

بهبود عملکرد پروتکل‌های استفاده کننده از توری مجازی با تغییر شکل سلول توری در شبکه‌های حسگر

سید محمد ابوالحسنی	محمد رضا میبیدی	مهدی اثنی عشری
آزمایشگاه محاسبات نرم	آزمایشگاه محاسبات نرم	آزمایشگاه محاسبات نرم
دانشکده مهندسی کامپیوتر	دانشکده مهندسی کامپیوتر	دانشکده مهندسی کامپیوتر
دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دانشگاه صنعتی امیرکبیر
تهران ایران	تهران ایران	تهران ایران
sm_abolhasani@aut.ac.ir	mmezbodi@aut.ac.ir	esnaashari@aut.ac.ir

چکیده: استفاده از توری مجازی بر روی شبکه حسگر راهکار مناسبی برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر است. علت این امر، فعال نگه داشتن تنها یک گره از میان گره‌های واقع در هر سلول از توری مجازی است که باعث می‌شود انرژی دیگر گره‌ها ذخیره شود. از توری مجازی در بسیاری از مسائل شبکه‌های حسگر از جمله مسیریابی، کنترل توپولوژی و تحمل‌پذیری خطا استفاده شده است. توری مجازی به کار رفته در اکثر این پروتکل‌ها دارای سلول‌های مربع شکل است. در این مقاله، شکل‌های مختلفی برای سلول توری در نظر گرفته می‌شوند و نقش آنها بر روی عملکرد شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که تعریف مناسب شکل سلول تأثیر بسیار زیادی در عملکرد شبکه به خصوص از لحاظ کاهش مصرف انرژی دارد.

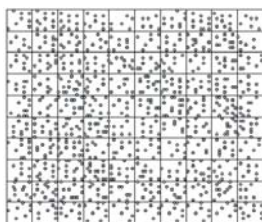
واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر، مسیریابی، کنترل توپولوژی، توری مجازی

۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند از تعداد زیادی 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 [1-3]. شبکه‌های حسگر می‌توانند در کاربردهایی مانند نظارت هوشمند بر بزرگراه‌ها، امداد رسانی در حوادث غیرمترقبه، دیده‌بانی محیط و پیگیری هدف بکار گرفته شوند [4,5].

کمبود انرژی مهمترین چالش شبکه‌های حسگر می‌باشد. به همین علت، پروتکل‌های ارائه شده برای شبکه‌های حسگر سعی در استفاده بهینه از انرژی دارند. استفاده از توری مجازی بر روی شبکه یکی از راهکارهای موثر در زمینه کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های

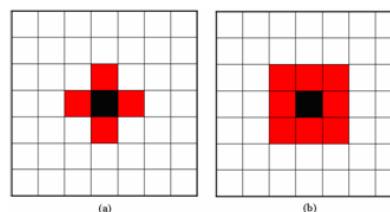
حسگر است. در پروتکل‌های استفاده کننده از این مفهوم، یک توری مجازی بر روی شبکه فرض می‌شود (شکل ۱). در این صورت، هر گره در داخل یکی از سلول‌های توری قرار خواهد گرفت. در اغلب کاربردها، در هر لحظه تنها یکی از گره‌های واقع در هر سلول در حالت فعال است و سایر گره‌های آن سلول در حالت غیر فعال قرار می‌گیرند. بدین ترتیب، هر گره با توجه به آنکه مدت زمان کمتری در حالت فعال قرار دارد (نسبت به روش‌هایی که در آنها تمامی گره‌ها همواره در حالت فعال قرار دارند)، طول عمر بیشتری خواهد داشت که در نتیجه، طول عمر شبکه نیز افزایش می‌یابد. تا کنون از مفهوم توری مجازی برای حل مسائل مختلفی در حیطه شبکه‌های حسگر استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به استفاده در بحث مسیریابی سطحی^۱ [6-10] و سلسله مراتبی [11-13]، پروتکل‌های تحمل‌پذیر خطا [14,15]، پروتکل‌های امنیتی [16,17] و پروتکل‌های کنترل توپولوژی [15,18] اشاره کرد.



شکل ۱) توری مجازی فرض شده بر روی محدوده توزیع گره‌ها

تا کنون، در اکثر پروتکل‌هایی که از مفهوم توری مجازی استفاده کرده‌اند، توری با سلول‌های مربع شکل در نظر گرفته شده است و گره‌های واقع در هر سلول تنها می‌توانند با گره‌های واقع در سلول‌هایی که با سلول مورد نظر همسایه هستند ارتباط برقرار کنند. در توری با سلول‌های مربع شکل، دو نوع همسایگی برای سلول‌ها تعریف شده است. در همسایگی نوع اول، هر سلول با سلول‌های مجاور به صورت افقی و عمودی می‌تواند ارتباط برقرار کند (شکل ۲.۱) و در همسایگی دوم هر سلول با سلول‌های مجاور به

صورت افقی، عمودی و قطری می‌تواند ارتباط برقرار کند (شکل ۲.۲). منظور از ارتباط دو سلول ارتباط گره‌های واقع در آنها با یکدیگر است. در ادامه نیز هرگاه ارتباط دو سلول بیان شد به معنی ارتباط گره‌های واقع در آنها است.



شکل ۲) همسایگی‌های متداول در توری های مربع شکل

در این مقاله به بررسی تأثیر شکل سلول‌های توری مجازی بر کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه پرداخته شده است. بدین منظور، سلول‌هایی به شکل لوزی، مثلث و عضلانی با همسایگی‌های مختلف برای توری مجازی در نظر گرفته شده‌اند و تأثیر آنها از نقطه نظرهای میزان دقت اطلاعات ارسالی، استفاده موثر از محدوده انتقال، مقدار متوسط گره در هر سلول و تعداد گره‌های فعال در هر لحظه بر شبکه حسگر مشخص شده است. هر یک از این توری‌ها (با توجه به شکل سلول و همسایگی تعریف شده) دارای معایب و مزایایی هستند که تأثیر مستقیم بر روی عملکرد شبکه می‌گذارد.

سازماندهی ادامه مقاله به این صورت است. در بخش ۲ به بررسی برخی از پروتکل‌های استفاده کننده از توری مجازی پرداخته می‌شود. در بخش ۳ توری‌های مجازی با سلول‌های لوزی، مثلث و ۶ ضلعی و همسایگی‌های مختلف برای هر کدام ارائه می‌شوند. در بخش ۴ توری‌های ارائه شده در بخش ۳ از نظرهای میزان دقت اطلاعات ارسالی، استفاده موثر از محدوده انتقال، مقدار متوسط گره در هر سلول و تعداد گره‌های فعال در هر لحظه مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند و در نهایت بخش ۵ نتیجه گیری می‌باشد.

۲- پروتکل‌های مبتنی بر توری مجازی

پروتکل GAF^2 یکی از اولین و مهمترین پروتکل‌هایی است که از مفهوم توری مجازی استفاده کرده است [6]. در این پروتکل یک توری مجازی با سلول‌های مربع شکل بر روی شبکه فرض می‌شود. در بین گره‌های واقع در هر سلول تنها یک گره در حالت فعال و بقیه گره‌ها به حالت غیر فعال هستند. پس از مدت زمان مشخصی، گره فعال به حالت غیر فعال می‌رود و یکی از گره‌های غیر فعال، فعال می‌شود. گره فعال مسئول دیده‌بانی محیط داخل سلول و شرکت در مسیریابی است. در این پروتکل هر گره تنها با گره‌های فعال سلول‌های مجاور که به صورت افقی یا عمودی با سلول مورد نظر همسایه هستند می‌تواند ارتباط برقرار کند. در این حالت برای آنکه هر گره موجود در یک سلول بتواند با گره‌های سلول‌های همسایه ارتباط برقرار کند، لازم است که طول هر ضلع سلول

برابر $\frac{R}{\sqrt{5}}$ باشد که R شعاع انتشار گره‌ها می‌باشد. در صورتی که

همسایگی قطری نیز لحاظ شود، لازم است که طول هر ضلع سلول برابر $\frac{R}{\sqrt{8}}$ باشد. پروتکل‌های فراوانی از مفهوم توری مجازی ارائه شده

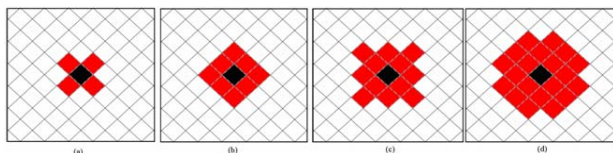
در پروتکل GAF استفاده کرده و مکانیزم پیشنهادی خود را با پروتکل GAF ادغام کرده‌اند [7,8]. پروتکل تحمل‌پذیر خطای SQA^2 ، با تغییراتی در نحوه دوره فعالیت هر گره و با احتمال خرابی گره‌ها در پروتکل GAF، تحمل‌پذیری خطا را برای شبکه فراهم کرده است [14]. اخیراً پیشنهاد استفاده از توری با سلول‌های ۶ ضلعی برای پروتکل GAF ارائه شده است. این پیشنهاد تنها به بیان امکان استفاده از ارتباطات قطری با استفاده از سلول‌های ۶ ضلعی پرداخته است و به کاهش مصرف انرژی گره‌ها با استفاده از این نوع سلول‌ها اشاره‌ای نکرده است [19,20].

در پروتکل ارائه شده توسط اکل^۴ و ساونت^۵ بر روی محدوده توزیع گره‌ها توری مجازی با سلول‌های مربع شکل در نظر گرفته می‌شود [9]. هر گره از هر سلول توانایی ارتباط با گره‌های سلول‌های مجاور به صورت افقی، عمودی و قطری را دارد. در هر سلول گره به شماره بزرگتر به صورت فعال است و دیگر گره‌ها به صورت غیر فعال هستند. هر گره که اطلاعاتی برای ارسال به گره مرکزی دارد، ابتدا با انجام یک همه پرسی مسیری را به سمت گره مرکزی ایجاد می‌کند و سپس انتقال اطلاعات را از مسیر ایجاد شده ادامه می‌دهد. هرگاه انرژی گره فعال سلولی تمام شد، گره به شماره بزرگتر در آن سلول جایگزین آن می‌شود. توری مجازی برای پروتکل‌های مسیریابی سلسله مراتبی و خوشه بندی نیز مورد استفاده قرار گرفته است [11-13]. در این پروتکل‌ها بر روی شبکه توری مجازی با سلول‌های مربع شکل فرض می‌شود. یک گره از گره‌های داخل هر سلول به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. گره انتخاب شده توانایی ارتباط با سرخوشه‌های سلول‌های همسایه یا گره مرکزی را دارد.

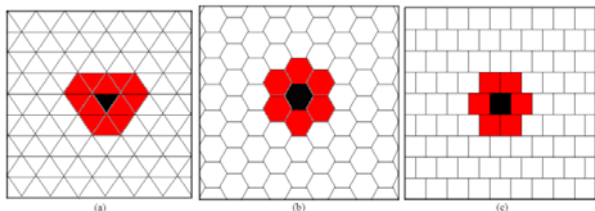
در الگوریتم کنترل توپولوژی ارائه شده توسط جیانگ^۶ که مبحث امنیت نیز در آن لحاظ شده است بر روی محدوده گسترش گره‌ها یک توری با سلول‌های مربع شکل در نظر گرفته می‌شود [15]. در هر سلول یک گره قابل اعتماد در حالت فعال است و بقیه گره‌های آن سلول در حالت غیر فعال قرار دارند. هرگاه گره فعال دچار خطا شد یک گره قابل اعتماد از سلول مورد نظر جای آن را می‌گیرد و در صورت نبودن گره قابل اعتماد در آن سلول یک گره قابل اعتماد از سلول‌های همسایه به آن سلول حرکت کرده و به عنوان گره فعال آن سلول قرار می‌گیرد.

۳- معرفی توری‌های مجازی با شکل‌ها و همسایگی‌های مختلف

تا کنون، اکثر پروتکل‌های استفاده کننده از توری مجازی از توری با سلول‌های مربع شکل استفاده کرده‌اند. اما می‌توان از

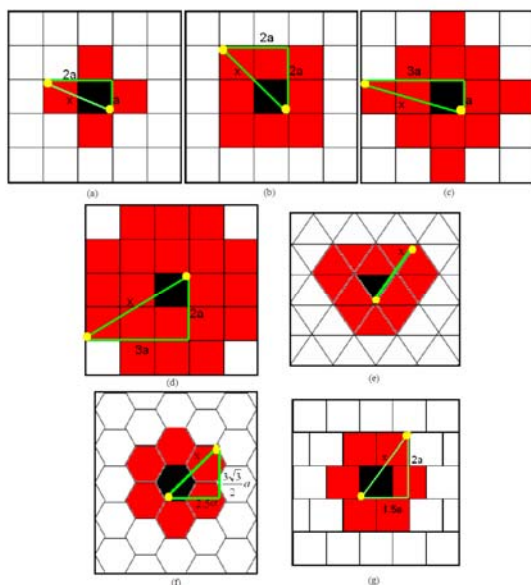


شکل ۵) انواع توری با سلول‌های لوزی شکل همراه با همسایگی تعریف شده برای آنها: a: توری LC_{n4} , b: توری LC_{n8} , c: توری LC_{n12} , d: توری LC_{n20}



شکل ۶) توری‌های دارای سلول‌های مثلث شکل و ۶ ضلعی شکل همراه با همسایگی تعریف شده برای آنها: a: توری TC_{n12} , b: توری HC_{n6} , c: توری SC_{n6}

در هریک از توری‌های تعریف شده، طول ضلع هر سلول باید به گونه‌ای بر اساس محدوده انتقال گره‌ها مشخص شود که گره‌های واقع در دو سلول همسایه بتوانند بدون واسطه با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. بدین منظور باید حداکثر فاصله‌ای که ممکن است دو گره در دو سلول همسایه داشته باشند مشخص شود. حداکثر فاصله بین دو گره در دو سلول همسایه برای توری‌های مختلف در شکل ۷ دیده می‌شود. در شکل ۷ نقاط زرد نشان دهنده گره‌ها و x فاصله دو گره و یا به عبارت دیگر حداقل محدوده انتقال گره‌ها را نشان می‌دهد. دورترین فاصله دو گره برای سلول‌های لوزی شکل برابر با سلول‌های مربع شکل (در توری‌های معادل) است. با فرض ثابت بودن محدوده انتقال هر گره (R)، طول ضلع سلول برای توری‌های مختلف در جدول ۱ دیده می‌شود. طول ضلع برای سلول‌های لوزی شکل برابر با سلول‌های مربع شکل (در توری‌های معادل) است.

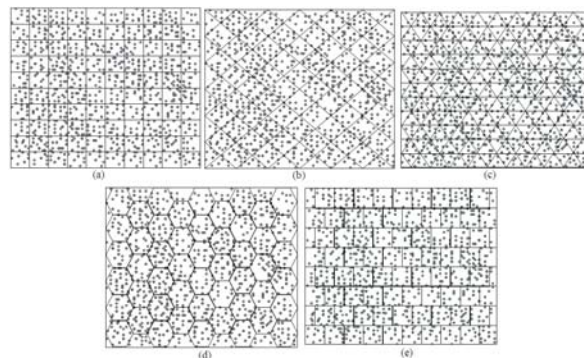


شکل ۷) دورترین فاصله دو گره در دو سلول همسایه برای توری‌های مختلف: a: توری SC_{n4} , b: توری SC_{n8} , c: توری SC_{n12} , d: توری SC_{n20} , e: توری TC_{n12} , f: توری HC_{n6} , g: توری SC_{n6}

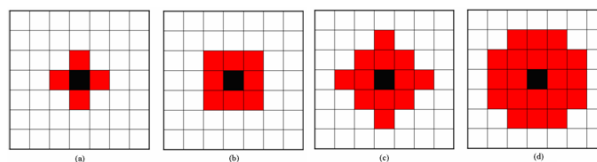
شکل‌ها و همسایگی‌های مختلفی بدین منظور بهره برد که کارایی بالاتری نسبت به سلول‌های مربع شکل دارند. شکلی که برای سلول در نظر گرفته می‌شود باید به صورت منتظم باشد تا سلول‌های توری بتوانند به صورت یک موزائیک کاری سطح گسترش گره‌های شبکه را پوشش داده و قسمت‌های اضافی و زائد نداشته باشند. به نظر می‌رسد که تنها چهار شکل مربع، لوزی، مثلث و ۶ ضلعی می‌توانند بدین منظور استفاده شوند (شکل ۳) و شکل‌های منتظم با اضلاع بیشتر، به دلیل عدم توانایی در پوشش کامل شبکه قابل استفاده نمی‌باشند. همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، برای سلول‌های مربع شکل دو نوع توری می‌توان در نظر گرفت.

علاوه بر شکل سلول، نوع همسایگی نیز می‌تواند روی عملکرد شبکه تأثیرگذار باشد. به منظور بررسی این تأثیر، برای توری با سلول‌های مربع شکل نوع ۱ چهار نوع همسایگی (شکل ۴)، برای توری با سلول‌های لوزی شکل چهار نوع همسایگی (شکل ۵)، و برای توری با سلول‌های ۶ ضلعی شکل، مثلث شکل و مربع شکل نوع ۲ یک نوع همسایگی (شکل ۶) در نظر گرفته شده است.

به منظور راحتی استفاده، توری با شکل سلول‌های مربع شکل با SC ، توری با شکل سلول‌های لوزی شکل با LC ، توری با شکل سلول‌های مثلث شکل با TC و توری با شکل سلول‌های ۶ ضلعی شکل با HC نمایش داده می‌شود. هر کدام از همسایگی‌های تعریف شده نیز، بسته به تعداد سلول‌هایی که همسایه یک سلول هستند، اندیس‌گذاری شده است. به عنوان مثال، در SC_{n8} هر سلول دارای ۸ سلول همسایه می‌باشد و در LC_{n20} هر سلول دارای ۲۰ سلول همسایه می‌باشد.



شکل ۳) انواع اشکال سلول برای توری مجازی فرض شده بر روی محدوده توزیع گره‌ها در شبکه حسگر: a: توری با سلول‌های مربع شکل نوع ۱، b: توری با سلول‌های لوزی شکل، c: توری با سلول‌های مثلث شکل، d: توری با سلول‌های ۶ ضلعی شکل، e: توری با سلول‌های مربع شکل نوع ۲



شکل ۴) انواع توری با سلول‌های مربع شکل نوع ۱ همراه با همسایگی تعریف شده برای آنها: a: توری SC_{n4} , b: توری SC_{n8} , c: توری SC_{n12} , d: توری SC_{n20}

جدول ۱) طول ضلع سلول برای توری‌های مختلف

انواع توری	SC _{n6}	HC _{n6}	TC _{n12}	SC _{n20} LC _{n20}	SC _{n12} LC _{n12}	SC _{n8} LC _{n8}	SC _{n4} LC _{n4}
طول ضلع سلول	$\frac{2R}{5}$	$\frac{R}{\sqrt{13}}$	$\frac{R}{2}$	$\frac{R}{\sqrt{13}}$	$\frac{R}{\sqrt{10}}$	$\frac{R}{\sqrt{8}}$	$\frac{R}{\sqrt{5}}$

۴- ارزیابی و مقایسه شکل‌های مختلف سلول در توری مجازی

در این قسمت به ارزیابی و مقایسه توری‌های مختلف پرداخته می‌شود و تاثیر هر یک از این توری‌ها بر روی عملکرد شبکه مشخص می‌شود. مقایسه نقش توری‌های مختلف بر روی عملکرد شبکه از لحاظ میزان دقت اطلاعات ارسالی، استفاده موثر از محدوده انتقال (UTR^۷)، مقدار متوسط گره در هر سلول (NAPC^۸) و تعداد گره‌های فعال (ANN^۹) در هر لحظه است. از آنجا که در اکثر پروتکل‌های استفاده کننده از توری مجازی از توری نوع SC_{n4} استفاده شده است. توری‌های دیگر با این نوع توری مقایسه شده است.

توری‌ها با سلول‌های مربع شکل با توری‌ها با سلول‌های لوزی شکل (در توری‌های معادل) در حالت کلی هیچ گونه تفاوتی نسبت به یکدیگر بر روی عملکرد شبکه ندارند. به همین علت در مقایسه‌های انجام شده، فرمول‌ها و شرایط بیان شده برای توری‌ها با سلول‌های مربع شکل برای توری‌ها با سلول‌های لوزی شکل نیز صدق می‌کند (در توری‌های معادل). در حقیقت، تفاوت این دو نوع توری تنها زمانی مشخص می‌شود که شکل محیطی که شبکه در آن قرار دارد مشخص باشد. اگر شکل این محیط به صورت مستطیل باشد، همان گونه که در ادامه نشان خواهیم داد، توری لوزی شکل نسبت به توری مربع شکل عملکرد بهتری را از خود نشان خواهد داد.

۴-۱- میزان دقت اطلاعات ارسالی

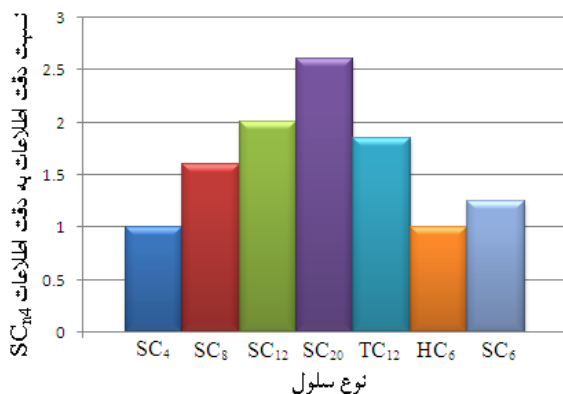
در برخی از کاربردها میزان دقت اطلاعات دریافتی برای گره مرکزی اهمیت دارد. از جمله این کاربردها می‌توان به کاربردهای دیده‌بانی اشاره کرد که باید مشخص شود که اطلاعات دریافتی مربوط به کدام منطقه از محیط مورد بررسی است. هر چه این منطقه کوچکتر باشد نشان دهنده این است که دقت اطلاعات بالاتر است. از آنجا که در پروتکل‌های استفاده کننده از توری مجازی، در هر سلول یک گره در حالت فعال است، اطلاعات دریافت شده توسط یک گره از سلولی خاص نشان دهنده اطلاعات آن سلول است و در نتیجه هر چه مساحت سلول (CA^{۱۰}) کوچکتر باشد دقت اطلاعات ارسالی بیشتر است. به همین منظور در این مقاله دقت اطلاعات برای هر نوع توری معادل عکس مساحت یک سلول در آن نوع توری در نظر گرفته شده است. مساحت یک سلول در هر یک از توری‌ها

در جدول ۲ دیده می‌شود. در رابطه‌های جدول ۲، R محدوده انتقال گره است.

به منظور مقایسه تاثیر توری‌های مختلف در میزان دقت اطلاعات شبکه، میزان دقت اطلاعات برای انواع توری به کار گرفته شده بر روی شبکه نسبت به میزان دقت اطلاعات برای توری SC_{n4} مقایسه شد. نتیجه مقایسه‌ها در شکل ۸ دیده می‌شود. همانگونه که دیده می‌شود برای توری‌ها با سلول‌های مربع شکل هرچه تعداد همسایه‌های یک سلول بیشتر باشد میزان دقت اطلاعات نیز افزایش می‌یابد که به خاطر کاهش طول ضلع سلول در آنها است تا بتواند همسایگی مورد نظر را پوشش دهد. برای توری‌های HC_{n6} دقت اطلاعات تقریباً برابر دقت اطلاعات توری SC_{n4} است.

جدول ۲) مشخصات شبکه در پروتکل‌های استفاده کننده از توری مجازی برای انواع توری

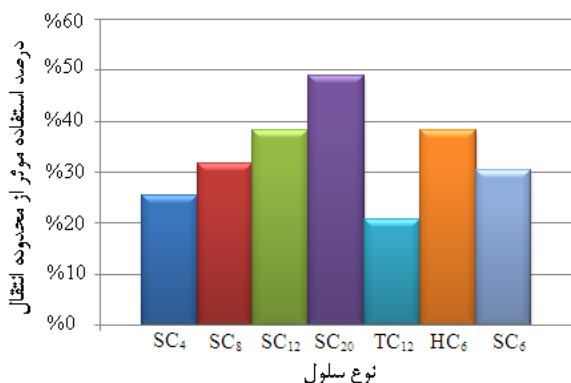
پارامترهای مختلف انواع توری	CA	UTR	NAPC	ANN
SC _{n4} LC _{n4}	$\frac{R^2}{5}$	$\frac{4}{5\pi}$	$\frac{1}{5} \times \frac{nR^2}{A}$	$5 \times \frac{A}{R^2}$
SC _{n8} LC _{n8}	$\frac{R^2}{8}$	$\frac{1}{\pi}$	$\frac{1}{8} \times \frac{nR^2}{A}$	$8 \times \frac{A}{R^2}$
SC _{n12} LC _{n12}	$\frac{R^2}{10}$	$\frac{6}{5\pi}$	$\frac{1}{10} \times \frac{nR^2}{A}$	$10 \times \frac{A}{R^2}$
SC _{n20} LC _{n20}	$\frac{R^2}{13}$	$\frac{20}{13\pi}$	$\frac{1}{13} \times \frac{nR^2}{A}$	$13 \times \frac{A}{R^2}$
TC _{n12}	$\frac{R^2 \sqrt{3}}{16}$	$\frac{3\sqrt{3}}{8\pi}$	$\frac{\sqrt{3}}{16} \times \frac{nR^2}{A}$	$\frac{16}{\sqrt{3}} \times \frac{A}{R^2}$
HC _{n6}	$\frac{3R^2 \sqrt{3}}{26}$	$\frac{9\sqrt{3}}{13\pi}$	$\frac{3\sqrt{3}}{26} \times \frac{nR^2}{A}$	$\frac{26}{3\sqrt{3}} \times \frac{A}{R^2}$
SC _{n6}	$\frac{4R^2}{25}$	$\frac{24}{25\pi}$	$\frac{4}{25} \times \frac{nR^2}{A}$	$\frac{25}{4} \times \frac{A}{R^2}$



شکل ۸) نسبت میزان دقت اطلاعات شبکه به میزان دقت اطلاعات شبکه استفاده کننده از توری SC_{n4} برای توری‌های مختلف فرض شده روی شبکه

۴-۲- استفاده موثر از محدوده انتقال

هدف از این قسمت محاسبه استفاده موثر از محدوده انتقال هر گره با توجه به توری مجازی در نظر گرفته شده برای شبکه است. استفاده موثر از محدوده انتقال به این مفهوم است که گره از

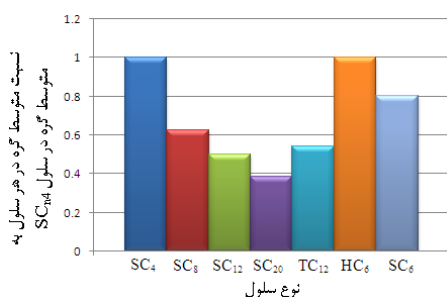


شکل ۱۰) درصد استفاده موثر از محدوده انتقال برای توری‌های مختلف

۴-۳- مقدار متوسط گره در هر سلول

مقدار متوسط گره در هر سلول به این دلیل اهمیت دارد که هر چه این میزان بیشتر باشد عملکرد شبکه از لحاظ مصرف انرژی، مکانیزم امنیتی و تحمل پذیری خطا بهتر است. در واقع هر چه این مقدار بیشتر باشد تعداد بیشتری گره در سلول می‌توانند در حالت غیرفعال باشند که باعث ذخیره بیشتر انرژی شبکه می‌شود و از طرفی تعداد زیاد این مقدار نشان دهنده این است که برای گره فعال سلول، گره‌های بیشتری برای جایگزینی قرار دارند که باعث می‌شود مکانیزم‌های امنیتی و تحمل‌پذیری خطا بهتر عمل کنند. مقدار متوسط گره در هر سلول (NAPC) برای توری‌های مختلف در جدول ۲ دیده می‌شود. در رابطه‌های جدول ۲، n تعداد گره‌های شبکه و A مساحت محدوده گسترش گره‌ها است.

مقادیر متوسط گره در هر سلول برای توری‌های مختلف در شکل ۱۱ به صورت نمودار نشان داده شده‌اند. دیده می‌شود که متوسط تعداد گره برای توری‌های SC_{n4} و HC_{n6} تقریباً برابر و حدود دو برابر دیگر توری‌ها می‌باشد.

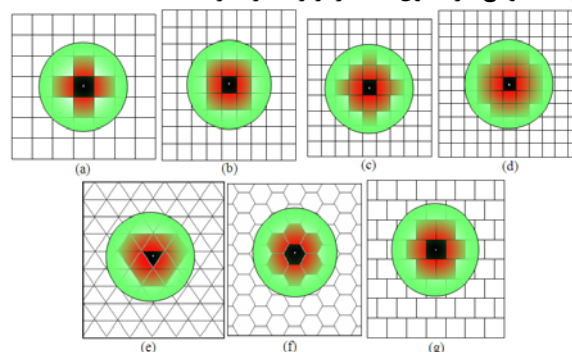


شکل ۱۱) نسبت متوسط گره در هر سلول به متوسط گره در هر سلول توری SC_{n4} برای توری‌های مختلف فرض شده بر روی شبکه

۴-۴- تعداد گره‌های فعال در هر لحظه

از آنجا که در اکثر پروتکل‌های استفاده کننده از توری مجازی در هر لحظه تنها یک گره در هر سلول فعال است، در هر لحظه از فعالیت شبکه تنها تعداد مشخصی از گره‌ها فعال خواهند بود. هرچه تعداد گره‌های فعال شبکه کمتر باشد (با حفظ متصل بودن و پوشش کامل محیط) مصرف انرژی شبکه کمتر است. تعداد گره‌های

محدوده انتقال خود که دایره‌ای به شعاع R که دارای مساحت IR^2 است به چه میزان می‌تواند استفاده کند و به چند درصد از این دایره می‌تواند داده‌های خود را به صورت مستقیم ارسال کند. به عنوان مثال هر گره در توری SC_{n4} تنها می‌تواند با گره‌های واقع در چهار سلول اطراف خود ارتباط مستقیم برقرار کند و با گره‌هایی که در سلول‌های دیگر هستند نمی‌تواند ارتباط مستقیم برقرار کند (هرچند در محدوده انتقال گره مورد نظر باشند). در شکل ۹ محدوده انتقال گره واقع در مرکز سلول و سلول‌های قابل ارتباط با سلول مورد نظر دیده می‌شود. در شکل ۹ محدوده سبز رنگ نشان دهنده محدوده انتقال گره است و گره، تنها توانایی ارتباط با گره‌های واقع در سلول‌های قرمز رنگ را دارد.



شکل ۹) محدوده انتقال گره واقع در مرکز سلول و سلول‌های قابل ارتباط با سلول مورد نظر برای توری‌های مختلف: a: توری SC_{n4}, b: توری SC_{n8}, c: توری SC_{n6}, d: توری SC_{n12}, e: توری SC_{n20}, f: توری TC_{n12}, g: توری HC_{n6}.
با توجه به تعریف بیان شده برای استفاده موثر از محدوده انتقال (UTR)، مقدار این پارامتر برای شبکه استفاده کننده از توری‌های مختلف، در جدول ۲ دیده می‌شود. این پارامتر برای توری‌های مختلف با استفاده از ضرب تعداد سلول‌های همسایه در مساحت هر سلول و تقسیم آن به مساحت محدوده انتقال گره به دست می‌آید.

مقدار پارامتر استفاده موثر از محدوده انتقال (UTR) در شکل ۱۰ به صورت نمودار نشان داده شده‌اند. همان گونه که دیده می‌شود، در توری‌ها با سلول‌های مربع شکل با افزایش تعداد سلول‌های همسایه درصد استفاده موثر از محدوده انتقال هر گره بیشتر می‌شود. در توری HC_{n6} با اینکه تنها ۶ سلول همسایه تعریف شده است، اما درصد استفاده موثر از محدوده انتقال هر گره آن تقریباً برابر با درصد استفاده موثر از محدوده انتقال هر گره توری SC_{n12} است که از ۱۲ سلول همسایه استفاده کرده است. این مطلب برتری توری با سلول ۶ ضلعی شکل به توری با سلول‌های مربع شکل را از لحاظ استفاده موثر از محدوده انتقال نشان می‌دهد.

10	9	8	7	6	5	6	7	8	9	10
9	8	7	6	5	4	5	6	7	8	9
8	7	6	5	4	3	4	5	6	7	8
7	6	5	4	3	2	3	4	5	6	7
6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
5	4	3	2	1	S	1	2	3	4	5
6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
7	6	5	4	3	2	3	4	5	6	7
8	7	6	5	4	3	4	5	6	7	8
9	8	7	6	5	4	5	6	7	8	9
10	9	8	7	6	5	6	7	8	9	10

(a)

7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6
7	6	5	4	4	4	4	4	4	4	5
7	6	5	4	3	3	3	3	3	3	4
7	6	5	4	3	2	2	2	2	2	3
7	6	5	4	3	2	1	1	1	2	3
7	6	5	4	3	2	1	S	1	2	3
7	6	5	4	3	2	1	1	1	2	3
7	6	5	4	3	2	2	2	2	2	3
7	6	5	4	3	3	3	3	3	3	4
7	6	5	4	4	4	4	4	4	4	5
7	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6
7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

(b)

7	7	6	6	5	5	4	4	5	5	6	6	7	7	8
7	6	6	5	5	4	4	3	4	5	5	6	6	7	7
6	6	5	4	4	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7
6	5	5	4	3	3	2	3	4	4	5	5	6	6	7
5	5	4	3	3	2	2	2	3	4	4	5	5	6	6
5	4	3	3	2	2	1	2	3	4	4	5	5	6	6
4	4	3	3	2	2	1	1	2	3	4	4	5	5	6
4	3	3	2	2	1	1	1	2	3	4	4	5	5	6
4	3	3	2	2	1	1	1	2	3	4	4	5	5	6
5	4	3	3	2	2	1	2	3	4	4	5	5	6	6
5	4	4	3	3	2	2	2	3	4	4	5	5	6	6
6	5	4	4	3	3	2	3	4	4	5	5	6	6	7
6	5	5	4	4	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
7	6	6	5	4	4	3	4	4	5	5	6	6	7	8
7	7	6	6	5	5	4	4	5	5	6	6	7	7	8

(c)

6	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
6	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
6	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
5	5	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4
5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4
5	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3
5	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3
5	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3
5	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3
5	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3
5	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3
5	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3
5	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3
5	5	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4
6	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
6	6	6	5	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5

(d)

شکل ۱۳) فاصله سلول‌های مختلف با سلول دارای گره مرکزی برای توری-
 ها با سلول‌های مربع شکل a: توری SC_{n4} , b: توری SC_{n8} , c: توری SC_{n12} , d:

توری SC_{n20}

8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8
7	6	5	6	4	5	6	5	6	4	5	6	5	6	7
8	7	6	5	4	5	4	4	4	4	4	4	5	6	7
7	6	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	5	6
8	7	6	5	4	2	2	2	2	2	2	2	3	4	5
7	6	5	4	3	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4
8	7	6	5	4	2	S	1	2	3	4	5	6	7	8
7	6	5	4	3	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8
8	7	6	5	4	2	2	2	2	2	2	2	3	4	5
7	6	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	5	6
8	7	6	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	6	7
7	6	5	4	3	5	5	5	5	5	5	5	6	7	8
8	7	6	5	4	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9
7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	9

(a)

10	9	8	7	6	5	4	5	6	7	8	9	10
9	8	7	6	5	4	5	6	7	8	9	10	9
8	7	6	5	4	3	4	5	6	7	8	9	8
7	6	5	4	3	2	3	4	5	6	7	8	7
6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	6
5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6	5
5	4	3	2	1	S	1	2	3	4	5	6	5
5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6	5
6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	6
7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8
8	7	6	5	4	3	3	4	5	6	7	8	9
9	8	7	6	5	4	4	5	6	7	8	9	10
10	9	8	7	6	5	4	5	6	7	8	9	10

(b)

6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6
5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
6	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
6	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
5	4	3	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8
6	5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8
5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4
6	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4
5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4
6	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4
5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4
6	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	6	7
5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	5
6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6

(c)

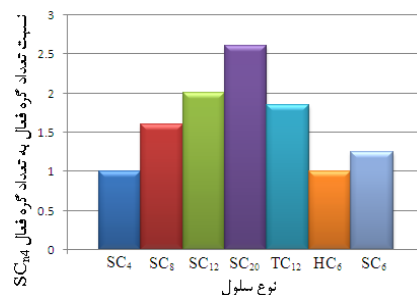
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
6	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
5	4	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
6	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
6	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
6	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6

(d)

شکل ۱۴) فاصله سلول‌های مختلف با سلول دارای گره مرکزی برای توری-
 ها با سلول‌های لوزی شکل a: توری LC_{n4} , b: توری LC_{n8} , c: توری LC_{n12} ,
 d: توری LC_{n20}

فعال شبکه برای توری‌های مختلف فرض شده بر روی شبکه در
 جدول ۲ دیده می‌شود. تعداد گره‌های فعال برابر تعداد سلول‌هاست
 که از تقسیم محدوده گسترش گره‌ها به مساحت هر سلول به دست
 می‌آید.

تعداد گره‌های فعال شبکه برای توری‌های مختلف در شکل ۱۲
 به صورت نمودار نشان داده شده‌اند. همانگونه که دیده می‌شود
 تعداد گره‌های فعال شبکه با استفاده از توری‌های SC_{n4} و HC_{n6}
 تقریباً برابر و نصف تعداد گره‌های فعال با استفاده از توری‌های دیگر
 است.



شکل ۱۲) نسبت تعداد گره فعال شبکه با استفاده از توری‌های مختلف به
 تعداد گره فعال شبکه با استفاده از توری SC_{n4}

۴-۵- مقایسه توری‌های مختلف در محیط مشخص

مقایسه توری‌های مختلف در قسمت‌های قبل بر اساس رابطه و
 با توجه به محدوده انتقال هر گره و محدوده گسترش گره‌ها بود. به
 منظور مشخص‌تر شدن نتایج مقایسه‌های صورت پذیرفته در
 بخش‌های ۴-۱ تا ۴-۴، این مقایسه‌ها برای یک محیط و محدوده
 انتقال مشخص صورت پذیرفته‌اند. محیط شبکه یک محدوده مربع
 شکل با ابعاد $500 * 500$ مترمربع فرض می‌شود. فرض می‌شود که
 ۱۰۰۰ گره در این محدوده توزیع شده‌اند و محدوده انتقال هر گره
 نیز برابر ۱۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود. گره مرکزی در مرکز شبکه
 نظر گرفته می‌شود.

با در نظر گرفتن توری‌های مختلف بیان شده در قسمت‌های
 قبل بر روی محیط شبکه، شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ حاصل می‌شوند.
 اعداد نوشته شده در داخل هر سلول نشان دهنده فاصله هر سلول تا
 سلولی است که گره مرکزی در آن واقع است. این فاصله برای هر
 سلول در حقیقت نشان می‌دهد که اگر گره‌ای در آن سلول بسته‌ای
 برای ارسال به گره مرکزی داشته باشد، بسته مزبور باید توسط چند
 گره میانی رله شود تا به گره مرکزی برسد.

جدول ۳) مشخصات شبکه در پروتکل‌های استفاده کننده از توری مجازی برای انواع توری در یک محیط مشخص

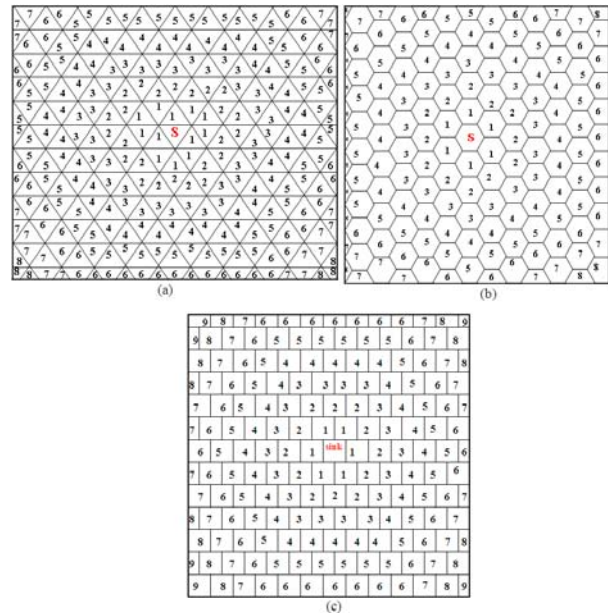
متوسط طول مسیر	متوسط تعداد گره در هر سلول	تعداد گره فعال	مساحت یک سلول (m ²)	محدوده انتقال (m)	پارامترهای مختلف انواع توری
5.1239	8.2645	121	2065.70	101.639	SC _{n4}
4.6785	5.1020	196	1275.20	101.015	SC _{n8}
4.2500	3.9062	256	976.56	98.821	SC _{n12}
3.5432	3.0864	324	771.17	100.154	SC _{n20}
5.3125	7.8125	128	1952.76	98.821	LC _{n4}
5.0000	5.0000	200	1248.92	100.000	LC _{n8}
3.9090	4.1322	242	1032.98	101.639	LC _{n12}
3.6420	2.9586	338	739.30	98.058	LC _{n20}
4.2369	4.3478	230	1082.53	100.000	TC _{n12}
4.4047	7.9365	126	2004.68	100.154	HC _{n6}
4.9488	6.4000	156	1600.00	100.000	SC _{n6}

۵- نتیجه

در نظر گرفتن توری منظم بر روی شبکه یک راهکار مناسب برای ذخیره انرژی شبکه است. شکل سلول توری، تاثیر بسیار زیادی بر روی عملکرد شبکه دارد. انتخاب مناسب شکل سلول توری و همسایگی تعریف شده برای آن عملکرد شبکه را از لحاظ مصرف انرژی، تاخیر انتها به انتها، تحمل پذیری خطا و امنیت بهبود می‌دهد. مقایسه انواع شکل‌ها برای سلول توری مجازی نشان می‌دهد که توری با سلول‌های ۶ ضلعی یک انتخاب مناسب است و استفاده از این نوع توری برای تمامی پروتکل‌های استفاده کننده از توری مجازی پیشنهاد می‌شود.

مراجع

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A survey on sensor networks", IEEE Communication Magazine, Vol. 40, pp. 102-114, August 2002.
- [2] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey". In IEEE Wireless Communications, Volume 11, pp. 6-28, 2004.
- [3] M. Ilyas and I. Mahgoub, "Handbook of Sensor Networks : Compact Wireless and Wired Sensing Systems", CRC Press, London, Washington, D.C., 2005.
- [4] D. Janakiram, R. Venkateswarlu and S. Nitin, "A survey on programming languages, middleware and applications in wireless sensor networks", IITM-CSE-DOS-2005-04, 2005.
- [5] D. Estrin, "Embedded Everywhere: A research agenda for network systems of embedded computers", National Academy Press, 2001, Computer Science and Telecommunication Board (CSTB) Report, 2001.
- [6] Y. Xu, J. S. Heidemann and D. Estrin, "Geography-informed energy conservation for ad hoc routing", In Mobile Computing and Networking, pages 70-84, 2001.
- [7] J. Salzmann, S. Kubisch, F. Reichenbach and D. Timmermann, "Energy and Coverage Aware Routing Algorithm in Self Organized Sensor Networks", Networked Sensing Systems, 2007. INSS '07. Fourth



شکل ۱۵) فاصله سلول‌های مختلف تا سلول دارای گره مرکزی برای توری با سلول‌های مثلث شکل و توری با سلول‌های ۶ ضلعی شکل a: توری TC_{n12}, b: توری HC_{n6}, c: توری SC_{n6}

با توجه به رابطه‌های جدول ۲ و شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵، نتیجه مقایسه توری‌های مختلف در جدول ۳ دیده می‌شود. متوسط طول مسیر در این جدول نشان دهنده آن است که هر بسته داده به طور متوسط باید چند سلول را طی کند تا به گره مرکزی برسد. این پارامتر برای مقایسه توری‌ها، بسیار مهم است. متوسط طول مسیر هر چه بیشتر باشد سلول‌های بیشتری برای رسیدن یک بسته به گره مرکزی در جریان ارسال قرار می‌گیرند و در نتیجه انرژی بیشتری مصرف می‌شود. به علاوه، تاخیر انتها به انتها نیز با افزایش متوسط طول مسیر افزایش می‌یابد. همان گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود، توری با سلول‌های مربع شکل با توری با سلول‌های لوزی شکل تاثیر متفاوتی بر روی عملکرد شبکه دارند. علت این امر مشخص شدن شکل محیطی است که شبکه در آن قرار دارد. با توجه به مربع بودن محدوده گسترش گره‌ها، بین توری با سلول مربع شکل و توری با سلول لوزی شکل با تعریف همسایگی معادل، توری‌ای برتری دارد که شکل همسایگی تعریف شده بر روی آن به مربع نزدیکتر باشد. به همین علت توری LC_{n4} نسبت به توری SC_{n4} بهتر عمل می‌کند. چرا که در توری LC_{n4} تعریف همسایگی به گونه‌ای است که فاصله سلول‌ها با سلول دارای گره مرکزی به صورت مربع شکل گسترش می‌یابد. با توجه به مطالب بیان شده، توری SC_{n8}، LC_{n12} و SC_{n20} به ترتیب نسبت به توری LC_{n8}، SC_{n12} و LC_{n20} بهتر عمل می‌کند. از اطلاعات جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که توری با سلول‌های ۶ ضلعی یک انتخاب مناسب برای توری مجازی می‌باشد. توری HC_{n6} با اینکه از لحاظ مساحت یک سلول، تعداد گره فعال در هر لحظه شبکه و متوسط تعداد گره در هر سلول با توری SC_{n4} تقریباً برابر است اما از لحاظ متوسط طول مسیر بسیار بهتر از آن عمل می‌کند.

- [15] Z. Jiang, J. Wu, A. Agah, and B. Lu. "**Topology Control for Secured Coverage in Wireless Sensor Networks**", 3rd IEEE International Workshop on Wireless and Sensor Networks Security (IEEE WSNS'07), October 2007.
- [16] X. Du and F. Lin, "**Secure Cell Relay Routing Protocol for Sensor Networks**", Performance, Computing, and Communications Conference, 2005. IPCCC 2005. 24th IEEE International, Volume , Issue , 7-9 April 2005 Page(s): 477 – 482. 2005.
- [17] H. Yang, F. Ye, Y. Yuan, S. Lu and W. Arbaugh, "**Toward resilient security in wireless sensor networks**", MobiHoc'05. NY: ACM Press, pp. 34–45, 2005.
- [18] X. Liu, and M. Haenggi, "**Toward Quasiregular Sensor Networks: Topology Control Algorithms for Improved Energy Efficiency**", IEEE Transactions on parallel and distributed systems, Vol. 17, No. 9, September 2006.
- [19] R. P. Liu, G. Rogers, S. Zhou and J. Zic, "**Topology control with Hexagonal Tessellation**", International Journal of Sensor Networks Vol. 2, No. 1/2 pp. 91 – 98, 2007.
- [20] R. P. Liu, G. Rogers and S. Zhou, "**Honeycomb Architecture for Energy Conservation in Wireless Sensor Networks**", IEEE Globecom 2006, San Francisco, November 2006.
- International Conference on Publication Date: 6-8 June 2007.
- [8] C. Schurgers, V. Tsitsis and M. Srivastava, "**STEM: Topology management for energy efficient sensor networks**", Proceedings of the 2002 IEEE Aerospace Conference, March 2002.
- [9] R. Akl, and U. Sawant, "**Grid-based Coordinated Routing in Wireless Sensor Networks**", Consumer Communications and Networking Conference, 2007. CCNC 2007. 2007 4th IEEE Publication Date: Jan. 2007.
- [10] M. Halkidi, D. Papadopoulos, V. Kalogeraki and D. Gunopulos, "**Resilient and Energy Efficient Tracking in Sensor Networks**", International Journal of Wireless and Mobile Computing, 2005.
- [11] G. Wang, G. Cao, T. La Porta and W. Zhang, "**Sensor Relocation in Mobile Sensor Networks**", IEEE INFOCOM, March 2005.
- [12] Z. Zhang, "**An Energy Efficient Data Query Protocol for Wireless Sensor Network Applications**", PSC 2006: 61-70, 2006.
- [13] J. N. Al-Karaki, R. Ul-Mustafa and A. E. Kamal, "**Data aggregation in wireless sensor networks – exact and approximate algorithms**", IEEE Wksp. on High Perf. Switching and Routing, pp. 241–245, Apr. 2004.
- [14] F. Araújo and L. Rodrigues, "**On the Monitoring Period for Fault-Tolerant Sensor Networks**", LADC 2005: 174-190.

1 Flat Routing
 2 Geographic Adaptive Fidelity
 3 Sleep-Query-Active
 4 Akl
 5 Sawant
 6 Jiang
 7 Useful Transmission Range
 8 Node Average of Per Cell
 9 Active Node Number
 10 Cell Area