مسیریابی مؤثر سازگار با انرژی در شبکه‌های سیار موردی براساس منطق فازی شهودی

ارشام برومند سعید*[1]، مریم حسام پور[2] و مرجان کوچکی رفسنجانی[3]

[1]بخش ریاضی محض، دانشکده ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

[2و3]بخش علوم کامپیوتر، دانشکده ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده

شبکه‌های سیار موردی بدون هیچ زیرساختار ثابت و مدیریت مرکزی در هر محیطی که نیاز باشد، تشکیل می‌شوند. این شبکه‌ها به‌طور موقت شکل می‌گیرند و گره‌ها می‌توانند آزادانه حرکت کنند؛ به‌طوری‌که هر گره دارای انرژی محدودی است که به‌وسیلهٔ باتری تأمین می‌شود. به‌دلیل محدودیت انرژی، مسیریابی با انرژی کارآمد یکی از مسائل بسیار مهم و چالش برانگیز در این شبکه‌ها است؛ بنابراین بیش‌تر پژوهش‌گران به‌دنبال ارائهٔ روشی برای مسیریابی انرژی آگاه هستند. در این مقاله برای ارائه یک پروتکل مسیریابی انرژی آگاه از یک سامانه منطق فازی شهودی برای تنظیم پارامتر تمایل گره در پروتکل مسیریابی AODV کمک گرفته شده است. تصمیم برای شرکت‌کردن هر گره متحرک در مسیریابی به‌وسیله سامانه منطق فازی شهودی با مقدار انرژی باقیمانده و مقدار انرژی مصرفی گرفته می‌شود. به‌منظور ارزیابی، پروتکل پیشنهادی (IFEE-AODV) را با استفاده از نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی کرده و با روش‌های دیگر (AODV، DFES-AODV و SFES-AODV) مقایسه کرده‌ایم که نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، این پروتکل از نظر نرخ تحویل بسته و زمان عمر شبکه در مقایسه با سه روش دیگر از عملکرد خوبی برخوردار است.

واژگان کلیدی: شبکه‌های سیار موردی، مسیریابی، انرژی کارآمد، انرژی آگاه، سامانهٔ منطق فازی شهودی.

Intuitionistic fuzzy logic for adaptive energy efficient routing in mobile ad-hoc networks

Arsham Borumand Saeid*[1], Maryam Hesampour[2] & Marjan Kuchaki Rafsanjani[3]

[1]Department of Pure Mathematics, Faculty of Mathematics and Computer, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

[2,3]Department of Computer Science, Faculty of Mathematics and Computer, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Abstract

In recent years, mobile ad-hoc networks have been used widely due to advances in wireless technology. These networks are formed in any environment that is needed without a fixed infrastructure or centralized management. Mobile ad-hoc networks have some characteristics and advantages such as wireless medium access, multi-hop routing, low cost development, dynamic topology and etc. In these networks the nodes formed temporarily and can move freely and each node has a limited energy that is supplied by the battery. Energy-efficient routing is one of the most important and challenging issues in these networks because of the limited energy. Therefore, most researchers seek to provide a method for energy aware routing. Soft computing methods help mobile ad-hoc networks, so that these networks would be worked more efficiently. One of these methods is using intuitionistic fuzzy logic that improves the evaluation parameters such as throughput. In this paper, an intuitionistic fuzzy logic system has been used for adjusting node willingness parameter in AODV protocol. Decision about participating in the routing of each mobile node is done by the intuitionistic fuzzy logic system with remaining energy and consumption energy of each node. In order to evaluate the proposed protocol entitled IFEE-AODV (Intuitionistic Fuzzy logic for Energy Efficient routing based AODV), we simulated IFEE-AODV by using MATLAB software and compared these results with AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector),

* Corresponding author

*نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

•تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲ •تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۹ •تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۳/۰۱ •نوع مطالعه: پژوهشی

سال ۱۴۰۰ شمارهٔ ۱ پیاپی ۴۷

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.1.12]

DFES-AODV (Dynamic Fuzzy Energy State based AODV) and SFES-AODV (Static Fuzzy Energy State based AODV) protocols. The results show that this protocol in metrics of packet delivery ratio and network lifetime has better performance than other protocols.

Keywords: Mobile ad-hoc networks (MANETs), Routing, Energy efficient, Energy aware, Intuitionistic fuzzy logic system.

۱- مقدمه

شبکه‌های سیار موردی (MANETs)[1] شامل یک گروه از گره‌های مستقل با توانایی انتقالات بی‌سیم هستند. در این شبکه‌ها هر گره می‌تواند با گره‌های متحرک دیگر با اتصالات بی‌سیم یا با تکیه بر گره‌های دیگر به‌عنوان مسیریاب[2] در ارتباط باشد. تحرک گره‌ها باعث می‌شود، توپولوژی شبکه به‌سرعت و به‌صورت غیرقابل پیش‌بینی تغییر کند [1]. هر گره دارای یک محدودهٔ رادیویی است و ارتباط بین گره‌ها بدون وجود زیرساخت ثابت انجام می‌شود. وظایف مختلف شبکه‌های سیار موردی بین گره‌های آن توزیع شده است. یکی از اهداف شبکه‌های سیار موردی گسترش پویایی در ناحیه‌ای است که مجموعه‌ای از گره‌ها ساختار مسیریابی شبکه را به‌صورت بی‌سیم شکل می‌دهند. این شبکه‌ها اغلب در مناطقی که پیشرفت سریع و پیکربندی دوبارهٔ پویا لازم است و از طرفی شبکه‌های سیمی در دسترس نیستند، کاربرد فراوان دارد [2]. در این شبکه‌ها هر گره دارای توان انرژی محدود است و این انرژی توسط باتری تأمین می‌شود. فعالیت‌های موجود در شبکه برای گره‌ها مانند ارسال و دریافت بسته‌های داده یا بسته‌های کنترلی نیازمند مصرف انرژی است. در بسیاری از موارد این باتری‌ها نمی‌توانند دوباره شارژ یا جایگزین شوند. علاوه‌براین فرسودگی باتری گره‌ها ممکن است نه‌تنها منجر به اتصالات کم، بلکه هم‌چنین می‌تواند موجب بخش‌بندی[3] شبکه شود. به‌منظور توسعه و گسترش طول عمر MANET، پروتکل‌های مسیریابی انرژی آگاه پیشنهاد شده است. سه روش اصلی در ادبیات مرتبط با آن شناخته شده است؛ نخست، بیشینه‌کردن طول عمر مسیریابی که به‌دنبال تعادل مصرف انرژی در میان گره‌های متحرک است. دوم، روش ذخیرهٔ انرژی[4] که به‌دنبال کمینه‌کردن اتلاف انرژی در طول دوره عدم فعالیت است. سوم، روش کنترل انرژی[5] است که در آن گره‌ها انرژی انتقالشان را تنظیم می‌کنند که یک سازش خوب بین اهداف پیدا شود: به بیشینه‌رساندن اتصال به شبکه و به کمینه‌رساندن اتلاف انرژی [3]. در این مقاله از یک سامانه منطق فازی شهودی برای این منظور کمک گرفته شده است.

در ادامه این مقاله، در بخش دوم کارهای مرتبط بررسی، در بخش سوم پیش‌نیازهای پژوهش ارائه و در بخش چهارم روش پیشنهادی ارائه می‌شود. بخش پنجم شامل شبیه‌سازی روش پیشنهادی و ارزیابی آن است و درنهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری مقاله آورده شده است.

۲- کارهای مرتبط

با توجه به ماهیت شبکه‌های سیار موردی از نظر ساختار و محدودیت‌های منابع و انرژی گره‌ها در این شبکه‌ها و با توجه به اینکه در بسیاری از موارد این باتری‌ها نمی‌توانند دوباره شارژ یا جایگزین شوند و هم‌چنین با توجه به کاربردهای روزافزون آنها در زمینه‌های مختلف، طراحی پروتکل‌های مسیریابی کارا برای یک شبکه سیار موردی یکی از موضوعات اساسی در پژوهش‌های اخیر است.

الهاج[6] و همکارانش [4] یک روش فازی را براساس طرح مسیریابی انرژی کارآمد سلسله‌مراتبی برای شبکه‌های MANET مقیاس بزرگ پیشنهاد کردند که هدف به بیشینه‌رساندن طول عمر شبکه است. هر گره در شبکه به‌وسیله انرژی باقی‌مانده، ترافیک و تحرک آن مشخص می‌شود. این روش یک کنترل‌کننده منطق فازی که ترکیبی از این پارامترهاست را با درنظرگرفتن همکاری بین آنها توسعه می‌دهد. مقدار به‌دست‌آمده اهمیت یک گره را نشان می‌دهد و این مقدار به‌دست‌آمده در شکل‌گیری و نگهداری شبکه استفاده می‌شود.

فیفات[7] و اوساها[8] [5] یک الگوریتم انتخاب مسیر با انرژی کارآمد را که هدفش تعادل میان بیشینه‌کردن طول عمر شبکه و کمینه‌کردن مصرف انرژی مسیر در شبکه‌های سیار موردی است، ارائه دادند. این روش مبتنی بر یادگیری تقویتی است که آن را مونت‌کارلو مبتنی بر سیاست (ONMC)[9] نامیده‌اند.

چن[10] و همکارانش [6] یک روش فازی را برای پروتکل مسیریابی مبتنی بر تقاضا AODV[1] با

[1] Mobile Ad hoc Networks (MANETs)
[2] Router
[3] Partitioning
[4] Power-save
[5] Power-control
[6] El-Hajj
[7] Phiphat
[8] Usaha
[9] On-policy Monte Carlo (ONMC)
[10] Chen

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.1.12]

درنظرگرفتن انرژی، پیشنهاد کردند. این روش که FPSP-AODV[2] نامگذاری شده، روشی است که کوتاه‌ترین مسیر و اتصال طولانی به شبکه را با استفاده از کمینه‌کردن تعداد گام‌ها، پهنای باند و انرژی باقیمانده شناسایی می‌کند.

هایرمث[3] و جاشی[4] [7] یک پروتکل جدید را که باعث صرفه‌جویی در انرژی گره‌های متحرک و درنهایت افزایش طول عمر MANET می‌شود، ارائه دادند؛ به‌طوری‌که این پروتکل، یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر تقاضا براساس انرژی آستانه فازی سازگار (AFTE)[5] است.

چتیبای[6] و چیتی[7] [8] یک سیستم منطق فازی سوگنو[8] مرتبه صفر را برای تنظیم پارامتر تمایل[9] گره برای شرکت در مسیریابی در پروتکل مسیریابی OLSR[10] پیشنهاد کردند. تصمیم برای شرکت هر گره متحرک در مسیریابی به‌وسیله سامانه منطق فازی با مقدار انرژی باقی‌مانده و طول عمر باقی‌مانده مورد انتظار، گرفته می‌شود.

۳- پیش‌نیازهای پژوهش

۳-۱- منطق فازی شهودی

مفهوم مجموعه‌های فازی شهودی را آتاناسف[11] به منزلهٔ تعمیم مجموعه‌های فازی معرفی کرد [9-11]. اگر X یک مجموعهٔ ثابت ناتهی باشد، مجموعهٔ فازی شهودی A در مجموعهٔ مرجع X به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$A:=\{<x,\mu_A(x),\vartheta_A(x)> |x \in X\} \quad (۱)$$

که در آن تابع μ_A :X→ [0,1] و ϑ_A :X→ [0,1] به‌ترتیب درجه عضویت و درجه عدم عضویت عنصر x∈ X را تعیین می‌کند. به‌ازای هر x ∈ X برای μ_A و ϑ_A داریم:

$$0 \leq \mu_A(x)+ \vartheta_A(x) \leq 1 \quad (۲)$$

با توجه به دو فرمول مطرح‌شده در بالا، در منطق فازی شهودی، عدم قطعیت با استفادهٔ همزمان تابع تعلق و تابع عـدم تعلق یک مجموعه (که دیگر به‌الزام متمم یکدیگر نیستند) توصیف می‌شوند.

برخلاف روش فازی، مجموع μ_A و ϑ_A الزاماً برابر با یک نمی‌شود. درصورتی‌که $\vartheta_A(x)+\mu_A(x)$ برابر با یک شود، مجموعه فازی شهودی به یک مجموعه فازی معمولی تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر منطق فازی سنتی یک حالت خاصی از منطق فازی شهودی است و آن هنگامی است که "درجهٔ عدم عضویت" برابر با "درجهٔ عضویت-۱" باشد، یعنی رابطهٔ زیر برقرار باشد [9]:

$$\forall x \in X , \mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (۳)$$

برای مجموعه‌های فازی شهودی درجه عدم قطعیت π_x برای عنصر x با رابطه زیر تعریف می‌شود [10]:

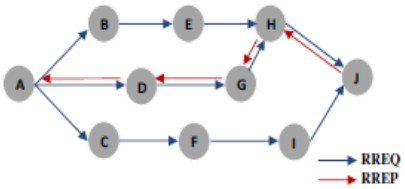
$$\pi_x = 1- \mu_x- \vartheta_x ; \pi_x: X \rightarrow [0,1] \quad (۴)$$

بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که مجموعه‌های فازی، مجموعه‌های فازی شهودی هستند که در آنها درجهٔ عدم قطعیت برابر با صفر باشد ($\pi_x = 0$).

مجموعه‌های فازی شهودی و تعمیم‌های آن کاربردهای زیادی در نظریه تصمیم و علوم رایانه دارد [12].

۳-۲- پروتکل مسیریابی AODV

پروتکل مسیریابی AODV یک پروتکل مسیریابی واکنشی مبتنی بر درخواست است. گره‌ای که به یک مسیر روی یک مقصد معین نیاز دارد یک بسته درخواست مسیر (RREQ)[12] را پخش می‌کند. در دریافت یک RREQ یک گره که یک مسیر معتبر را حفظ می‌کند، می‌تواند به‌طور مستقیم پاسخ دهد. در غیر این صورت، RREQ دوباره پخش می‌شود؛ این عمل تکرار می‌شود تا زمانی‌که یک مسیر پیدا شود. گره موردنظر، یک بستهٔ پاسخ مسیر (RREP)[13] را به سمت گره منبع می‌فرستد. به‌طوری‌که RREP مسیر معکوس را دنبال می‌کند.



(شکل-۱): پروتکل مسیریابی AODV [3]
(Figure-1): AODV routing protocol [3]

در ادامه به معرفی یک پروتکل مسیریابی جدید به‌منظور کشف مسیر با انرژی کارآمد پرداخته می‌شود. پروتکل پیشنهادی از منطق فازی شهودی برای به‌دست‌آوردن ارزش تمایل گره برای شرکت در پروتکل مسیریابی AODV استفاده می‌کند.

[1] Ad hoc On demand Distance Vector (AODV)
[2] Fuzzy Path Selection Power-based AODV (FPSP-AODV)
[3] Hiremath
[4] Joshi
[5] Adaptive Fuzzy Threshold Energy (AFTE)
[6] Chettibi
[7] Chikhi
[8] Sugeno fuzzy logic system
[9] Willingness
[10] Optimized Link State Routing (OLSR)
[11] Atanassov
[12] Route Request (RREQ)
[13] Route Reply (RREP)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.1.12]

۴- پروتکل پیشنهادی IFEE-AODV[1]

پروتکل مسیریابی پیشنهادی از یک سامانه منطق فازی شهودی برای تنظیم پارامتر تمایل گره برای شرکت در مسیریابی در پروتکل مسیریابی AODV استفاده می‌کند. تصمیم برای شرکت در مسیریابی در هر گره متحرک به‌وسیله سامانه منطق فازی شهودی با مقدار انرژی باقی‌مانده و مقدار انرژی مصرفی گرفته می‌شود. پروتکل پیشنهادی می‌تواند در مواردی که بهره‌وری انرژی اهمیت ویژه‌ای دارد، مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۱- روند کار پروتکل IFEE-AODV

با توجه به ماهیت شبکه‌های سیار موردی از نظر ساختار و محدودیت‌های منابع و انرژی گره‌ها در این شبکه‌ها، انرژی گره به یکی از پارامترهای مهم در این نوع شبکه‌ها تبدیل شده است. از آنجایی‌که بحث روی انرژی گره‌ها است، در پروتکل پیشنهادی برای هر گره دو پارامتر تعریف می‌شود: یکی انرژی باقی‌مانده و دیگری انرژی مصرفی.

شکل (۲) روند کار پروتکل IFEE-AODV و شکل (۳) جزئیات الگوریتم پروتکل IFEE-AODV را نشان می‌دهد.

۱- شروع
۲- مقدار انرژی باقی‌مانده در ابتدا برای هر گره برابر با ۱۰ ژول است.
۳- مقدار انرژی مصرفی در ابتدا برای هر گره برابر با صفر ژول است.
۴- محاسبهٔ انرژی مصرفی برای هرگره.
۵- محاسبهٔ انرژی باقیمانده برای هر گره.
۶- محاسبهٔ درجه عضویت و عدم عضویت انرژی مصرفی.
۷- محاسبهٔ درجه عضویت و عدم عضویت انرژی باقیمانده.
۸- محاسبهٔ درجه عضویت و عدم عضویت تمایل گره برای شرکت در مسیریابی.
۹- به کاربردن قوانین فازی شهودی و محاسبهٔ مجموعه‌های فازی خروجی استنباط شده از مجموعه‌های ورودی.
۱۰- غیرفازی‌سازی: محاسبه‌ی ارزش دقیق خروجی (تمایل گره برای شرکت در مسیریابی) با استفاده از نتایج مجموعه‌های فازی.
۱۱- پایان.

(شکل-۲): روند کار پروتکلIFEE-AODV
(Figure-2): Workflow of IFEE-AODV protocol

۴-۲- سامانه استنتاج فازی شهودی-IFEE AODV

سامانه از واحدهای زیر تشکیل شده است:

- فازی‌ساز شهودی
- موتور استنتاج فازی شهودی
- غیرفازی‌ساز شهودی

کنترل‌کنندهٔ فازی شهودی برای مسیریابی با انرژی کارآمد در شبکه‌های MANET پیشنهاد شده است. کنترل‌کننده دو ورودی انرژی باقی‌مانده و انرژی مصرفی را می‌گیرد و تمایل گره برای شرکت در مسیریابی به‌عنوان خروجی کنترل‌کننده در نظر گرفته می‌شود.

گام ۱- S گره منبع است که n همسایه با انرژی باقیمانده RE_i و انرژی مصرفی CE_i، $i=1,2,...,n$ دارد. انرژی باقیمانده در ابتدا برای هر گره برابر با ۱۰ ژول و انرژی مصرفی صفر ژول است.
گام ۲- برای گره S، مقدار تمایل گره با استفاده از روش ریاضی فازی شهودی که در ادامه توضیح داده شده است، محاسبه می‌گردد.
گام ۳- گره S مقدار تمایل گره را برای تمام همسایه‌هایش محاسبه می‌کند.
گام ۴- گره S پس از تعبیه مقدار تمایل خود در بسته درخواست مسیر، بسته درخواست مسیر را به گره‌ای که بیشترین تمایل را دارد برای ایجاد اتصال به گره مقصد D منتشر می‌کند.
گام ۵- گره میانی بسته درخواست مسیر را بعد از تعویض مقدار تمایل تعبیه شده در آن به گره‌ای که بیشترین تمایل را دارد ارسال می‌کند.
گام ۶- گرهٔ مقصد معکوس بستهٔ RREP را ایجاد کرده و به سمت گرهٔ مبدأ ارسال می‌کند.
گام ۷- گرهٔ مقصد میزان تمایل گره‌ها در مسیر را جمع کرده و در بسته‌ی RREP قرار می‌دهد.
گام ۸- در نهایت مسیری انتخاب می‌شود که مجموع تمایل گره‌هایش از همه بیشتر است.

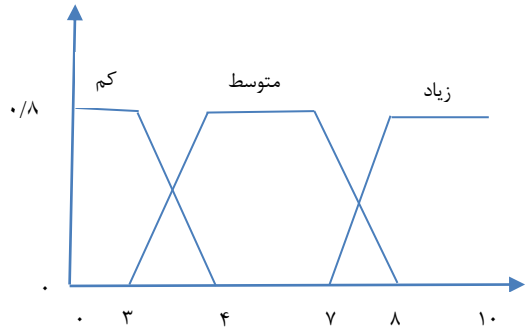
(شکل-۳): الگوریتم پروتکل IFEE-AODV
(Figure-3): Algorithm of IFEE-AODV protocol

۴-۲-۱- فازی‌ساز شهودی

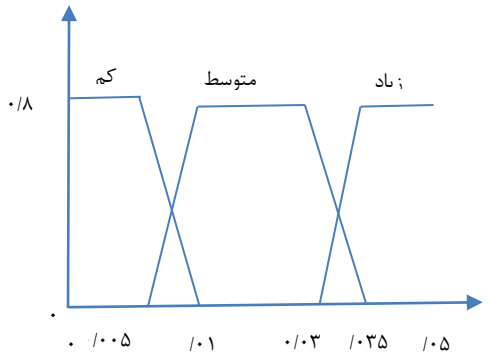
برای تبدیل ارزش‌های قطعی به ارزش‌های زبانی، فازی‌ساز شهودی برای هر دو ورودی استفاده می‌شود. اعدادی که برای دو ورودی و خروجی در نظر گرفته شده است با توجه به شبیه‌سازی به‌دست آمده‌اند. برای ورودی انرژی باقی‌مانده، محدودهٔ توابع عضویت و عدم عضویت بین صفر تا ده (۱۰-۰) است. محدوده به سه تابع عضویت تقسیم می‌شود. توابع عضویت انرژی باقیمانده "*کم*" (۴-۰)، "*متوسط*" (۸-۳) و "*زیاد*" (۱۰-۷) است. برای انرژی مصرفی محدودهٔ توابع عضویت و عدم عضویت بین صفر تا ۰/۰۵ (۰/۰۵-۰) است. محدوده به سه تابع عضویت تقسیم می‌شود. توابع عضویت انرژی مصرفی "*کم*" (۰/۰۱-۰)، "*متوسط*" (۰/۰۳۵-۰/۰۰۵) و "*زیاد*" (۰/۰۵-۰/۰۳) است [3]. توابع عدم عضویت انرژی باقی‌مانده "*کم*" (۴-۰)، "*متوسط*" (۸-۳) و "*زیاد*" (۱۰-۷) هستند و توابع عدم عضویت انرژی مصرفی "*کم*" (۰/۰۱-۰)، "*متوسط*" (۰/۰۳۵-۰/۰۵) و "زیاد" (۰/۰۵-۰/۰۳) است. این مجموعه‌های فازی شهودی به‌عنوان اعداد فازی شهودی ذوزنقه‌ای در شکل‌های (۴، ۵، ۶، ۷) نشان داده شده است.

[1] Intuitionistic Fuzzy logic for Energy Efficient routing based AODV (IFEE-AODV)

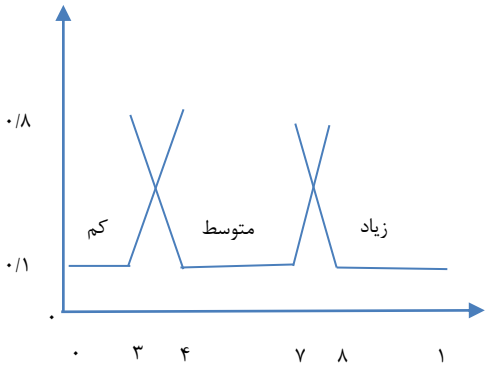
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.1.12]



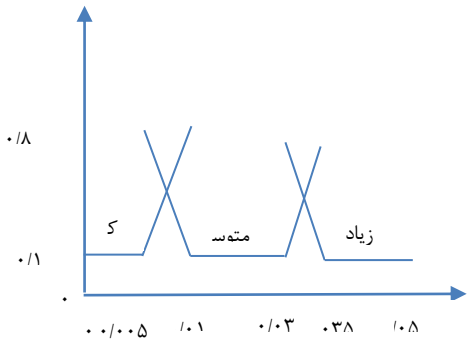
(شکل-۴): تابع عضویت انرژی باقی‌مانده
(Figure-4): Membership function of remaining energy



(شکل-۵): تابع عضویت انرژی مصرفی
(Figure-5): Membership function of consumption energy



(شکل-۶): تابع عدم عضویت انرژی باقیمانده
(Figure-6): Non-membership function of remaining energy



(شکل-۷): تابع عدم عضویت انرژی مصرفی
(Figure-7): Non-membership function of consumption energy

توابع عضویت برای انرژی باقی‌مانده با توجه به شکل (۴) به‌صورت زیر است:

$$\mu_{low}(x)=\begin{cases}0 & x<0\\ 0.8 & 0\le x\le 3\\ -0.8(x-4) & 3\le x\le 4\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (۵)$$

$$\mu_{medium}(x)=\begin{cases}0 & x<3\\ 0.8(x-3) & 3\le x<4\\ 0.8 & 4\le x\le 7\\ -0.8(x-8) & 7\le x\le 8\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (۶)$$

$$\mu_{high}(x)=\begin{cases}0 & x<7\\ 0.8(x-7) & 7\le x\le 8\\ 0.8 & 8\le x\le 10\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (۷)$$

توابع عدم عضویت برای انرژی باقی‌مانده با توجه به شکل (۶) به‌صورت زیر است:

$$\vartheta_{low}(x)=\begin{cases}0.8 & x<0\\ 0.1 & 0\le x\le 3\\ 0.7(x-3)+0.1 & 3\le x\le 4\\ 0.8 & otherwise\end{cases} \quad (۸)$$

$$\vartheta_{medium}(x)=\begin{cases}0.8 & x<3\\ -0.7(x-4)+0.1 & 3\le x<4\\ 0.1 & 4\le x\le 7\\ 0.7(x-7)+0.1 & 7\le x\le 8\\ 0.8 & otherwise\end{cases} \quad (۹)$$

$$\vartheta_{high}(x)=\begin{cases}0.8 & x<7\\ -0.7(x-8)+0.1 & 7\le x\le 8\\ 0.1 & 8\le x\le 10\\ 0.1 & otherwise\end{cases} \quad (۱۰)$$

توابع عضویت برای انرژی مصرفی با توجه به شکل (۵) به شرح زیر است:

$$\mu_{low}(x)=\begin{cases}0 & x<0\\ 0.8 & 0\le x\le 0.005\\ -160*(x-0.01) & 0.005\le x\le 0.01\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (۱۱)$$

$$\mu_{medium}(x)=\begin{cases}0 & x<0.005\\ 160*(x-0.005) & 0.005\le x<0.01\\ 0.8 & 0.01\le x\le 0.03\\ -160*(x-0.035) & 0.03\le x\le 0.035\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (۱۲)$$

$$\mu_{high}(x)=\begin{cases}0 & x<0.03\\ 160*(x-0.03) & 0.03\le x\le 0.035\\ 0.8 & 0.035\le x\le 0.05\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (۱۳)$$

توابع عدم عضویت مربوط به انرژی مصرفی با توجه به شکل (۷) به‌صورت زیر است:

$$\vartheta_{low}(x)=\begin{cases}0.8 & x<0\\ 0.1 & 0\le x\le 0.005\\ 140*(x-0.01)+0.8 & 0.005\le x\le 0.01\\ 0.8 & otherwise\end{cases} \quad (۱۴)$$

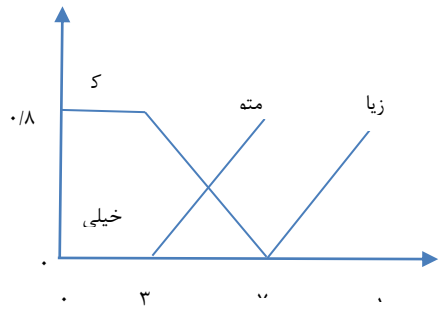
$$\vartheta_{medium}(x)=\begin{cases}0.8 & x<0.005\\ -140*(x-0.01)+0.1 & 0.005\le x<0.01\\ 0.1 & 0.01\le x\le 0.03\\ 140*(x-0.03)+0.1 & 0.03\le x\le 0.035\\ 0.8 & otherwise\end{cases} \quad (۱۵)$$

(۱۶)

$$\vartheta_{high}(x)=\begin{cases}0.8 & x<0.03\\ -140*(x-0.03)+0.8 & 0.03\le x\le 0.035\\ 0.1 & 0.035\le x\le 0.05\\ 0.1 & otherwise\end{cases}$$

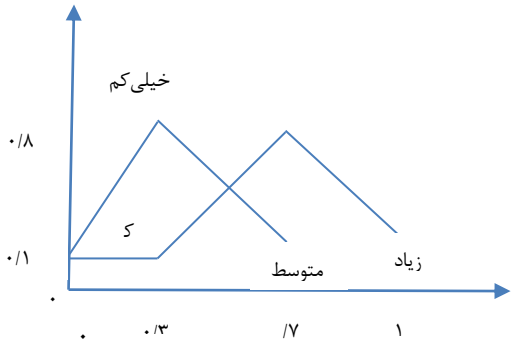
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.1.12]

چهار تابع عضویت فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای برای خروجی تمایل گره برای شرکت در مسیریابی وجود دارد. محدوده تمایل گره بین صفر و یک (۱-۰) است. توابع عضویت تمایل گره " *خیلی‌کم*" (۰/۳-۰)، "کم" (۰/۷-۰)، "*متوسط*" (۰/۷-۰/۳) و " *زیاد*" (۱-۰/۷) است [3]. توابع تعریف‌شدهٔ این مجموعه‌های فازی در شکل (۸) نشان داده شده است. متناظر با توابع عضویت چهار تابع عدم عضویت نیز وجود دارد. توابع عدم عضویت متناظر با " *خیلی‌کم*"، "*کم*"، " *متوسط*" و " *زیاد*" در شکل (۹) نشان داده شده است.



(شکل-۸): تابع عضویت تمایل گره

(Figure-8): Membership function of node willingness



(شکل-۹): تابع عدم عضویت تمایل گره

(Figure-9): Non-membership function of node

توابع عضویت برای تمایل گره به شکل ریاضی با توجه به شکل (۸) به شرح زیر است:

$$\mu_{verylow}(x)=\begin{cases}-2.66*(x-0.3) & 0\le x\le 0.3\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (۱۷)$$

$$\mu_{low}(x)=\begin{cases}0 & x<0\\ 0.8 & 0\le x\le 0.3\\ -2*(x-0.7) & 0.3\le x\le 0.7\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (۱۸)$$

$$\mu_{medium}(x)=\begin{cases}2*(x-0.3) & 0.3\le x\le 0.7\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (۱۹)$$

$$\mu_{high}(x)=\begin{cases}2.66*(x-0.7) & 0.7\le x\le 1\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (۲۰)$$

توابع عدم عضویت مربوط به تمایل گره به شکل ریاضی با توجه به شکل (۹) به‌صورت زیر است:

$$\vartheta_{verylow}(x)=\begin{cases}2.33*x+0.1 & 0\le x\le 0.3\\ 0.8 & otherwise\end{cases} \quad (۲۱)$$

$$\vartheta_{low}(x)=\begin{cases}0 & x<0\\ 0.1 & 0.1\le x\le 0.3\\ (1.75)*(x-0.3)+0.1 & 0.3\le x\le 0.7\\ 0.8 & otherwise\end{cases} \quad (۲۲)$$

$$\vartheta_{medium}(x)=\begin{cases}-1.75*(x-0.7)+0.1 & 0.3\le x\le 0.7\\ 0.8 & otherwise\end{cases} \quad (۲۳)$$

$$\vartheta_{high}(x)=\begin{cases}(-2.33)*(x-1)+0.1 & 0.7\le x\le 1\\ 0.8 & otherwise\end{cases} \quad (۲۴)$$

۲-۲-۴- موتور استنتاج فازی شهودی

موتور استنتاج فازی شهودی شبیه انسان استدلال می‌کند که به‌وسیله قوانین بیان می‌شود. متغیرهای فازی شهودی به موتور استنتاج فازی شهودی با ۹ قانون داده می‌شود و دستگاه استنتاج فازی شهودی بر اساس روش استنتاج ممدانی-لارنس کار می‌کند [13،14] و قوانین به‌صورت جملات اگر-آنگاه هستند.

قوانین استفاده‌شده به شکل زیر هستند:

قانون ۱: اگر انرژی باقی‌مانده *کم* و انرژی مصرفی *زیاد* است، آن‌گاه تمایل گره *خیلی‌کم* است.

قانون۲: اگر انرژی باقی‌مانده *کم* و انرژی مصرفی *کم* است، آن‌گاه تمایل گره *کم* است.

قانون۳: اگر انرژی باقی‌مانده *زیاد* و انرژی مصرفی *زیاد* است، آن‌گاه تمایل گره *متوسط* است.

قانون۴: اگر انرژی باقی‌مانده *زیاد* و انرژی مصرفی *کم* است، آن‌گاه تمایل گره *زیاد* است.

قانون۵: اگر انرژی باقی‌مانده *کم* و انرژی مصرفی *متوسط* است، آن‌گاه تمایل گره *کم* است.

قانون۶: اگر انرژی باقی‌مانده *زیاد* و انرژی مصرفی *متوسط* است، آن‌گاه تمایل گره *کم* است.

قانون۷: اگر انرژی باقی‌مانده *متوسط* و انرژی مصرفی *متوسط* است، آن‌گاه تمایل گره *کم* است.

قانون۸: اگر انرژی باقی‌مانده *متوسط* و انرژی مصرفی *کم* است، آن‌گاه تمایل گره *متوسط* است.

قانون۹: اگر انرژی باقی‌مانده *متوسط* و انرژی مصرفی *زیاد* است، آن‌گاه تمایل گره *کم* است.

در سامانه استنتاج فازی شهودی هر قانون در صورتی فعال[1] می‌شود که کمترین[2] مقدار عضویت دو ورودی مخالف با صفر باشد و بیشترین[3] مقدار عدم عضویت دو ورودی مخالف با ۰/۸ باشد.

[1] Fire
[2] Min
[3] Max

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.1.12]

۳-۲-۴- غیر فازی‌ساز شهودی

غیرفازی‌سازی واحد نهایی از موتور استنتاج فازی شهودی است که مقدار فازی تمایل گره را می‌گیرد و خروجی نهایی را تولید می‌کند. چندین روش برای غیرفازی‌سازی وجود دارد که اینجا از روش TS[1] استفاده شده که فرمول آن به‌شکل زیر است [15]:

$$X=\frac{\sum_{j=1}^{M} x^j\left(\left(1-\pi_{Aj}\right)\mu_{Aj}+\mu_{A^j}\pi_{Aj}\right)}{\sum_{j=1}^{M}\left(\left(1-\pi_{Aj}\right)\mu_{Aj}+\mu_{A^j}\pi_{Aj}\right)} \quad (۲۵)$$

به‌طوریکه X خروجی نهایی سامانه فازی شهودی، x^j مقادیر فازی خروجی و M تعداد مقادیر فازی خروجی است.

$$\mu_{Aj}=\Lambda_{i=1}^{n}\mu_{A_i^j}(x) \quad (۲۶)$$

$$\vartheta_{Aj}=V_{i=1}^{n}\mu_{A_i^j}(x) \quad (۲۷)$$

$$\pi_{Aj}=1-\mu_{Aj}-\vartheta_{Aj} \quad (۲۸)$$

۳-۴- فرآیند کشف مسیر

زمانی‌که گرهٔ مبدأ برای ارسال داده مسیری را به مقصد خاص نیاز دارد؛ اما مسیری به مقصد مورد نظر در جدول مسیریابی این گره وجود نداشته باشد، عملیات کشف مسیر توسط گرهٔ مبدأ آغاز می‌شود. این گره برای کشف مسیر بستهٔ RREQ را پخش فراگیر می‌کند. این بسته حاوی فیلدهای (شناسه مبدأ، شناسه مقصد، میزان تمایل پیوست‌شده با گره‌های میانی و...) است. هر گره در طول مسیر بعد از دریافت RREQ، میزان تمایل خود را در فیلد مربوط به میزان تمایل الحاق‌شده با گره‌های میانی در بستهٔ RREQ قرار می‌دهد؛ سپس میزان تمایل گره همسایه‌هایش را محاسبه و بستهٔ RREQ را به گره‌هایی که تمایل بیشتری دارند، ارسال می‌کند. گرهٔ مقصد معکوس بستهٔ RREP را ایجاد و آن را به‌صورت تک بخشی به سمت گرهٔ مبدأ ارسال می‌کند. این گره میزان تمایل گره‌ها در مسیر را جمع می‌کند و در بستهٔ RREP قرار می‌دهد. درنهایت مسیری انتخاب می‌شود که مجموع تمایل گره‌هایش از همه بیشتر است.

۵- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش قابلیت و کارایی پروتکل پیشنهادی (IFEE-AODV) را مورد بررسی قرار داده و این پروتکل با پروتکل‌های AODV، DFES-AODV و SFES-AODV مقایسه و هم‌چنین پروتکل پیشنهادی را در شبکه با تعداد گره‌های مختلف مورد بررسی قرار داده و ارزیابی نتایج انجام خواهد شد. برای شبیه‌سازی پروتکل از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. پارامترها و تنظیمات پیش‌فرض برای شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار متلب/ شبیه‌ساز True Time در جدول (۱) ارائه شده است.

(جدول-۱): پارامترها و تنظیمات شبیه‌سازی
(Table 1): Simulation parameters and setting

پارامترها	مقادیر
محدوده ناحیه شبیه‌سازی	۱۰۰ × ۱۰۰ مترمربع
سرعت گره‌ها	۱ متر بر ثانیه
بازهٔ زمانی بین انتقال ترافیک	۰/۱ ثانیه
اندازهٔ بسته‌ها	۵۱۲ بایت
تعداد گره‌ها	۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰
انرژی اولیه	۱۰ ژول
پهنای باند	۱ مگابایت بر ثانیه
نوع ترافیک	CBR

۵-۱- معیارها

از معیارهای زیر برای مقایسهٔ کارایی IFEE-AODV با DFES-AODV وAODV و SFES-AODV استفاده شده است.

- نرخ تحویل بسته(PDR)[2]: نسبت تعداد بسته‌هایی که به‌طور موفق توسط گرهٔ مقصد دریافت شده به تعداد کل بسته‌هایی که از هر گره برای آن مقصد ارسال می‌شود.
- تأخیر انتها به انتها(EED)[3]: اختلاف بین زمانی که یک بستهٔ داده به‌وسیله گرهٔ مقصد دریافت شده و زمانی که این بسته توسط گرهٔ مبدأ فرستاده شده است. این اختلاف ناشی از این است که گرهٔ مبدأ به دلیل نداشتن مسیری به مقصد، نیاز به انجام کشف مسیر دارد و بستهٔ داده باید تا کشف مسیر در گرهٔ مبدأ منتظر بماند.
- زمانی‌که نخستین گره انرژی خود را از دست می‌دهد (FND)[4].
- مدت زمانی که نیمی از گره‌ها انرژی خود را از دست می‌دهند (THNED)[5]: زمانی که شبکه می‌بیند پنجاه درصد (نیمی) از گره‌ها انرژی‌شان تخلیه شده است.
- بازده[6]: اگر در زمان t تعداد y بیت به یک گره تحویل داده شود، بازده برای آن گره به‌صورت $\frac{y}{t}$ محاسبه می‌شود.

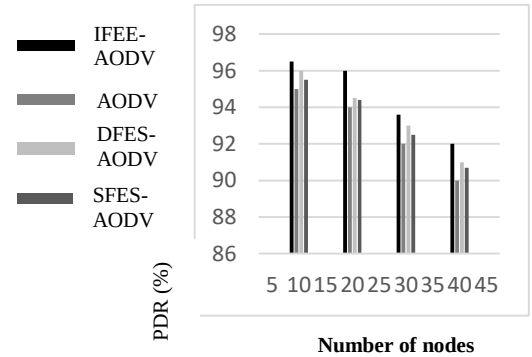
[1] Takagi Sugani (TS)

[2] Packet Delivery Ratio (PDR)
[3] End-to-End-Delay (EED)
[4] First Node Die (FND)
[5] Time to Half Nodes Energy Die (THNED)
[6] Throughput

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.52547/jsdp.18.1.12]

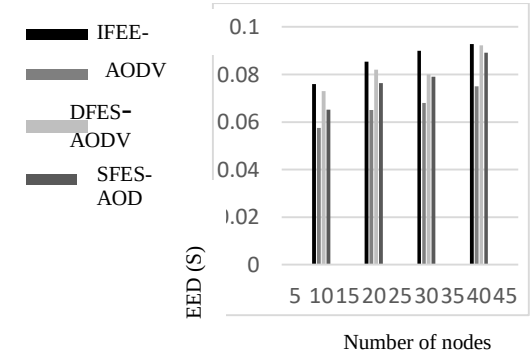
همان‌طورکه در شکل (۱۰) دیده می‌شود، نرخ تحویل بستهٔ پروتکل پیشنهادی (IFEE-AODV) از نرخ تحویل بستهٔ سه پروتکل دیگر بیشتر است. در هر مرحله براساس انرژی مصرفی و انرژی باقی‌مانده تمایل گره برای شرکت در مسیریابی به‌دست می‌آید و چون گره‌ای انتخاب می‌شود که تمایل بیشتری دارد، درنتیجه تعداد بسته‌هایی که به مقصد تحویل داده می‌شود، بیشتر است.

همان‌طورکه توضیح داده شد، برای محاسبهٔ تمایل گره از سامانه منطق فازی شهودی استفاده می‌شود که شامل محاسبهٔ توابع عضویت و عدم عضویت برای هر یک از ورودی‌ها و خروجی، قوانین فازی و غیرفازی‌سازی است. این محاسبات باعث می‌شود تأخیر انتهابه‌انتها در روش پیشنهادی کمی بیشتر از دو روش دیگر شود که زیاد قابل ملاحظه نیست؛ درنتیجه بازده روش پیشنهادی کمی از دو روش دیگر کمتر می‌شود؛ اما مسیری که پیدا می‌شود از نظر انرژی بهینه است. تأخیر انتها به انتها و بازده به‌ترتیب در شکل‌های (۱۱ و ۱۲) نشان داده شده است.



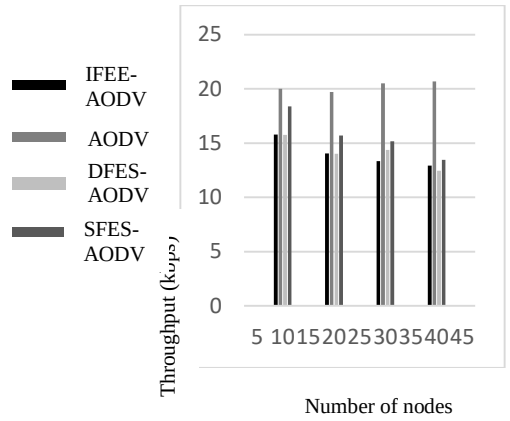
(شکل-۱۰): مقایسهٔ نرخ تحویل بسته IFEE-AODV با DFES-AODV، AODV و SFES-AODV

(Figure-10): Comparison of packet delivery ratio IFEE-AODV with DFES-AODV ، AODV and SFES-AODV



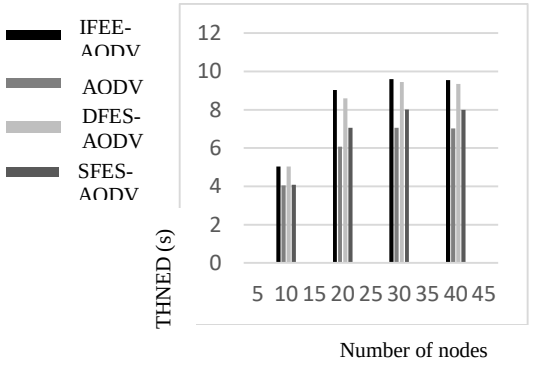
(شکل-۱۱): مقایسهٔ تأخیر انتها به انتها IFEE-AODV با AODV ، DFES-AODV و SFES-AODV

(Figure-11): Comparison of end-to-end delay IFEE-AODV with DFES-AODV ، AODV and SFES-AODV



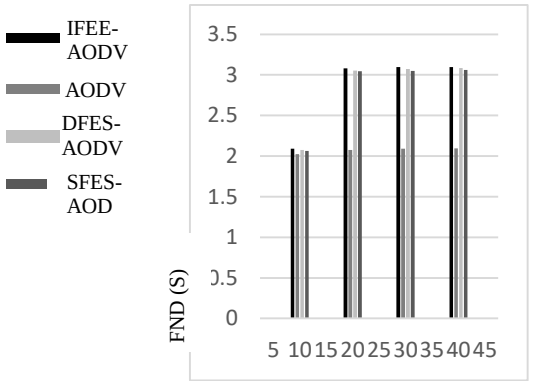
(شکل-۱۲): مقایسهٔ بازده IFEE-AODV با AODV، DFES-AODV و SFES-AODV

(Figure-12): Comparison of throughput IFEE-AODV with DFES-AODV ، AODV and SFES-AODV



(شکل-۱۳): مقایسهٔ معیار THNED پروتکل IFEE-AODV با AODV، DFES-AODV و SFES-AODV

(Figure-13): Comparison of THNED of IFEE-AODV with DFES-AODV ، AODV and SFES-AODV



(شکل-۱۴): مقایسهٔ معیار FND پروتکل IFEE-AODV با DFES-AODV AODV و SFES-AODV

(Figure-14): Comparison of FND of IFEE-AODV with DFES-AODV ، AODV and SFES-AODV

شکل‌های (۱۳ و ۱۴)، زمانی که نیمی از گره‌ها انرژی خود را از دست می‌دهند و زمانی را که نخستین گره انرژی خود را از دست می‌دهد، به‌ترتیب نشان می‌دهند. این دو معیار در پروتکل پیشنهادی بیشتر از دو

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.1.12]

روش دیگر است. هر چه انرژی مصرفی کمتر و انرژی باقیمانده بیشتر باشد، تمایل گره برای شرکت در مسیریابی نیز بیشتر است؛ درنتیجه طول عمر نیز افزایش می‌یابد. به این دلیل که هر دفعه گره‌ای انتخاب می‌شود که تمایل بیشتری دارد؛ پس مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد که گره‌ها انرژی‌شان صفر شود.

در حالت کلی، با افزایش تعداد گره‌ها، تأخیر نیز بالا می‌رود. زیرا هر گام می‌تواند سهمی از تأخیر در ترافیک پیش‌رو داشته باشد؛ علاوه‌براین، گره‌های شبکه که بیشتر می‌شود، تراکم نیز بیشتر می‌شود و می‌تواند مسیرهای بیشتری را پوشش دهد. در نتیجه با افزایش تأخیر، بازده نیز کم می‌شود. نرخ تحویل بسته، زیاد تغییر نمی‌کند، زیرا با افزایش تعداد گره‌ها نیز مسیر پیدا می‌شود. در حالت کلی با افزایش تعداد گره‌ها، نرخ تحویل بسته کمی کمتر می‌شود. با افزایش تعداد گره‌ها، زمانی که نخستین گره و هم‌چنین زمانی که نیمی از گره‌ها انرژی‌شان تمام می‌شود، بیشتر می‌شود ولی از یک جایی به بعد این زمان ثابت و یا کمتر می‌شود. هر چقدر مدت‌زمانی‌که نخستین گره و یا نیمی از گره‌ها در شبکه از بین می‌روند، بیشتر باشد، طول عمر شبکه نیز بیشتر است.

۶- نتیجه‌گیری

از آن‌جائی‌که گره‌ها در شبکه‌های ویژه سیار باتری‌ها را به‌عنوان منبع تغذیه استفاده می‌کنند، فعالیت‌های گره در شبکه نظیر شرکت در فرآیند کشف مسیر، ارسال بسته‌های کنترلی یا بسته‌های داده و ... از میزان این انرژی می‌کاهد. با توجه به محدودیت باتری به‌عنوان منبع انرژی، مسیریابی با انرژی کارآمد یکی از مسائل مهم در شبکه‌های سیار موردی است. در این مقاله سعی شده است با به‌کارگیری سامانه منطق فازی شهودی روشی برای مسیریابی انرژی کارآمد ارائه شود. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی (IFEE-AODV) نرخ تحویل بسته بیشتری نسبت به سه پروتکل AODV، DFES-AODV و SFES-AODV دارد. هم‌چنین در پروتکل پیشنهادی، مدت‌زمانی که نخستین گره و مدت زمانی که نیمی از گره‌ها در شبکه انرژی‌شان تمام می‌شود، بیشتر است، در نتیجه طول عمر شبکه نیز در این پروتکل بیشتر از سه پروتکل دیگر است. عیب پروتکل پیشنهادی این است که تأخیر را افزایش و در نتیجه بازده را کاهش می‌دهد؛ به این دلیل که برای محاسبهٔ تمایل گره از سامانه منطق فازی شهودی استفاده می‌شود که شامل محاسبهٔ توابع عضویت، عدم عضویت، قوانین فازی و غیرفازی‌سازی است. این محاسبات باعث می‌شود که تأخیر انتهابه‌انتها کمی بیشتر از سه پروتکل دیگر شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی توانایی پیدا کردن مسیر با انرژی کارآمد را دارد.

۷- مراجع 7- References

[1] H. M. Sun, C. H. Chen and Y. F. Ku, "A novel acknowledgment-based approach against collude attacks in MANET", *Journal of Expert System with Application*, Vol. 39, pp. 7968-7975, 2012.

[2] M. Ilyas, The Hand book of Ad Hoc Wireless Networks, CRC press, 2002.

[3] S. Chettibi and S. Chikhi, "Dynamic fuzzy logic and reinforcement learning for adaptive energy efficient routing in mobile ad-hoc networks", *Applied Soft Computing*, Vol. 38, pp. 321-328, 2016.

[4] W. El-Hajj, D. Kountanis, A. Al-Fuqaha and M. Guizani, "A fuzzy based hierarchical energy efficient routing protocol for large scale mobile ad hoc networks", *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, Istanbul*, Turkey, pp. 3585–3590, June 11-15, 2006.

[5] W. Naruephiphat and W. Usaha, "Balancing tradeoffs for energy efficient routing in MANETs based on reinforcement learning", *Proceedings of the 67th IEEE Vehicular Technology Conference, Singapore*, pp. 2361–2365, May 11-14, 2008.

[6] N. Chen, Q. Zhang and S. Jin, A fuzzy path selection power-based for MANET, Fuzzy Information and Engineering, B Cao, T. Li, C. Zhang (Eds.), Springer, Berlin Heidelberg, pp. 1283–1291, 2009.

[7] P. Hiremath and S. Joshi, "Energy efficient routing protocol with adaptive fuzzy threshold energy for MANETs", International Journal of Computer Networks and Wireless Communications, Vol. 2, No. 3, pp. 402–407, 2012.

[8] S. Chettibi and S. Chikhi, "An adaptive energy aware routing protocol for MANETs using zero-order sugeno fuzzy system", *International Journal of Computer Sience*, Vol. 10, No. 1, pp. 136-141, 2013.

[9] K. T. Atanassov, Intuitionistic fuzzy logic: Theory and Applications, Studies in Fuzziness and soft computing Heildberg, Physica-verlag, 1999.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.1.12]

[10] K. T. Atanassov, "Intuitionistic fuzzy sets", *Fuzzy Sets and Systems*", Vol. 20, pp. 87-96, 1986.

[11] K. T. Atanassov, "More on intuitionistic fuzzy sets", *Fuzzy sets and Systems*, Vol. 33, pp. 37-45, 1989.

[۱۲] م. کوچکی رفسنجانی، ا. برومند سعید و فرزانه میرزاپور، تصمیم‌گیری گروهی چندمعیارهٔ ترکیبی برای مسأله انتخاب تأمین‌کننده با داده‌های فازی شهودی بازه‌ای مقدار، دوره ۱۷، شماره ۳، صفحات ۱۶-۳، ۱۳۹۹.

[12] M. Kuchaki Rafsanjani, A. Borumand Saeid, F. Mirzapour, "Hybrid multi-criteria group decision making for supplier selection problem with interval-valued intuitionistic fuzzy data", *Signal and Data Processing (JSDP)*, Vol. 17, No. 3, pp. 3-16, 2020.

[۱۳] ا. اسلامی، نظریه مجموعه‌های فازی و تعمیم‌های آن، سیستم‌های فازی و کاربردها، سال اول، شماره اول، صفحات ۲۲-۱، ۱۳۹۷.

[13] E. Eslami, "Fuzzy set theory and its extensions", *Fuzzy Systems and Applications*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-22, 2018.

[14] EH. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant", *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, Vol. 121, No. 12, pp. 1585–1588, December 1974.

[15] M. Akram, S. Shahzad, A. Butt and A. Kaliq, "Intuitionistic fuzzy logic control for heater fans", *Mathematics in Computer Science*, Vol. 7, No. 2, pp. 137-254, 2013.



ارشام برومند سعید دکترای خود را در رشته ریاضی در سال ۱۳۸۳ دریافت کرده است. ایشان هم‌اکنون استاد بخش ریاضی دانشکده ریاضی و رایانه در دانشگاه شهید باهنر کرمان است. نامبرده تاکنون بیش از سیصد مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های معتبر داخلی و خارجی به چاپ رسانده است. زمینه‌های پژوهشی وی منطق، سامانه‌های فازی و کاربردهای آنها است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

arsham@uk.ac.ir



مریم حسام‌پور کارشناس ارشد علوم رایانه از دانشگاه شهید باهنر کرمان است. زمینه‌های پژوهشی وی شبکه‌های رایانه‌ای و سامانه‌های فازی است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

hesampourmaryam@gmail.com



مرجان کوچکی رفسنجانی دکترای خود را در رشته مهندسی رایانه گرایش نرم‌افزار در سال ۱۳۸۷ دریافت کرده است. ایشان هم‌اکنون دانشیار بخش علوم رایانه دانشکده ریاضی و رایانه در دانشگاه شهید باهنر کرمان است. نامبرده تاکنون بیش از ۱۷۰ مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های معتبر داخلی و خارجی به چاپ رسانده است. زمینه‌های پژوهشی وی شبکه‌های رایانه‌ای (شبکه‌های ویژه سیار، شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم، شبکه‌های ویژه خودرویی)، تجارت الکترونیک، هوش مصنوعی و رایانش گرید و ابری است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

kuchaki@uk.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/jsdp.18.1.12]