

# زمانبندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از بازی اقلیت و اتوماتای یادگیر سلولی

تورج محمدپور<sup>1</sup>، محمدرضا میبدی<sup>2</sup>

<sup>1</sup>دانشکده مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، mohammadpour.touraj@gmail.com

<sup>2</sup>دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده - شبکه حسگر بی‌سیم، نوع خاصی از شبکه‌های موردی<sup>i</sup> است و شامل مجموعه‌ای از گرهای کوچک می‌باشد که توانایی حس محیط اطراف با هدف معین، پردازش اطلاعات، ذخیره‌سازی و تبادل اطلاعات با سایر گره‌ها را دارا است. از مهمترین چالشهای پیش روی WSN، محدود بودن سطح انرژی در شبکه است و ارائه روشی مناسب برای بهبود طول عمر شبکه بسیار حائز اهمیت است. یکی از این روشها، استفاده از تکنیک زمانبندی<sup>ii</sup> است. در این مقاله، پروتکلی بنام MCSP برای زمانبندی در WSN ارائه می‌شود. این پروتکل که مبتنی بر بازی اقلیت<sup>iii</sup> و اتوماتای یادگیر سلولی<sup>iv</sup> است، همواره نودهای حسگر را در هر دوره زمانی با الگوریتمی در دو حالت On و Standby قرار می‌دهد. هدف از ارائه این پروتکل، مدیریت مصرف انرژی در WSN به منظور افزایش طول عمر<sup>v</sup> شبکه است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این روش نسبت به روشهای مشابه، کارایی مناسبی را در مدیریت مصرف انرژی و افزایش طول عمر WSN دارا است.

کلید واژه- اتوماتای یادگیر سلولی، بازی اقلیت، زمانبندی، شبکه حسگر بی‌سیم، طول عمر.

## 1- مقدمه

ارائه می‌شود. این پروتکل، مبتنی بر بازی اقلیت و اتوماتای یادگیر سلولی است.

MG توسط Zhang و Challet بصورت نسخه ساده شده ای از مسئله El Farol Bar معرفی گردید [10]. در سال 1994، مسئله El Farol Bar آرتور<sup>viii</sup> یکی از نمونه‌های مطالعاتی بسیار گسترده از سیستمهای تطبیقی پیچیده بوده است. مدل مذکور متشکل از  $N$  فرد می‌باشد که می‌توانند بطور مستقل و با توجه به مسئله El Farol Bar در شهر Santa Fe در یک شب معین در مورد رفتن یا نرفتن به Bar تصمیم گیری نمایند. Bar ظرفیت محدودی دارد و مردم سعی می‌کنند، هنگامیکه در آن ازدحام بوجود آمده است، از رفتن به آن اجتناب کنند. بین افراد ارتباطات صریح و مشخصی وجود ندارد و تنها اطلاعات در دسترس برای آنها، سربهای زمانی از حضورشان در گذشته می‌باشد. یعنی هر عامل، یک مجموعه از استراتژیها<sup>ix</sup> را که مراجعه هفته آینده به Bar را از روی مراجعات گذشته پیشبینی می‌کند، می‌بایست داشته باشد. در MG تفاوت اصلی موجود اینست که بجای تاریخچه واقعی، عاملها فقط از طریق یک رشته باینری مشخص می‌کنند که آیا Bar دارای ازدحام می‌باشد یا خیر. در واقع، MG مدلی برای تخصیص منبع در یک سیستم چند عامله<sup>x</sup> بزرگ و گسترده می‌باشد. در یک MG، نتیجه بدست آمده برای هر عامل، به نتیجه عمل انتخاب شده توسط آن عامل بستگی خواهد داشت. این نتیجه نیز، وابسته به تعداد عاملهای دیگری که عمل مشابه با آن عامل را انتخاب می

شبکه‌های حسگر بعنوان یک تکنولوژی بسیار مهم در قرن حاضر شناخته شده‌اند. در سالهای اخیر، توجه بسیاری از محققان به گستره وسیعی از پتانسیلهای کاربردی شبکه‌های حسگر بی‌سیم جلب شده است. هنگام وقوع یک رویداد در SN، فرآیند گزارش دهی بوسیله یک یا چند حسگر<sup>vi</sup> که پیرامون محل وقوع رویداد هستند راه اندازی شده و گزارشی به مرکز نظارت فرستاده می‌شود. از WSN می‌توان برای نمایش و کنترل طیف وسیعی از حالات پیرامون ما از قبیل: درجه حرارت، رطوبت، حرکت وسایل نقلیه، سطوح نویز، وجود اشیاء خاص، ردیابی حیوانات کوچک، سرعت، جهت و اندازه یک شیء و ... استفاده نمود. با توجه به کاربردهای متنوع، WSN با محدودیتهایی مواجه می‌باشد که عبارتند از: توان محاسباتی کم، کمبود پهنای باند و منبع تغذیه مخصوص آن [1,2].

با توجه به عدم امکان شارژ مجدد منبع تغذیه حسگرها بدلیل تعداد بسیار زیاد و گستردگی جغرافیایی آنها در اغلب موارد، محدود بودن سطح انرژی بعنوان یکی از مهمترین چالشهای پیش روی WSN مطرح بوده و تعیین روشی برای بهبود طول عمر شبکه بسیار حائز اهمیت است. از طرفی، مدلهای استاندارد WSN، بر بهینگی استفاده از انرژی و تصمیم گیری توزیع شده توسط گره‌های حسگر در شبکه تأکید دارند. یکی از این روشها، استفاده از تکنیک زمانبندی در WSN است [3,4,5,6,7]. در این مقاله، پروتکلی بنام MCSP<sup>vi</sup> برای زمانبندی در WSN

کنند، دارد.  $MG$  یک نسخه از بازیهای تجمعی می باشد [16,15,14,13,12,11,10].

همچنین، هر کدام از حسگرهای موجود در شبکه مجهز به یک اتوماتای یادگیر  $xi$  می باشد.  $LA$  می تواند تعداد محدودی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط محیطی احتمالی ارزیابی می گردد و پاسخی به  $LA$  داده می شود.  $LA$  از این پاسخ استفاده نموده و عمل بعدی را انتخاب می کند و در این میان یاد می گیرد که چگونه بهترین عمل را انتخاب نماید. در هر لحظه هر  $LA$  در  $CLA$  یک عمل از مجموعه اعمال خود را انتخاب می کند و به آن با توجه به اعمال انتخابی توسط سلولهای همسایه و قانون حاکم بر  $CLA$  پاداش داده شده و یا جریمه می شود. بر اساس آن، اتوماتا رفتار خود را تصحیح کرده و ساختار درونی خود را به هنگام می کند [20,19,18,17].

بطور کلی الگوریتم زمانبندی پیشنهادی، همواره نودهای حسگر را در هر دوره زمانی با روشی مشخص در دو حالت  $On$  و  $Standby$  قرار می دهد، بطوریکه با تعداد سنسورهای در حالت  $On$  در نظر گرفته شده بتوان همچنان چارچوب  $xi$  شبکه را حفظ و تمامی نواحی آنرا پوشش داد. حالت  $On$  حالتی است که در آن حسگر می تواند در طی دوره زمانی به مانیتور نمودن محیط پیرامونی تحت پوشش خود در شبکه بپردازد. حالت  $Standby$  حالتی است که در آن حسگر، در فعالیتهای شبکه در طی دوره زمانی شرکت نداشته و به ذخیره سازی انرژی خود می پردازد. هدف از ارائه این پروتکل، مدیریت مصرف انرژی در  $WSN$  به منظور افزایش طول عمر شبکه می باشد. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که این روش، کارایی مناسبی را در مدیریت مصرف انرژی و افزایش طول عمر  $WSN$  دارا می باشد.

ساختار ادامه مقاله بصورت زیر است: در بخش دوم  $WSN$  بیان می شود. در بخش سوم در مورد  $CLA$  توضیحاتی داده می شود. در بخش چهارم  $MG$  معرفی شده است. در بخش پنجم شرح جامعی از پروتکل زمانبندی پیشنهادی ارائه خواهد شد. سپس در بخش ششم نتایج حاصل از شبیه سازی پروتکل پیشنهادی ارائه می شود و در نهایت در بخش هفتم، نتیجه گیری بیان شده است.

## 2- شبکه های حسگر بی سیم

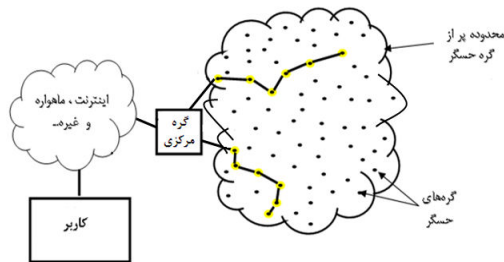
$WSN$ ، نوع خاصی از شبکه های موردی بوده و شامل مجموعه ای از گره های کوچک است. هدف اصلی در آن، نظارت

و کنترل شرایط و تغییرات جوی، فیزیکی و یا شیمیایی در محیطی با محدوده معین می باشد. پروتکل های بسیاری در زمینه مسیریابی  $xi$ ، مدیریت انرژی و ارسال داده برای این شبکه ها طراحی شده است که نقطه تمرکز اکثر آنها بهینه سازی مصرف انرژی است. ارتباطات در این شبکه ها بصورت چندگامی  $xi$  است، یعنی بین مبدا و مقصد لازم نیست دید مستقیمی وجود داشته و در محدوده امواج یکدیگر باشند، بلکه با استفاده از تعدادی گره میانی، ارتباط بین آن دو برقرار می شود.

یک گره حسگر، بعنوان کوچکترین عنصر خود مختار  $xv$  یک  $SN$  شناخته می شود. گره حسگر با حس محیط اطراف خود، میزان تغییرات پارامتر خاصی از محدوده حسی خود در محیط را در قالب یک سیگنال الکتریکی ارائه می دهد. لازم به ذکر است که اجزای تشکیل دهنده  $SN$ ، تنها همان گره ها هستند و نیازی به تجهیزات از پیش تعیین شده ندارند.

### 2-1 معماری ارتباطات شبکه های حسگر بی سیم

$WSN$  شامل صدها و یا هزاران گره حسگر با امکانات مخابراتی، پردازش، حس کردن محیط و... بوده که در محیطی با چارچوب معین پراکنده شده اند. رویداد اتفاق افتاده و یا سوالات پرسیده شده از سوی گره مرکزی  $xvi$  و ماموریت داده شده به هر گره موجب می شود که ارتباطاتی بین گره ها برقرار گردد. در اینجا اطلاعات رد و بدل شده می تواند گزارشی از وضعیت محدوده ای که زیر نظر گره های حسگر است به گره مرکزی باشد و یا درخواستی از سمت گره مرکزی به سمت گره های حسگر باشد. گره مرکزی که بعنوان درگاه ارتباطی شبکه حسگر با سایر سیستمها و شبکه های مخابراتی است، گیرنده نهایی گزارش از گره های حسگر می باشد و بعد از انجام یکسری پردازشها، اطلاعات پردازش شده را به کاربر ارسال می کند (با استفاده از یک رسانه ارتباطاتی مانند اینترنت، ماهواره و...). از سوی دیگر، درخواستهای کاربر نیز توسط این گره به شبکه انتقال می یابد. معماری ارتباطات  $WSN$  در شکل 1، نشان داده شده است.



شکل 1: معماری ارتباطات شبکه های حسگر بی سیم

می گیرد. 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  $LA$  در تعامل با محیط، در شکل 2 مشاهده می شود.



شکل 2: ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

محیط را می توان توسط سه تایی  $E \equiv \{a, B, c\}$  نشان داد که در آن  $a \equiv \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$  مجموعه ورودیها،  $B \equiv \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$  مجموعه خروجیها و  $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$  مجموعه احتمالات جریمه می باشد. از  $LA$  می توان در حل برخی از مسائل بهینه سازی مانند بهینه سازی کلونی مورچه  $xxii$ ، مسئله فروشنده دوره گرد  $xxiv$  و مسیریابی در شبکه استفاده نمود [22,19,18].

### 3-3- اتوماتای یادگیر سلولی

بسیاری از مسایل را نمی توان با استفاده از یک  $LA$  تکی حل کرد، بلکه قدرت اصلی  $LA$  زمانی آشکار می شود که آنها، بصورت دسته جمعی بکار گرفته شوند. بنابراین با ترکیب دو مدل  $LA$  و  $CA$ ، مدل جدیدی بنام  $CLA$  ایجاد می شود. در  $CLA$  می توان از ساختارهای مختلفی برای همسایگی استفاده نمود. در حالت کلی، هر مجموعه مرتب از سلولها را می توان به عنوان همسایه در نظر گرفت. اما معمولترین آنها، همسایگی ون نیومن، مور، اسمیت و کول می باشد که به نزدیکترین همسایگان مشهورند. در هر لحظه، هر  $LA$  در  $CLA$  یک عمل از مجموعه اعمال خود را انتخاب می کند. این عمل می تواند بر اساس مشاهدات قبلی و یا بصورت تصادفی انتخاب شود. عمل انتخاب شده با توجه به اعمال انتخاب شده توسط سلولهای همسایه و قانون حاکم بر  $CLA$  پاداش داده شده و یا جریمه می شود و با توجه به آن، اتوماتا رفتار خود را تصحیح کرده و ساختار داخلی آن بهنگام می شود. معمولاً عمل بروزرسانی تمام اتوماتاها بصورت همزمان انجام می شود. بعد از بروزرسانی، هر اتوماتا در  $CLA$  دوباره یک عمل از مجموعه اعمال خود را انتخاب کرده و انجام می دهد. فرآیند انتخاب عمل و دادن پاداش و یا جریمه تا زمانی که سیستم به حالت پایدار برسد و یا یک معیار از قبل تعریف

بکارگیری حسگرها یا می تواند بطور تصادفی  $xxvi$  ( برای مثال، پاشیدن حسگرها از یک هواپیما برای ایجاد شبکه اطفا حریق در سطح جنگل یا شبکه رهگیری هدف در مناطق جنگی ) و یا بصورت کار گذاشتن دستی  $xxvii$  ( برای مثال، حسگرهای هشدار آتش در یک ساختمان ) باشد. به علت آنکه گره های حسگر می بایست برای مدت زمان زیادی با باتری های کوچک کار کنند و معمولاً در اغلب موارد امکان شارژ مجدد باتری آنها وجود ندارد، بنابراین تمام تکنیکهایی را که از انرژی بطور غیر مؤثر استفاده می کنند و باعث کم شدن طول عمر شبکه می شوند، باید کنار گذاشت [2,1].

### 3- اتوماتای یادگیر سلولی

اتوماتای یادگیر سلولی از ترکیب اتوماتای سلولی  $xxix$  و اتوماتای یادگیر حاصل می شود. در این بخش، این مدلها به عنوان مدلهایی برای یادگیری تقویتی  $xxx$  معرفی می شوند.

### 3-1- اتوماتای سلولی

$CA$ ، یک مدل ریاضی برای سیستمهایی است که در آنها چندین مؤلفه ساده برای تولید الگوهای پیچیده تر با هم همکاری می کنند. در حقیقت سیستمهای دینامیکی گسسته ای هستند که رفتارشان کاملاً بر اساس ارتباط محلی استوار است. در  $CA$  یک مجموعه منظم از سلولها وجود دارد که هر کدام می توانند با چند مقدار مختلف که تعدادشان متناهی است، مقداردهی شوند. این سلولها به صورت همگام  $xxxi$  و در زمان های گسسته  $xxxi$  بر طبق یک قانون محلی بروز رسانی می شوند. محلی بودن به این معناست که در تعیین مقدار جدید هر سلول، سلولهایی که در همسایگی آن هستند تأثیرگذار می باشند و سلولهای دورتر تأثیری ندارند. در  $CA$  در مواردی همچون شبیه سازی فرآیندهای فیزیکی مانند حرکت براونی، حل شدن، شبیه سازی فرآیندهای اجتماعی، شبیه سازی پدیده های شیمیایی مانند سرایت آتش و خوردگی فلزات، پردازش تصویر، تولید اعداد تصادفی و رمزنگاری بکار گرفته شده است [21,18,7].

### 3-2- اتوماتای یادگیر

$LA$ ، ماشینی است که می تواند تعداد متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی می شود. نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اتوماتا داده می شود و اتوماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تأثیر

شده ای برقرار شود، ادامه می یابد. عمل بهنگام سازی ساختار اتوماتاهای موجود در  $CLA$  توسط الگوریتم یادگیری انجام می شود [20,18,17].

#### 4- بازی اقلیت

$MG$  توسط  $Challet$  و  $Zhang$  بصورت نسخه ساده شده ای از مسئله  $El Farol Bar$  معرفی گردید. تفاوت اصلی موجود اینست که بجای تاریخچه واقعی، عاملها فقط از طریق یک رشته باینری مشخص می کنند که آیا  $Bar$  دارای ازدحام می باشد یا خیر. در این مدل  $N$  عامل را در نظر بگیرید که با هوشی محدود، مکررا بین دو حالت  $0$  و  $1$ ، عمل انتخاب را انجام می دهند ( یعنی بطور مثال در خانه ماندن یا به  $Bar$  رفتن ). اگر در یک زمان معین  $Bar$  دارای ازدحام نباشد ( یا دارای ازدحام باشد )، در آن هنگام انتخاب عامل ( همان سیگنال تولیدی توسط عامل  $(0, 1)$  ) است.

در مدل  $MG$  استاندارد<sup>xxv</sup>، تعداد عوامل در سیستم  $(N)$  فرد<sup>xxvi</sup> در نظر گرفته می شود و ظرفیت منبع نیز بطور ثابت،  $2/(N-1)$  می باشد. هر عامل در هر لحظه می تواند یکی از دو مقدار صفر یا یک را اتخاذ کند. عوامل در اینجا به دو گروه برنده و بازنده تقسیم می شوند. گروه برنده، آن دسته از عوامل دارای مقدار صفر یا یک بوده که تعداد آنها کمتر از  $2/(N-1)$  می باشد. به این گروه، گروه اقلیت<sup>xxvii</sup> نیز گفته می شود، چرا که عوامل موجود در آن تصمیمی اقلیتی را اتخاذ نموده اند. در  $MG$  تعمیم یافته<sup>xxviii</sup> گروه برنده ( بازنده ) برابر  $1/(0)$  در نظر گرفته می شود، در صورتیکه آن گروه از عوامل کوچکتر ( بزرگتر ) از سطح ظرفیت منابع  $(\eta)$  باشند،  $0 < \eta < 1$ . در این مدل هر عامل یک مجموعه از استراتژیها  $(S)$  را برای تصمیم گیری در مورد حرکت بعدیش بکار می گیرد. اگر چنانچه عامل با توجه به وضعیت خود، به گروه اقلیت تعلق داشته باشد، به عامل پاداش داده شده و در غیر اینصورت، جریمه خواهد شد. در این مدل سطح ظرفیت منابع موجود در یک سیستم را می توان در دو گروه زیر در نظر گرفت:

- اگر سطح ظرفیت منبع برابر  $\eta = 1/2$  باشد که در این حالت  $MG$  شامل انواعی مانند:  $MG$  استاندارد،  $MG$  تکاملی<sup>xxix</sup>،  $MG$  چند انتخابی<sup>xxx</sup> و  $MG$  سلسله مراتبی<sup>xxxi</sup> خواهد بود.

- اگر سطح ظرفیت منبع برابر  $0 < \eta < 1$  باشد که در این حالت  $MG$  از نوع تعمیم یافته خواهد بود.

هر دو گروه اشاره شده فوق، دارای محیطهای ایستا<sup>xxxi</sup> می باشند. اما  $Aram Galstyan$  و  $Kristina Lerman$  در سال 2002 مدلی از  $MG$  را در محیطهای غیر ایستا مطرح نمودند [8]. این مدل  $MG$  در این نوع محیطها دارای ویژگیهای زیر است:

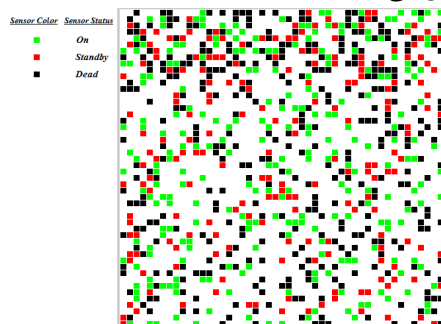
- $MG$  با سطح ظرفیت منبع دلخواه در هر لحظه از زمان
- انتخابهای برنده با  $1$  نشان داده می شود، اگر چنانچه  $A(t) \leq L$  باشد. یعنی مجموع حضور عوامل در سیستم بیشتر از ظرفیت کل منبع  $(L)$  موجود در آن نباشد. در واقع  $A(t)$  تعداد عواملی است که در زمان  $t$ ، مقدار  $1$  را انتخاب نموده اند.

بطور کلی، مهمترین مزیت  $MG$  اینست که در آن می توان استراتژیها را به آسانی پارامتری نمود. یک استراتژی در واقع یک جدول جستجوی ساده می باشد که برای همه ورودی های ممکن، یک خروجی باینری را تعیین می کند. در اینجا ورودی، یک رشته باینری شامل  $m$  خروجی گذشته مدل می باشد. بنابراین برای هر مقداری از  $m$   $P = 2^m$  ورودی ( تاریخچه ) ممکن بوجود خواهد آمد. در نتیجه می توان گفت که تعداد استراتژیهای بوجود آمده برابر  $\Omega = 2^P$  استراتژی خواهد شد [16,15,14,13,12,11,10,9,8].

#### 5- پروتکل $MCSP$

حال در این بخش، شرح کاملی از پروتکل  $MCSP$  ارائه می شود. در این پروتکل، تعداد حسگرهای موجود در شبکه بسیار زیاد و برابر عددی فرد در نظر گرفته می شود. پس از مشخص نمودن محدوده فیزیکی شبکه، حسگرها بطور تصادفی در شبکه پخش می شوند. هر حسگر مجهز به یک  $LA$  است. کلیه حسگرهایی که در محدوده حسی یک گره حسگر ( شعاع حسی<sup>xxxi</sup> تعریف شده برای حسگر ) می باشند، می توانند همسایه<sup>xxxi</sup> آن تلقی شده و بطور مستقیم با آن تبادل اطلاعات نمایند. اما در پروتکل  $MCSP$  تعداد همسایگان حسگر  $(K)$  برابر دو فرض می شود، یعنی هر حسگر تنها از دو همسایه خود ورودی دریافت می کند که این ورودیها حالات همسایگان را در طی دوره زمانی جاری نشان می دهند. در این پروتکل، فرض بر این خواهد بود که حسگرهای موجود در شبکه قابلیت تحرک<sup>xxxv</sup>

ندارند. زمان فعالیت  $WSN$  نیز به بازه های زمانی یکسانی تقسیم شده و هر کدام از حسگرها در هر دوره زمانی می توانند در یکی از دو حالت  $On$  (1) و  $Standby$  (0) قرار گیرند. مقدار انرژی اولیه برای تمامی حسگرهای موجود در شبکه بطور یکسان تعریف می شود. در این پروتکل، هر کدام از حسگرها تا زمانی که مقداری انرژی برای انجام فعالیت های خود در شبکه داشته باشند، در اصطلاح هنوز زنده <sup>xxxvi</sup> بوده و در شبکه موجود <sup>xxxvi i</sup> خواهند بود. اما با پایان پذیرفتن انرژی، حسگر از بین رفته <sup>xxxvi ii</sup> تلقی شده و از شبکه حذف خواهد شد. در اینجا می بایست به این نکته اشاره نمود که طول عمر شبکه به صورت های مختلفی تعریف می شود. در برخی از تعاریف، مدت زمانی که طول می کشد تا انرژی اولین گره تمام شود، برابر طول عمر شبکه در نظر گرفته می شود. اما ذکر این نکته حائز اهمیت است که در پروتکل پیشنهادی، تا زمانی که از بین رفتن حسگرهای موجود منجر به از بین رفتن چارچوب شبکه نشود، اصطلاحاً شبکه زنده بوده و همچنان می تواند به کار خود ادامه دهد. اما هنگامیکه بواسطه پایان پذیرفتن انرژی یک حسگر و از بین رفتن آن، منطقه ای از شبکه (که حسگر از بین رفته در آن منطقه وجود داشته است) دیگر تحت پوشش <sup>xxxix</sup> قرار نداشته باشد (یعنی نقطه کوری در شبکه ایجاد شود)، چارچوب شبکه از بین رفته تلقی شده و طول عمر شبکه تا آن لحظه از زمان محاسبه خواهد شد. شکل 3، وضعیت شبکه و حسگرهای موجود در آن را طی یک دوره زمانی خاص نشان می دهد.



شکل 3، وضعیت شبکه و حسگرهای موجود در آن طی یک دوره زمانی

هر حسگر دارای چهار استراتژی است که با انتخاب یکی از آنها در هر دوره زمانی، برای حالت خود در طی آن دوره تصمیم گیری می کند. این استراتژیها برای همه حسگرهای موجود در شبکه بطور یکسان تعریف شده اند. علت و نحوه انتخاب این قوانین به شرح زیر است:

با توجه به اینکه در پروتکل  $MCSP$ ، حالت یک حسگر در هر دوره زمانی، وابسته به حالت حسگر و دو همسایه آن در طی دوره زمانی قبلی شبکه می باشد، لذا حسگر می بایست بر اساس یک رشته باینری بطول سه برای تعیین حالت بعدی خود تصمیم گیری نماید. بر این اساس، هشت ( $2^3$ ) ترکیب مختلف بوجود خواهد آمد. حال اگر با توجه به همه ترکیب های هشتگانه ممکن رشته باینری، برای حالت بعدی حسگر تصمیم گیری شود،  $2^8 = 256$  استراتژی بوجود خواهد آمد. اما نکته ای که می بایست در اینجا به آن توجه نمود، مسئله پوشش در  $WSN$  می باشد. در این پروتکل برای اینکه برقراری پوشش در تمامی نواحی شبکه تضمین گردد، با تعیین حالت بطور ثابت برای برخی از ترکیب های هشتگانه رشته باینری، مسئله پوشش در شبکه تضمین خواهد شد. در اینجا اگر هر دو همسایه یک حسگر در طی دوره زمانی قبل برابر صفر (غیر فعال) باشند، حالت آن حسگر در دوره زمانی بعدی برابر یک (فعال) در نظر گرفته خواهد شد. همچنین اگر حسگر و یکی از همسایگانش در طی دوره زمانی قبل برابر صفر باشند، حالت آن حسگر در دوره زمانی بعدی برابر یک در نظر گرفته خواهد شد. از طرفی بمنظور کاهش انرژی مصرفی و افزایش طول عمر شبکه، با تعیین حالت بطور ثابت برای برخی دیگر از ترکیب های هشتگانه رشته باینری، به این مسئله نیز پرداخته می شود. بطوریکه، اگر هر دو همسایه یک حسگر در طی دوره زمانی قبل برابر یک باشند، حالت آن حسگر در دوره زمانی بعدی برابر صفر در نظر گرفته خواهد شد. جدول 1، تعیین حالت برای حسگر بر اساس وضعیت حسگر و همسایگانش، با در نظر گرفتن مسئله پوشش و کاهش مصرف انرژی در  $WSN$  را نشان می دهد.

جدول 1: تعیین حالت برای حسگر با در نظر گرفتن مسئله پوشش

و کاهش مصرف انرژی در شبکه حسگر بی سیم

حالت	همسایه 2	حسگر	همسایه 1
1	0	0	0
1	1	0	0
1	0	1	0
x	1	1	0
1	0	0	1
0	1	0	1
x	1	1	1
0	1	1	1

بر این اساس، با توجه به اینکه برای شش ترکیب رشته باینری بطور ثابت تصمیم گیری می شود، از تعداد استراتژیهای

ممکن کاسته شده و از آنجاییکه از بین ترکیبهای هشتگانه رشته باینری برای دو ترکیب باقی مانده دیگر، تعیین حالت ثابتی صورت نمی پذیرد ( که در جدول، حالت آنها با نماد  $\times$  نشان داده شده است )، بطور کلی چهار ( $2^2 = 4$ ) استراتژی برای ترکیبهای هشتگانه رشته باینری بوجود خواهد آمد. جدول 2، نحوه انتخاب استراتژیهای چهارگانه حسگرها را نشان می دهد.

جدول 2: نحوه انتخاب استراتژیهای چهارگانه حسگرها

قانون	1	1	1	1	0	×	0
23	1	1	1	1	0	0	0
31	1	1	1	1	1	0	0
87	1	1	1	0	1	0	0
95	1	1	1	1	1	0	1

جدول 3، تعیین حالت بعدی برای هر حسگر بر اساس انتخاب قانون 95 و اعمال آن بر روی رشته باینری از حالت حسگر و همسایگانش در مرحله زمانی قبل را نشان می دهد.

جدول 3: تعیین حالت برای هر حسگر با اعمال قانون 95 بر روی رشته باینری

000	001	010	011	100	101	110	111
1	1	1	1	1	0	1	0

در ابتدای هر دوره زمانی هر حسگر موجود در WSN که هنوز زنده است ( یعنی مقدار انرژی باقیمانده آن کمتر از حد آستانه<sup>xi</sup> انرژی نباشد )، می بایست وضعیت خود را در طی آن دوره مشخص نماید، بطوریکه بر اساس حالت خود و همسایگانش در دوره زمانی قبل، در یکی از دو وضعیت *On* یا *Standby* قرار می گیرد. البته در شروع بکار شبکه، با توجه به اینکه هنوز هیچکدام از حسگرها پیشینه ای از وضعیت خود و همسایگانشان را ندارند، لذا پیش از آغاز کار شبکه وضعیت تمامی حسگرهای موجود بصورت تصادفی تعیین می گردد.

انتخاب استراتژی توسط هر حسگر در هر دوره زمانی بر اساس یکی از روشهای چرخ رولت<sup>xli</sup>، رتبه بندی<sup>xlii</sup> و یا تورنمنت<sup>xliii</sup> از بین قوانین چهارگانه صورت خواهد پذیرفت. رابطه زیر، برای تعیین حالت بعدی هر حسگر بکار گرفته می شود:

$$S_i(t+1) = F_i^j(S_i(t), Sk_1(t), Sk_2(t)) \quad (1-5)$$

که در این رابطه،  $S_i(t)$ ،  $Sk_1(t)$  و  $Sk_2(t)$  حالت حسگر  $i$  ام و همسایگان آن در طی دوره زمانی قبلی ( لحظه  $t$  ) می باشند و  $F_i^j$ ،  $j = 1, 2, \dots, 16$  تابعی منطقی است که حالت

حسگر  $i$  ام را بر اساس استراتژی انتخابی اش ( استراتژی  $j$  ام ) در هر دوره زمانی ( لحظه  $t + 1$  ) تعیین می کند.

هر حسگر همواره مقدار انرژی باقیمانده خود را بررسی نموده و اگر سطح انرژی اش کمتر از حد آستانه انرژی ( که در ابتدا برای همه حسگرها تعریف شده است ) باشد، از بین خواهد رفت. اما پیش از آن، می بایست برای همه همسایگانش پیامی را ارسال نموده و آنها را از وضع خود آگاه سازد. هر یک از همسایگان نیز با دریافت پیامی مبنی بر مرگ یک حسگر، همسایگی خود را بروز رسانی می کنند و مسئله پوشش را در منطقه ای از شبکه که حسگر مرده در آنجا قرار داشته است، بررسی می نمایند.

در پروتکل *MCSP*، حسگرها بر اساس بازی اقلیت و حالت انتخابی خود در هر دوره، بطور کلی به دو گروه برنده و بازنده تقسیم می شوند. گروه برنده به آن گروه از حسگرها که تعدادشان در شبکه کمتر از سطح ظرفیت منابع ( $\eta$ ) باشد گفته می شود و گروه بازنده به آن گروه از حسگرها که تعدادشان در شبکه بیشتر از سطح ظرفیت منابع باشند، گفته می شود. در اینجا  $A(t)$  بعنوان مجموع حضور حسگرها در شبکه (تعداد حسگرهایی که در وضعیت *On* قرار دارند) در زمان  $t$  در نظر گرفته می شود.

$$A(t) = \sum_{i=1}^N S_i(t) \quad (2-5)$$

محیط شبکه حسگر در دو حالت ایستا<sup>xli v</sup> و غیر ایستا<sup>xli v</sup> مورد بررسی قرار می گیرد. در محیط شبکه ایستا، سطح ظرفیت منابع ( $\eta$ ) ثابت است.

$$L = (N-1) / 2 \quad (3-5)$$

اما سطح ظرفیت منابع در محیط شبکه غیرایستا با گذشت زمان در حال تغییر بوده ( $\eta(t)$ ) و تابع زمان می باشد که به این حالت از بازی اقلیت، بازی اقلیت با ظرفیت دلخواه<sup>xli vi</sup> گفته می شود.

$$\eta(t) = \eta_0 + \eta_1(t) \quad (4-5)$$

بنابراین هر حسگر در هر دوره زمانی، می بایست با شناسایی نمودن گروه اقلیت، استراتژی مورد استفاده خود در آن دوره را پاداش داده یا جریمه نماید. لذا حسگرها باید به گونه ای بتوانند گروه اقلیت را تشخیص دهند. در نتیجه در هر دوره زمانی پیش از آنکه حسگرهایی که وضعیت خود را در حالت *Standby* در نظر گرفته اند از طریق خاموش نمودن رادیو خود به این حالت

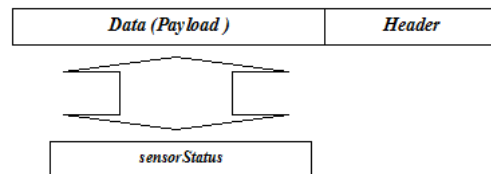
وارد شوند، تمامی حسگرهای موجود باید پروتکلی بنام  $MGMP^{xlvi}$  را اجرا کنند.

### 5-1- پروتکل $MGMP$

در ابتدای هر دوره زمانی می بایست پیامی که ساختار آن در ادامه معرفی می گردد، توسط هر یک از حسگرهای زنده موجود در شبکه، بمنظور تعیین گروه اقلیت به گره مرکزی ارسال گردد. در اینجا به این نکته اشاره می شود که اولین گره شبکه را در شبیه سازی، گره مرکزی فرض می کنیم. بدین ترتیب، همه گره ها آدرس گره مرکزی را که برابر با صفر می باشد، می دانند. بطور کلی بخش داده  $xlvi$  در پیام مورد استفاده در پروتکل  $MGMP$  برای ارسال وضعیت حسگرها به گره مرکزی، دارای ساختار زیر می باشد:

- فیلدی بنام  $sensorStatus$  از نوع منطقی که وضعیت حسگر را در طی دوره زمانی جاری نشان می دهد. اگر مقدار این فیلد برابر یک باشد، بمنزله این است که حسگر ارسال کننده پیام می خواهد در طی آن دوره زمانی، در حالت فعال قرار گیرد و اگر مقدار آن برابر صفر باشد، یعنی حسگر ارسال کننده پیام می خواهد در طی آن دوره زمانی، در حالت غیر فعال قرار داشته باشد.

شکل 4، ساختار کلی پیام بکار گرفته شده در پروتکل  $MGMP$  برای ارسال وضعیت حسگرها به گره مرکزی را نشان می دهد.

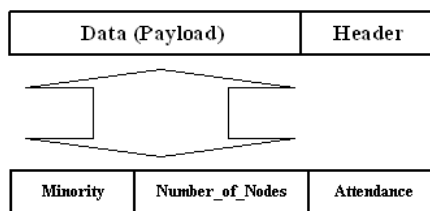


شکل 4: پیام بکار رفته در پروتکل  $MGMP$  برای ارسال وضعیت حسگرها به گره مرکزی

حال هر حسگر می بایست وضعیت خود را بوسیله پیام فوق به گره مرکزی ارسال کند. گره مرکزی نیز با دریافت پیام از تمامی حسگرهای زنده در هر دوره زمانی، اقدام به تعیین گروه برنده می نماید. گروه برنده، یکی از دو گروه حسگرهای دارای مقدار صفر یا یک در فیلد  $sensorStatus$  می باشند که تعداد آنها کمتر از سطح ظرفیت منابع شبکه ( $L$ ) است. تعداد حسگرهای زنده موجود در شبکه ( $N$ ) در طی هر دوره از طریق تعداد پیام های دریافتی توسط گره مرکزی قابل محاسبه است.

پس از شناسایی گروه اقلیت، این موضوع به همه حسگرهای زنده موجود در شبکه گزارش داده می شود. لذا در اینجا گره مرکزی، با همه پخشی  $xlvi$  نمودن پیام زیر، آن را به اطلاع تمامی گره های موجود در شبکه می رساند. بطور کلی بخش داده در پیام مورد استفاده در این پروتکل برای اعلام گروه اقلیت از طرف گره مرکزی به تمامی حسگرهای زنده موجود در شبکه، دارای ساختار زیر می باشد:

- فیلدی بنام  $minority$  از نوع منطقی که گروه برنده را در طی دوره زمانی جاری نشان می دهد. اگر مقدار این فیلد برابر یک باشد، بمنزله این است که گروه حسگرهای  $On$  در طی آن دوره در اقلیت می باشند و اگر مقدار آن برابر صفر باشد، یعنی گروه حسگرهای  $Standby$  در طی آن دوره در اقلیت قرار دارند.
  - فیلدی بنام  $Number\_of\_Nodes$  از نوع صحیح که تعداد حسگرهای زنده موجود در شبکه حسگر بی سیم ( $N$ ) را در طی دوره زمانی جاری نشان می دهد.
  - فیلدی بنام  $Attendance$  از نوع صحیح که تعداد حسگرهای در حالت  $On$  شبکه ( $A(t)$ ) را طبق رابطه (2-5)، در طی دوره زمانی جاری نشان می دهد.
- شکل 5، ساختار کلی پیام بکار گرفته شده در پروتکل  $MGMP$  برای اعلام گروه اقلیت از طرف زنده موجود در شبکه را نشان می دهد.



شکل 5: پیام بکار رفته در پروتکل  $MGMP$  برای اعلام گروه اقلیت از طرف  $Sink$  به تمامی حسگرها

حال هر یک از حسگرهای زنده شبکه با دریافت پیام فوق و با اجرای الگوریتم یادگیری تقویتی مورد استفاده در پروتکل  $MCSP$ ، استراتژی خود را در طی آن دوره زمانی پاداش داده یا جریمه می کنند.

### 5-2- الگوریتم یادگیری تقویتی

در پروتکل زمانبندی  $MCSP$  هر یک از حسگرهای موجود در شبکه مجهز به یک اتوماتای یادگیر تصادفی<sup>1</sup> می باشند. در

واقع اتوماتای هر حسگر بصورت یک *State-output Automata* در نظر گرفته می شود که خروجی آن معادل با وضعیت داخلی اش است. وضعیت داخلی اتوماتا (حسگر) در لحظه  $n$  ( $\emptyset(n)$ ) با بردار احتمال اعمال اتوماتا<sup>i</sup>،  $P(n)$  که در زیر آمده است نشان داده می شود،

$$P(n) \equiv \{p_1(n), p_2(n), \dots, p_r(n)\}$$

$$\sum_{i=1}^r p_i(n) = 1, \quad \forall n, \quad p_i(n) = \text{Prob}[\alpha(n) = \alpha_i] \quad (5-5)$$

لازم به ذکر است که در آغاز فعالیت شبکه حسگر بی سیم، احتمال اعمال اتوماتای هر کدام از حسگرها با هم برابر و مساوی  $\frac{1}{r}$  می باشند (که  $r$  تعداد عملهای اتوماتا است). از آنجاییکه در پروتکل *MCSP* پاسخ محیط شبکه به حسگرها یک پاسخ دودویی می باشد. لذا محیط شبکه حسگر را محیط مدل  $P^{i,i}$  در نظر می گیریم. بطوریکه  $\beta_i(n)$  که پاسخ محیط به استراتژی  $i$ ام حسگر و نشان دهنده گروه اقلیت در  $n$ امین تکرار شبکه می باشد، اگر چنانچه حسگر متعلق به گروه اقلیت باشد بعنوان پاسخ مطلوب<sup>iii</sup> یا موفقیت و اگر حسگر متعلق به گروه اقلیت نباشد بعنوان پاسخ نامطلوب<sup>iv</sup> یا شکست<sup>v</sup> در نظر گرفته می شود.

بطور کلی مکانیزم دادن پاداش و جریمه الگوریتم یادگیری تقویتی مورد استفاده در پروتکل زمانبندی *MCSP* بصورت زیر است:

- اگر اتوماتای یادگیر تصادفی حسگر در تکرار  $n$ ام شبکه، یکی از اعمال خود مانند  $\alpha_i$  را انتخاب کند و یک پاسخ مطلوب از محیط دریافت نماید ( $Sensor\_Status == Minority$ )، احتمال عمل انتخاب شده خود ( $P_i(n)$ ) را افزایش و احتمال سایر اعمالش را کاهش می دهد.
- اگر اتوماتای یادگیر تصادفی حسگر در تکرار  $n$ ام شبکه، یکی از اعمال خود مانند  $\alpha_i$  را انتخاب کند و یک پاسخ نامطلوب از محیط دریافت نماید ( $Sensor\_Status \neq Minority$ )، احتمال عمل انتخاب شده خود ( $P_i(n)$ ) را کاهش و احتمال سایر اعمالش را افزایش می دهد.

در هر حال، تغییرات به گونه ای صورت می گیرد که حاصل جمع  $P_i(n)$  ها همواره ثابت و مساوی یک باقی بماند. اگر در تکرار  $n$ ام شبکه عمل  $\alpha_i$  توسط اتوماتای حسگر انتخاب شده باشد، سپس در تکرار  $n+1$ ام شبکه خواهیم داشت:

الف- پاسخ مطلوب از محیط

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\ p_j(n+1) &= (1-a)p_j(n) \quad \forall j, j \neq i \end{aligned} \quad (6-5)$$

ب- پاسخ نامطلوب از محیط

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1-b)p_i(n) \\ p_j(n+1) &= \frac{b}{r-1} + (1-b)p_j(n) \quad \forall j, j \neq i \end{aligned} \quad (7-5)$$

که در آن،  $a$  پارامتر پاداش و  $b$  پارامتر جریمه می باشند.

## 6- نتایج تجربی

در این بخش، نتایج بدست آمده از شبیه سازی پروتکل زمانبندی پیشنهادی در *WSN*، ارائه می شود. نرم افزار مورد استفاده برای شبیه سازی نحوه عملکرد پروتکل *MCSP*، شبیه ساز *GloMoSim*<sup>vi</sup> می باشد. در اینجا با انجام آزمایشاتی، انحراف معیار<sup>vii</sup> حضور حسگرها در شبکه در پروتکل *MCSP* به ازای تعداد همسایگان (سطح ارتباطی شبکه) مختلف مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج بدست آمده از *MG* مقایسه می شود. در تمام شبیه سازیهای صورت گرفته، تعداد حسگرهای موجود در شبکه حسگر ( $N$ ) برابر 121 می باشد. ابعاد شبکه نیز، 750 متر در 750 متر بوده و گره ها بصورت تصادفی در ناحیه مورد نظر پخش شده اند. شعاع حسی گره ها 250 متر است. زمان کل شبیه سازی 20 دقیقه بوده که این زمان به دوره های تناوب با طول  $T = 1000000000$  نانو ثانیه تقسیم شده است. انرژی اولیه همه گره ها برابر 5 ژول در نظر گرفته شده است. الگوریتم یادگیری تقویتی مورد استفاده حسگرها با روش *LRP* بوده که در آن ضرایب  $a_{high}$  و  $b_{high}$  برابر 0.5،  $a_{med}$  و  $b_{med}$  برابر 0.3 و  $a_{low}$  و  $b_{low}$  برابر 0.1 در نظر گرفته می شوند. همچنین تمامی حسگرها استراتژی خود در هر دوره زمانی را با روش چرخ رولت انتخاب می کنند. میزان انحراف معیار از بهره وری بهینه منابع ( $\delta(t)$ ) برابر:

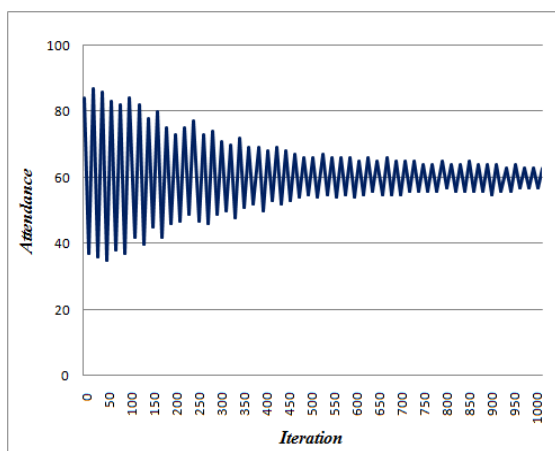
$$\delta(t) = A(t) - N\eta(t) \quad (1-6)$$

و اندازه کلی آن برای بهینگی ( $\sigma^2$ ) برابر است با:

$$\sigma^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=t_0}^{t_0+T} \delta(t)^2 \quad (2-6)$$

## 6-1- آزمایش اول

در این مرحله، تعداد همسایگان هر حسگر ( $K$ ) برابر دو همسایه در نظر گرفته شده و سطح ظرفیت منابع موجود در ابتدا بطور ثابت،  $(N-1)/2$  می باشد. نمودار  $I$ ، میزان نوسانات ناشی از حضور حسگرها در شبکه را با داشتن دو همسایه در پروتکل MCSP نشان می دهد.



نمودار 1: میزان نوسانات حضور حسگرها در شبکه

با سطح ارتباطی  $K = 2$  در پروتکل MCSP

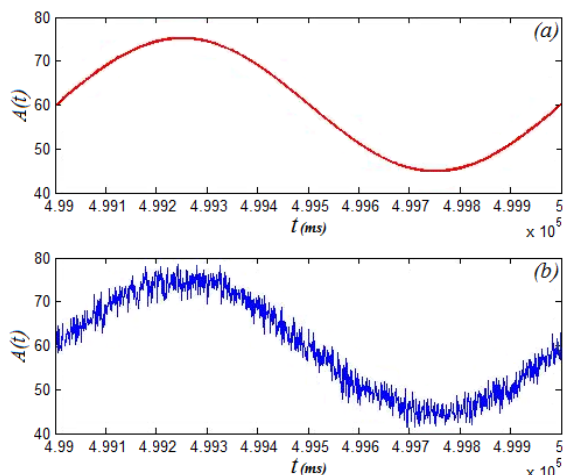
حال در این مرحله از آزمایش، سطح ظرفیت منابع موجود در شبکه با گذشت زمان در حال تغییر در نظر گرفته می شود. در اینجا تغییرات در سطوح ظرفیت منابع همراه با گذشت زمان، با معادله سینوسی زیر تعیین شده است که در آن  $T = 1000_{ms}$  طول دوره تناوب (سری زمانی) می باشد.

$$\eta(t) = 0.5 + 0.12 \sin(2\pi t / T) \quad (3-6)$$

همچنین ظرفیت کل منابع موجود در شبکه در هر لحظه از زمان برابر است با:

$$L = N\eta(t) \quad (4-6)$$

نمودار 2، در قسمت (a) تغییرات در سطح ظرفیت منابع بصورت سینوسی، و در قسمت (b) انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه، در طی یک دوره تناوب ( $499000_{ms}$  ,  $500000_{ms}$ ) با داشتن دو همسایه برای هر حسگر (سطح ارتباطی  $K=2$ ) در پروتکل MCSP را نشان می دهد.

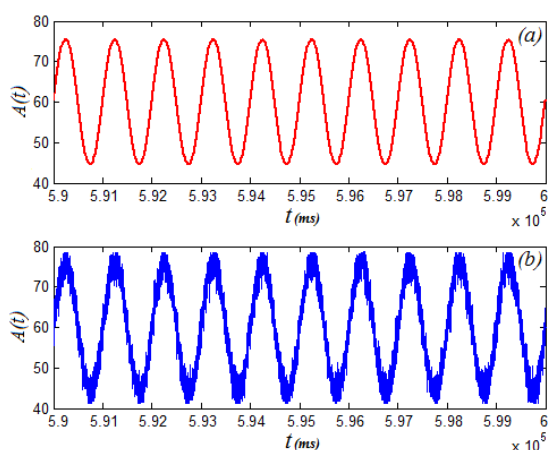


نمودار 2: تغییرات در سطح ظرفیت منابع (a)، و انحراف معیار

حضور حسگرها در شبکه (b)، در یک قسمت از سریهای زمانی با

$$K = 2, \eta(t) = 0.5 + 0.12 \sin(2\pi t / T), T = 1000_{ms}$$

نمودار 3، در قسمت (a) تغییرات در سطح ظرفیت منابع، و در قسمت (b) انحراف معیار حضور حسگرها را در شبکه ای با دو همسایه برای هر حسگر در طی چندین دوره تناوب متوالی نشان می دهد.



نمودار 3: تغییرات در سطح ظرفیت منابع (a)، و انحراف معیار

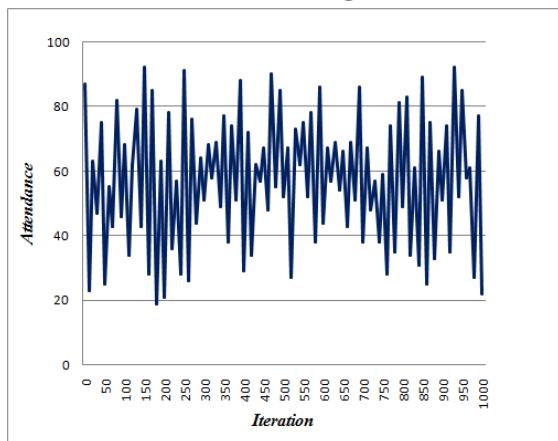
حضور حسگرها در شبکه (b)، در طی چندین سری زمانی متوالی با

$$K = 2, \eta(t) = 0.5 + 0.12 \sin(2\pi t / T), T = 1000_{ms}$$

## 6-2- آزمایش دوم

در این مرحله، تعداد همسایگان هر حسگر برابر یک همسایه در نظر گرفته شده و سطح ظرفیت منابع موجود در ابتدا بطور ثابت،  $(N-1)/2$  می باشد. نمودار 4، میزان نوسانات ناشی از حضور حسگرها در شبکه را با داشتن یک همسایه در پروتکل MCSP نشان می دهد.

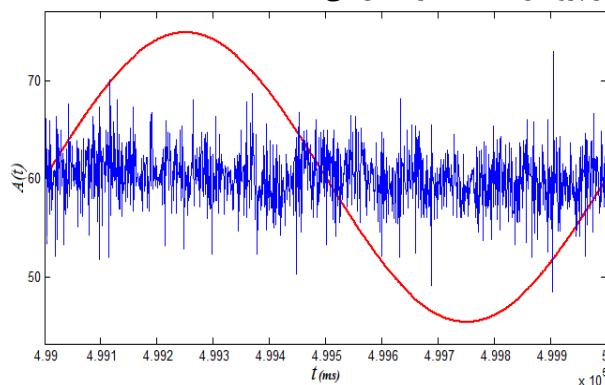
ناشی از حضور حسگرها در شبکه را با داشتن چهار همسایه در پروتکل *MCSP* نشان می دهد.



نمودار 6: میزان نوسانات حضور حسگرها در شبکه

با سطح ارتباطی  $K = 4$  در پروتکل *MCSP*

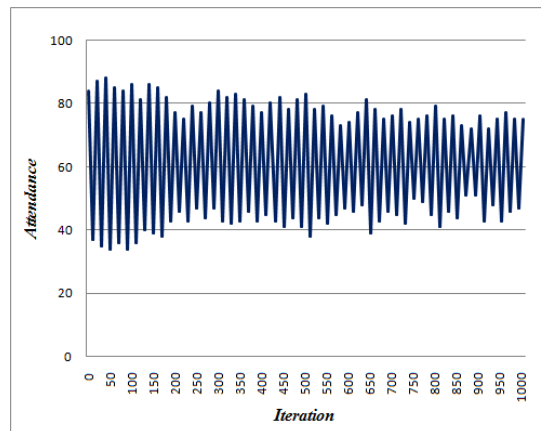
در این مرحله از آزمایش، سطح ظرفیت منابع موجود در شبکه با گذشت زمان در حال تغییر در نظر گرفته می شود. نمودار 7، در قسمت (a) تغییرات در سطح ظرفیت منابع بصورت سینوسی، و در قسمت (b) انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه، در طی یک دوره تناوب  $(499000_{ms}, 500000_{ms})$  با داشتن یک همسایه برای هر حسگر (سطح ارتباطی  $K = 4$ ) در پروتکل *MCSP* را نشان می دهد.



نمودار 7: انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه در یک قسمت از سریهای زمانی با  $K = 4$ ,  $\eta(t) = 0.5 + 0.12 \sin(2\pi t / T)$ ,  $T = 1000_{ms}$

## 7- نتیجه گیری

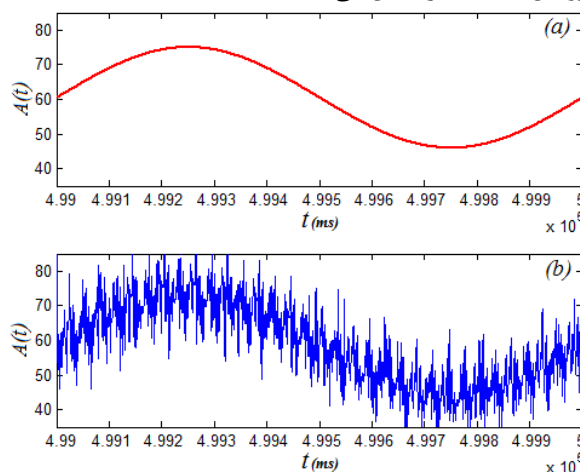
بطور کلی به ازاء تعداد همسایگان و سطح ارتباط شبکه ای متفاوت  $K$  بر طبق نمودارهای فوق، می توان نتایج زیر را بدست آورد.



نمودار 4: میزان نوسانات حضور حسگرها در شبکه

با سطح ارتباطی  $K = 1$  در پروتکل *MCSP*

در این مرحله از آزمایش نیز، سطح ظرفیت منابع موجود در شبکه با گذشت زمان در حال تغییر در نظر گرفته می شود. نمودار 5، در قسمت (a) تغییرات در سطح ظرفیت منابع بصورت سینوسی، و در قسمت (b) انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه، در طی یک دوره تناوب  $(499000_{ms}, 500000_{ms})$  با داشتن یک همسایه برای هر حسگر (سطح ارتباطی  $K = 1$ ) در پروتکل *MCSP* را نشان می دهد.



نمودار 5: تغییرات در سطح ظرفیت منابع (a)، و انحراف معیار

حضور حسگرها در شبکه (b)، در یک قسمت از سریهای زمانی با

$$K = 1, \eta(t) = 0.5 + 0.12 \sin(2\pi t / T), T = 1000_{ms}$$

## 3-6- آزمایش سوم

در این مرحله، تعداد همسایگان هر حسگر برابر چهار همسایه در نظر گرفته شده و سطح ظرفیت منابع موجود در ابتدا بطور ثابت،  $(N - 1) / 2$  می باشد. نمودار 6، میزان نوسانات

در حقیقت می توان نتیجه گیری نمود که انحراف معیار نوسانات ناشی از حضور حسگرها در شبکه، در پروتکل  $MCSP$  با سطح ارتباطی شبکه  $K = 2$ ، مناسب بوده و منطبق بر نتایج بدست آمده از  $MG$  در سیستمهای چند عامله است.

### مراجع

- [1] Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y. and Cayirci E., "A survey on sensor networks", in: *Proceedings of the IEEE Communication Magazine*, Vol. 40, pp. 102-114, August 2002.
- [2] Ilyas M., Mahgoub I., "Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems", in: *Proceedings of the CRC Press, London, Washington, D.C.*, 2005.
- [3] Yao Y., Giannakis G. B., "Energy-Efficient Scheduling for Wireless Sensor Networks", *IEEE Transactions on Communications*, VOL. 53, NO. 8, August 2005.
- [4] Mills K. L., "A Brief Survey of Self-organization in Wireless Sensor Networks", *Wireless Communications and Mobile Computing*, Published online in Wiley InterScience, National Institute of Standards and Technology, [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com), DOI:10.1002/wcm.499, *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol 7, pp. 823-834, May 2007.
- [5] Ha R. W., Ho P. H., Shen X. S., Zhang J., "Sleep scheduling for wireless sensor networks via network flow model", *Elsevier B.V.*, doi:10.1016/j.comcom.2006.02.009, 2006.
- [6] Schaeffer S. E., Clemens J. P., Hamilton P., "Decision Making in a Distributed Sensor Network", *Helsinki University of Technology, P.O. Box 5400, FI-02015 HUT, Finland*, August 6, 2004.
- [7] Banerjee I., Das S., Rahaman H., Sikdar B. K., "An Energy Efficient Monitoring of Ad-Hoc Sensor Network with Cellular Automata", *IEEE Conference on Systems- Man and Cybernetics, Taipei, Taiwan*, ISBN 1-4244-0100-3, October 8-11 2006.
- [8] Galstyan A., Kolar S., Lerman K., "Resource Allocation Games with Changing Resource Capacities", *ACM, Supported by the Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) Under Contracts Number F30602-00-2-0573*, 2002.
- [9] Savit R., Brueckner S. A., Parunak H. V. D., Sauter J., "Phase Structure of Resource Allocation Games", *University of Michigan- Ann Arbor- MI- 48109, PACS nos. 89.75-k*, 2001.
- [10] Challet D., Zhang Y. C., "On the Minority Game : Analytical and Numerical Studies", *Institut de Physique Th'eorique- Universit'e de Fribourg- 1700 Fribourg*, *arXiv:cond-mat/9805084 v2* 8, May 1998.
- [11] Oliva E., Viroli M., Omicini A., "Simulation of Minority Game in TuCSoN", *Alma Mater Studiorum- Universit'a di Bologna via Venezia 52, 47023 Cesena, Italy*, 2005.
- [12] Sysi-Aho M., Saramaki J., Kaski K., "Invisible Hand Effect in a Evolutionary Minority Game Model", *Elsevier Science, Reprinted with Permission From Physica A* 347 (2005) 639-652, 2005.
- [13] Sherrington D., Coolen A. C. C., Heimerl J. A. F., "Stochastic Decision-making in the Minority Game", *Elsevier Science B.V.*, 0378-4371/02/\$ - See Front Matter, PII: S0378-4371(02)01158-5, 2002.

• اگر  $K < 2$  باشد، در این حالت شبکه به یک ساختار غیر قابل پیشرفت و ساکن می رسد و حسگرها نمی توانند با گذشت زمان خود را بخوبی با شرایط سیستم و تغییرات در سطوح ظرفیت منابع آن وفق دهند و انحراف معیار حضور آنها در شبکه زیاد خواهد بود. لذا حسگرها نمی توانند به بهره وری موثری از منابع دست یابند.

• اگر  $K = 2$  باشد، شبکه در این حالت نشان می دهد که به یک حالت خود ساختار تمایل پیدا نموده است، بطوریکه حسگرها با گذشت زمان خود را بخوبی با شرایط سیستم و تغییرات در سطوح ظرفیت منابع آن وفق داده و رفته رفته با رسیدن به یک هماهنگی، انحراف معیار حضور آنها در شبکه کاهش می یابد. یعنی حسگرها از تغییرات در سطوح ظرفیت منابع بطور موثری پیروی می کنند. البته در آغاز کار شبکه، نوسانات شدیدی از حضور حسگرها دیده می شود و از اینرو بهره وری منابع پایین است. اما بعد از گذشت مدت زمان کوتاهی حسگرها خود را با شرایط تطبیق داده و شدت نوسانات کاهش می یابد. در نتیجه به بهره وری موثری از منابع دست می یابند. در این حالت حتی هنگامیکه در سطح ظرفیت منابع شبکه تغییرات نسبتا زیادی بوجود آید، همچنان حسگرها به بهره وری بسیار موثری از منابع دست خواهند یافت.

• اگر  $K > 2$  باشد، در این حالت پویایی سیستم در رسیدن به هماهنگی بین حسگرها، بصورت کاملا بی نظم و آشفته در خواهد آمد. یعنی با افزایش تعداد همسایگان هر حسگر، اثر محاوره ای<sup>lvi i</sup> بیشتری بین آنها در شبکه ایجاد می شود و رفتار کلی سیستم تاثیر پذیری بیشتری از رفتارهای جزئی و محلی پیدا نموده، بطوریکه نه تنها حسگرها نمی توانند به یک مرحله ای از هماهنگی دست یابند، بلکه به دلیل دریافت ورودی از همسایگان متعدد برای هر حسگر، ارتباطات محلی آنها بر ارتباطات کلی شبکه غلبه نموده و تغییرات در سطوح ظرفیت منابع را احساس نمی کنند. در نتیجه حسگرها یک رفتار آشوبگون<sup>lix</sup> را از خود نشان داده و نمی توانند به بهره وری موثری از منابع دست یابند.

---

<sup>xviii</sup> *Manual*  
<sup>xix</sup> *Cellular Automata*  
<sup>xx</sup> *Reinforcement Learning*  
<sup>xxi</sup> *Synchronous*  
<sup>xxii</sup> *Discrete*  
<sup>xxiii</sup> *Ant Colony Optimization*  
<sup>xxiv</sup> *Traveling Salesman Problem*  
<sup>xxv</sup> *Standard MG*  
<sup>xxvi</sup> *Odd*  
<sup>xxvii</sup> *Minority Group*  
<sup>xxviii</sup> *Generalized MG*  
<sup>xxix</sup> *Evolutionary MG*  
<sup>xxx</sup> *Multi-Choices MG*  
<sup>xxxi</sup> *Hierarchical MG*  
<sup>xxxii</sup> *Stationary Environment*  
<sup>xxxiii</sup> *Sensory Radius*  
<sup>xxxiv</sup> *Neighbour*  
<sup>xxxv</sup> *Mobility*  
<sup>xxxvi</sup> *Alive*  
<sup>xxxvii</sup> *Resident*  
<sup>xxxviii</sup> *Dead*  
<sup>xxxix</sup> *Coverage*  
<sup>xl</sup> *Threshold*  
<sup>xli</sup> *Roulette Wheel*  
<sup>xlii</sup> *Ranking*  
<sup>xliii</sup> *Tournament*  
<sup>xliv</sup> *Stationary Environment*  
<sup>xlvi</sup> *non-Stationary Environment*  
<sup>xlvi</sup> *Arbitrary Capacity*  
<sup>xlvi</sup> *Minority Game Monitoring Protocol*  
<sup>xlvi</sup> *Payload*  
<sup>xlvi</sup> *Broadcast*  
<sup>l</sup> *Stochastic Learning Automata*  
<sup>li</sup> *Actions Probability Vector*  
<sup>lii</sup> *P-model*  
<sup>lii</sup> *Favorable*  
<sup>lii</sup> *Unfavorable*  
<sup>lii</sup> *Failure*  
<sup>lvi</sup> *Global Mobile information system Simulator*  
<sup>lvii</sup> *Standard Deviation*  
<sup>lviii</sup> *Interactive*  
<sup>lix</sup> *Chaotic*

- [14] Wang T., Liu J., Jin X., "Minority Game Strategies for Dynamic Multi-Agent Role Assignment", Department of Computer Science Hong Kong Baptist University, 2003.  
 [15] Izumi K., Yamashita T., Kurumatani K., "Reward Mechanism of Agent Types in Minority Games", <http://www.carc.aist.go.jp/~kiyoshi/index.html>, Japan, 2003.  
 [16] Moro E., "The Minority Game: An Introductory Guide", Nova Science Publishers, Inc., To Appear in *Advances in Condensed Matter and Statistical Physics*, Edited by Elka Korutcheva and Rodolfo Cuerno, ISBN 1-59033-899-5, 2004.  
 [17] Meybodi M. R., Beygi H., Taherkhani M., "Cellular Learning Automata"; In *Proceedings of 6th Annual International Computer Society of Iran Computer Conference CSICC2001*, Isfahan, Iran, pp. 153-163, 2001.  
 [18] Meybodi M. R., Beigy H., Taherkhani M., "Cellular Learning Automata and Its Applications", *Journal of Science and Technology*, University of Sharif, No. 25, pp.54-77, Autumn/Winter 2003-2004.  
 [19] Thathachar M. A. L., "Varieties of Learning Automata: An Overview", *IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics—PART B: Cybernetics*, Vol. 32, NO. 6, December 2002.  
 [20] Beigy H., Meybodi M. R., "A Mathematical Framework for Cellular Learning Automata", *Advances on Complex Systems*, Vol. 7, No. 3, pp. 1-25, 2004.  
 [21] Meybodi M. R., Kharazmi M. R., "Cellular Learning Automata and Its Application to Image Processing", *Journal of Amirkabir*, Vol. 14, No. 56A, pp. 1101-1126, 2004.  
 [22] Esnaashari M., Meybodi M. R., "Dynamic Point Coverage in Wireless Sensor Networks: A Learning Automata Approach", Springer Verlag, *Proceedings of 13th International CSI Computer Conference of Iran*, Kish Island, Iran, pp. 758–762, 2008.

---

<sup>i</sup> *Ad Hoc Networks*  
<sup>ii</sup> *Scheduling*  
<sup>iii</sup> *Minority Game*  
<sup>iv</sup> *Cellular Learning Automata*  
<sup>v</sup> *Lifetime*  
<sup>vi</sup> *Sensor*  
<sup>vii</sup> *Minority game and Cellular learning automata based Scheduling Protocol*  
<sup>viii</sup> *Arthur*  
<sup>ix</sup> *Strategy*  
<sup>x</sup> *Multi Agent System*  
<sup>xi</sup> *Learning Automata*  
<sup>xii</sup> *Backbone*  
<sup>xiii</sup> *Routing*  
<sup>xiv</sup> *Multi Hop*  
<sup>xv</sup> *Autonomous*  
<sup>xvi</sup> *Sink*  
<sup>xvii</sup> *Random*