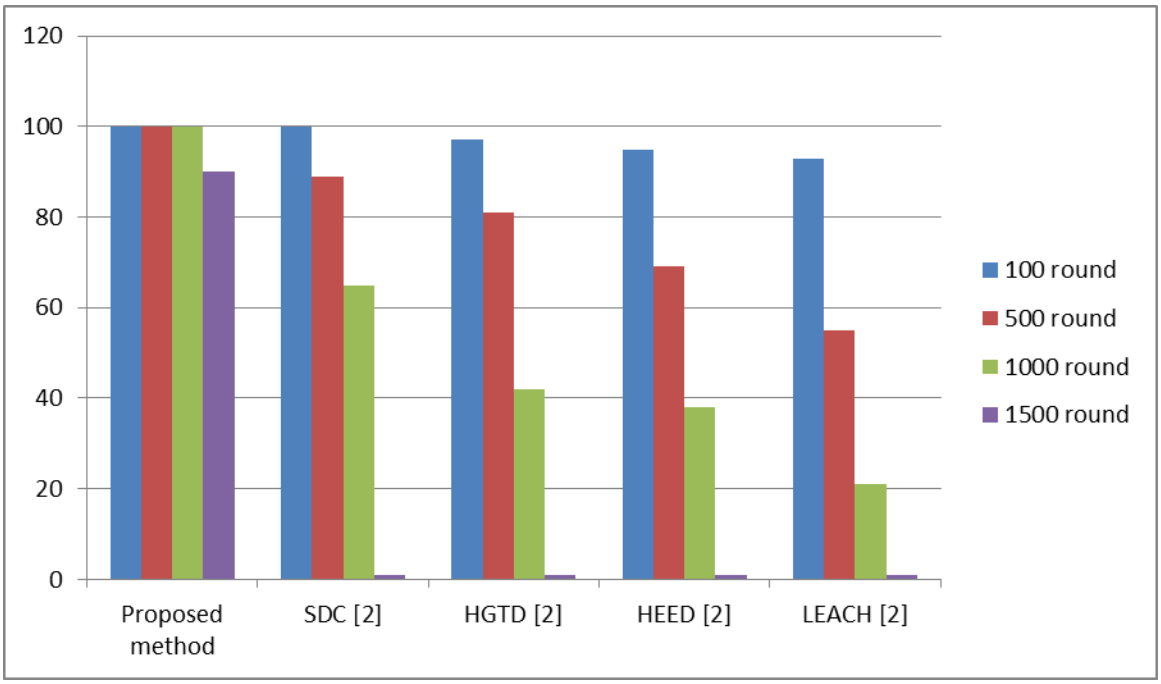
مصرف انرژی و طول عمر شبکه است. از این رو در این بخش از پایان نامه به مقایسه روش پیشنادی با روش‌های پیشین[۲]، از نظر این دو معیار خواهیم پرداخت. در شکل ٤-١٤ مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌ها در زمینه مسیریابی در شبکه‌های اینترنت اشیاء بر اساس میانگین مصرف انرژی نمایش داده شده است.



شکل ٤-١٥-مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های پیشین از نظر میانگین مصرف انرژی

بر اساس شکل ٤-١٥ می‌توان مشاهده کرد، روش پیشنهادی با تکیه بر رویکرد چندعاملی توانسته است عامل‌های مطمئن بهینه را به خوبی در هر مرحله از انتقال اطلاعات شناسایی کند، از این رو انتقال اطلاعات در کوتاهترین فواصل موجب مصرف کمترین مقدار انرژی در گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء در روش پیشنهادی شده است. روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های موجود در این زمینه میانگین مصرف انرژی کمتری داشته است.

طبیعی است که روش پیشنهادی با مصرف انرژی کمتر در گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء، طول عمر شبکه را افزایش دهد. معیار دیگری که در این قسمت از پایان نامه مورد مقایسه با سایر روش‌های قرار می‌گیرد، طول عمر شبکه می‌باشد. در شکل ٤-١٥ مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌ها در زمینه مسیریابی در شبکه‌های اینترنت اشیاء بر اساس طول عمر شبکه نمایش داده شده است.



شکل ٤-١٦- تعداد گره‌های زنده در دورهای مختلف از انتقال اطلاعات در شبکه

بر اساس شکل ٤-١٦ می‌تواند مشاهده کرد، روش پیشنهادی طول عمر شبکه اینترنت اشیاء را در مقایسه با روش‌های پیشین به صورت چشمگیری افزایش داده است. مصرف انرژی متعادل در گره در شبکه که از انتخاب بهینه عامل‌های مطمئن توسط الگوریتم ژنتیک چندمعیاره حاصل شده است، موجب دستیابی به این نتایج می‌باشد.

فصل پنجم:

نتیجه گیری و کارهای آتی

۵-۱-نتیجه گیری

شبکه‌های اینترنت اشیاء حاوی دستگاه‌های هوشمند مختلفی هستند که محیط را به منظور اندازه‌گیری مقادیر حس‌شده از حسگرهای مختلف واقع در مکان‌های مختلف، نظارت می‌کنند. کاربردهای زیادی از جمله حوزه پزشکی، منطقه کشاورزی، سیستم‌های مطمئنیتی، برنامه‌های کاربردی نظامی، پیش بینی آب و هوا و مدیریت بلایا وجود دارد که در آنها از اینترنت اشیاء برای جمع آوری موثر داده‌ها و انجام تجزیه و تحلیل مناسب استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، نظارت فیزیکی در محیط‌های حساس عملاً امکان پذیر نیست و از این رو باید به طور بهینه تکنولوژی اینترنت اشیاء به کار گرفته شوند. شبکه‌های اینترنت اشیاء فعالیت‌های مختلفی از جمله مسیریابی، کنترل خطا و کنترل ازدحام را بسته به اندازه شبکه انجام می‌دهند. چنین شبکه‌هایی را می‌توان با گره‌های دروازه ثابت با گره‌های عضو استاتیک، گره دروازه ثابت با گره‌های عضو متحرک، گره دروازه سیار با گره‌های عضو ساکن و گره دروازه سیار با گره‌های عضو متحرک طراحی کرد. داده‌هایی که توسط گره‌های موجود در شبکه‌های اینترنت اشیاء جمع‌آوری می‌شوند، مستقیماً یا از طریق سایر گره‌ها به دروازه ارسال می‌شوند. علاوه بر این، هر شبکه اینترنت اشیاء دارای یک ایستگاه پایه است و مجموعه گره‌ها در چنین شبکه‌هایی دارای منطقه پوشش بیشتری هستند. بنابراین، برای ارسال داده‌های جمع آوری شده از گره‌ها به گره‌های دروازه امکان ارتباط مستقیم یا تک‌هاپ وجود ندارد. فاصله بین گره‌های مختلف یکنواخت نیست. در چنین سناریویی، گره‌هایی که نزدیک دروازه هستند می‌توانند ارتباط مستقیم برقرار کنند و انرژی را حفظ کنند. از سوی دیگر، گره‌هایی که در فواصل دورتر مستقر شده‌اند، به کمک گره‌های دیگر برای مسیریابی بسته‌های داده‌شان به گره دروازه، هدایت می‌شوند.

در این سناریو، گره‌هایی که در فاصله کمتری از دروازه قرار دارند، انرژی خود را به دلیل ارسال داده‌ها در فواصل طولانی تخلیه می‌کنند. این مشکل را می‌توان با گروه بندی گره‌ها و انتخاب مطمئن و انجام فرآیند مسیریابی بر روی انتقال داده از طریق عامل‌های مطمئن حل کرد. در چنین شبکه‌هایی انتخاب عامل‌های مطمئن بهینه به صورتی که اهداف کیفیت سرویس را بهبود بخشند، از مسائل چالش برانگیز طراحی هستند که باید در طراحی شبکه‌های اینترنت اشیاء مورد توجه قرار گیرند. در این تحقیق روش نوینی برای مسیریابی در شبکه های اینترنت اشیاء پیشنهاد شد. روش پیشنهادی پیاده سازی شده و در نهایت نتایج بدست آمده با عملکرد روشهای دیگر مقایسه گردید.

۵-۲-کارهای آتی

مسیریابی در شبکه‌های اینترنت اشیاء سیم از اهمیت بالایی بر خوردار است از این رو می‌توان برای ادامه تحقیق پیشنهادات زیر را ارائه کرد:

- استفاده از خوشه‌بندی مبتنی بر روش‌های فرااکتشافی به منظور مسیریابی در شبکه‌های اینترنت اشیاء با گره‌های هوشمند متحرک
- استفاده از روش‌های خوشه‌بندی مبتنی بر تراکم برای خوشه‌بندی دقیق گره‌ها در شبکه اینترنت اشیاء

فهرست منابع

.١ Muzammal, S.M., R.K. Murugesan, and N. Jhanjhi, *A comprehensive review on secure routing in internet of things: Mitigation methods and trust-based approaches.* IEEE Internet of Things Journal, ٢٠٢٠. ٨(٦): p. .٤٢١٠-٤١٨٦

.٢ Sharma, A. and R. Kumar. *An optimal routing scheme for critical healthcare HTH services—an IOT perspective*. in ٢٠١٧*Fourth International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*. ٢٠١٧. IEEE.

.٣ Chanak, P. and I. Banerjee, *Congestion Free Routing Mechanism for IoT-Enabled Wireless Sensor Networks for Smart Healthcare Applications.* IEEE Transactions on Consumer Electronics, ٢٠٢٠. ٦٦(٣): p. .٢٣٢-٢٢٣

.٤ Lazarevskal, M., et al. *Mobility Supported Energy Efficient Routing Protocol for IoT Based Healthcare Applications*. in ٢٠١٨*IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)*. ٢٠١٨. IEEE.

.٥ Woo, M.W., J. Lee, and K. Park, *A reliable IoT system for personal healthcare devices.* Future Generation Computer Systems, ٢٠١٨. ٧٨: p. .٦٤٠-٦٢٦

.٦ Sharma, A. and R. Kumar ,*Computation of the reliable and quickest data path for healthcare services by using service-level agreements and energy constraints.* Arabian Journal for Science and Engineering, ٢٠١٩. ٤٤(١١): p. .٩١٠٤-٩٠٨٧

.٧ Wang, K., et al., *Adaptive and fault-tolerant data processing in healthcare IoT based on fog computing.* IEEE Transactions on Network Science and Engineering, .٢٠١٨

.٨ Machado, K., et al., *A routing protocol based on energy and link quality for internet of things applications.* sensors, ٢٠١٣. ١٣(٢): p.١٩٦٤-١٩٤٢ .

9. D. Miorandi, S. Sicari, F. D. Pellegrini & I. Chlamtac, (2012), "Internet of things: Vision, applications and research challenges ",Ad Hoc Networks, Vol. 10 , pp. 1497–1516

10. L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, (2010), "The Internet of Things: a survey," Comput. Netw. Vol. 54, No. 15, pp. 2787–2805.

11. G. Kortuem, F. Kawsar, V. Sundramoorthy, D. Fitton, (2010), "Smart objects as building blocks for the internet of things", IEEE Internet Comput., Vol. 14 , pp. 44–51.

12. I. Akyilidiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, Wireless sensor network: a survey, Comput. Netw, Vol. 38, No. 4, pp. 393–422.

13. S. Haykin, Cognitive radio: brain-empowered wireless communications, IEEE J. Sel. Areas Commun. 23 (2005) 201–220.

14 I. Chlamtac, M. Conti, J.J.-N. Liu, Mobile ad hoc networking: (2003), “Imperatives and challenges”, Ad Hoc Netw. , Vol. 1, No. 1, pp. 13–64.
15. S. Dobson, S.G. Denazis, A. Fernández, D. Gaı, ti, E. Gelenbe, F. Massacci, P. Nixon, F. Saffre, N. Schmidt, F. Zambonelli, (2006), “A survey of autonomic communications”, TAAS, Vol. 1 , No. 2, pp. 223–259.
16. K. Rose, S. Eldridge & L. Chapin, (2015), “The Internet of Things: An Overview: Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World”, Internet Socitey.
17. Kamble, Arvind, Virendra S. Malemath, and Deepika Patil. "Security attacks and secure routing protocols in RPL-based Internet of Things: Survey." 2017 International Conference on Emerging Trends & Innovation in ICT (ICEI). IEEE, 2017.
18. Mendez Mena, Diego, Ioannis Papapanagiotou, and Baijian Yang. "Internet of things: Survey on security." *Information Security Journal: A Global Perspective* 27.3 (2018): 162-182.
19. Yassein, Muneer Bani, et al. "Internet of Things: Survey and open issues of MQTT protocol." 2017 international conference on engineering & MIS (ICEMIS). Ieee, 2017.
20. Almusaylim, Zahrah A., Abdulaziz Alhumam, and N. Z. Jhanjhi. "Proposing a secure RPL based internet of things routing protocol: a review." Ad Hoc Networks 101 (2020): 102096.
21. Raoof, Ahmed, Ashraf Matrawy, and Chung-Horng Lung. "Routing attacks and mitigation methods for RPL-based Internet of Things." IEEE Communications Surveys & Tutorials 21.2 (2018): 1582-1606.
22. Yashiro, Takeshi, et al. "An Internet of Things (IoT) architecture for embedded appliances." 2013 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference. IEEE, 2013.
23. Hassan, Wan Haslina. "Current research on Internet of Things (IoT) security: A survey." Computer networks 148 (2019): 283-294.
24. Hossain, Md Mahmud, Maziar Fotouhi, and Ragib Hasan. "Towards an analysis of security issues, challenges, and open problems in the internet of things." 2015 ieee world congress on services. IEEE, 2015.
25. P. L. R. Chze and K. S. Leong, "A Secure Multi-Hop Routing for IoT Communication," IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp. 428-432, 2014
26. Verma, Abhishek, and Virender Ranga. "Security of RPL based 6LoWPAN Networks in the Internet of Things: A Review." IEEE Sensors Journal 20.11 (2020): 5666-5690.
27. Mbarek, Bacem, Mouzhi Ge, and Tomáš Pitner. "Proactive trust classification for detection of replication attacks in 6LoWPAN-based IoT." Internet of Things 16 (2021): 100442.
28. Muzammal, Syeda M., Raja Kumar Murugesan, and N. Z. Jhanjhi. "A comprehensive review on secure routing in internet of things: Mitigation methods and trust-based approaches." IEEE Internet of Things Journal 8.6 (2020): 4186-4210.
29. Muzammal, Syeda Mariam, et al. "Trust and Mobility-Based Protocol for Secure Routing in Internet of Things." Sensors 22.16 (2022): 6215.
30. Jain, J.K., *Secure and energy-efficient route adjustment model for internet of things.* Wireless Personal Communications, ٢٠١٩. ١٠٨(١): p. .٦٥٧-٦٣٣
31. Javid, S. and A. Mirzaei, *Presenting a reliable routing approach in iot healthcare using the multiobjective-based multiagent approach.* Wireless Communications & Mobile Computing (Online), ٢٠٢١. .٢٠٢١

32. Deebak, B.D. and F. Al-Turjman, *A hybrid secure routing and monitoring mechanism in IoT-based wireless sensor networks.* Ad Hoc Networks, ٢٠٢٠. ٩٧: p. ١٠٢٠٢٢.
33. Natarajan, Y., et al., *An IoT and machine learning-based routing protocol for reconfigurable engineering application.* IET Communications, ٢٠٢٢. ١٦(٥): p. ٤٦٤-٤٧٥.
34. Safara, F., et al., *PriNergy: A priority-based energy-efficient routing method for IoT systems.* The Journal of Supercomputing, ٢٠٢٠. ٧٦(١١): p. ٨٦٠٩-٨٦٢٦.
35. Dong, M., K. Ota, and A. Liu, *RMER: Reliable and energy-efficient data collection for large-scale wireless sensor networks.* IEEE Internet of Things Journal, ٢٠١٦. ٣(٤): p. ٥١١-٥١٩.
36. Reddy, P.K. and R. Babu, *An evolutionary secure energy efficient routing protocol in Internet of Things.* International Journal of Intelligent Engineering and Systems, ٢٠١٧. ١٠(٣): p. ٣٣٧-٣٤٦.
37. Popli, S., R.K. Jha, and S. Jain, *A survey on energy efficient narrowband internet of things (NBIoT): architecture, application and challenges.* IEEE Access, ٢٠١٨. ٧: p. ١٦٧٣٩-١٦٧٧٦.
38. Xu, Z., et al., *Joint clustering and routing design for reliable and efficient data collection in large-scale wireless sensor networks.* IEEE Internet of Things Journal, ٢٠١٥. ٣(٤): p. ٥٢٠-٥٣٢.
39. Kaur, N. and S.K. Sood, *An energy-efficient architecture for the Internet of Things (IoT).* IEEE Systems Journal, ٢٠١٥. ١١(٢): p. ٧٩٦-٨٠٥.
40. Seyfollahi, A. and A .Ghaffari, *Reliable data dissemination for the Internet of Things using Harris hawks optimization.* Peer-to-Peer Networking and Applications, ٢٠٢٠. ١٣(٦): p. ١٨٨٦-١٩٠٢.
41. Wang, K., et al., *An energy-efficient reliable data transmission scheme for complex environmental monitoring in underwater acoustic sensor networks.* IEEE Sensors Journal, ٢٠١٥. ١٦(١١): p. ٤٠٥١-٤٠٦٢.
42. Nguyen, M.T., *An energy-efficient framework for multimedia data routing in internet of things (iots).* EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems, ٢٠١٩. ٦(١٩): p. e١-e.١
43. Fathy, Y. and P. Barnaghi, *Quality-based and energy-efficient data communication for the internet of things networks.* IEEE Internet of Things Journal, ٢٠١٩. ٦(٦): p. ١٠٣١٨-١٠٣٣١.
44. Manshahia, M.S., *Grey wolf algorithm based energy-efficient data transmission in internet of things.* Procedia Computer Science, ٢٠١٩. ١٦٠: p. ٦٠٤-٦٠٩.
45. Khaleghnasab, R., et al., *A new energy-efficient multipath routing in internet of things based on gray theory.* International Journal of Information Technology & Decision Making, ٢٠٢٠. ١٩(٠٦): p. ١٥٨١-١٦١٧.

46. Santiago, S. and L. Arockiam. *A novel fuzzy based energy efficient routing for Internet of Things*. in ٢٠١٧*International Conference on Algorithms, Methodology, Models and Applications in Emerging Technologies (ICAMMAET)*. ٢٠١٧. IEEE.
47. Ilyas, M., et al., *Trust-based energy-efficient routing protocol for Internet of things–based sensor networks.* International Journal of Distributed Sensor Networks, :(١٠)١٦ .٢٠٢٠p. .١٥٥٠١٤٧٧٢٠٩٦٤٣٥٨
48. Yang, Z., et al., *UEE-RPL: A UAV-Based Energy Efficient Routing for Internet of Things.* IEEE Transactions on Green Communications and Networking, ٢٠٢١. ٥(٣): p. .١٣٤٤-١٣٣٣
49. Roy, S.S., et al., *Building a sustainable Internet of Things: Energy-efficient routing using low-power sensors will meet the need.* IEEE Consumer Electronics Magazine, ٢٠١٨. ٧(٢): p. .٤٩-٤٢
50. Park, S.-H., S. Cho, and J.-R. Lee, *Energy-efficient probabilistic routing algorithm for internet of things.* Journal of Applied Mathematics, ٢٠١٤. .٢٠١٤

Abstract

The emergence of the Internet of Things phenomenon is one of the thousands of results of the expansion of the Internet and of course the development of wireless technologies and micro-electromechanical systems. Due to the many capabilities that are available in "machine-to-machine" interactions in the Internet of Things technology, this phenomenon has been widely used in the industry sectors (especially in various manufacturing plants), energy and gas. One of the most important challenges in the Internet of Things is safe and low-power routing, so in this research, a new method is proposed for this matter. In the proposed method, multi-criteria genetic algorithm is used for routing and choosing the optimal secure node in Internet of Things networks. The proposed method in each step of information transmission, selects the optimal reliable node according to the network parameters, using the multi-criteria genetic algorithm. Finding the optimal reliable node causes the information packets to be sent in the shortest possible distance, and so on. The quality of service including energy consumption, message transmission delay, data transmission rate and throughput should be improved. Also, the proposed method for building a high-quality path between the sensor nodes and the gate uses optimal reliable factors. The simulation results show that the proposed method based on the multi-factor approach and the multi-criteria genetic algorithm can be the optimal reliable factors to identify well at each stage of information transfer, hence information transfer in the shortest possible way optimal from the sensor node to the gate, resulting in the consumption of the lowest amount of energy in the nodes in the internet network objects which are proposed in the method. The proposed method compared to other existing methods in this field, the average energy consumption is less and has achieved more life time.

Keywords: data routing, secure, low consumption, Internet of Things based networks

Islamic Azad University

Isfahan (Khorasgan) Branch

Thesis for Receiving (M.A) Degree on

Software Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch

Title:

Relaiable and Energy Efficient Data Routing in Internet of Things based network

Supervisor:

Dr. Abdul Wahab Ehsani Rad

By:

Munaf hasan lafta

May **2023**