

## یک مکانیزم زمانبندی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای ارتباط سرخوشه با اعضای خوشه در پروتکل‌های سلسله مراتبی برای شبکه‌های حسگر

سید محمد ابوالحسنی

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی  
کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران  
sm\_abolhasani@aut.ac.ir

محمد رضا میبیدی

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی  
کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران  
mmeybodi@aut.ac.ir

مهدی اثنی عشری

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی  
کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران  
esnaashari@aut.ac.ir

**چکیده:** برای پروتکل‌های سلسله مراتبی مکانیزم‌های مختلفی برای ارتباط سرخوشه با اعضا خوشه پیشنهاد شده است. مکانیزم‌های مورد استفاده بدون توجه به شرایط گره‌ها به هر یک از اعضا خوشه، زمان یکسانی برای ارتباط با سرخوشه می‌دهند. در این مقاله یک مکانیزم زمانبندی بر اساس اتوماتاهای یادگیر که آنرا LASM می‌نامیم برای ارتباط اعضای یک خوشه با سرخوشه پیشنهاد می‌گردد. در این روش هر سرخوشه به یک اتوماتای یادگیر مجهز است که وظیفه زمانبندی برای ارتباط سرخوشه با اعضای خوشه را بر عهده دارد. اتوماتای یادگیر به مرور زمان یاد می‌گیرد که برای اعضای از خوشه که دارای اطلاعات بیشتری برای ارسال می‌باشند شانس بیشتری را برای ارتباط با سرخوشه فراهم کند. به منظور ارزیابی، پروتکل LEACH که در آن مکانیزم زمانبندی پیشنهادی به کار گرفته شده است ( $LEACH_{LASM}$ ) و پروتکل LEACH که از مکانیزم زمانبندی TDMA استفاده می‌کند ( $LEACH_{TDMA}$ ) با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز ns2 شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی‌ها برتری روش پیشنهادی را نشان داده است.

**کلمات کلیدی:** شبکه‌های حسگر، اتوماتاهای یادگیر، پروتکل سلسله مراتبی، مکانیزم زمانبندی

### 1- مقدمه

شبکه‌های حسگر که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند از تعداد زیادی (که ممکن است به هزاران مورد برسد) گره حسگر کوچک، ارزان قیمت با قابلیت و قدرت پایین تشکیل شده‌اند. این حسگرها می‌توانند اطلاعاتی را از محیط اطراف خود دریافت کرده و برای حسگرهای همسایه ارسال دارند [1,2]. شبکه‌های حسگر می‌توانند در کاربردهایی مانند نظارت هوشمند بر بزرگراه‌ها، امدادرسانی در حوادث غیرمترقبه، دیده‌بانی محیط و پیگیری هدف [3,4] بکار گرفته شوند. یکی از مسایل مهم در شبکه‌های حسگر مساله مسیریابی

می‌باشد که برای حل آن الگوریتم‌های فراوانی گزارش شده است. اکایا<sup>۱</sup> و یانیس<sup>۲</sup> در [5] پروتکل‌های مسیریابی را به چهار گروه کلی "داده محور"، "سلسله مراتبی"، "بر اساس موقعیت" و "آگاه از کیفیت سرویس و جریان شبکه" تقسیم می‌کنند. در معماری سلسله مراتبی، گره‌های با انرژی بالاتر وظیفه پردازش و ارسال اطلاعات را بر عهده دارند، درحالیکه گره‌های با انرژی پایین‌تر تنها نقش حسگر را در محیط بازی می‌کنند. در مسیریابی سلسله مراتبی، گره‌ها به خوشه‌های منطقی تقسیم می‌شوند. در هر خوشه برخی گره‌ها سرخوشه و گره‌های دیگر به عنوان اعضای خوشه در نظر گرفته می‌شوند. اعضای خوشه اطلاعات مورد نظر را با توجه به کاربرد از محیط به دست می‌آورند و سپس این اطلاعات را به سرخوشه ارسال می‌کنند. سرخوشه نیز با جمع‌آوری این اطلاعات آنها را به گره مرکزی می‌فرستد. اکثر پروتکل‌های سلسله مراتبی دارای دو مرحله برای مسیریابی هستند؛ مرحله اول انتخاب سرخوشه و مرحله دوم مسیریابی می‌باشد. مسیریابی سلسله مراتبی یک راه مؤثر برای کاهش پیغام‌های ارسالی به ایستگاه‌های اصلی و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه می‌باشد.

به منظور جلوگیری از تداخل در ارتباط اعضای یک خوشه با سرخوشه خود، پروتکل‌های سلسله مراتبی از روش‌های مختلفی استفاده می‌کنند. AIMRP<sup>3</sup> از روشی مشابه IEEE 802.11 استفاده می‌کند [6]. مکانیزمی که به طور معمول برای ارتباط اعضای خوشه با سرخوشه استفاده می‌شود<sup>۴</sup> TDMA است که در پروتکل‌های زیادی استفاده شده است [7-15]. مکانیزم زمانبندی TDMA تمایزی بین عضو خوشه‌ای که همواره داده‌ای برای ارسال دارد و عضو خوشه‌ای که داده‌ای برای ارسال ندارد قائل نیست و به هر دو عضو خوشه زمان یکسانی را برای ارتباط با سرخوشه می‌دهد. این در حالی است که ممکن است عضوی از خوشه در منطقه‌ای قرار داشته باشد که اطلاعات محیطی آن مدام در حال تغییر است، اما سایر اعضای خوشه چنین تغییراتی را در محیط اطراف خود حس نمی‌کنند. در این صورت، عضوی که اطلاعات محلی آن همواره در حال تغییر است باید زمان بیشتری را نسبت به سایر

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 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  $\beta$  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 با ساختار ثابت توسط پنج‌تایی  $\{\alpha, \beta, F, G, \phi\}$  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،  $\phi \equiv \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_s\}$  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  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه عمل‌های اتوماتا،  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  مجموعه ورودی‌های اتوماتا،  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  بردار احتمال انتخاب هریک از عمل‌ها و  $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$  الگوریتم یادگیری می‌باشد. الگوریتم زیر یک نمونه از الگوریتم‌های یادگیری خطی است. فرض کنید عمل  $\alpha_i$  در مرحله  $n$ ام انتخاب شود.

- پاسخ مطلوب

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\ p_j(n+1) &= (1-a)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i \end{aligned} \quad (1)$$

- پاسخ نامطلوب

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1-b)p_i(n) \\ p_j(n+1) &= (b/r-1) + (1-b)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i \end{aligned} \quad (2)$$

در روابط (1) و (2)،  $a$  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  $L_{RP}$  می‌نامند، زمانی که  $b$  از  $a$  خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را  $L_{REP}$  می‌نامند و زمانی که  $b$  مساوی صفر باشد الگوریتم را  $L_{RI}$  می‌نامند [22].

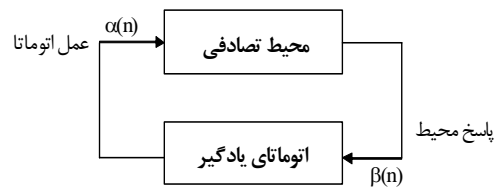
اعضاء برای برقراری ارتباط با سرخوشه و ارسال اطلاعات به آن در اختیار داشته باشد.

اخیراً اتوماتاهای یادگیر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مورد استفاده قرار گرفته است. در [16] با استفاده از اتوماتاهای یادگیر مکانیزمی برای بیدار و خواب کردن گره‌ها به منظور حفظ کیفیت سرویس ارائه شده است. در [17] پروتکل  $LACA^5$  که مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر می‌باشد برای خوشه‌بندی گره‌ها و در [18] پروتکلی بر اساس اتوماتاهای یادگیر برای چندپخش متحرک برای شبکه‌های حسگر ارائه شده است. در این مقاله یک مکانیزم زمانبندی بر اساس اتوماتاهای یادگیر که آنرا  $LASM^6$  می‌نامیم برای ارتباط اعضای یک خوشه با سرخوشه پیشنهاد می‌گردد. در این روش هر سرخوشه به یک اتوماتای یادگیر مجهز است و عهده‌دار کنترل ارتباط سرخوشه با اعضای آن می‌باشد. اتوماتای یادگیر به مرور زمان یاد می‌گیرد که برای اعضای از خوشه که دارای اطلاعات بیشتری برای ارسال می‌باشند شانس بیشتری را برای ارتباط با سرخوشه فراهم کند. به منظور ارزیابی، پروتکل  $LEACH^7$  که در آن مکانیزم زمانبندی پیشنهادی به کار گرفته شده است ( $LEACH_{LASM}$ ) و پروتکل  $LEACH$  که از مکانیزم زمانبندی TDMA استفاده می‌کند ( $LEACH_{TDMA}$ ) با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز ns2 [19] شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج مقایسه برتری روش پیشنهادی را نشان داده است.

سازماندهی ادامه مقاله به این صورت است. در بخش 2 اتوماتاهای یادگیر و در بخش 3 پروتکل  $LEACH$  به اختصار شرح داده می‌شوند. در بخش 4 مکانیزم زمانبندی پیشنهادی توضیح داده می‌شود و در بخش 5 نتایج شبیه‌سازی‌ها آمده است. بخش 6 نتیجه‌گیری می‌باشد.

## 2- اتوماتاهای یادگیر

یک اتوماتای یادگیر [20,21]، 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 1 مشاهده می‌شود.



شکل (1): ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

## 3- پروتکل LEACH

است که اگر عضو خوشه‌ای بسته‌ای برای ارسال در لحظه  $t$  دارد، با احتمال زیاد در لحظه  $t+1$  نیز بسته‌ای برای ارسال خواهد داشت. به همین دلیل، در صورتی که عضو انتخاب شده داده‌ای برای ارسال داشته باشد، احتمال انتخاب آن در مراحل بعدی بر اساس رابطه 1 افزایش و در غیر این صورت بر اساس رابطه 2 کاهش می‌یابد. تعداد عمل‌های هر یک از اتوماتاهای یادگیر برابر با تعداد اعضای خوشه متناظر با آن می‌باشد. انتخاب یک عمل توسط اتوماتای یادگیر به معنای انتخاب یک عضو از خوشه برای ارتباط با سرخوشه است. بردار احتمال انتخاب عمل‌های اتوماتای یادگیر هر خوشه طبق رابطه 4 مقدار دهی اولیه می‌شود. در این رابطه  $n$  تعداد اعضای خوشه است و  $i$  شماره عمل اتوماتای یادگیر است.

$$\forall i \quad i \leq n \quad P_i = \frac{1}{n} \quad (4)$$

اجرای الگوریتم به صورت زیر می‌باشد. ابتدا اتوماتای یادگیر سرخوشه یکی از عمل‌های خود را انتخاب می‌کند. این عمل متناظر با یکی از اعضای خوشه می‌باشد. سرخوشه از عضو انتخاب شده توسط اتوماتای یادگیر درخواست بسته داده می‌کند. اگر عضو خوشه بسته‌ای برای ارسال داشته باشد، آن بسته را به سرخوشه می‌فرستد؛ در این صورت عمل انتخابی پاداش داده می‌شود. در صورتی که عضو خوشه بسته‌ای برای ارسال نداشته باشد، عمل انتخابی اتوماتای یادگیر جریمه می‌شود. این روند تا دور جدید خوشه‌بندی ادامه می‌یابد. سرخوشه بعد از هر چند برش زمانی، اطلاعات دریافتی از اعضای خوشه خود را برای گره مرکزی ارسال می‌کند.

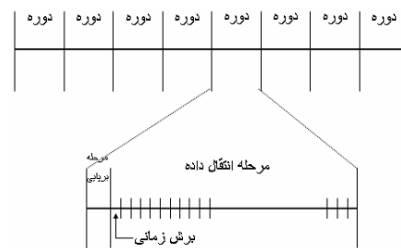
## 5- نتایج شبیه‌سازی‌ها

به منظور ارزیابی، پروتکل LEACH که در آن مکانیزم زمانبندی پیشنهادی به کار گرفته شده است (LEACH<sub>LASM</sub>) و پروتکل LEACH که از مکانیزم زمانبندی TDMA استفاده می‌کند (LEACH<sub>TDMA</sub>) با استفاده از نرم‌افزار شبیه ساز ns2 [19] شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. برای انجام شبیه‌سازی‌ها تعداد 100 گره حسگر در منطقه‌ای به مساحت 100\*100 مترمربع بخش شده است. گره مرکزی به طور تصادفی از میان این 100 گره انتخاب می‌شود. گره‌ها درجه حرارت را از محیط دریافت و تغییرات آن را به اطلاع گره مرکزی می‌رسانند [3]. کارایی پروتکل‌های LEACH<sub>LASM</sub> و LEACH<sub>TDMA</sub> برای مقادیر مختلف  $P$  (نسبت تعداد خوشه‌ها به تعداد گره‌های شبکه) آزمایش شده‌اند. هر گره‌ای که به عنوان سرخوشه انتخاب شود، برای 500 برش زمانی این مسئولیت را به عهده دارد. سرخوشه بعد از هر 5 برش زمانی داده‌های دریافتی را در یک بسته قرار داده و آن را به گره مرکزی می‌فرستد. شبکه برای بارهای (میانگین تعداد بسته‌های فرستاده شده در هر برش زمانی توسط یک گره) 0/0125, 0/0250, 0/0375, 0/0500, 0/1000, 0/1500, 0/2000, 0/2500 و 0/3000 مورد آزمایش قرار

یکی از اولین و معروفترین پروتکل‌های سلسله‌مراتبی ارائه شده برای شبکه‌های حسگر، پروتکل LEACH می‌باشد [14]. در این پروتکل، مدت زمان فعالیت شبکه به دوره‌هایی تقسیم می‌شود (شکل 2). در ابتدای هر دوره، به صورت تصادفی تعدادی از گره‌ها به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند. برای این کار هر گره یک عدد تصادفی مابین 0 و 1 تولید می‌کند. در صورتیکه این عدد از مقدار  $T(n)$  که با استفاده از رابطه 3 به دست می‌آید، کمتر باشد گره مزبور به عنوان سرخوشه معرفی می‌شود. در رابطه 3،  $P$  نسبت تعداد خوشه‌ها به تعداد کل گره‌های شبکه،  $r$  شماره دور و  $G$  تعداد گره‌هایی می‌باشد که در  $1/p$  دور قبل به عنوان رأس خوشه برگزیده نشده‌اند.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{P})}, & \text{if } n \in G \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

پس از مشخص شدن گره‌های سرخوشه، سایر گره‌ها بر اساس قدرت سیگنال دریافتی از هر سرخوشه، تصمیم می‌گیرند که به عضویت کدام خوشه در آیند. گره سرخوشه بازه مسئولیت خود را به تعدادی برش زمانی<sup>۴</sup> تقسیم می‌کند (شکل 2). این برش‌های زمانی بر اساس مکانیزم TDMA میان اعضای خوشه به اشتراک‌گذاری می‌شوند. در هر برش زمانی، سرخوشه با یکی از اعضای خوشه ارتباط برقرار کرده و بسته‌های اطلاعاتی آن عضو را دریافت می‌دارد. سرخوشه در هر چند برش زمانی، اطلاعات دریافتی از اعضای خود را برای گره مرکزی ارسال می‌کند. به منظور توزیع بار بر روی گره‌های مختلف پس از اتمام یک دور، برای آغاز دور جدید، سرخوشه‌ها بر اساس مکانیزم بیان شده در فوق عوض می‌شوند.



شکل(2): دوره و برش زمانی در پروتکل LEACH

## 4- مکانیزم زمانبندی پیشنهادی

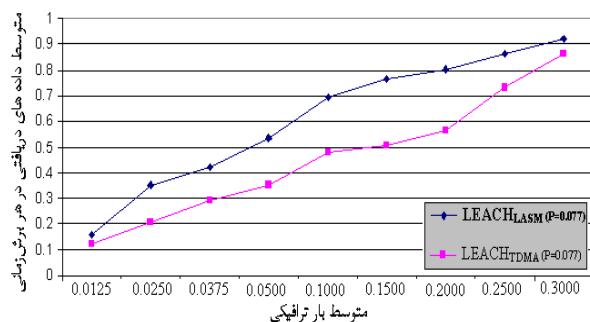
در این قسمت مکانیزم زمانبندی پیشنهادی که آنرا LASM می‌نامیم شرح داده می‌شود. این مکانیزم بعد از مرحله خوشه‌بندی و برای جمع‌آوری اطلاعات از اعضای خوشه به کار گرفته می‌شود. در مکانیزم پیشنهادی، هر سرخوشه مجهز به یک اتوماتای یادگیر است. سرخوشه با استفاده از اتوماتای یادگیر خود، عضو خوشه‌ای را که باید با آن ارتباط برقرار کند انتخاب می‌کند. در مکانیزم پیشنهادی LASM فرض بر این

جدول (1): متوسط داده‌های دریافتی در یک برش زمانی برای تعداد برشهای زمانی متفاوت برای پروتکل LEACH با مکانیزم‌های زمانبندی مختلف برای  $p$  های مختلف

پروتکل	تعداد برش زمانی	LEACH <sub>TDMA</sub> (P=0.05)	LEACH <sub>LASM</sub> (P=0.05)	LEACH <sub>TDMA</sub> (P=0.0625)	LEACH <sub>LASM</sub> (P=0.0625)	LEACH <sub>TDMA</sub> (P=0.077)	LEACH <sub>LASM</sub> (P=0.077)	LEACH <sub>TDMA</sub> (P=0.1)	LEACH <sub>LASM</sub> (P=0.1)
10	0.25	0.30	0.27	0.25	0.28	0.27	0.23	0.27	0.23
20	0.34	0.42	0.36	0.37	0.33	0.37	0.29	0.34	0.29
30	0.38	0.46	0.38	0.42	0.37	0.42	0.32	0.38	0.32
50	0.45	0.53	0.42	0.51	0.39	0.50	0.36	0.44	0.36
70	0.48	0.58	0.44	0.55	0.41	0.55	0.37	0.48	0.37
100	0.52	0.63	0.46	0.58	0.44	0.60	0.39	0.50	0.39
200	0.55	0.70	0.49	0.65	0.46	0.63	0.41	0.55	0.41
300	0.58	0.74	0.50	0.68	0.47	0.66	0.41	0.57	0.41
400	0.59	0.76	0.50	0.70	0.48	0.68	0.42	0.59	0.42
500	0.59	0.77	0.51	0.72	0.48	0.69	0.42	0.61	0.42

## 5-2- آزمایش دوم

در این آزمایش عملکرد دو پروتکل LEACH<sub>LASM</sub> و LEACH<sub>TDMA</sub> برای بارهای مختلف برای  $P=0.077$  مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور دو پروتکل برای بارهای مختلف پیاده‌سازی و متوسط داده‌های دریافتی در پایان زمان شبیه‌سازی محاسبه گردید. نتایج این آزمایش در شکل 4 آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود پروتکل LEACH<sub>LASM</sub> همواره متوسط داده‌های دریافتی بالاتری از پروتکل LEACH<sub>TDMA</sub> در هر برش زمانی دارد. علت این امر آن است که در پروتکل LEACH<sub>LASM</sub>، سرخوشه به کمک اتوماتای یادگیر خود اعضای فعال خوشه را به مرور زمان می‌شناسد و در نتیجه زمان بیشتری را برای ارسال اطلاعات در اختیار آنها می‌گذارد. نتایج دو پروتکل LEACH<sub>LASM</sub> و LEACH<sub>TDMA</sub>، برای مقادیر مختلف  $P$  و بار (میانگین تعداد بسته‌های فرستاده شده در هر برش زمانی توسط یک گره) در جدول 2 آمده است. نتایج نشان دهنده برتری پروتکل LEACH<sub>LASM</sub> بر پروتکل LEACH<sub>TDMA</sub> است.

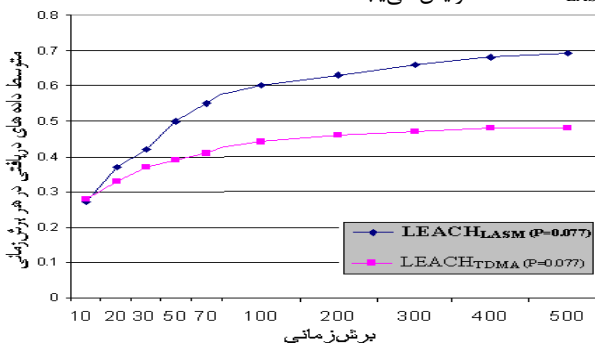


شکل (4): متوسط داده‌های دریافتی در هر برش برای مقادیر مختلف بار ترافیکی برای پروتکل LEACH (p=0/077)

گرفته است. زمان شبیه‌سازی 600 ثانیه در نظر گرفته شده است که در این مدت چندین بار مرحله خوشه بندی انجام می‌شود.

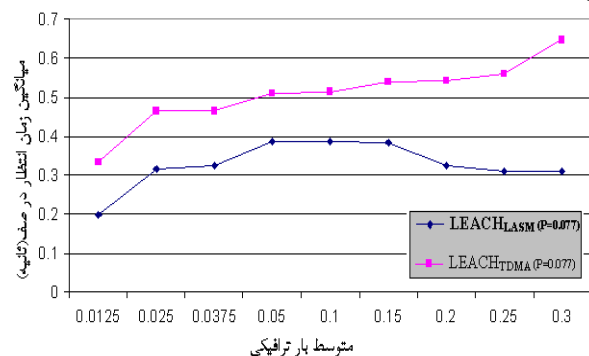
## 5-1- آزمایش اول

در این آزمایش نشان داده می‌شود که عملکرد مکانیزم پیشنهادی به مرور زمان بهبود پیدا می‌کند؛ یعنی اتوماتاهای یادگیر به مرور زمان اعضای از خوشه را که دارای اطلاعات بیشتری برای ارسال هستند مشخص کرده و برای آنها شانس بیشتری برای ارتباط با سرخوشه‌ها فراهم می‌کنند. برای این منظور پروتکل LEACH با مقدار  $P=0/077$  با استفاده از دو مکانیزم زمانبندی پیاده‌سازی گردید. پس از مرحله خوشه‌بندی، بر اساس پروتکل LEACH، سرخوشه‌ها اقدام به جمع‌آوری بسته‌های داده از اعضای خوشه خود با مکانیزم پیشنهادی LEACH و یا TDMA می‌کنند. میانگین تعداد بسته‌های فرستاده شده در هر برش زمانی توسط یک گره (بار) برای این آزمایش 0/1 در نظر گرفته شده است. نتایج این آزمایش در شکل 3 آمده است. با توجه به در نظر گرفتن 500 برش زمانی برای هر سرخوشه برای ارتباط با اعضای خوشه و تعداد بسته‌های دریافتی در برش‌های زمانی گوناگون، برای پروتکل LEACH<sub>LASM</sub> مشاهده می‌شود که هر چه زمان می‌گذرد و سرخوشه در برش‌های زمانی بیشتر با اعضای خوشه ارتباط برقرار می‌کند؛ سرخوشه شرایط اعضای خود را بهتر می‌شناسد و با عضوی که داده‌های بیشتری برای ارسال دارد در برش‌های زمانی بیشتری ارتباط برقرار می‌کند و در نتیجه بسته‌های داده بیشتری را از اعضای خود دریافت می‌کند. همانطور که دیده می‌شود هر چه سرخوشه در برش‌های زمانی بیشتر با اعضای خوشه ارتباط برقرار می‌کند، داده‌های بیشتری را دریافت می‌کند. در حالی که برای پروتکل LEACH<sub>TDMA</sub> با گذشت زمان سرخوشه‌ها تمایزی بین اعضای خود قایل نمی‌شوند. به منظور بررسی تأثیر پارامتر  $P$  بر پروتکل‌های LEACH<sub>LASM</sub> و LEACH<sub>TDMA</sub>، این پروتکل‌ها برای مقادیر مختلف  $P$  آزمایش شده‌اند که نتایج آن در جدول 1 آمده است. مشاهده می‌شود که متوسط داده‌های دریافتی در یک برش زمانی با گذشت زمان برای پروتکل LEACH<sub>LASM</sub> افزایش می‌یابد.

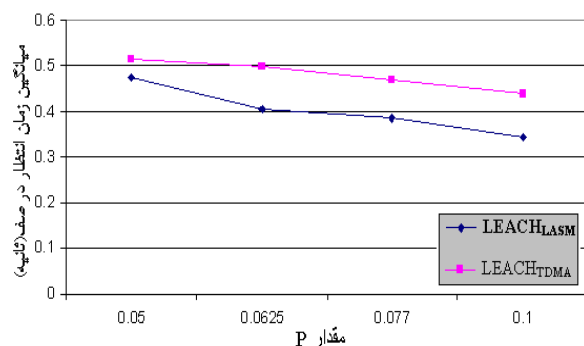


شکل (3): افزایش متوسط داده‌های دریافتی با گذشت زمان برای پروتکل‌های LEACH<sub>LASM</sub> (p=0.077) و LEACH<sub>TDMA</sub> (p=0.077)

برای هر دو پروتکل  $LEACH_{TDMA}$  و  $LEACH_{LASM}$  یکسان خواهد بود.



شکل (5): متوسط زمان انتظار در صف برای مقادیر مختلف بار ترافیکی  
برای پروتکل  $LEACH (p=0/077)$



شکل (6): متوسط زمان انتظار در صف با مقادیر مختلف  $P$ ، برای پروتکل  $LEACH$  با بار 0/1

## 6- سپاسگزاری

این کار تحقیقاتی توسط مرکز تحقیقات مخابرات ایران حمایت مالی شده است که از این طریق سپاسگزاری می‌گردد.

## 7- نتیجه

در این مقاله یک مکانیزم زمانبندی بر اساس اتوماتای یادگیر برای ارتباط اعضای یک خوشه با سرخوشه پیشنهاد گردید. به منظور ارزیابی، پروتکل  $LEACH$  که در آن مکانیزم زمانبندی پیشنهادی به کار گرفته شده است و پروتکل  $LEACH$  که از مکانیزم زمانبندی  $TDMA$  استفاده می‌کند با استفاده از نرم‌افزار شبیه ساز ns2 شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج مقایسه برتری روش پیشنهادی را نشان داد.

## 8- مراجع

- [1] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E. *Wireless sensor networks: a survey*. Computer Networks, Vol. 38, 2002, 393-422.
- [2] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E. *A survey on sensor network*. IEEE Communication Magazine, Vol. 40, August 2002, 102-114.

جدول (2): متوسط داده‌های دریافتی در هر برش برای پروتکل‌های

مختلف با بارهای مختلف

0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	بار پیشنهادی (packet slot)
						نوع پروتکل
0.91	0.77	0.64	0.59	0.59	0.37	$LEACH_{TDMA} (P=0.05)$
<b>0.94</b>	<b>0.87</b>	<b>0.91</b>	<b>0.82</b>	<b>0.77</b>	<b>0.56</b>	$LEACH_{LASM} (P=0.05)$
0.88	0.80	0.57	0.54	0.51	0.31	$LEACH_{TDMA} (P=0.0625)$
<b>0.91</b>	<b>0.89</b>	<b>0.81</b>	<b>0.76</b>	<b>0.72</b>	<b>0.49</b>	$LEACH_{LASM} (P=0.0625)$
0.87	0.73	0.56	0.51	0.48	0.35	$LEACH_{TDMA} (P=0.077)$
<b>0.92</b>	<b>0.86</b>	<b>0.80</b>	<b>0.77</b>	<b>0.69</b>	<b>0.54</b>	$LEACH_{LASM} (P=0.077)$
0.78	0.70	0.59	0.43	0.42	0.29	$LEACH_{TDMA} (P=0.1)$
<b>0.86</b>	<b>0.89</b>	<b>0.87</b>	<b>0.72</b>	<b>0.61</b>	<b>0.43</b>	$LEACH_{LASM} (P=0.1)$

## 3-5- آزمایش سوم

هدف از این آزمایش بررسی میانگین مدت زمان انتظار هر بسته در صف برای مکانیزم زمانبندی پیشنهادی می‌باشد. برای این منظور دو پروتکل  $LEACH_{LASM}$  و  $LEACH_{TDMA}$  با  $P=0/077$  برای بارهای مختلف پیاده‌سازی و میانگین مدت زمانی که هر بسته در داخل صف منتظر می‌ماند محاسبه گردید. نتایج آزمایش نشان دهنده عملکرد بهتر پروتکل  $LEACH_{LASM}$  در مقایسه با پروتکل  $LEACH_{TDMA}$  است. با توجه به آنکه در پروتکل  $LEACH_{LASM}$  اعضای فعال خوشه، شانس بیشتری برای ارسال اطلاعات دارند، می‌توانند داده‌های خود را با نرخ بالاتری ارسال کنند و لذا میانگین زمان انتظار در صف برای داده‌های آنها کاهش می‌یابد. با توجه به آنکه اغلب داده‌ها در گره‌های فعال تولید می‌شوند، کاهش میانگین زمان انتظار در صف در این گره‌ها باعث کاهش میانگین انتظار در صف برای کل گره‌ها می‌شود. نتایج این آزمایش در شکل 5 آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش بار زمان انتظار در صف نیز افزایش می‌یابد. که به علت افزایش بسته تولید شده است. علت کاهش زمان انتظار در صف برای پروتکل  $LEACH_{LASM}$  در بارهای ترافیکی بیشتر از 0/15، این است که با افزایش تولید بسته‌های داده توسط گره‌های فعال، شناسایی آنها در مدت زمان کوتاه‌تری صورت می‌پذیرد و لذا زمان انتظار در صف پیش از شناسایی شدن گره‌های فعال کاهش خواهد یافت که این موجب کاهش میانگین انتظار در صف خواهد شد. به منظور بررسی تأثیر پارامتر  $P$  بر پروتکل‌های  $LEACH_{LASM}$  و  $LEACH_{LASM}$ ، این پروتکل‌ها برای مقادیر مختلف  $P$  و بار (میانگین تعداد بسته‌های فرستاده شده در هر برش زمانی توسط یک گره) 0/1 شبیه‌سازی گردیدند که نتیجه آن در شکل 6 نشان داده شده است. نتایج حاکی از عملکرد بهتر پروتکل  $LEACH_{LASM}$  در مقایسه با پروتکل  $LEACH_{TDMA}$  است. همان گونه که در شکل 6 دیده می‌شود با افزایش مقدار  $P$  و در نتیجه افزایش تعداد سرخوشه‌ها زمان انتظار بسته‌ها در صف کاهش پیدا می‌کند. این به علت کم شدن تعداد اعضای هر خوشه و در نتیجه افزایش برش زمانی اختصاص داده شده به هر عضو خوشه می‌باشد. با توجه به اینکه در الگوریتم مسیریابی تغییری ایجاد نشده است، تأخیر انتها به انتها

- [20] Narendra, K. S., and Thathachar, M. A. L. *Learning automata: An introduction*. Prentice Hall, 1989.
- [21] H. Beigy, and M. R. Meybodi, *A mathematical framework for cellular learning automata*. Advances on Complex Systems, Vol. 7, Nos. 3-4, September/December 2004, 295-320.
- [22] Thathachar, M. A. L., and Sastry, P. S. *Varieties of learning automata: An overview*. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Vol. 32, No. 6, 2002, 711-722.
- [3] Janakiram, D., Venkateswarlu, R., and Nitin, S. *A survey on programming languages, middleware and applications in wireless sensor networks*. IITM-CSE-DOS-2005-04, 2005.
- [4] Estrin, D. *Embedded everywhere: A research agenda for network systems of embedded computers*. National Academy Press, Computer Science and Telecommunication Board (CSTB) Report, 2001.
- [5] Akkaya, K., and Younis, M. *A survey on routing protocols for wireless sensor networks*. Elsevier Ad Hoc Network Journal, 2005, 325-349.
- [6] Kulkarni, S., Iyer, A., and Rosenberg, C. *An address-light, integrated MAC and routing protocol for wireless sensor networks*. IEEE/ACM Transactions on Networking, August 2005.
- [7] Manjeshwar, A., and Agrawal, D. *TEEN: A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks*. 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, 2001.
- [8] Manjeshwar, A., and Agrawal, D. *Apteen: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks*. IPDPS, 2002.
- [9] Younis, M., Youssef, M., and Arisha, K. *Energy-Aware routing in cluster-based sensor networks*. Proceedings of the 10<sup>th</sup> IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS2002), Fort Worth, Texas, October 2002.
- [10] Younis, M., Youssef, M., and Arisha, K. *Energy-Aware management in cluster-based sensor Networks*. The International Journal on Computer Networks, Vol. 43, No. 5, December 2003, 649-668.
- [11] Misra, I. S., Dolui, S., and Das, A. *Enhanced-Efficient adaptive clustering protocol for distributed sensor networks*. ICON 2005.
- [12] Voig, T., Dunkels, A., Alonso, J., Ritter H., and Schiller, J. *Solar-aware clustering in wireless sensor networks*. Computers and Communications, ISCC 2004, Ninth International Symposium on Vol. 1, 28 June-1 July 2004.
- [13] Huynh, T. T., and Hong, C. S. *Prolonging network lifetime via intra-cluster routing in wireless sensor networks*. Proceedings of ICMU2005, April. 2005, 162-167.
- [14] Heinzelman, W., Chandrakasan, A., and Balakrishnan, H. *Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor network*. Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '00), January 2000.
- [15] Musunuri, R., and Cobb, J. A. *Hierarchical-battery aware routing in wireless sensor networks*. Vehicular Technology Conference, 2005.
- [16] M. Esnaashari, M. R. Meybodi, and M. Sabaei, *A novel method for QoS support in sensor networks*, Proceedings of CSICC2007, 2007, 740-747.
- [17] N. Farajzadeh, and M. R. Meybodi, *Learning automata-based clustering algorithm for sensor networks*, Proceedings of CSICC2007, 2007, 780-787.
- [18] M. Gholipour, and M. R. Meybodi, *LA-Mobicast: A learning automata based distributed protocol for mobicast in sensor networks*, Proceedings of CSICC2007, 2007, 1154-1161.
- [19] *The Network Simulator - ns-2*. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

## زیر نویس ها

<sup>1</sup> Akkaya

<sup>2</sup> Younis

<sup>3</sup> Address-light Integrated MAC, and Reporting Protocol

<sup>4</sup> Time-division multiple-access

<sup>5</sup> Learning Automata-based Clustering Algorithm

<sup>6</sup> Learning Automata-based Scheduling Mechanism

<sup>7</sup> Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

<sup>8</sup> Time Slot