

## ارائه یک پروتکل مسیریابی جدید مبتنی بر اتوماتای یادگیر برای شبکه‌های حسگر بیسیم

مهدی جامعی<sup>۱</sup>، محمدرضا میبیدی<sup>۲</sup> و کریم فائز<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد شهریار - شهرقدس، [jamei@shahryariau.ac.ir](mailto:jamei@shahryariau.ac.ir)

<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، [mmeybodi@aut.ac.ir](mailto:mmeybodi@aut.ac.ir)

<sup>۳</sup> عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، [Kfaez@aut.ac.ir](mailto:Kfaez@aut.ac.ir)

چکیده - شبکه‌های حسگر شبکه‌ای از حسگرهای کوچک، با انرژی محدود و کم هزینه‌ای هستند که در منطقه مورد نظر پخش می‌شوند تا داده‌هایی را از محیط جمع‌آوری نموده و برای پردازش به گره مرکزی<sup>۱</sup> ارسال کنند. همچنین می‌توانند وقوع رخدادی را در محیط تشخیص داده و به اطلاع گره مرکزی برسانند. در سالهای اخیر اینگونه شبکه‌ها در زمینه‌های مختلف کاربردهای زیادی پیدا کرده‌اند. از جمله این کاربردها عبارتند از: اندازه‌گیری دما و رطوبت، بررسی ارتعاشات زلزله، بررسی وقوع آتش‌سوزی در جنگل و کاربرد در محیط نظامی. در این مقاله یک پروتکل مسیریابی جدید مبتنی بر اتوماتای یادگیر<sup>۲</sup> (LARP) برای شبکه‌های حسگر ارائه شده است. اهداف اصلی این روش، افزایش طول عمر شبکه و گذردهی است. در شبیه‌سازی‌های انجام شده پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های مسیریابی *Directed Diffusion* و *EBRP* مقایسه شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که در روش پیشنهادی مصرف انرژی کاهش یافته و طول عمر شبکه و همچنین گذردهی افزایش می‌یابد.

کلید واژه - شبکه‌های حسگر، پروتکل مسیریابی، اتوماتای یادگیر، طول عمر شبکه.

### ۱- مقدمه

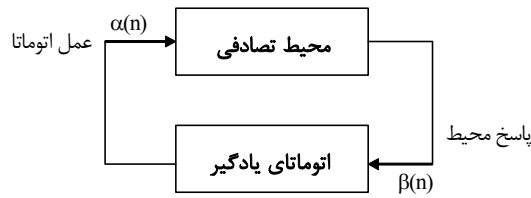
اصلی این روش، افزایش طول عمر شبکه و گذردهی است. ادامه مقاله به این صورت سازماندهی شده است. بخش دوم به بررسی کارهای انجام شده در این زمینه می‌پردازد. در بخش سوم اتوماتای یادگیر بطور اختصار معرفی می‌شود. در بخش چهارم روش پیشنهادی ارائه می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام گرفته در بخش پنجم آمده است. بخش ششم نتیجه‌گیری مقاله است.

### ۲- کارهای انجام شده در این زمینه

تا کنون الگوریتم‌های مسیریابی متعددی برای شبکه‌های حسگر معرفی شده‌اند. پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر را از نظر ساختار شبکه می‌توان به دو دسته اصلی مسطح<sup>۳</sup> و سلسله مراتبی<sup>۴</sup> تقسیم نمود. در پروتکل‌های مسیریابی مسطح، مفهوم گره رهبر وجود ندارد و تمامی گره‌ها یکسان می‌باشند. برخی از این روش‌ها عبارتند از: [2] SPIN, [3] Rumor, [4] Directed Diffusion, [5] EBRP, [6] GBR, [7] EAR, [8] GEAR, [9] SPEED. در پروتکل‌های مسیریابی سلسله مراتبی، گره‌ها دسته‌بندی می‌شوند و برخی گره‌ها که دارای انرژی بیشتری نسبت به سایر گره‌ها هستند به عنوان سردهسته انتخاب می‌شوند. نمونه‌هایی از این روش‌ها عبارتند از: [10] LEACH, [11]

شبکه‌های حسگر شبکه‌هایی هستند که از تعداد زیادی گره‌های کوچک با قابلیت‌های بسیار پائین تشکیل شده‌اند. این گره‌ها که هر کدام یک حسگر نامیده می‌شوند، می‌توانند ویژگی خاصی نظیر رطوبت، دما، فشار و ... را در محیط اطراف خود حس کرده و آن را برای گره مرکزی خود ارسال دارند. به عبارت دیگر، دو قابلیت اصلی این حسگرها، حس کردن پارامتری خاص از محیط اطراف و توانایی برقراری ارتباط می‌باشد. در اکثر موارد، یک شبکه حسگر کاملاً بی‌سیم می‌باشد. گره‌ها در چنین شبکه‌هایی عموماً ثابت هستند و یا دارای حرکت بسیار محدودی می‌باشند. عموماً یک گرهی مرکزی تحت عنوان Sink وجود دارد که کلیه گره‌ها اطلاعات خود را برای آن ارسال می‌دارند. در برخی از کاربردها، چینش شبکه به گونه‌ای است که کلیه گره‌ها می‌توانند مستقیماً با این گره مرکزی ارتباط برقرار سازند، ولی در اکثر موارد چنین وضعیتی حاکم نمی‌باشد. به همین دلیل، کلیه گره‌ها نیازمند دانستن مسیری به سمت گره مرکزی می‌باشند [1].

در این مقاله یک پروتکل مسیریابی جدید مبتنی بر اتوماتای یادگیر (LARP) برای شبکه‌های حسگر ارائه شده است. اهداف



شکل ۱: ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

محیط را می‌توان توسط سه تایی  $E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$  نشان داد که در آن  $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه ورودیه‌ها،  $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  مجموعه خروجیه‌ها و  $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$  مجموعه احتمالهای جریمه می‌باشد. هرگاه  $\beta$  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  $\alpha_i$  نتیجه نامطلوب داشته باشد می‌باشد. در محیط ایستا، مقادیر  $c_i$  بدون تغییر می‌مانند، حال آنکه در محیط غیر ایستا این مقادیر در طی زمان تغییر می‌کنند. اتوماتای یادگیر به دو گروه اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت و اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر تقسیم می‌شوند. در این مقاله از اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر استفاده شده است که در ادامه این بخش توضیح داده می‌شود.

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 ورودیه‌های 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. نحوه فعالیت این اتوماتا به صورت زیر است. اتوماتا یک عمل از مجموعه عمل‌های خود را بصورت تصادفی و مطابق بردارهای احتمال Pi انتخاب کرده و بر محیط اعمال می‌کند. اگر عمل انتخاب شده  $\alpha_i$  باشد، پس از دریافت پاسخ محیط، اتوماتا بردار احتمال عمل‌های خود را در صورت دریافت پاسخ مطلوب بر اساس رابطه (۱) و در صورت دریافت پاسخ نامطلوب طبق رابطه (۲) بروز می‌کند.

TEEN [12], MECN [13], HDAR [14], GAF [15].

دسته‌های دیگری همچون پروتکل‌های با مرکزیت داده<sup>۵</sup>، پروتکل‌های بر اساس اطلاعات مکانی<sup>۶</sup> و پروتکل‌های آگاه از انرژی<sup>۷</sup> نیز وجود دارند. در پروتکل‌های مسیریابی با مرکزیت داده، ایستگاه مرکزی یک پرس و جو را به ناحیه مشخصی ارسال می‌کند و منتظر داده از گره‌های قرار گرفته در ناحیه مورد نظر می‌شود. نمونه‌هایی از این دسته عبارتند از: SPIN، Rumor، COUGAR [15]، TEEN، GBR، Directed Diffusion.

در پروتکل‌های مسیریابی بر اساس اطلاعات مکانی، از اطلاعات مکانی برای فرستادن داده‌ها به مناطق مورد نظر استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از این روش‌ها عبارتند از: MECN، GAF، GEAR، SPEED. در پروتکل‌های مسیریابی آگاه از انرژی، تمرکز اصلی روی استفاده کارا از انرژی جهت افزایش طول عمر شبکه است. نمونه‌هایی از این دسته عبارتند از: EAR، EBRP، SELAR [16]. در برخی از مقالات نیز پروتکل‌های مسیریابی را بسته به اینکه فرستنده چگونه یک مسیر به سمت گیرنده پیدا می‌کند به ۳ دسته Reactive، proactive و Hybrid تقسیم می‌کنند. در پروتکل‌های proactive تمام مسیرها قبل از اینکه واقعا مورد نیاز باشند محاسبه می‌شوند در حالیکه در پروتکل‌های Reactive مسیرها فقط در هنگام نیاز محاسبه می‌شوند. پروتکل‌های Hybrid ترکیبی از دو دسته قبلی است.

در [17] و [18] نیز پروتکل چند مسیری<sup>۸</sup> استفاده شده است، به این صورت که چندین مسیر بین گره مبدا و گره مرکزی برقرار می‌شود و در صورت خرابی مسیر مورد نظر، از مسیر دیگری برای برقراری ارتباط استفاده می‌شود.

پروتکل مسیریابی پیشنهادی جزو پروتکل‌های مسیریابی از نوع مسطح و آگاه از انرژی می‌باشد و از روش مسیریابی Hybrid استفاده می‌کند. همچنین مفهوم چندمسیری در آن وجود دارد.

### ۳- اتوماتای یادگیر

اتوماتای یادگیر، ماشینی است که می‌تواند تعدادی متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی می‌شود و نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اتوماتا داده می‌شود و اتوماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تاثیر می‌گیرد. 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.

رابطه (۱) - پاسخ مطلوب

$$p_i(n+1) = p_i(n) + a[1 - p_i(n)]$$
$$p_j(n+1) = (1-a)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i$$

رابطه (۲) - پاسخ نامطلوب

$$p_i(n+1) = (1-b)p_i(n)$$
$$p_j(n+1) = (b/r-1) + (1-b)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i$$

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. زمانی که  $a$  و  $b$  با هم برابر باشند، الگوریتم را LRP<sup>۹</sup> می‌نامیم، زمانی که  $b$  از  $a$  خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را LReP<sup>۱۰</sup> می‌نامیم. و زمانی که  $b$  مساوی صفر باشد الگوریتم را LRI<sup>۱۱</sup> می‌نامیم [19].

#### ۴- پروتکل پیشنهادی

یکی از مشکلات برخی روش‌های مسیریابی موجود این است که در آنها مسیری با پایین‌ترین مصرف انرژی پیدا می‌شود و از این مسیر برای تمامی ارتباط‌ها بین مبدا و مقصد استفاده می‌شود ولی این روش از دیدگاه انرژی‌گرایی روش خوبی نیست، چون استفاده مداوم از این مسیر منجر به اتمام انرژی گره‌های متعلق به آن شده و طول عمر شبکه کاهش می‌یابد. در روش LARP، ایده چند مسیری استفاده شده است، به این صورت که چندین مسیر بین هر گره حسگر و گره مرکزی پیدا می‌شود و هر گره حسگر در صورت نیاز، توسط اتوماتای یادگیری که به آن مجهز شده یکی از این مسیرها را انتخاب می‌کند بطوریکه طول عمر شبکه افزایش یابد. بنابراین روش پیشنهادی LARP نه Reactive و نه Proactive خواهد بود بلکه جزو روش‌های Hybrid به حساب می‌آید. LARP سه فاز دارد:

- فاز ساخت توپولوژی
- فاز پیدا کردن مسیرها
- فاز انتخاب مسیر و ارسال اطلاعات

**فاز ساخت توپولوژی:** این کار بلافاصله پس از استقرار گره‌ها انجام می‌شود ابتدا گره مرکزی پیام ND<sup>۱۲</sup> را به کل شبکه می‌فرستد. هر گره‌ای که این پیام را دریافت کرد چک می‌کند که این پیام قبلاً دریافت شده یا خیر. اگر اولین باری باشد که این پیام را دریافت می‌کند شماره بسته را در جدول ذخیره می‌کند سپس این پیام را به همه همسایه‌هایش ارسال می‌کند و در غیر اینصورت آنرا حذف می‌کند. در نتیجه این کار، هر گره

همسایه‌هایش را می‌شناسد و آنها را برای استفاده در فاز بعدی ذخیره می‌کند. گره مرکزی مدت کوتاهی صبر می‌کند تا مطمئن شود پیام ND به همه شبکه پخش شده است. سپس پیام NC<sup>۱۳</sup> را پخش همگانی می‌کند تا اطلاعات همسایه‌های هر گره را جمع‌آوری کند. هر گره‌ای که این پیام را دریافت کرد پیامی که مقصد آن گره مرکزی است و حاوی لیست همسایه‌های گره است ایجاد و ارسال می‌کند. در این قسمت، گره مرکزی اطلاعات کاملی از توپولوژی شبکه خواهد داشت.

**فاز پیدا کردن مسیر:** در این فاز، گره مرکزی چندین مسیر را از هر گره به سمت خودش پیدا می‌کند و در اختیار آن گره قرار می‌دهد. این کار با استفاده از گرافی که در فاز قبل ساخته شد انجام می‌گیرد.

این مسیرها، مسیرهای کوتاهی هستند که انرژی موجود در هر گره آن از حد استانه مشخص شده بیشتر باشد. یعنی حتی اگر انرژی یک گره متعلق به مسیر از سطح آستانه تعریف شده کمتر بود این مسیر نادیده گرفته می‌شود.

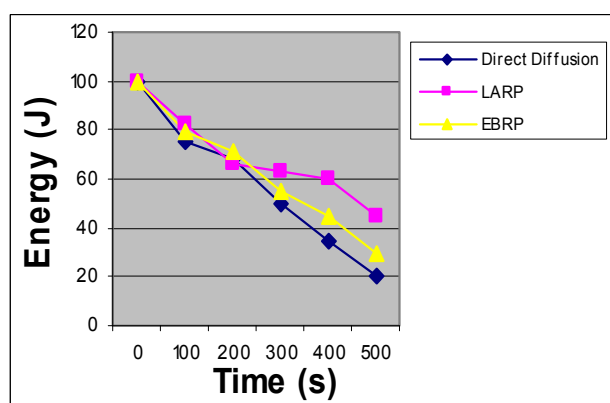
**فاز انتخاب مسیر و ارسال اطلاعات:** همانطور که گفته شد اگر از یک مسیر بین مبدا و مقصد بطور مداوم استفاده شود، انرژی گره‌های متعلق به آن مسیر به مرور کم می‌شود و شبکه تقسیم<sup>۱۴</sup> می‌گردد. برای جلوگیری از این مشکل، در فاز انتخاب مسیر، با توجه به انرژی باقیمانده گره‌های مسیر، یکی از مسیرهایی که در فاز قبل در اختیار گره قرار گرفته انتخاب می‌شود. این کار بوسیله اتوماتای یادگیری انجام می‌شود که هر گره به آن مجهز شده است. اتوماتای یادگیر هر گره به تعداد مسیرهای داده شده به آن گره دارای عمل می‌باشد. انتخاب هر عمل به معنی انتخاب مسیر متناظر با آن عمل است در ابتدای کار بردار احتمال انتخاب عمل‌های اتوماتای یادگیر طبق رابطه زیر مقاردهی اولیه شده است:

$$\forall i \quad i \leq n \quad P_i = \frac{1}{n}$$

در این رابطه  $n$  تعداد مسیرهای تعیین شده برای گره و  $i$  شماره عمل اتوماتای یادگیر است.

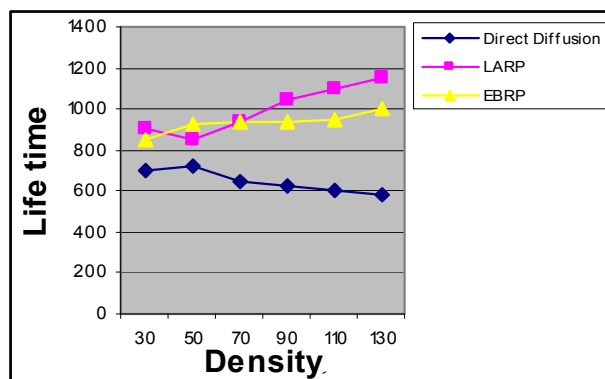
در هر گره هنگام نیاز به ارسال داده، اتوماتای یادگیر آن گره یکی از مسیرها را انتخاب می‌کند. سپس گره مورد نظر از طریق این مسیر اقدام به ارسال داده برای گره مرکزی می‌کند. گره مرکزی با دریافت داده، پیغام Reply را به گره مبدا می‌فرستد. به همراه این پیام، این اطلاعات که انرژی موجود در هر گره متعلق به مسیر انتخاب شده از حد آستانه کمتر است یا خیر نیز به گره مبدا فرستاده می‌شود و گره مبدا آنرا به عنوان پاسخ محیط به

همانطور که مشاهده می‌شود در پروتکل LARP با گذشت زمان گذردهی نسبت به پروتکل Directed Diffusion و EBRP بیشتر شده است و این به دلیل عدم استفاده از مسیر هایی است که گره های متعلق به آن از انرژی پایینی برخوردار هستند. در آزمایش دوم روش پیشنهادی را با روش های Directed Diffusion و EBRP از نظر متوسط انرژی باقیمانده در گره ها در زمانهای مختلف مقایسه نموده ایم. در این آزمایش نیز تعداد گره ها ثابت و برابر  $N=100$  در نظر گرفته شده است. شکل ۳ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد:



شکل ۳: نمودار مقایسه مجموع انرژی باقیمانده در گره ها گذردهی در پروتکل های Directed Diffusion ، EBRP و LARP

در زمان های اولیه شبیه سازی مجموع انرژی باقیمانده گره ها در هر سه روش تقریباً برابر است ولی با گذشت زمان و در انتهای شبیه سازی، مجموع انرژی باقیمانده گره ها در روش پیشنهادی نسبت به دو روش دیگر بیشتر است. در آزمایش سوم با در نظر گرفتن تعداد گره های متفاوت، طول عمر شبکه را در سه روش Directed Diffusion، LARP و EBRP مقایسه نموده ایم. در شکل (۴) نتایج این آزمایش آورده شده است.

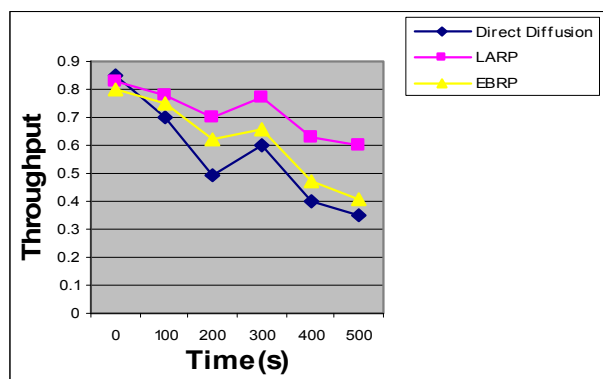


شکل(۴): نمودار مقایسه طول عمر شبکه در پروتکل های Directed Diffusion ، EBRP و LARP بر حسب تعداد گره

عمل انتخاب شده در نظر می‌گیرد. اگر انرژی همه گره‌های متعلق به مسیر از حد آستانه بیشتر بود، عمل انتخاب شده طبق رابطه (۱) پاداش می‌گیرد و در غیر اینصورت طبق رابطه (۲) تنبیه می‌شود. اگر گره مورد نظر بعد از مدت زمان خاصی پیام Reply را از طرف گره مرکزی دریافت نکرد، احتمال انتخاب آن مسیر را کاهش داده و مسیر دیگری انتخاب می‌کند و داده مورد نظر را از طریق آن مجدداً ارسال می‌کند. بدین ترتیب هر اتوماتای یادگیر می‌تواند یاد بگیرد که بهترین مسیر را از بین مسیر های موجود خود انتخاب نماید.

## ۵- شبیه سازی

در این مقاله برای انجام شبیه سازی از شبیه ساز jsim استفاده شده است [20] و در آن روش پیشنهادی با پروتکل مسیریابی Directed Diffusion و EBRP مقایسه شده است. معیارهای گذردهی، انرژی باقیمانده در گره ها و طول عمر شبکه برای انجام این مقایسه در نظر گرفته شده است. برای این منظور یک شبکه حاوی  $N$  گره در نظر گرفته ایم که بصورت تصادفی در محیطی به مساحت  $100 \times 100$  متر مربع توزیع شده‌اند. گره‌های حسگر و همچنین گره مرکزی در مدت شبیه سازی ساکن فرض می‌شوند. شعاع حس گره‌ها در کل زمان شبیه سازی ثابت و برابر ۱۰ متر می باشد. انرژی اولیه تمام گره‌ها یکسان و برابر ۱ ژول و انرژی لازم جهت ارسال و دریافت اطلاعات ۰.۰۰۳ ژول در نظر گرفته شده است. همچنین در شبیه سازی از آتاماتای یادگیر LRP با پارامترهای پاداش و جریمه برابر ۰.۱ استفاده شده است. در آزمایش اول تعداد گره ها را ثابت و برابر  $N=100$  در نظر گرفت ایم و گذردهی روش پیشنهادی را با روش های Directed Diffusion و EBRP در طول زمان مقایسه نموده ایم. شکل ۲ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد:



شکل ۲: نمودار مقایسه گذردهی در پروتکل های Directed Diffusion ، EBRP و LARP

Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force, McLean, VA, 2001.

- [7] R. C. Shah and J. Rabaey, Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Orlando, FL March 17-21, 2002.
- [8] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks, UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR- 01-0023, May 2001.
- [9] T. He, et al., SPEED: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks, in the Proceedings of International Conference on Distributed Computing Systems, Providence, RI, May 2003.
- [10] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '00), January 2000.
- [11] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks, in the Proceedings of the 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, San Francisco, CA, April 2001.
- [12] V. Rodoplu and T.H. Ming, Minimum energy mobile wireless networks, IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 8, pp. 1333-1344, 1999.
- [13] Q. Li and J. Aslam and D. Rus, Hierarchical Poweraware Routing in Sensor Networks, In Proceedings of the DIMACS Workshop on Pervasive Networking, May, 2001.
- [14] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, Geography-informed energy conservation for \_ad hoc \_routing, in the Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'01), Rome, Italy, July 2001.
- [15] Y. Yao and J. Gehrke, The cougar approach to innetwork query processing in sensor networks, in SIGMOD Record, September 2002.
- [16] G. Lukachan and M.A. Labrador, SELAR: Scalable Energy-Efficient Location Aided Routing Protocol for Wireless Sensor Networks, In the Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks LCN'04) 0742-1303/04.
- [17] D. Ganesan, R. Govidan, S.shenker and D.estrin, highly-Resilient, Energy-Efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks, ACM Mobile Computing and Communication review, vol.5,No.4, october 2001,pp.10-24.
- [18] V.Ponduru, D.Ghosal and B.Mukherjee, A Distributed Coverage-Preserving Multipath Routing Protokol in Wireless Sensor Networks, Department of Computer Science, University of California at Davis, 2004.
- [19] K. S. Narendra and Thathachar, Learning Automata: An Introduction, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- [20] J-Sim. <http://www.j-sim.org/>.

در روش پیشنهادی به دلیل عدم استفاده مداوم از یک مسیر بین گره مبدا و گره مرکزی و انتخاب متناوب مسیر با توجه به طول مسیر و انرژی موجود در گره‌های آن، طول عمر شبکه افزایش یافته است.

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک پروتکل مسیریابی جدید مبتنی بر اتوماتای یادگیر برای شبکه‌های حسگر ارائه شد. ایده مورد استفاده در این روش پیدا کردن چندین مسیر بین گره مبدا و گره مرکزی و استفاده از اتوماتای یادگیر جهت انتخاب مسیر مناسب با توجه به انرژی باقیمانده در گره‌های متعلق به آن می باشد. در شبیه‌سازی‌های انجام شده پروتکل پیشنهادی با پروتکل مسیریابی Directed Diffusion مقایسه شد، نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که در روش پیشنهادی به دلیل عدم استفاده مکرر از یک مسیر خاص و انتخاب مسیر مناسب در مقاطع زمانی مختلف، مصرف انرژی کاهش و طول عمر شبکه و همچنین گذردهی افزایش می‌یابد.

## مراجع

- [1] F. Akyldiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey", Computer Networks, No. 4, Vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [2] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks, in the Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, WA, August 1999.
- [3] D. Braginsky and D. Estrin, Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks, in the Proceedings of the First Workshop on Sensor Networks and Applications (WSNA), Atlanta, GA, October 2002.
- [4] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks, Proceedings of ACM MobiCom '00, pp. 56-67 Boston, MA, 2000.
- [5] S. Madiraju, C. Mallanda, R. Kannan, A. Duresi, and S.S.Iyengar, EBRP: Energy Band based Routing Protocol for Wireless Sensor Networks, Department of Computer Science, Louisiana State University 298 Coates Hall LA 70803, USA, 2004.
- [6] C. Schurgers and M.B. Srivastava, Energy efficient routing in wireless sensor networks, in the MILCOM Proceedings on