

حفظ اتصال و یکنواختی توزیع گره‌ها در شبکه‌های موردی با استفاده از اتوماتاهای یادگیر

زهرا جباری مهدی اثنی‌عشری محمد رضا میبیدی

آزمایشگاه محاسبات نرم

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ایران

mmeybodi@aut.ac.ir, esnaashari@aut.ac.ir, jabari@aut.ac.ir

چکیده: در این مقاله به مسأله‌ی حفظ اتصال و یکنواختی توزیع گره‌های یک شبکه‌ی موردی در محیطی آسیب‌پذیر و ناامن پرداخته شده است. با توجه به ناامن بودن محیط، گره‌های شبکه هر لحظه در معرض آسیب‌پذیری و از دست دادن کارایی خود می‌باشند. در این مقاله، با در نظر گرفتن قابلیت حرکت برای گره‌های شبکه، سه مکانیزم حرکتی پیشنهاد شده است که به گره‌ها امکان می‌دهند از نقاط آسیب‌پذیر محیط دور شده و در نقاط امن‌تر قرار گیرند. این مکانیزم‌های حرکتی همچنین به گونه‌ای طراحی شده‌اند که اتصال و یکنواختی توزیع گره‌ها را در نقاط امن شبکه حفظ نمایند. در مکانیزم حرکتی اول، با استفاده از تغییراتی که روی مدل حرکت **RWP** اعمال شده‌است، الگویی جدید برای جابجایی گره‌ها از مکان‌های پر خطر ارائه شده‌است. در روش دوم، هر گره بر اساس شرایط جاری خود قادر به محاسبه‌ی یک بردار احتمال پویاست. در صورتی که گره‌ای در مکان نامناسب قرار گیرد، با محاسبه‌ی این بردار احتمال پویا برای شرایط جاری، حرکت بعدی خود را تعیین می‌کند. در نهایت مکانیزم سوم، یک اتوماتای یادگیر در هر گره، حرکات آن گره را تنظیم می‌کند. نتایج حاصل از آزمایشات نشان می‌دهد که مکانیزم حرکتی ارائه شده توسط اتوماتای یادگیر در هدایت گره‌ها برای خروج از مناطق آسیب‌پذیر در مقایسه با روش‌های مشابه عملکرد مناسب‌تری از خود نشان می‌دهد.

کلیدواژه: شبکه‌های موردی^۱، محیط آسیب‌پذیر، اتصال، یکنواختی توزیع، اتوماتای یادگیر^۲

۱. مقدمه

مکانیزم‌های حرکتی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که هر گره علاوه بر تلاش برای حفظ خود از آسیب‌های محیط و قرار گرفتن در نقاط امن‌تر، اتصال شبکه را نیز حفظ نموده و موجب دو تکه شدن شبکه نمی‌شود.

ادامه‌ی این مقاله بدین صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ به مروری بر فعالیتهای انجام شده در این حوزه پرداخته می‌شود. در بخش سوم، اتوماتای یادگیر به عنوان مدلی که مکانیزم حرکتی ارائه شده بر مبنای آن شکل می‌گیرد، معرفی می‌شود. در بخش چهارم ابتدا تعریفی از یک محیط متغیر ارائه می‌گردد و در ادامه دو مکانیزم حرکتی برای کنترل حرکت گره‌ها برای قرار گرفتن در نقاط ایمن‌تر ضمن حفظ اتصال شبکه پیشنهاد می‌شود. بخش پنجم به ارزیابی مکانیزم‌های حرکتی ارائه شده اختصاص دارد. بخش ششم جمع‌بندی می‌باشد.

۲. مروری بر کارهای گذشته

به دلیل متحرک بودن گره‌های شبکه‌ی موردی، توپولوژی شبکه مدام در حال تغییر است و در نتیجه مسائل بسیاری در این شبکه‌ها تحت تأثیر جابجایی گره‌ها قرار دارد. مسأله‌ی مسیریابی

در شبکه‌های موردی که زیرمجموعه‌ای از شبکه‌های بیسیم^۳ محسوب می‌شوند[۱]، به دلیل متغیر بودن ساختار شبکه بسیاری از فعالیت‌ها به مکان گره‌ها در هر لحظه و نیز به سرعت حرکت و نحوه‌ی جابجایی آنها در محیط وابسته می‌باشند [۲]. تبادل اطلاعات میان گره‌هایی که فاصله‌ی زیادی از یکدیگر دارند، با استفاده از گره‌های میانی موجود در مسیر و تبادل چند گامه^۴ اطلاعات صورت می‌پذیرد[۳]. تبادل چندگامه زمانی به طور کامل امکان‌پذیر است که گره‌های شبکه متصل باشند و یا به عبارتی همواره بتوان میان هر دو گره‌ی دلخواه از شبکه یک مسیر یافت. در شبکه‌هایی که در محیط‌های نظامی قرار دارند و یا شبکه‌هایی که به منظور امداد و نجات در حوادث طبیعی عظیم مانند سیل، زلزله، حریق و طوفان تشکیل می‌شوند، همواره این امکان وجود دارد که گره‌های شبکه در اثر آسیب‌های وارد بر محیط از بین رفته یا دچار مشکل شوند. از بین رفتن گره‌های شبکه می‌تواند به مرور منجر به قطع اتصال شبکه و در نتیجه کاهش کارایی کل شبکه گردد. در این مقاله مکانیزم‌های حرکتی مناسبی جهت کنترل حرکت گره‌ها در شبکه‌هایی که در چنین محیط‌های آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند ارائه می‌شود. این

گره‌های شبکه که برای تبادل پیام میان گره‌های این شبکه ضروری است با جابجایی گره‌ها دستخوش تغییر شده و لازم است جداول مسیریابی گره‌ها مدام به‌روز رسانی شوند. همچنین جابجایی مدام گره‌ها می‌تواند به حفظ اتصال شبکه آسیب رسانده و در صورت دور شدن بیش از حد گره‌ها از یکدیگر اتصال شبکه از بین برود. با توجه به محدود بودن منبع انرژی گره‌ها، جابجایی زیاد ممکن است موجب اتلاف بیش از حد توان گره شده و با کاهش طول عمر گره، فعالیت‌های شبکه را مختل کند.

از دیگر مسائلی که در حوزه‌ی شبکه‌های موردی مطرح است، نحوه‌ی پراکندگی گره‌های شبکه است. در شبکه‌های حسگری که برای شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات پراکنده در یک منطقه در نظر گرفته شده‌اند، این مسئله اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. مسأله‌ی حرکت گره‌ها در محیط می‌تواند روی نحوه‌ی توزیع گره‌ها در سطح شبکه نیز تأثیر داشته و پراکندگی مطلوب گره‌ها و در نتیجه میزان پوشش شبکه را از بین ببرد.

تأثیر زیادی که حرکت گره‌های یک شبکه‌ی موردی در پایداری اتصالات گره‌ها و در نتیجه در مسأله‌ی تغییر توپولوژی و مسیریابی و همچنین مصرف انرژی آنها دارد باعث شده است که بررسی‌های گوناگونی روی نحوه‌ی حرکت گره‌ها صورت پذیرد. گره‌ها در محیط‌های واقعی با توجه به این که بر روی چه ابزاری نصب شده‌اند، الگوهای حرکتی متفاوتی دارند. به عبارتی گره‌های متصل به وسایل نقلیه، ربات‌ها یا انسان‌ها و همچنین گره‌هایی با ابعاد بسیار کوچک و سبک که به منظور بررسی رفتار گردبادها و طوفانهای عظیم مورد استفاده قرار می‌گیرند، الگوهای حرکتی مختلفی دارند. یک دسته‌بندی از این الگوهای حرکتی در [6] ارائه شده است. در مجموع این الگوهای حرکتی شامل الگوی عابر پیاده^۵، زیر دریایی^۶، وسایل نقلیه‌ی زمینی^۷، تحرک هوایی^۸، مدل میانی^۹، جابجایی در جو^{۱۰} و در نهایت مدل حرکت روبات^{۱۱} می‌باشد.

در مرجع [7] مسأله‌ی اتصال در یک شبکه‌ی موردی با تعداد معینی گره که از مدل حرکتی تصادفی^{۱۲} RWP استفاده می‌کنند، مورد بررسی قرار گرفته است. مدل حرکتی RWP یکی از شناخته شده‌ترین مدل‌هایی است که به منظور شبیه‌سازی رفتار حرکتی گره‌های موبایل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدل فرض بر این است که حرکت گره‌ها مستقل از یکدیگر است و هر گره با سرعت مشخص شده از مکان فعلی به سمت ایستگاه^{۱۳} بعدی خود حرکت می‌کند. زمانی که گره به ایستگاه بعدی رسید، ایستگاه دیگری به صورت تصادفی از فضای اطراف گره انتخاب می‌شود. به همین ترتیب، سرعت حرکت بعدی نیز برای هر گره به صورت مستقل در بازه‌ای از صفر تا حداکثر سرعت ممکن به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. همچنین می‌توان زمان‌هایی را برای توقف گره^{۱۴} در هر ایستگاه در نظر گرفت. پس از طی مدت

زمان درنگ، گره مجدداً با سرعت تصادفی تعیین شده به سمت ایستگاه بعدی خود حرکت می‌کند.

در مرجع [8] نیز روشی برای حفظ اتصال شبکه‌های بی‌سیم با استفاده از قابلیت خود اصلاح کنندگی^{۱۵} گره‌ها و بر مبنای حرکت انطباقی گره‌ها ارائه شده است. روش کار بدین صورت است که گره‌های متحرک به شکل عوامل خود مختاری مانند روبات‌ها یا گره‌های حسگر در نظر گرفته می‌شوند که قرار است هدف مشترکی را دنبال کنند. لذا حرکت آنها، با وجود موانعی در محیط، تصادفی نبوده و وجود یک هدف مشترک، حرکات آن را جهت‌دهی می‌کند. به این ترتیب، یک مکانیزم خود اصلاح کننده ارائه شده‌است که در صورت قطع اتصال شبکه، با استفاده از جابجایی گره‌ها، مجدداً اتصال شبکه را برقرار می‌کند.

در [9]، مروری بر مسائل مطرح در زمینه‌ی حفظ سلامت و امنیت گره‌های شبکه در محیط‌های پرخطر انجام شده‌است. در مرجع فوق شبکه‌ی موردی متشکل از تعدادی گره‌های حسگر و نیروهای انسانی در نظر گرفته شده‌است. فرض شده است اطلاعات کسب شده توسط گره‌های حسگر محیط (پارامترهایی چون دما، میزان اکسیژن هوا، و ...) از طریق سیستم هوشمند تشخیص سلامت و امنیت بررسی شده و نتیجه‌ی این بررسی به افراد حاضر در محیط داده می‌شود. نیروهای انسانی حاضر در این محیط با دریافت این اطلاعات قادرند نسبت به نحوه‌ی جابجایی خود در محیط بر اساس میزان امنیت محیط تصمیم‌گیری کنند.

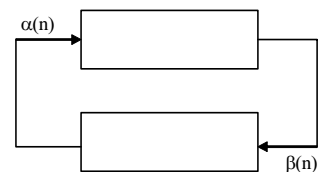
در [10] نیز یکی از کاربردهای شبکه‌های حسگر برای سیستم‌های امداد و نجات در زمینه‌ی کنترل حریق ارائه شده است. در این مرجع با بررسی نیازمندی‌های لازم برای یک شبکه‌ی اطفاء حریق از نظر سخت افزاری و نرم افزاری، ابتدا پروتکل‌های حاکم بر نحوه‌ی فعالیت شبکه بیان شده و سپس سیستمی بر این مبنا طرح شده است. در نیازمندی‌هایی که برای این سیستم در نظر گرفته شده‌است مواردی چون حفظ سلامت فیزیکی حسگرها، نحوه‌ی حرکت آتش‌نشانان، محدودیت توان پردازشی و ارتباطی گره‌ها، نحوه‌ی اطلاع رسانی مناطق آسیب دیده به شبکه به عنوان چالش‌های مطرح در این شبکه بیان شده‌است.

در [13] به ارائه‌ی الگوی حرکتی برای گره‌های یک شبکه پرداخته شده است که گره‌ها را به مراکز آسیب در محیط نزدیک می‌کند. در این بررسی هدف گردآوری گره‌های شبکه در اطراف محل‌های پر آسیب به منظور پوشش بهتر و دریافت اطلاعات دقیق‌تر است. در این بررسی الگوریتمی ارائه شده است که بر اساس آن گره‌های شبکه بر اساس حوادث و تغییراتی که در محیط اتفاق می‌افتد الگوی حرکتی خود را تغییر می‌دهند. به عبارتی گره‌های شبکه به منظور پوشش بهتر یک رخداد در محیط در اطراف محل آن تجمع کرده و منطقه را به طور کامل پوشش

می‌دهند. توزیعی بودن الگوریتم ارائه شده این امکان را فراهم می‌کند که این روش قابل توسعه بوده و نسبت به خطاهای قطع اتصال شبکه تحمل پذیر باشد. همچنین نشان داده شده است که در صورتی که گره‌های شبکه قادر به نگهداری اطلاعاتی راجع به اتفاقات گذشته باشند، در نهایت به الگوی حرکتی مناسبی دست خواهند یافت که باعث افزایش چگالی گره‌های موجود در مناطق پر آسیب می‌شود. همچنین، این الگوی حرکتی باعث کاهش درصد پوشش محیط توسط گره‌های شبکه نخواهد شد.

۳. اتوماتای یادگیر

اتوماتای یادگیر [11]، به عنوان یک عنصر فعال تعریف می‌شود که قادر است تعداد متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی می‌شود و نتیجه ارزیابی در قالب پاسخی مثبت یا منفی به اتوماتا داده می‌شود و اتوماتا با استفاده از این پاسخ برای انتخاب عمل بعدی تصمیم می‌گیرد. در این مقاله از اتوماتای یادگیر به عنوان ابزار استفاده شده جهت بهبود هماهنگ‌سازی سیستم‌های چند عامله استفاده شده است. هدف نهایی این است که اتوماتا یاد بگیرد تا از بین اعمال خود بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حداکثر برساند. کارکرد اتوماتای یادگیر در تعامل با محیط، در شکل ۱ مشاهده می‌شود.



ش

شکل ۱- ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

محیط را می‌توان توسط سه‌تایی $E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه ورودیها، $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه خروجیها و $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه احتمالهای جریمه می‌باشد. هرگاه β مجموعه دو عضوی باشد، محیط از نوع P می‌باشد. در چنین محیطی $\beta_1 = 1$ به عنوان جریمه و $\beta_2 = 0$ به عنوان پاداش در نظر گرفته می‌شود. در محیط از نوع Q، $\beta(n)$ می‌تواند به طور گسسته یک مقدار از مقادیر محدود در فاصله $[0, 1]$ و در محیط از نوع S، $\beta(n)$ متغیر تصادفی در فاصله $[0, 1]$ است. c_i احتمال اینکه عمل α_i نتیجه نامطلوب^{۱۶} داشته باشد می‌باشد. در محیط ایستا^{۱۷} مقادیر c_i بدون تغییر می‌مانند، حال آنکه در محیط غیر ایستا^{۱۸} این مقادیر در طی زمان تغییر می‌کنند.

اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت توسط پنج-تایی $\{\alpha, \beta, F, G, \phi\}$ نشان داده می‌شود که در آن

$\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه عملهای اتوماتا، $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه ورودیهای اتوماتا، $\phi \equiv \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_s\}$ مجموعه وضعیتهای داخلی اتوماتا، $F: \phi \times \beta \rightarrow \phi$ تابع تولید وضعیت جدید اتوماتا و $G: \phi \rightarrow \alpha$ تابع خروجی می‌باشد که وضعیت کنونی اتوماتا را به خروجی بعدی می‌نگارد.

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می‌توان توسط چهارتایی $\{\alpha, \beta, p, T\}$ نشان داد که $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه عملهای اتوماتا، $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}$ مجموعه ورودیهای اتوماتا، $p = \{p_1, \dots, p_r\}$ بردار احتمال انتخاب هریک از عملها و $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری می‌باشد. الگوریتم زیریک نمونه از الگوریتمهای یادگیری خطی است.

فرض کنید عمل α_i در مرحله n ام انتخاب شود.

- پاسخ مطلوب

$$p_i(n+1) = p_i(n) + a[1 - p_i(n)]$$

$$p_j(n+1) = (1-a)p_j(n) \quad \forall j \neq i \quad \text{رابطه ۱}$$

- پاسخ نامطلوب

$$p_i(n+1) = (1-b)p_i(n)$$

$$p_j(n+1) = (b/r - 1) + (1-b)p_j(n) \quad \forall j \neq i \quad \text{رابطه ۲}$$

در روابط فوق a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می‌باشند. با توجه به مقادیر a و b سه حالت زیر را می‌توان در نظر گرفت. زمانیکه a و b با هم برابر باشند، الگوریتم را L_{RP} می‌نامیم، زمانیکه b از a خیلی کوچکتر باشد، تحت عنوان الگوریتم یادگیری L_{REP} است. و زمانیکه b مساوی صفر باشد به عنوان الگوریتم L_{RI} شناخته می‌شود [12].

۴. راهکارهای ارائه شده

پیش از پرداختن به راهکار مد نظر، ابتدا تعریفی از محیط ناپایدار ارائه می‌شود.

۴-۱. محیط ناپایدار همگن و ناهمگن

ناپایداری در شرایط یک محیط ممکن است به دلیل اثر عوامل خارجی (حملات خارجی در مناطق جنگی) و یا آسیبهای ناشی از خود محیط (شبکه‌های موجود در محیطهای مین گذاری شده، زلزله و آتش سوزی و حوادث طبیعی) باشد.

در صورتی که شبکه در محیطی بسیار گسترده تشکیل شده باشد، پراکندگی ناپایداری در آن ممکن است به دو شکل رخ دهد. در حالت نخست پراکندگی ناپایداری در تمام نقاط شبکه یکنواخت است و تمامی نقاط محیط با احتمال یکسان ممکن است دچار ناپایداری شوند. چنین محیطی را ناپایدار همگن می‌نامیم. در برابر این حالت، محیط ناپایدار ناهمگن قرار دارد که در آن پراکندگی ناپایداری یکسان نبوده و در برخی نقاط بیشتر و در برخی نقاط کمتر است. در اغلب موارد، نمی‌توان پراکندگی

ناپایداری را در محیط یکسان فرض کرد. به عنوان نمونه‌هایی از چنین محیط‌هایی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: بالاتر بودن احتمال زلزله در مناطقی که روی گسل‌های جغرافیایی قرار گرفته‌اند، وقوع آتش‌سوزی در مناطقی از جنگل‌ها که انسان در آنها رفت و آمد بیشتری دارد، آسیب‌پذیری بیشتر نسبت به حملات جنگی در مناطق مسطح نسبت به مناطقی که دارای موانع و پستی و بلندی‌های مختلف هستند. بدیهی است که تنها در صورتی که پراکندگی ناپایداری‌ها در محیط ناهمگن باشد، می‌توان انتظار داشت که مکان‌هایی تحت عنوان مکان امن وجود داشته باشد.

۴-۲- مفروضات مسأله

محیط مورد نظر برای این مسأله یک محیط ناپایدار است که تغییرات به وقوع پیوسته در آن روی کارایی گره‌ها تأثیر منفی می‌گذارد. این تأثیر روی هر گره بسته به فاصله‌ای که از مرکز تغییر (آسیب) دارد منجر به کاهش توان باتری آن می‌شود. در صورتی که یک گره در مکان نامناسبی، که در طی زمان دچار آسیب‌های پی در پی می‌شود، قرار گرفته باشد، لازم است که مکان خود را تغییر دهد. در غیر این صورت، به مرور تمام توان گره بر اثر آسیب ناشی از محیط از بین رفته و گره می‌میرد. واضح است که جابجایی گره‌ها در طول زمان ممکن است باعث قطع اتصال شبکه شود. همچنین این امکان وجود دارد که گروهی از گره‌های شبکه به صورت متراکم در یک سطح کوچک از محیط جمع شوند، در حالیکه سایر نقاط محیط کاملاً خالی از گره می‌باشند. به عبارت دیگر، این حالت باعث بروز شکاف‌هایی در محیط می‌شود که تحت پوشش شبکه نخواهند بود. بنابراین برای جلوگیری از آسیب گره‌ها و همچنین حفظ اتصال و یکنواختی پراکندگی گره‌ها در شبکه، باید الگویی برای حرکت گره‌ها به دست آید که آنها را به سمت مناطق امن (در صورت وجود) هدایت کند.

یک فاصله‌ی حداقل میان گره و همسایگانش به عنوان فاصله‌ی مطلوب D_{Min} در نظر گرفته می‌شود. این فاصله در حقیقت حد آستانه‌ای را برای فاصله‌ی دو گره تعریف می‌کند که باعث جلوگیری از تجمع گره‌ها در یک ناحیه‌ی کوچک می‌شود. بنابراین، شرایط نامطلوب برای یک گره زمانی پیش می‌آید که در مکانی واقع شده باشد که مورد آسیب قرار بگیرد، یا یک یا چند همسایه‌ی آن در فاصله‌ای کمتر از D_{Min} از گره قرار گرفته باشند، و یا گره کمتر از ۲ همسایه داشته باشد. در هر یک از این حالت‌ها گره ملزم به حرکت از مکان خود است. مدل ارتباطی^{۱۹} تمامی گره‌ها باینری فرض می‌شود و شعاع ارتباطی آنها یکسان و برابر d می‌باشد.

در نهایت محیطی که به منظور شبیه‌سازی رفتار این سیستم‌ها ارائه شده است یک محیط سلولی در نظر گرفته شده است. هر نقطه از محیط یک سلول است که توسط ۸ سلول همسایه‌ی خود احاطه شده است. به عبارت بهتر قانون همسایگی در این سیستم از قانون همسایگی مور تبعیت می‌کند. این فرض تنها به منظور سهولت در پیاده‌سازی مسأله ارائه شده است و خللی در حل مسأله ایجاد نمی‌کند.

۴-۳- روش پیشنهادی

در این بخش سه مکانیزم حرکتی برای کنترل حرکت گره‌های شبکه پیشنهاد می‌شوند. این مکانیزم‌های حرکتی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که هر سه هدف مسأله یعنی خارج شدن از نقاط ناامن، حفظ اتصال و حفظ یکنواختی توزیع گره‌ها را لحاظ نمایند.

مدل حرکتی RWP اصلاح شده: با توجه به این که مدل حرکتی RWP یکی از پر کاربردترین الگوهای حرکتی در شبکه‌های موردی به شمار می‌رود، اولین مکانیزم حرکتی پیشنهادی مبتنی بر این مدل حرکتی می‌باشد. در این مکانیزم حرکتی که آن را RWP اصلاح شده می‌نامیم، پارامتر درنگ (T_{Stay}) برای تمام گره‌ها در ابتدا بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود. به عبارتی هر گره در صورتی که محیط تغییر نکند و یا در شرایط نامطلوب قرار نگرفته باشد، در مکان خود باقی می‌ماند. در صورت بروز شرایط نامطلوب در محل فعلی گره، مقصدی تصادفی برای گره تعیین شده و گره با سرعت ثابت v به سمت آن مقصد حرکت می‌کند. سرعت v برای تمام گره‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شود. در طول حرکت گره به سمت مقصد، شرایط محیط و همسایگان تأثیری در روند حرکت گره نداشته و گره تنها پس از رسیدن به مقصد و توقف کامل به ارزیابی مکان خود و شرایط همسایگی می‌پردازد. پس از رسیدن گره به مقصد مجدداً تا زمانی که آن مکان به هر دلیلی نامطلوب تشخیص داده شود، T_{Stay} برای آن گره برابر با بی‌نهایت خواهد بود.

مدل حرکتی مبتنی بر بردار احتمال پویا: در این روش، برای حرکت گره به هر یک از سلول‌های همسایه یک احتمال در نظر گرفته می‌شود. مجموعه‌ی این احتمالات یک بردار احتمال را تشکیل می‌دهد که آن را بردار احتمال همسایگی می‌نامیم. بدیهی است که مجموع احتمالات موجود در این بردار برابر با ۱ می‌باشد. زمانی که یک گره مکان فعلی خود را نامطلوب می‌بیند، مجبور به تغییر مکان خود خواهد بود. در این صورت، با استفاده از بردار احتمال همسایگی و بردار احتمال پویا که بر اساس شرایط جاری همسایگی گره ساخته می‌شود، مکان بعدی خود را تعیین می‌کند.

مکان بعدی، در صورتی که این جابجایی منجر به بهبود شرایط گره شود، بردار احتمال اتوماتای یادگیر بر اساس رابطه‌ی (۱) پاداش و در غیر این صورت با استفاده از رابطه‌ی (۲) جریمه خواهد شد. نحوه‌ی ارزیابی مکان مطابق آنچه در بخش ۴-۳-۴ توضیح داده خواهد شد انجام می‌پذیرد. روندی که هر گره در هر گام اجرا می‌کند در شکل ۳ ارائه شده است.

```

For Each Node In Cell (i, j) do //In Parallel
{
- ComputeNeighbour (NodeID)
- If (Danger (i, j) = True) or (UnproperNeighbour = True))
- {
- ActiveLA (NodeID)
- NewPlace = FindNextPlace (LA)
- ChangePlace (NodeID, NewPlace)
- If (( ProperNeighbour = True) and ( SafePlace (NodeID)))
- Award
- Else
- Penalty
- }
}

```

شکل ۳ - الگوریتم یافتن الگوی حرکت هر گره با استفاده از اتوماتای یادگیر

نحوه‌ی ارزیابی: ارزیابی حرکت یک گره بر اساس دور شدن آن از یک مکان ناامن و موقعیت گره‌های همسایه در مکان جدید صورت می‌گیرد. به عبارتی هر گره با در نظر گرفتن تعداد همسایه‌ها، نحوه‌ی پراکندگی آنها در ناحیه‌ی انتشار^{۲۰} خود و همچنین حداقل و حداکثر فاصله با همسایگان خود مکان جدید را ارزیابی می‌کند. به عبارتی در صورتی که گره در مکانی قرار گیرد که مورد حمله قرار گرفته باشد و یا نسبت به گام قبلی خود بر اثر جابجایی تعدادی از همسایه‌هایش را از دست داده و یا به یک یا چند همسایه‌ی خود بیش از حد نزدیک شده باشد حرکت گره نامناسب ارزیابی می‌شود. در مقابل در صورتی که جابجایی گره منجر به دور شدن آن از مرکز آسیب شده و بدون از دست دادن تعداد زیادی همسایه به مکانی منتقل شود که در فاصله‌ی مطلوب با همسایگان خود باشد، جابجایی مطلوب قلمداد می‌شود.

۵. پیاده‌سازی

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از هر یک از مکانیزم‌های ارائه شده، محیطی جهت شبیه‌سازی یک شبکه طراحی شد. در این محیط با ابعاد 100×100 ، تعداد ۱۰۰ گره به صورت یکنواخت پراکنده شدند.

در هر گام گره قادر است به یکی از سلول‌های همسایگی خود برود. بازه‌ی اعمال حملات به محیط (T) برابر با ۳ گام زمانی در نظر گرفته شده است. توان هر گره برابر با $P = 150$ بوده و شعاع انتشار نیز $d = 20$ در نظر گرفته شده است. به علاوه، تعداد

در بردار احتمال همسایگی موجود در هر گره، در ابتدا احتمال حرکت گره به هر یک از همسایه‌های گره یکسان در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۲ الگوریتم محاسبه‌ی بردار احتمال پویا برای هر گره ارائه شده است.

```

For Each Node In Cell (i, j) do //In Parallel
{
- ComputeNeighbour (NodeID)
- N-Vector = CreateNeighbourBasedMobilityVector (NodeID)
- If (Danger (i, j) = True) or (UnproperNeighbour = True))
- {
- D-Vector = CreateDynamicVector (N-Vector, Node_V)
- FindNextPlace (D-Vector)
- ChangePlace (NodeID)
- If (( ProperNeighbour = True) and ( SafePlace (NodeID)))
- Award (Node-V)
- Else
- Penalty (Node-V)
- }
}

```

شکل ۲- الگوریتم محاسبه‌ی بردار احتمال پویا در هر گره

به این ترتیب با تلفیق دو بردار و محاسبه‌ی حاصل ضرب مولفه‌های متناظر در دو بردار احتمال همسایگی و احتمال پویا، یک بردار احتمال نهایی تولید می‌شود که حرکت گره بر اساس آن تعیین می‌شود. به منظور حفظ نتایج به دست آمده از حرکت گره در محیط، بردار احتمال همسایگی گره در هر گام به این صورت به روز رسانی خواهد شد: پس از آن که گره با انتخاب مکان بعدی به آن انتقال یافت، در صورتی که این جابجایی منجر به بهبود شرایط آن شود، میزان احتمال متناظر با این جابجایی افزایش و در غیر این صورت کاهش می‌یابد. به این منظور با استفاده از روابط مشابه با محاسبه‌ی پاداش و جریمه در اتوماتای یادگیر (روابط ۱ و ۲) مقادیر این بردار احتمال به روز رسانی می‌شود.

به روز رسانی بردار احتمال همسایگی گره‌ها این امکان را فراهم می‌کند که به مرور زمان، احتمال حرکت به سمت مکان‌های مناسب‌تر افزایش یابد و یا به عبارت دیگر، حرکت گره‌ها به نحوی تنظیم شود که سه هدف مد نظر برای نحوه‌ی حرکت گره‌ها در شبکه دست‌یافتنی شود.

مدل حرکتی مبتنی بر اتوماتای یادگیر: آخرین روشی که برای کنترل حرکت گره‌ها در یک محیط متغیر پیشنهاد می‌شود، مبتنی بر اتوماتای یادگیر است. به این منظور هر گره به یک اتوماتای یادگیر مجهز می‌شود. هر اتوماتای یادگیر دارای یک مجموعه‌ی عمل‌هایی است که هر عمل نشان دهنده‌ی حرکت اتوماتا به یکی از سلول‌های همسایه‌ی گره می‌باشد. مقادیر بردار احتمال حرکت گره به هر یک از سلول‌های همسایه در ابتدا یکسان در نظر گرفته می‌شود. در هر گام، زمانی که مکان یک گره ناامن یا نامناسب تشخیص داده شود، اتوماتای یادگیر داخل آن سلول فعال شده و با انتخاب یک عمل از مجموعه عمل‌های خود مکان بعدی را برای گره انتخاب می‌نماید. پس از جابجایی گره به

۶. ارزیابی

به منظور ارزیابی دقیقتر عملکرد مکانیزم‌های حرکتی ارائه شده، مجموعه‌ای از معیارها در نظر گرفته شده و این مکانیزم‌ها بر اساس آن معیارها با یکدیگر مقایسه شدند. به علاوه، مکانیزم‌های حرکتی ارائه شده با مکانیزم حرکتی ارائه شده در [13] نیز مقایسه شده‌اند. البته با توجه به آنکه در مرجع [13] هدف از حرکت گره-ها تجمع در اطراف مناطق پر حادثه و پوشش بهتر حوادث بود، تغییری در راهکار ارائه شده توسط آن اعمال شد تا با هدف مد نظر در این مقاله هماهنگ گردد. این تغییر باعث می‌شود که گره‌ها به جای آنکه در محل بروز حوادث تجمع کنند، از اطراف این مناطق پراکنده شوند. با توجه به تعریفی که از ناپایداری محیط ارائه شده است، در این قسمت نتایج بدست آمده در ناپایداری همگن و ناپایداری ناهمگن محیط به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۶-۱. ارزیابی روشهای مختلف در پراکندگی همگن

ناپایداری

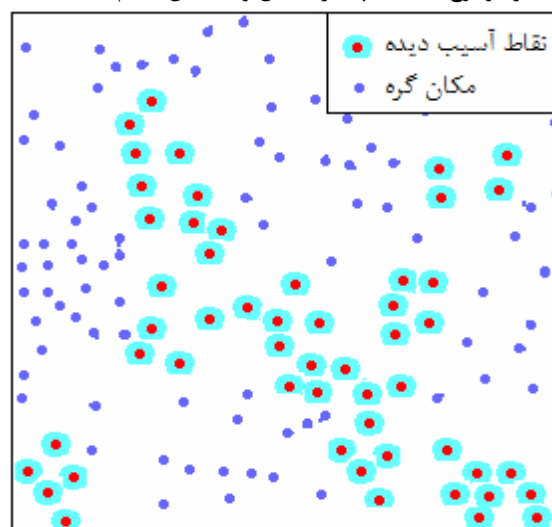
معیار نخست برای ارزیابی هر روش، میزان مصرف انرژی هر گره می‌باشد.

با توجه به این که در روش ارائه شده در [13] گره‌ها قادر به تشخیص حوادث اطراف خود هستند، لذا با دریافت هر گونه پیامی از مکان‌های آسیب داده در اطراف خود اقدام به ترک مکان خود کرده و جابجا می‌شوند. در حالی که در سایر روشها، گره تنها زمانی نسبت به آسیب محیط عکس العمل نشان می‌دهد که مستقیماً آسیب ببیند. به همین دلیل میزان جابجایی و حرکت و در نتیجه مصرف انرژی گره‌ها در این روش بیشتر از سایر روشهای ارائه شده است. همچنین با توجه به شکل ۵، میزان مصرف انرژی در RWP اصلاح شده بیشتر از دو روش دیگر است. همانطور که گفته شد، در این روش حرکتی در صورتی که گره‌ای در مکان نامناسب قرار گیرد زمان درنگ خود را برابر با صفر کرده و مکانی از اطراف خود را به عنوان مقصد بعدی انتخاب می‌کند. زمانی که گره شروع به حرکت می‌کند، تا زمانی که به مقصد خود برسد به حرکت خود ادامه داده و شرایط جاری اثری بر حرکت گره نخواهد داشت. به همین دلیل میزان جابجایی گره‌ها در این روش بیشتر از روش‌های مبتنی بر اتومانی یادگیر و مبتنی بر بردار احتمال پویا است.

نقاطی که مورد حمله قرار می‌گیرند N_D برابر با ۱۰۰ نقطه در هر گام است. با توجه به این که در صورت حمله به یک نقطه، خود سلول و ۸ همسایه‌ی آن آسیب می‌بینند، در مجموع در هر سه گام، ۹۰۰ سلول از محیط آسیب خواهند دید. همچنین حد آستانه‌ی D_{Min} که حداقل فاصله‌ی مطلوب بین هر دو همسایه است برابر با ۴ در نظر گرفته شده است. میزان آسیبی که گره در صورت واقع شدن در سلول آسیب دیده متحمل می‌شود به اندازه‌ی ۵ واحد است. به عبارتی با هر آسیب، به میزان ۵ واحد از توان گره کاسته می‌شود. همچنین در هر جابجایی نیز گره یک واحد انرژی صرف می‌کند.

همچنین اتوماتاهای یادگیر موجود در گره‌ها همگی یکسان بوده و از نوع اتوماتای یادگیر LRP هستند. به عبارتی در الگوریتم یادگیری که برای بروز رسانی بردار احتمال عمل‌های اتوماتا استفاده می‌شود، پارامتر پاداش و جریمه یکسان است. به این ترتیب، در این پیاده‌سازی از مقادیر $a = b = 0.5$ برای بروز رسانی بردار احتمال انتخاب عمل‌های اتوماتاهای یادگیر استفاده شده است.

برای ارزیابی روشهای ارائه شده، شبیه‌سازی رفتار گره‌ها بر روی هر دو نوع محیط ناپایدار همگن و ناهمگن انجام شد.



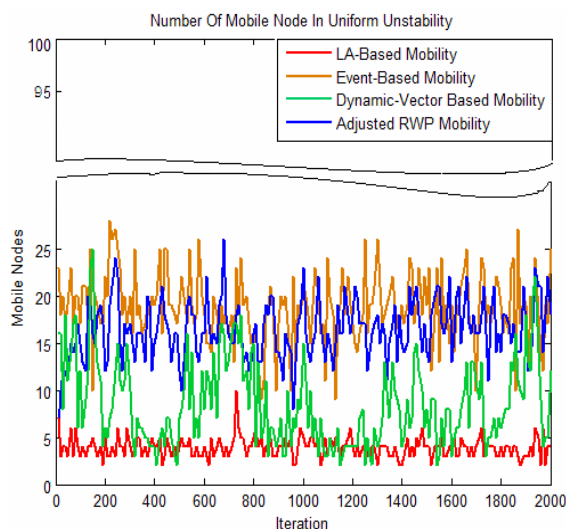
شکل ۴ پراکندگی گره‌ها با الگوی حرکتی مبتنی بر اتوماتای یادگیر پس از ۲۰۰۰ گام زمانی

بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر سه الگوی حرکتی ارائه شده در این مقاله، در محیطی با ناپایداری ناهمگن می‌توانند به مرور زمان گره‌های موجود در نقاط نا امن را به مکانهای امن منتقل کنند. در شکل ۴ نتایج جابجایی گره‌ها از مکان‌های مورد حمله با استفاده از روش مبتنی بر اتوماتای یادگیر ارائه شده است. اگرچه به نظر می‌رسد که هر سه مکانیزم رفتار یکسان و مناسبی دارند، اما بررسی‌های دقیق‌تر که در ادامه بیان می‌شود، تفاوت این مکانیزم‌ها را به وضوح نشان می‌دهد.

| انحراف معیار | درصد اتصال شبکه | مدل حرکتی |
|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.120 | 99.99 | مدل مبتنی بر اتوماتای یادگیر |
| 0.300 | 99.93 | مدل مبتنی بر بردار احتمال پویا |
| 0.45 | 99.77 | مدل مبتنی بر RWP اصلاح شده |
| 1.79 | 99.19 | مدل مبتنی بر رخداد (Event-Based) |

شکل ۷ جدول درصد حفظ اتصال شبکه و انحراف معیار روشهای حرکتی مختلف در طی ۲۰۰۰ گام اجرا

یکی دیگر از معیارهای مقایسه‌ی این دو روش تعداد گره‌های متحرک در هر گام است. شکل ۸ تعداد گره‌های متحرک در هر گام از شبیه‌سازی را در یک محیط متغیر با ناپایداری همگن نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تعداد گره‌های متحرک در روش مبتنی بر اتوماتای یادگیر نسبت به سایر روشها بسیار کمتر است.

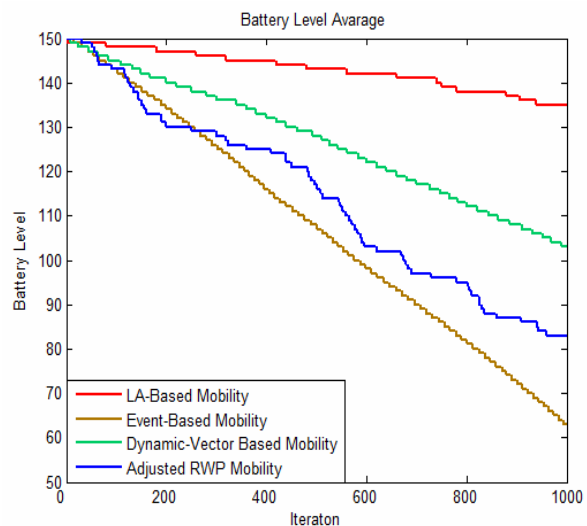


شکل ۸ تعداد گره‌های متحرک در محیط متغیر یکنواخت

۲-۶. ارزیابی روشهای مختلف در پراکندگی ناهمگن ناپایداری

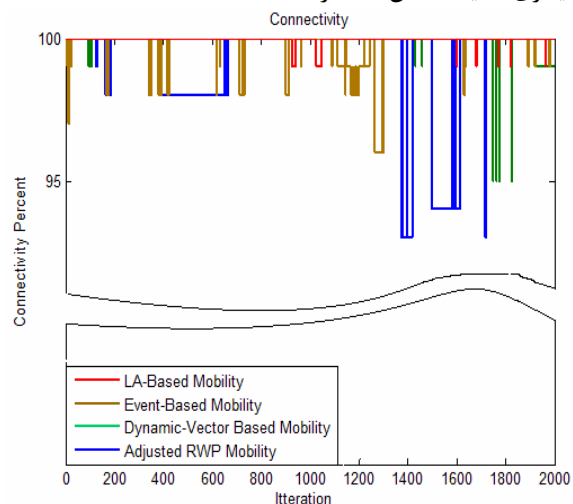
همانطور که در بخش ۴-۱ گفته شد در پراکندگی ناهمگن ناپایداری، ممکن است نقاطی از شبکه بیشتر مورد حمله قرار گیرد. در چنین محیطی، مناطق به دو بخش امن و ناامن تقسیم می‌شوند. در این شرایط، گره‌ها تا زمانی که به مکان امنی در محیط برسند که شرایط همسایگی مناسبی نیز داشته باشند در محیط جابجا می‌شوند. در صورتی که گره به مکان مناسب خود برسد احتمال جابجایی مجدد آن کاهش می‌یابد و انتظار می‌شود شبکه به مرور به یک حالت پایدار رسیده و جابجایی گره‌ها به حد اقل می‌رسد.

در بررسی معیارهایی چون حفظ اتصال شبکه و میزان مصرف انرژی، نمودارهای حاصله تفاوت چندانی با نمودارهای



شکل ۵ میانگین سطح باتری گره‌ها در طول ۱۰۰۰ گام شبیه‌سازی

معیار دیگری که برای مقایسه‌ی این روشها در نظر گرفته شده است، میزان حفظ اتصال شبکه می‌باشد. در نمودار شکل ۶ میزان اتصال شبکه در طی ۲۰۰۰ گام زمانی برای شرایطی که ناپایداری محیط همگن است ارائه شده است.



شکل ۶ نمودار درصد حفظ اتصال شبکه طی ۲۰۰۰ گام اجرا

با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که کمترین میزان قطع اتصال شبکه مربوط به روش حرکتی مبتنی بر اتوماتای یادگیر بوده و بالاترین میزان قطع اتصال شبکه نیز در روش مبتنی بر RWP اصلاح شده مشاهده می‌شود.

در روش حرکتی مبتنی بر تشخیص حوادث تعداد دفعاتی که شبکه از حالت متصل خارج می‌شود نسبت به سایر روشها بیشتر است. دلیل عمده‌ی این مسأله را می‌توان در جابجایی مدام گره‌ها در محیط و در نتیجه تغییرات زیاد توپولوژی شبکه دانست. در جدول شکل ۷ درصد اتصال شبکه برای هر روش و انحراف معیار اتصال شبکه در طی ۲۰۰۰ گام ارائه شده است.

مبتنی بر بردار احتمال پویا است. در این نمودار نیز به خوبی کارایی روش مبتنی بر اتوماتای یادگیر مشهود است.

۷. نتیجه‌گیری

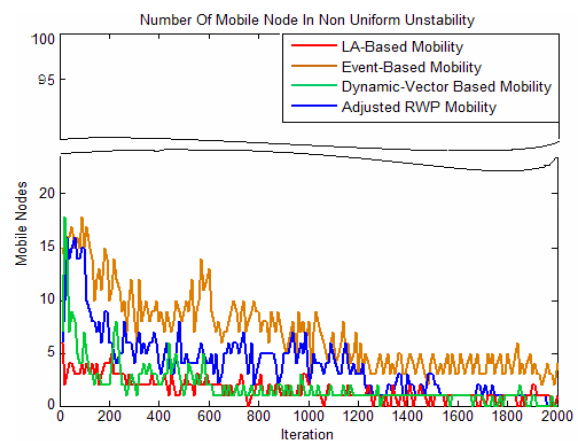
در این مقاله با ارائه‌ی تعریفی از یک محیط متغیر، و قرار دادن گره‌های یک شبکه‌ی موردی در آن، چندین الگوی حرکتی مناسب برای کنترل حرکت گره‌ها ارائه شد. مسأله‌ی حفظ امنیت گره‌ها در مناطق نا امن در کنار حفظ اتصال شبکه و یکنواختی توزیع گره‌ها مورد بررسی قرار گرفته و سه روش جدید به این منظور ارائه شد. روش نخست بر اساس مدل حرکتی RWP اصلاح شده برای این مسأله بود. روش دوم بر اساس محاسبه‌ی یک بردار احتمال پویا در هر گره به منظور تشخیص جهت حرکت بود. در نهایت در روش سوم هر گره مجهز به یک اتوماتای یادگیر بوده و کنترل حرکت گره بر عهده‌ی اتوماتای یادگیر قرار گرفت.

نتایج حاصل از آزمایشات صورت گرفته نشان داد که استفاده از اتوماتای یادگیر به عنوان یک ابزار یادگیری جهت یافتن مکان بعدی برای یک گره، علاوه بر کاهش جابجایی‌ها در محیط، یافتن مکان امن را نیز سرعت بخشیده و در عین حال انرژی مصرفی را تا حد بسیار بالایی کاهش می‌دهد.

راهکارهای ارائه شده در شبکه‌های موردی که حفظ اتصال شبکه و یا نحوه‌ی پراکندگی گره‌ها در محیط آنها اهمیت دارد، کاربرد دارند. در مسائلی چون شبکه‌های موردی امداد و نجات، شبکه‌های موردی مناطق جنگی و یا شبکه‌های حسگر اکتشافی، با استفاده از این روش می‌توان علاوه بر حفظ اتصال شبکه و یکنواختی توزیع گره‌های شبکه، توپولوژی شبکه را به سمت وضعیت مطلوب هدایت کرد.

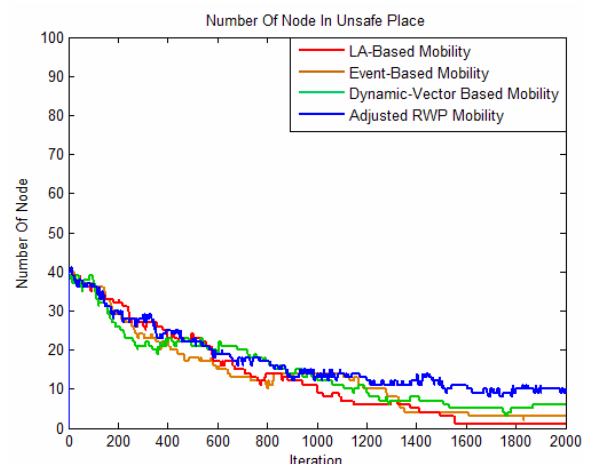
شکل ۶ و ۸ نداشت. در هر دو محیط میزان حفظ اتصال شبکه با استفاده از روشهای مختلف یکسان است.

تعداد گره‌های متحرک در یک محیط با ناپایداری ناهمگن در نمودار شکل ۹ مشاهده می‌شود. با توجه به این که در چنین محیطی، گره‌ها به مرور از مناطق نا امن خارج شده و در شرایط همسایگی مناسب قرار می‌گیرند و لذا با احتمال کمتری جابجا می‌شوند، به مرور از میزان جابجایی گره‌ها در محیط کاسته می‌شود. در این نمودار نیز کماکان مشاهده می‌شود که کارکرد روش مبتنی بر اتوماتای یادگیر بسیار بهتر از سایر روشها است.



شکل ۹ تعداد گره‌های متحرک در یک محیط ناپایدار ناهمگن

یکی دیگر از معیارهای مقایسه در چنین محیطی می‌تواند تعداد گره‌هایی باشد که در هرگام در مناطق نا امن قرار گرفته‌اند. نمودار شکل ۱۰، نشان دهنده‌ی تعداد گره‌های موجود در مناطق نا امن بر اساس روشهای حرکتی مختلف است.



شکل ۱۰ تعداد گره‌های موجود در مناطق نا امن

با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که سرعت خارج شدن گره‌ها از مکان‌های نا امن در روش مبتنی بر اتوماتای یادگیر سریعتر از روش مبتنی بر RWP اصلاح شده و همچنین روش

- [1] Liu, "Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges", Ad Hoc Networks, Elsevier Science 2003, vol. 1, no. 1, pp.3-6.
- [2] S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, I. Stojmenovic, "Mobile ad hoc networking," IEEE Press and John Wiley and Sons Inc. , 2004, pp. 301-327.
- [3] J.P. Ebert, B. Stremmel, E. Wiederhold, and A. Wolisz, "An energy-efficient power control approach for WLANs," J. Communication and Networks, vol. 2, no. 3, Sep. 2000, pp. 197-206.
- [4] E. M. Royer and C.K.Toh, "A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks," IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 2, Apr. 1999, pp 46-55.
- [5] M. Cardei, I. Cardei and D.-Z. Du, "Resource management in wireless networking," in Network Theory and Applications, vol. 16, D.-Z. Du, and C. Raghavendra, Ed. Boston, MA: Springer, 2005, pp. 166.
- [6] C. Schindelhauer. Mobility in wireless networks. In 32nd Annual Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics, Czech Republic, January 2006.

- disaster warning**" IEICE Transactions on Communications, 2007. E90-B(5):1241-1244.
- [11] K. S. Narendra and M.A.L. Thathachar, "Learning automata: An introduction," Prentice-Hall, Englewood Clis, NJ, USA, 1989.
- [۱۲] محمدرضا میبدی، حمید بیگی و مسعود طاهرخانی، «اتوماتای یادگیر سلولی»، در مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انجمن کامپیوتر ایران، ص ۱۶۳-۱۵۳، ۱۳۷۹.
- [13] Z. Butler and D. Rus, "Event-Based Motion Control for Mobile- ensor Networks", *IEEE CS and IEEE ComSoc*, [October-December 2003 \(Vol. 2, No. 4\)](#) pp. 34-42.

- [7] W. Navidi and T. Camp, "Stationary distributions for the random waypoint mobility model," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, January-March 2004, vol. 3, no. 1, pp. 99-108.
- [8] M. Smith and B. Freisleben, "Self-healing wireless ad hoc networks based on adaptive node mobility," *Proc. IFIP Conf. on Wireless and Optical Communications Networks*, 2004.
- [9] O. Yadgar, "Emergent Ad Hoc sensor network connectivity in large-scale disaster zones", *AAMAS'07*, Honolulu, Hawai'i, USA, May 14-18 2007.
- [10] Goo-Yeon LEE, Dong-Eun LEE and Choong-Kyo JEONG, " **Bio-AdHoc Sensor networks for early**

1 Ad hoc Network
 2 Learning Automata
 3 Wireless
 4 Multi Hop
 5 Pedestrians
 6 Marine and Submarine Mobility
 7 Earth Bound Vehicles
 8 Aerial Mobility
 9 : Medium Based Mobility
 10 Mobility in Outer Space
 11 Robot Motion
 12:Random Way Point (RWP)
 13: waypoint
 14: thinking times
 15 Self-healing
 16 Unfavorable
 17 Stationary
 18 Non-Stationary
 19 Communication Model
 20 Transmission Range