

## یک ساختار شبیه‌سازی شی‌گرا در محیط J-Sim برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم

علی موقر رحیم‌آبادی  
[movaghar@sharif.edu](mailto:movaghar@sharif.edu)

احسان خراطی  
[e-kharati@iau-arak.ac.ir](mailto:e-kharati@iau-arak.ac.ir)

مستقل (ACA)<sup>۲</sup> بوده و می‌توان بطور مستقل اجزای آن را طراحی و پیاده‌سازی و آزمایش کرد [3, 13]. به این ترتیب فاصله سخت‌افزار و نرم‌افزار کاهش یافته و باعث نصب و اجرای سریع و آسان می‌شود. ارتباط پورت‌های J-SIM دوطرفه بوده و بنا به پروتکل‌های مربوطه، داده‌ها را جابجا می‌کنند. این داده‌ها بصورت نخ در جاوا پردازش شده تا تداخل و برخورد بین داده‌های همزمان کاهش یابد؛ در نتیجه قابلیت-اطمینان در انتشار و اشتراک داده‌ها افزایش می‌یابد.

واسط گرافیکی J-SIM توسط چندین زبان مختلف مانند Perl و Tcl و Python طراحی شده است و آخرین نسخه آن (J-SIM 1.3) براساس مفسرهای جاوا و Tcl است؛ در نتیجه کلاس‌ها، متدها و اجزاء در هر دو محیط قابل دسترس هستند. شبیه‌ساز [2] ns-2 نیز دو زبانه بوده و در C و C++ طراحی شده است اما فقط در ++C می‌توان به اشیاء و دستورات آن دسترسی داشت. برای مقایسه کیفی و کمی مفصل‌تر، J-SIM و سایر محیط‌های شبیه‌سازی شبکه‌ای همچون [5] ns2 و [6] SSFNet می‌توان به [1, 12] مراجعه کرد. اجزاء شبیه‌ساز پیشنهادی عبارتند از: الف) گره‌های مقصد، حسگر و سینک<sup>۳</sup> ب) کانال‌های ارتباطی بی‌سیم و حسگر ج) رسانه‌های فیزیکی نظیر کانال‌های لرزه‌ای، مدل‌های سیار و نیرو برای تولید و مصرف انرژی.

شبیه‌ساز پیشنهادی قابلیت توسعه و طراحی و پیاده‌سازی پروتکل‌های معروفی همچون مکان‌بازی، مسیریابی جغرافیایی و انتشار مستقیم را داشته و می‌توان در آنها براحتی کلاس ایجاد کرد و رفتار آنها را دستکاری کرد. همچنین قابلیت مقیاس‌پذیری بالایی داشته و زمان اجرا و مصرف حافظه قابل قبولی دارد. مطالعات شبیه‌سازی نشان می‌دهد که زمان اجرای J-SIM و ns-2 تقریباً یکسان بوده اما برای اجرای شبیه‌سازی در طول زمان کمتر از ۱۰۰۰ ثانیه، حافظه اختصاص یافته در J-SIM از نظر مرتبه بزرگی، نصف ns-2 است و ns-2 به علت کمبود حافظه، قادر به شبیه‌سازی در مقیاس بالا نیست.

### ۲- ساختار شبیه‌سازی J-SIM پیشنهادی

همان‌طور که در بخش اول اشاره شد؛ هدف اصلی شبکه‌های حسگر بی-سیم، کنترل و حس کردن رویدادهای مورد توجه در یک محیط خاص است، مانند حرکت یک خودرو که لرزه‌هایی را در زمین ایجاد می‌کند. گره‌های حسگر به محض حس کردن یک رویداد خاص مانند تغییرات صوتی، لرزه‌ای و یا حرارتی، گزارشات خود را به گره‌های سینک می‌فرستند. از دیدگاه شبیه‌سازی، هر شبکه حسگر بی‌سیم شامل سه

**چکیده:** شبکه‌های حسگر بی‌سیم در چند سال اخیر، توسعه و کاربرد روزافزونی زیادی داشته‌اند؛ به همین دلیل، باید ساختارهای شبیه‌سازی را در سطح وسیع و با کیفیت بالا، ایجاد کرد. این مقاله، یک محیط شبیه‌سازی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، در J-SIM ارائه می‌دهد. J-SIM، یک محیط شبیه‌سازی منبع باز در جاوا بوده که براحتی قابل توسعه است. این ساختار براساس معماری با اجزاء مستقل و ساختار درون شبکه‌ای توسعه‌پذیر بوده و اجزاء شبکه را بصورت شی‌گرا تعریف و پیاده‌سازی می‌کند. این اجزاء عبارتند از: الف) گره‌های مقصد، حسگر و سینک ب) کانال‌های ارتباطی بی‌سیم و حسگر و ج) رسانه‌های فیزیکی نظیر کانال‌های لرزه‌ای، مدل‌های سیار و نیرو که انرژی را تولید یا مصرف می‌کنند. در ساختار شبیه‌سازی پیشنهادی می‌توان پروتکل‌های مکان‌بازی، مسیریابی جغرافیایی و انتشار مستقیم را پیاده‌سازی کرد و زمان اجرا و حافظه مصرف شده در آن را با شبیه‌ساز ns-2 مقایسه کرد. ارزیابی این عمل نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی در J-SIM کارایی بسیار زیادی دارد.

**کلمات کلیدی:** شبیه‌ساز، اجزاء، شی‌گرایی، پیاده‌سازی، پروتکل مسیریابی، زمان اجرا و حافظه مصرفی

### ۱- مقدمه

پیشرفت فناوری‌های اخیر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم<sup>۱</sup> باعث استفاده فراگیر از ابزار کوچک و با انرژی مصرفی کم برای ارتباط بی‌سیم شده است. کاربرد این شبکه‌ها در کشف موقعیت، کنترل محیطی و ترافیکی، مسائل امنیتی، صحنه‌های جنگ و کنترل حملات شیمیایی و رادیولوژی است. مهمترین ویژگی این شبکه‌ها، انتشار اطلاعات با قابلیت اطمینان بالا در یک فاصله زمانی معین است؛ اما هنگامی که فاصله بین حسگرها کم باشد، امکان تداخل بین بی‌سیم‌های صوتی وجود دارد که باعث از بین رفتن اطلاعات می‌شود. برای حل این مشکل و ارزش بالای داده‌ها، پروتکل‌های جدیدی در شبکه‌های حسگر عمومی و بی‌سیم طراحی و توسعه یافته است. بمنظور ارزیابی کارایی این پروتکل‌ها، چندین محیط شبیه‌سازی ایجاد شده است.

در این مقاله، با بهینه‌سازی اجزاء شبیه‌ساز [3] J-SIM و افزودن کلاس‌های شی‌گرا، محیطی جدید برای شبیه‌سازی شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه می‌کنیم. J-SIM منبع باز بوده و ساختار اولیه آن در جاوا ایجاد شده است. ساختار این شبیه‌ساز براساس معماری اجزاء

<sup>۱</sup>Autonomous Component Architecture

<sup>۲</sup> گره‌ای که داده‌ها از سایر گره‌ها جمع‌آوری می‌کند.

<sup>۳</sup>WSNs

و یا دریافت قرار داد تا مصرف انرژی را کنترل کرد [11]. آخرین نسخه J-SIM دارای کلاس‌هایی برای انتقال شبکه بی‌سیم و AODV بوده که شامل مدل‌های فضای آزاد، شعاعی و نامنظم منطقه‌ای است [10]. اکثر کلاس‌های J-SIM شامل:

۱- **عامل مقصد:** این عامل بطور متناوب سیگنال‌هایی را تولید کرده و به لایه‌های پایین‌تر فرستاده تا بر روی کانال حسگر انتقال یابد. این عامل، یک درگاه برای ارسال بسته و یک درگاه زمان‌سنج برای نشان دادن پایان وقت زمان‌سنج دارد، که با فراخوانی وقفه و تولید سیگنال، تمام شدن زمان را اعلام می‌کند.

۲- **مدل سیار حسگر:** این مدل موقعیت، سرعت و جابجایی یک گره مقصد را مشخص کرده و مدل‌های سیار بیسیم براساس خط مستقیم و نقاط تصادفی را پشتیبانی می‌کند. در مدل اول، یک گره سیار، با سرعت ثابت از یک نقطه به نقطه بعدی رفته و کاربر با استفاده از یک جدول، حرکت گره‌های مقصد و حسگر را مشخص می‌کند. در مدل دوم، گره سیار از مکان اصلی خود با سرعتی بین صفر و حداکثر سرعت، حرکت کرده و بطور تصادفی یک محل را به‌عنوان مقصد در منطقه شبیه‌سازی شده انتخاب می‌کند. سپس گره سیار مقصد بعدی را انتخاب کرده و این روند مجدداً تکرار می‌شود.

۳- **لایه فیزیکی حسگر:** این لایه سیگنال تولید شده توسط عامل مقصد را دریافت کرده و با کمک مدل سیار حسگر، مکان جدید گره مقصد را یافته و سیگنال را به‌همراه اطلاعات موقعیت به کانال حسگر ارسال می‌کند. این لایه دو درگاه بالا و پایین دارد.

۴- **کانال حسگر:** این کلاس سیگنال تولید شده از گره مقصد را دریافت کرده و موقعیت گره‌های حسگری را که در محدوده حسی گره مقصد قرار دارند، یافته و سیگنال را با تاخیر انتشار ثابت  $\tau = \frac{\max(d, d_0)}{v}$  به آنها ارسال می‌کند. که  $\tau$ ، تاخیر انتشار،  $v$  سرعت صوت،  $d$  مسافت بین فرستنده و گیرنده و  $d_0$  کمیت پیکربندی کانال صوتی است.

۵- **مدل انتشار حسگر:** این مدل انرژی سیگنال دریافتی را محاسبه می‌کند. اگر انتشار سیگنال بصورت لرزشی باشد بوسیله فرمول  $P_r = \frac{P_t}{\max(d, d_0)^{\alpha}}$  و اگر انتشار سیگنال بصورت صوتی باشد بوسیله

فرمول  $P_r = N \times (p \times \mu_g, \sigma_g^2)$  و  $p = \frac{P_t}{\max(d, d_0)^{\alpha}}$

$\mu_g = U(\min_g, \max_g)$  محاسبه می‌شود که  $P_r$  انرژی سیگنال دریافتی،  $P_t$  انرژی سیگنال ارسالی و  $d$  مسافت بین فرستنده و گیرنده،  $\min_g$  و  $\max_g$  پارامترهای پیکربندی مدل انتشار صوتی بوده که بترتیب حداقل، حداکثر، میانگین و اختلاف مقدار به دست آمده از بلندگو هستند.  $f_a$  ضریب افت سیگنال بوده مانند  $d_0$  از کمیت‌های پیکربندی کانال انتشار لرزشی یا صوتی است.

۶- **لایه فیزیکی حسگر:** این لایه با استفاده از مدل انتشار حسگر، سیگنال تولید شده از گره مقصد را دریافت کرده و انرژی سیگنال

نوع گره است: گره‌های حسگر که حوادث مورد نظر را تشخیص می‌دهند، گره‌های مقصد که حوادث مورد نظر را تولید کرده و گره‌های سینک که از اطلاعات حسگرها استفاده می‌کنند. در هر گره حسگر، انرژی توسط باتری تولید و توسط فعالیت رادیویی و پردازشی، مصرف می‌شود. گره‌های حسگر، سیگنال‌های تولید شده توسط گره‌های مقصد را بوسیله یک کانال حسگر ردیابی کرده و اطلاعات آن را بوسیله یک کانال بی‌سیم به گره‌های سینک ارسال می‌کنند. پس گره‌های حسگر، برای ارتباط با سایر گره‌ها به دو پروتکل حسگر و بی‌سیم نیاز دارند، اما هر گره مقصد فقط از پروتکل حسگر و هر گره سینک فقط از پروتکل بی‌سیم استفاده می‌کند. پروتکل حسگر سیگنال‌های تولید شده توسط گره‌های مقصد را ردیابی کرده و پروتکل بی‌سیم، گزارشات را به سایر گره‌های حسگر و در نهایت به گره‌های سینک ارسال می‌کند.

گره مقصد یک سیگنال را بطور متناوب روی کانال حسگر تولید می‌کند؛ اما چیزی را نمی‌تواند دریافت کند؛ پس اگر سیگنال ارسال شده در طی انتشار ضعیف شود و یا انرژی آن از حد معینی کمتر شود، گره حسگر نمی‌تواند سیگنال را دریافت کرده و درخواست مجدد آن را ارسال کند. انرژی سیگنال دریافتی، بوسیله مدل انتشار حسگر، مانند مدل‌های لرزه‌ای یا صوتی، محاسبه و مشخص می‌شود. گره سینک اطلاعات را از کانال بی‌سیم دریافت کرده و توسط سرور و اپراتور این اطلاعات را کنترل و تجزیه و تحلیل می‌کند؛ و براین اساس، یکسری دستور و سوال با گره‌های حسگر ردوبدل می‌کند؛ پس گره‌های سینک باید هر دو قابلیت ارسال و دریافت بسته‌های داده را روی کانال بی‌سیم داشته باشند.

گره حسگری که در شعاع حسی گره مقصد قرار دارد، سیگنال را بوسیله کانال حسگر دریافت کرده و نتیجه را از طریق کانال بی‌سیم به یک یا چند گره سینک، ارسال می‌کند؛ اگر گره سینکی در محدوده گره حسگر نباشد، ارتباط از طریق گره‌های میانی انجام می‌شود. پس گره‌های حسگر باید بتوانند بسته‌های داده را بر روی کانال بی‌سیم هم ارسال و هم دریافت کنند. گره‌های حسگر برای دریافت داده پروتکل مسیریابی خود را نظیر [9] AODV و [8] GPSR با توپولوژی شبکه مطابقت می‌دهند؛ و اگر به علت تضعیف باتری اصطلاحاً بمیرند، پیکربندی شبکه باید بصورت پویا تغییر کند. مدل انرژی در هر گره حسگر شامل اجزا تولید و مصرف انرژی بوده و مدل عملیاتی شامل پروتکل‌های حسگر و شبکه و لایه‌های انتقال و کاربرد حسگر است. هر نوع مکانیزم پردازشی درون شبکه‌ای مانند آنچه که در [7] آمده است، را می‌توان در لایه کاربردی گره حسگر، طراحی و پیاده‌سازی کرد. مثلاً، مدل CPU، برای دریافت و کنترل یک بسته، و مدل رادیو، برای ارسال و دریافت بسته انرژی مصرف می‌کند. در ساختار شبیه‌سازی پیشنهادی، این مدل‌ها را می‌توان در یکی از حالات عملیاتی، نظیر بیکار، خواب، غیرفعال، انتقال

<sup>1</sup>Ad-hoc On-demand Distance Vector routing

<sup>2</sup>Greedy Perimeter Stateless Routing

یک سیگنال با شعاع ۲۰۰ متر تولید می‌کنند. در پروتکل بی‌سیم، از AODV به‌عنوان پروتکل مسیریابی استفاده کرده و حداکثر زمان شبیه‌سازی را ۱۰۰۰ ثانیه و محدوده انتقال را ۲۶۰ متر و انرژی ارسالی را ۰.۲۸۱۸ وات و حداقل انرژی دریافتی و ارسالی را به ترتیب  $1 \times 10^{-11}$  و  $1 \times 10^{-12}$  وات، در نظر می‌گیریم. در مدل انتشار لرنزه‌ای، کمیت‌های پیکربندی کانال را مانند  $d_0$  و  $f_a$  را یک و حداقل انرژی دریافتی در لایه فیزیکی حسگر را ۳ وات تنظیم می‌کنیم.

شکل (a) زمان اجرا و شکل (b) تعداد رویداد رخ داده شده در شبکه‌ای با  $n^2+2$  گره را نشان می‌دهند. در تمام شکل‌های ۱، با بیش از ۱۸ گره، بدلیل کمبود حافظه، نمودار مربوط به ns-2 قطع شده است. زمان اجرای J-SIM بیش از ۴۱.۶٪ از ns-2 بیشتر بوده زیرا یک برنامه جاوا از برنامه C یا C++ کندتر است؛ اما اگر اندازه شبکه بین ۱۰ تا ۱۶ گره باشد زمان اجرای هر دو شبیه‌ساز تقریباً یکسان است. تعداد حوادث رخ داده شده در هر دو شبیه‌ساز با کمتر از ۱۶ گره تقریباً یکسان است و برای بیش از ۱۶ گره، J-SIM، ۲۷.۵٪ بیشتر از ns-2، رخداد تولید می‌کند.

قبل از شروع شبیه‌سازی برای اسقرار گره‌ها و تمامی اجزاء مثل کانال‌های بی‌سیم و حسگر نیاز به اختصاص حافظه است. شکل (c) ۱ نشان می‌دهد که، برای بیش از ۱۵ گره، حافظه مصرفی قبل از شروع شبیه‌سازی در ns-2 بیشتر از J-SIM است پس J-SIM در مصرف حافظه قبل از شروع شبیه‌سازی، برای شبکه‌های بزرگ‌تر، بهتر عمل می‌کند. شکل (d) ۱، حافظه اختصاص داده شده را قبل از پایان شبیه‌سازی در ۱۰۰۰ ثانیه نشان می‌دهد که نمودار J-SIM، حداقل در دو مرتبه بزرگی از ns-2 کمتر بوده، زیرا جاوا از مکانیزم بازیابی حافظه استفاده نشده، بهره می‌گیرد.

### ۳-۲- سناریوی دوم: استفاده از پروتکل مسیریابی

#### GPSR بجای پروتکل AODV

این سناریوی شبیه سناریوی اول بوده با این تفاوت که از پروتکل GPSR بجای پروتکل AODV، به‌عنوان پروتکل مسیریابی استفاده می‌شود. شکل (a) ۲ زمان اجرا و شکل (b) ۲ تعداد رویداد رخ داده شده در یک شبکه با اندازه  $n^2+2$  گره را نشان می‌دهند که در مقایسه با شکل‌های (a) ۱ و (b) ۱ زمان اجرای کمتر و تعداد رویداد رخ داده شده بهینه‌تری در شبیه‌ساز J-SIM دارد. در تمام شکل‌های ۲، با بیش از ۱۴ گره، بدلیل کمبود حافظه، نمودار مربوط به ns-2 قطع شده است. پروتکل GPSR تعداد رخداد کمتری نسبت به AODV تولید کرده و از این رو زمان اجرای کمتری دارد زیرا AODV بدلیل تبادل اطلاعات و نگهداری جداول مسیریابی، سربار قابل توجهی دارد. شکل (c) ۲ حافظه مصرفی را قبل از شروع شبیه‌سازی و شکل (d) ۲ حافظه مصرفی را قبل از اتمام شبیه‌سازی نشان می‌دهند. مجدداً حافظه مصرفی در J-SIM حداقل از نظر مرتبه بزرگی، ۲ مرتبه کمتر از ns-2 است. بنابراین

دریافتی و موقعیت فعلی گره‌های حسگر و مقصد را در زمان تولید سیگنال، محاسبه می‌کند. اگر مقدار انرژی سیگنال دریافتی کمتر از حد معینی باشد کنار گذاشته شده و به لایه‌های بالاتر پروتکل حسگر فرستاده نمی‌شود.

۷- عامل حسگر: این عامل در لایه حسگر پیاده‌سازی شده و سیگنال را از لایه فیزیکی دریافت می‌کند؛ سپس مدت و انرژی سیگنال و نسبت سیگنال به نویز و محل گره مقصد را محاسبه کرده و به لایه کاربردی حسگر ارسال می‌کند.

۸- لایه کاربردی حسگر: این لایه داده‌های کاربردی را از عامل حسگر دریافت کرده و دستورات درون شبکه‌ای را پردازش کرده و خلاصه نتایج را از طریق پروتکل بی‌سیم به لایه انتقال می‌فرستد تا بوسیله کانال بی‌سیم به گره یا گره‌های سینک برسد.

۹- عامل بی‌سیم: این عامل، داده‌ها را از لایه کاربردی حسگر دریافت و بسته‌بندی کرده و به لایه پایین‌تر یعنی پروتکل بی‌سیم می‌فرستد.

۱۰- پروتکل بی‌سیم: این پروتکل در J-SIM جدید [4] موجود است و در هر گره حسگر، بصورت سریع و آسان نصب شده و داده‌ها را بین لایه‌ها، انتقال می‌دهد. پروتکل تفکیک آدرس (ARP) و لایه پیوند (LL)، آدرس MAC گره بعدی را که بسته‌های IP باید به آن ارسال شوند را یافته و این بسته‌ها را در لایه پیوند، بسته‌بندی کرده و در صف‌های میانی واسط بی‌سیم، ذخیره می‌کنند. جزئیات بیشتر در مورد نام اجزاء، نام درگاه‌ها، پیغام‌های ردوبدل شده بین اجزاء و قوانین تعریف شده بین درگاه‌ها در [11] قابل دسترسی است.

### ۳- ارزیابی کارایی

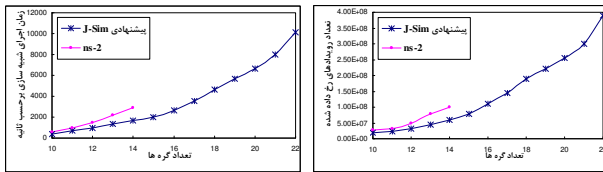
در این بخش ساختار شبیه‌ساز J-SIM پیشنهادی را در دو سناریوی خاص با شبیه‌ساز ns-2، مقایسه و ارزیابی می‌کنیم. ما تاثیر اندازه شبکه را بر زمان اجرای شبیه‌سازی، تعداد وقایع رخ داده شده و حافظه مصرف شده قبل و بعد از شبیه‌سازی، را نشان می‌دهیم. تمام این آزمایشات بر روی یک ماشین با پردازنده AMD Athlon 1.5 GHz و RAM 3.5GB و سیستم عامل Red Hat لینوکس 2.6.6 انجام شده است. هر نقطه در نمودارها بیانگر متوسط ۲۰ بار اجرای شبیه‌سازی است.

### ۳-۱- سناریوی اول: ردیابی گره مقصد

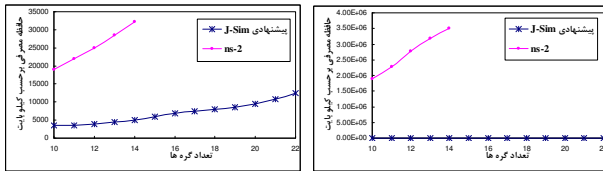
این سناریو شامل یک گره سینک، ۲ گره مقصد و  $n^2-1$  گره حسگر است و اندازه شبکه از ۱۰ گره به ۲۲ گره افزایش می‌یابد. گره سینک در مختصات (۰،۰) واقع شده و گره‌های حسگر بطور یکنواخت در ناحیه‌ای به اندازه  $1500 \times 1500$  مترمربع توزیع شده‌اند. دو گره مقصد، ابتدا در مختصات (۰،۱۵۰۰) و (۰،۱۳۵۰) قرار داده شده‌اند، و بصورت تصادفی با حداکثر سرعت ۱۰ متر بر ثانیه، حرکت کرده و در هر ثانیه

<sup>۱</sup>Address Resolution Protocol

<sup>۲</sup>Link Layer



شکل ۲(a) و ۲(b): مقایسه زمان اجرا و تعداد رویداد رخ داده شده



شکل ۲(c) و ۲(d): حافظه مورد نیاز قبل و پایان از شبیه‌سازی

شکل ۲: ارزیابی کارایی شبکه با اندازه  $n^2+2$  گره و استفاده از پروتکل

## مسیریابی GPSR

## مراجع

- [1] Evaluation of J-Sim. <http://www.jsim.org/comparison.html>.
- [2] Ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [3] J-Sim. <http://www.j-sim.org/>.
- [4] J-Sim wireless extension tutorial. [http://www.jsim.org/v1.3/wireless/wireless\\_tutorial.htm](http://www.jsim.org/v1.3/wireless/wireless_tutorial.htm).
- [5] S. Bajaj, L. Breslau, D. Estrin, K. Fall, S. Floyd, P. Haldar, M. Handley, A. Helmy, J. Heidemann, P. Huang, S. Kumar, S. McCanne, R. Rejaie, P. Sharma, K. Varadhan, Y. Xu, H. Yu, and D. Zappala. Improving simulation for network research. Technical Report 99-702, University of Southern California, 1999.
- [6] J. Cowie, H. Liu, J. Liu, D. Nicol, and A. Ogielski. Towards realistic million-node Internet simulations. In *Proc. of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'99)*.
- [7] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks. In *Proc. of ACM MobiCom'99*.
- [8] B. Karp and H. Kung. Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In *Proc. of ACM MobiCom'00*.
- [9] C. Perkins, E. Royer, and S. Das. Ad hoc on demand distance vector (aodv) routing. IETF Draft, January 2002.
- [10] K. Sarabandi, I. Koh, G. Liang, and H. Bertoni. Propagation modeling for FCS. In *Proc. of IEEE MILCOM'01*.
- [11] A. Sobeih and J. C. Hou. A simulation framework for sensor networks in J-Sim. Technical Report UIUCDCS-R-2003-2386, Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, November 2003.
- [12] H.-Y. Tyan. *Design, Realization and Evaluation of a Component-based Compositional Software Architecture for Network Simulation*. PhD thesis, Department of Electrical Engineering, The Ohio State University, 2002.
- [13] H.-Y. Tyan and J. C. Hou. *JavaSim: A component-based compositional network simulation environment*. In *Proc. of Western Simulation Multiconference, CND'S'01*.

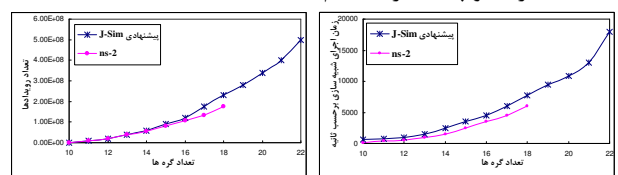
J-SIM برای بیش از ۱۸ گره مصرف حافظه مناسبی داشته و قابلیت مقیاس‌پذیری بیشتری دارد. AODV نیز بدلیل داشتن سر بار مسیریابی بسیار زیاد، مصرف حافظه بسیار بیشتری نسبت به GPSR دارد.

## ۴- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

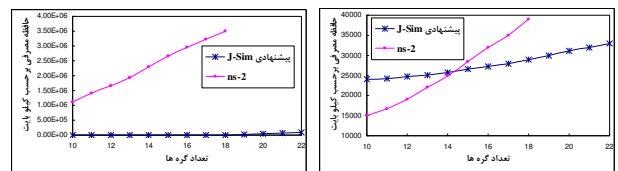
در این مقاله، یک ساختار شبیه‌سازی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم را در محیط J-SIM، تعریف و پیاده‌سازی کردیم. J-SIM یک شبیه‌ساز شبکه‌های حسگر بی‌سیم بوده که مبتنی بر اجزا و بصورت منبع باز است. ساختار پیشنهادی، اجزاء شبکه را بصورت شیء‌گرا تعریف و پیاده‌سازی می‌کند. این اجزاء عبارتند از ۱- گره‌های حسگر، سینک و مقصد ۲- کانال‌های ارتباطی بی‌سیم و حسگر ۳- رسانه‌های فیزیکی همچون کانال لرزه‌ای، مدل سیار و مدل نیرو و اجزاء تولید و مصرف کننده انرژی.

مزیت ساختار پیشنهادی استفاده از معماری اجزا بوده که باعث قابلیت توسعه‌پذیری و افزودن اجزای جدید بصورت زیرکلاس می‌شود. این اجزاء را می‌توان با ساختار شبیه‌سازی پیشنهادی مطابقت داد و براحتی نصب و رفتار آنها را براحتی کنترل و دستکاری کرد. در ساختار شبیه‌سازی پیشنهادی از پروتکل مسیریابی GPSR استفاده کرده که باعث کاهش وقایع رخ داده شده و مصرف حافظه نسبت به شبیه‌ساز ns-2 می‌شود. در نتیجه، ns-2 برای شبکه‌هایی با مقیاس بزرگ اغلب دچار کمبود حافظه شده و نمی‌تواند آنها را شبیه‌سازی کند؛ اما ساختار پیشنهادی در J-SIM قابلیت مقیاس‌پذیری قابل قبولی دارد.

بخشی از کارهای آینده در ساختار پیشنهادی عبارتست از: طراحی مکانیزم تاخیر، طراحی کلاس‌هایی در گره‌های حسگر برای تعامل و همکاری با سایر گره‌ها، تعیین موقعیت گره مقصد؛ و برای انجام بعضی عملیات، نظیر پوشش، شاخص زمانی و مدیریت انرژی، کلاس‌های جدیدی تعریف و پیاده‌سازی کنیم.



شکل ۱(a) و ۱(b): مقایسه زمان اجرا و تعداد رویداد رخ داده شده



شکل ۱(c) و ۱(d): حافظه مورد نیاز قبل و پایان از شبیه‌سازی

شکل ۱: ارزیابی کارایی شبکه با اندازه  $n^2+2$  گره و استفاده از پروتکل

## مسیریابی AODV