

انتخاب رله در شبکه‌های وسیله به وسیله جهت بهبود امنیت ارسال اطلاعات

سونیا نادری^۱ و محمد رضا جوان^۲

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات، دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود
sonia_naderi_90@yahoo.com

^۲ استادیار، گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود
javan@shahroodut.ac.ir

چکیده

شبکه‌های وسیله به وسیله، به عنوان شبکه‌ای که در آن دو کاربر به صورت مستقیم و بدون استفاده از ایستگاه پایه، ارسال اطلاعات می‌کنند توجه زیادی را به خود جلب کرده است. بدلیل ماهیت پخشی شبکه‌های بی‌سیم، برقراری امنیت در این شبکه‌ها چالش‌برانگیز است. از طرفی بدلیل فواصل زیاد فرستنده و گیرنده وجود تداخل بین شبکه‌های سلولی و وسیله به وسیله امکان قطع ارتباطات در شبکه وجود دارد. در این مقاله یک شبکه وسیله به وسیله در حضور شبکه سلولی و یک شنودگر فعال را در نظر می‌گیریم و به منظور کاهش قطع ارتباطات وسیله به وسیله، از چندین رله استفاده و همچنین، طرح انتخاب رله بهینه را پیشنهاد می‌کنیم که بر اساس آن رله‌ای با بیشترین ظرفیت امنیتی در گیرنده وسیله به وسیله انتخاب و احتمالات قطع ارتباط سامانه پیشنهاد می‌شود. نتایج شبیه‌سازی، بیان گر کارایی طرح مشارکتی پیشنهادی و بهبود عملکرد قطع ارتباطات شبکه نسبت به حالت غیر مشارکتی است.

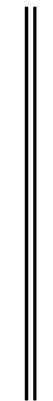
واژگان کلیدی: شبکه‌های وسیله به وسیله، امنیت لایه فیزیکی، رله کدگشا و ارسال، انتخاب رله، احتمال قطع

۱- مقدمه

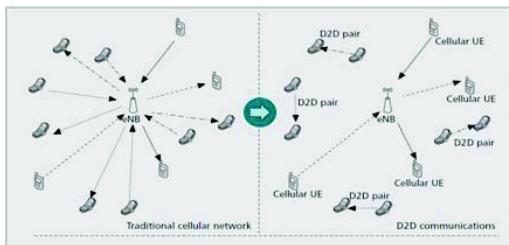
منطقه مربوطه را به مناطق کوچک‌تری به نام سلول^۱ تقسیم‌بندی می‌کنند و فرستنده را در سلول قرار می‌دهند. در شبکه‌های سلولی^۲، هرگونه ارتباط بین کاربرهای شبکه از طریق ایستگاه پایه^۳ انجام می‌شود و دو کاربر نمی‌توانند به صورت مستقیم با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. آمارهای به دست آمده در خلال سال دهه ۲۰۱۰ و پیش‌بینی‌های موجود برای سال‌های بعد از آن، نشان‌دهنده دوبرابر شدن رشد تقاضا در بخش ترافیک داده در هر سال است. به این ترتیب پیش‌بینی می‌شود که تقاضا برای شبکه‌های داده در سال ۲۰۲۰ به حدود هزار برابر

۱-۱- مفاهیم

انتقال اطلاعات بدون رابط سیم و توسط امواج الکترومغناطیسی، ارتباط بی‌سیم^۴ یا مخابرات بی‌سیم نامیده می‌شود. ارتباطات بی‌سیم شاهد رشد روزافزون در دهه اخیر بوده و تقاضای منبع رادیویی به صورت چشم‌گیر افزایش یافته است. سامانه مخابرات بی‌سیم مورد استفاده در یک منطقه جغرافیایی باید به گونه‌ای باشد که از لحاظ مخابراتی تمام منطقه را تحت پوشش قرار دهد و از دید امواج رادیویی هیچ نقطه کوری باقی نماند؛ بنابراین هنگام پیاده‌سازی سامانه مخابراتی در یک منطقه جغرافیایی،



واسطه و به صورت مستقیم با یکدیگر ارتباط برقرار کنند که این عمل موجب بهبود کارایی طیف و افزایش ظرفیت شبکه می‌شود. به همین دلیل، ارتباطات وسیله‌به‌وسیله در سال‌های اخیر سیار مورد توجه قرار گرفته است. [۵،۶]. از آنجایی که کاربران وسیله‌به‌وسیله ارسال اطلاعات را بر روی طیف مشترکی با ارتباطات متداول شبکه سلوی انجام می‌دهند، تداخل متقابل در شبکه ایجاد می‌شود و کیفیت خدمات کاربران شبکه سلوی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین، مدیریت تداخل در ارتباطات وسیله‌به‌وسیله چالش‌برانگیز است. شکل ۱ مدل سامانه‌ای ارتباطات وسیله‌به‌وسیله را نشان می‌دهد.



(شکل ۱): مدل سیستمی ارتباطات وسیله‌به‌وسیله [۶]

به دلیل ماهیت پخشی^۳ شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم، تمام کاربران موجود در ناحیه تحت پوشش شبکه، قادر به کشف سیگنال ارسالی توسط فرستنده‌ها هستند. بنابراین، برقراری امنیت در حضور شنودگر^۴ یکی از مسائل چالش‌برانگیز در شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم است. برقراری امنیت در لایه‌های بالایی شبکه با استفاده از روش‌های رمزنگاری^۵ انجام می‌شود که مقایس بزرگ، پویا و نامتقرک شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم چالش‌های بسیاری را بر این روش‌ها تحمیل کرده است [۷]. یکی از نظریه‌های نویدبخش جهت افزایش امنیت ارسال اطلاعات در مقابل حمله شنودگر، به کارگیری مشخصات لایه فیزیکی کانال بی‌سیم است که امنیت لایه فیزیکی^۶ نامیده می‌شود [۸]. در همین‌واخر مسئله امنیت لایه فیزیکی معرفی شده در [۹] توجه زیادی را به خود جلب کرده که هدف آن بیشینه‌سازی نرخ امنیتی^۷ است. منظور از نرخ امنیتی نرخ قابل دسترس از فرستنده به گیرنده، منهای نرخ شنودشده توسط شنودگر است.

مقدار آن در سال ۲۰۱۰ برسد. همچنین با افزایش تعداد کاربران متحرک، تنوع خدمات و تقاضای کاربران برای بهبود پارامترهای مختلف کیفیت سرویس مانند نرخ داده، تأخیر و پوشش پیش‌بینی می‌شود که علی‌رغم خدمات ممتاز شبکه‌های مخابراتی نسل چهارم، این شبکه‌ها در دهه آینده قابلیت پاسخ‌گویی به این نیازهای روزافزون کاربران را نداشته باشند؛ بنابراین، این عوامل موجب شده است که پژوهش‌گران در اندیشه تکامل شبکه‌های نسل چهارم به سمت شبکه‌های فراتر از نسل چهارم که در اصلاح شبکه‌های نسل پنجم نامیده می‌شوند، باشند.

اگرچه پژوهش‌ها در فناوری نسل پنجم در چند سال اخیر آغاز شده، ولی هنوز تعریف جامع خاصی برای این شبکه‌ها ارائه نشده است. با این وجود، هدف اصلی تمامی پژوهش‌ها در خصوص فناوری‌های این نسل، ارتباط نامحدود اشیا با یکدیگر با ظرفیت ارتباطی نامحدود و کیفیت خدمات بالاست. یک سری ملزمات برای شبکه‌های نسل پنجم تعریف شده است که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: کاهش قابل ملاحظه در تأخیر، افزایش کارایی طیف فرکانسی، پوشش دسترس‌بودن شبکه، افزایش کارایی طیف فرکانسی، پوشش وسیع‌تر و امنیت بیشتر، جهت برآورده‌سازی این الزامات، فناوری‌های زیادی برای بهره‌گیری در شبکه‌های نسل پنجم در حال توسعه هستند که یا شکل تکامل‌یافته‌ای از فناوری‌های مورد استفاده در نسل‌های قبلی هستند و یا فناوری‌های جدیدی هستند که در نسل‌های قبلی مورد استفاده نبوده‌اند. همچنین، بسیاری از فعالیت‌های پژوهشی جاری بر ارائه روش‌های جدید یا بهبودیافته در بخش دسترسی رادیویی و به منظور افزایش کارایی طیف فرکانسی و کاهش تأخیر مرکز هستند که نیازمند ارتباط مستقیم بین دو کاربر نزدیک به هم است. بنابراین، ارتباطات وسیله‌به‌وسیله^۸ به عنوان یکی از فناوری‌های کارآمد در شبکه‌های نسل پنجم مطرح می‌شود [۱۰].

ارتباطات وسیله‌به‌وسیله یکی از تکنیک‌های برقراری ارتباط بین کاربران در شبکه‌های سلوی است که در آن کاربران به صورت زمینه‌ای^۹ در شبکه سلوی ارسال اطلاعات می‌کنند [۱۱]. برخلاف ارتباطات متداول شبکه‌های سلوی که در آن ارتباط بین کاربران تنها از طریق ایستگاه پایه انجام می‌شود، در ارتباطات وسیله‌به‌وسیله دو کاربر می‌توانند بدون

³ Broadcast

⁴ Eavesdropper

⁵ Cryptographic

⁶ Physical layer security

⁷ Secrecy rate

¹ Device to Device communications

² Underlay

رله ارسال می‌شود، در گیرنده چندگانگی^۶ به وجود می‌آید. بنابراین، انتخاب پیوند در گیرنده یکی از مسائل اساسی در ارتباطات مشارکتی با استفاده از رله است. در حالت کلی سه طرح انتخاب پیوند متداول ترکیب حداقل نسبت^۷، ترکیب انتخابی^۸ و ترکیب سوییج و استقرار^۹ وجود دارد که براساس آن‌ها می‌توان نسبت سیگنال به نوافه دریافتی حاصل از دو کانال مستقیم و رله را در گیرنده تعیین کرد [۱۰].

۱-۲- مروری بر پژوهش‌های انجام شده

همان‌طور که اشاره شد، زمانی که فاصله بین فرستنده و گیرنده شبکه زیاد باشد، عملکرد ارتباط مستقیم بین نقاط شبکه تضعیف می‌شود. بنابراین، در این حالت استفاده از ارتباطات مشارکتی پیشنهاد که موجب بهبود عملکرد ارتباطی شبکه می‌شود.

در [۱۵،۱۶]، یک شبکه رادیوشناختی^{۱۰} در نظر گرفته شده است که شبکه نخستین و شبکه دومین دارای تداخل متقابل بر یکدیگر هستند و توان فرستنده‌های شبکه دومین جهت حفظ کیفیت سرویس کاربران شبکه نخستین محدود می‌شود. در [۱۵،۱۶] ارتباط بین کاربران شبکه دومین علاوه بر کانال مستقیم از طریق چندین رله دیدک و ارسال و در [۱۶] از طریق چندین رله تقویت و ارسال انجام می‌شود و انتخاب پیوند در گیرنده شبکه دومین، بر اساس طرح ترکیب بیشینه نسبت انجام می‌گیرد؛ سپس مسئله انتخاب بهترین رله مطرح و احتمالات قطع ارتباط در شبکه محاسبه می‌شود.

نویسنده‌گان در [۱۷،۱۸]، عملکرد ارتباطات مشارکتی در یک شبکه رادیوشناختی را بهترین در حضور یک و چندین گیرنده شبکه نخستین در نظر گرفته‌اند که فرستنده‌های شبکه دومین بر روی گیرنده‌های شبکه نخستین تداخل ایجاد می‌کنند. بنابراین، فرستنده‌های شبکه دومین توان ارسالی‌شان را بر اساس محدودیت تداخل بر شبکه نخستین و بیشینه توان ارسالی‌شان تنظیم می‌کنند. علاوه‌بر کانال مستقیم بین فرستنده و گیرنده، ارتباط مشارکتی در دو حالت چندین رله کدگشایی و ارسال و چندین رله تقویت و ارسال پیشنهاد می‌شود و

در شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم زمانی که فاصله بین فرستنده و گیرنده زیاد باشد، به دلیل اثرات افت مسیر^۱ [۱۰] توان سیگنال ارسالی در طول مسیر تضعیف می‌شود و احتمال قطع ارتباط در شبکه افزایش می‌باید. از طرفی بدلیل وجود محدودیت حداقل توان ارسالی توسعه فرستنده‌ها و وجود تداخل متقابل بین ارتباطات شبکه سلوکی و ارتباطات وسیله‌به‌وسیله، قادر به افزایش توان ارسالی توسعه فرستنده‌های وسیله‌به‌وسیله و جبران افت توان سیگنال ارسالی در طول مسیر نیستیم. ارتباطات مشارکتی^۲ بیان شده در [۱۱] یک روش نویدبخش جهت بهبود عملکرد ارتباطی در شبکه است که در آن ارسال اطلاعات بین فرستنده و گیرنده از طریق رله^۳ پیشنهاد می‌شود. بنابراین به منظور توسعه محدوده ارتباطات وسیله‌به‌وسیله، ارسال اطلاعات به صورت مشارکتی و از طریق رله پیشنهاد می‌شود. ارتباطات مشارکتی به کمک رله که در آن رله سیگنال دریافتی از فرستنده را به گیرنده هدایت می‌کند، قابلیت اطمینان کانال فرستنده تا گیرنده را بهبود می‌بخشد و به دلیل قابلیتش در افزایش ظرفیت و کاهش توان مصرفی توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۱۲]. همچنین ارتباطات مشارکتی موجب افزایش امنیت ارسال اطلاعات در مقابل حمله شنودگر در شبکه می‌شود. بنابراین، رله در بین فرستنده و گیرنده شبکه قرار می‌گیرد و سیگنال دریافتی از فرستنده را به گیرنده هدایت می‌کند. دو نوع متقابل از رله، رله‌های کدگشا و ارسال^۴ و تقویت و ارسال^۵ نام دارند. در رله کدگشا و ارسال، رله سیگنال دریافتی از فرستنده را پس از کدگشایی، دوباره کدگذاری کرده و به گیرنده ارسال می‌کند. در رله تقویت و ارسال، رله پس از دریافت سیگنال از فرستنده، آن را تقویت کرده و به گیرنده ارسال می‌کند. انتخاب بهترین رله جهت ارسال اطلاعات یکی از مسائل اساسی در شبکه‌های بی‌سیم دارای چندین رله است که در [۱۳،۱۴] بررسی شده‌اند.

در ارتباطات وسیله‌به‌وسیله‌ای که علاوه‌بر کانال مستقیم از رله جهت ارسال اطلاعات استفاده می‌شود، به دلیل آنکه اطلاعات یکسانی از طریق کانال مستقیم و کانال

¹ Path loss

² Cooperative communications

³ Relay

⁴ Decode and forward

⁵ Amplify and forward

نویسنده‌گان در [۲۵،۲۴] عملکرد قطع ارتباطات مشارکتی در حضور یک فرستنده، یک گیرنده، چندین رله دیکد و ارسال و یک شنودگر را بدون حضور تداخل در نظر گرفته‌اند و فرستنده و گیرنده شبکه از طریق کانال مستقیم نیز با یکدیگر در ارتباط هستند. در [۲۴] رله‌ای با بیشترین ظرفیت امنیتی جهت ارسال سیگنال انتخاب می‌شود و گیرنده شبکه از طرح انتخاب پیوند ترکیب بیشینه نسبت استفاده می‌کند. در [۲۵] سه طرح انتخاب پیوند ترکیب بیشینه نسبت، ترکیب انتخابی و ترکیب سوییج و استقرار در گیرنده بررسی می‌شود.

در [۲۷،۲۶] ارتباطات مشارکتی در حضور شنودگر در نظر گرفته شده است که در آن ارتباط بین فرستنده و گیرنده از طریق چندین رله کدگشا و ارسال و بدون استفاده از کانال مستقیم برقرار می‌گردد. همچنین فرض می‌شود زمانی که رله سیگنال را به گیرنده ارسال می‌کند، به ترتیب یک و چندین فرستنده دیگر در شبکه حضور دارند و موجب تداخل بر روی گیرنده و شنودگر می‌شوند. در ادامه، دو طرح انتخاب رله بهینه و زیربهینه مطرح و بر اساس آن احتمالات قطع ارتباط در شبکه محاسبه می‌شود.

۱-۳-۱- بیان مسئله

با توجه به مطالعات انجام شده، مسئله انتخاب بهترین رله جهت بهبود امنیت ارسال اطلاعات در حضور شنودگر، در شبکه‌های وسیله‌به‌وسیله‌ای که کاربرهای شبکه علاوه‌بر ارتباط مستقیم دارای ارتباط از طریق رله نیز هستند و همچنین کاربرهای شبکه سلولی و وسیله‌به‌وسیله دارای تداخل متقابل بر هم باشند به صورت تأمین بررسی نشده است. در این مقاله نظریه درنظر گرفته شده انتخاب رله در حضور شنودگر در [۲۳] را در حضور تداخل و در حالتی که ارتباط بین فرستنده و گیرنده شبکه وسیله‌به‌وسیله علاوه‌بر کانال رله از طریق کانال مستقیم نیز امکان‌پذیر است، بررسی می‌کنیم. بنابراین، در این مقاله مسئله امنیت ارسال اطلاعات در حضور شنودگر را در شبکه وسیله‌به‌وسیله‌ای که در آن فرستنده و گیرنده علاوه‌بر ارسال از طریق کانال مستقیم دارای قابلیت ارسال را از طریق رله و همچنین تداخل متقابل با شبکه سلولی هستند به صورت تأمین بررسی و بهترین رله جهت ارسال امن اطلاعات را انتخاب و احتمالات

همچنین انتخاب پیوند در گیرنده، براساس رله‌ای جهت ارسال سیگنال انتخاب می‌شود که دارای بیشترین نسبت سیگنال به نویه از فرستنده به گیرنده باشد و درنهایت احتمالات قطع ارتباط در شبکه محاسبه می‌شود. ماهیت پخشی شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم و قابلیت شنود سیگنال ارسالی توسط تمام کاربران تحت پوشش شبکه، برقراری امنیت لایسه فیزیکی شبکه در حضور شنودگر را به امری چالش‌برانگیز تبدیل کرده است. ارتباطات مشارکتی از طریق رله، موجب بهبود عملکرد امنیتی شبکه در حضور شنودگر می‌شود. به همین دلیل، تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه برقراری ارتباطات مشارکتی در حضور شنودگر انجام شده است.

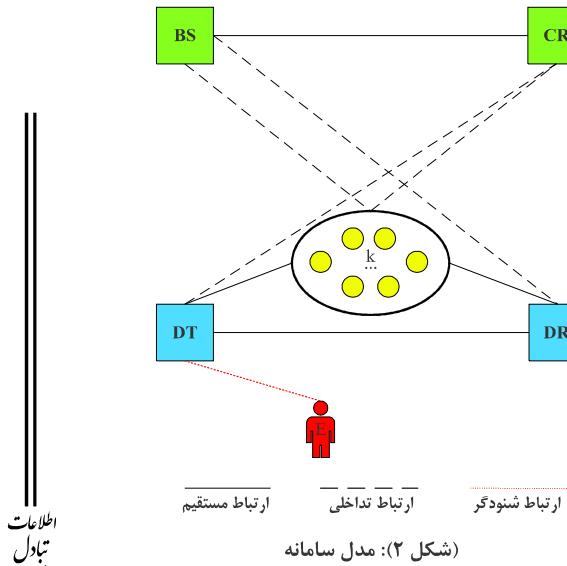
در [۱۹]، نویسنده‌گان ارتباطات مشارکتی شامل فرستنده، گیرنده و یک رله کدگشا و ارسال در حضور شنودگری که قادر به شنود سیگنال ارسالی توسط فرستنده و رله است و بدون هیچ گونه تداخلی را در نظر گرفته‌اند. ارسال اطلاعات بین فرستنده و گیرنده از طریق کانال مستقیم و رله انجام می‌شود که گیرنده از طرح انتخاب پیوند ترکیب بیشینه نسبت استفاده می‌کند و درنهایت احتمالات قطع ارتباط در شبکه محاسبه می‌شود. در [۲۳-۲۰] ارتباطات مشارکتی شامل فرستنده، گیرنده، چندین رله و یک شنودگر بدون حضور کانال مستقیم بین فرستنده و گیرنده و تداخل در نظر گرفته شده و احتمالات قطع ارتباط در سامانه محاسبه می‌شود. در [۲۰] ارتباط بین فرستنده و گیرنده از طریق چندین رله کدگشا و ارسال انجام و انتخاب رله بر اساس دو طرح بهینه^۱ و زیر بهینه^۲ پیشنهاد می‌شود. طرح بهینه اطلاعات لحظه‌ای و طرح زیربهینه اطلاعات متوسط کانال شنودگر را در نظر می‌گیرد. نویسنده‌گان در [۲۱] نیز ارتباط از طریق چندین رله کدگشا و ارسال را در نظر گرفته و سه طرح انتخاب رله را بررسی کرده‌اند. در [۲۲] ارتباط از طریق چندین رله تقویت و ارسال انجام و انتخاب رله توسط دو طرح بهینه و زیر بهینه اجرا می‌شود. همچنین در [۲۳] برقراری ارتباط بین فرستنده و گیرنده در دو حالت چندین رله کدگشایی و ارسال و چندین رله تقویت و ارسال در نظر گرفته شده است.

¹ Optimal

² Suboptimal

۳- مدل سامانه‌ای و پارامترهای مسئله

یک مدل سامانه‌ای را شامل ارتباطات وسیله به وسیله که به صورت زمینه‌ای در شبکه سلولی ارسال اطلاعات می‌کند، در نظر می‌گیریم که به دلیل استفاده از طیف فرکانسی مشترک دارای تداخل متقابل بر یکدیگر هستند. شبکه سلولی شامل ایستگاه پایه و گیرنده شبکه سلولی و ارتباطات وسیله به وسیله شامل فرستنده و گیرنده وسیله به وسیله است. ارسال سیگنال از ایستگاه پایه به گیرنده شبکه سلولی تنها از طریق کانال مستقیم و ارسال سیگنال از فرستنده به گیرنده وسیله به وسیله علاوه بر کانال مستقیم از طریق مجموعه رله‌های $\{1, \dots, k\} = K$ که از نوع کدگشا و ارسال هستند، صورت می‌گیرد و یک شنودگر در ناحیه تحت پوشش شبکه حضور دارد که قادر به شنود سیگنال‌های ارسالی در ارتباطات وسیله به وسیله است. فرض می‌شود به دلیل ساکن بودن فرستنده وسیله به وسیله و پراکنده بودن رله‌ها در شبکه، شنودگر در نزدیکی فرستنده شبکه وسیله به وسیله می‌ایستد و پیام ارسالی توسط فرستنده وسیله به وسیله را شنود می‌کند. همچنین فرض می‌کنیم ایستگاه پایه، گیرنده سلولی، فرستنده و گیرنده وسیله به وسیله را شنود می‌کند. همچنین مجموعه رله‌ها و شنودگر هستند.



(شکل ۲): مدل سامانه

قطع سامانه را محاسبه می‌کنیم. هدف اصلی این مقاله بالا بردن پایداری با فرض سطح مشخصی از امنیت است.

مدل سامانه‌ای پژوهش‌های انجام شده در زمینه موضوع مورد مطالعه و مدل سامانه‌ای پیشنهادی در این مقاله در جدول ۱ دسته‌بندی شده است. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که تاکنون مدل سامانه‌ای که به صورت توأم اثرات تداخل، کانال مستقیم بین فرستنده و گیرنده، رله و مسائل امنیتی در شبکه را در نظر بگیرد به دلیل دشواری‌های محاسباتی بررسی نشده است. بنابراین، در مدل سامانه‌ای بررسی شده در این مقاله این اثرات را به صورت توأم در نظر می‌گیریم و احتمال قطع امنیتی شبکه را به صورت یک عبارت بسته محاسبه می‌کنیم.

ادامه این مقاله بدین ترتیب سازماندهی می‌شود: مدل سامانه‌ای و پارامترهای مسئله در بخش دو تعریف می‌شوند. بخش‌های سه و چهار به ترتیب محاسبه احتمال قطع در شبکه سلولی و وسیله به وسیله را شرح می‌دهند. نتایج شبیه‌سازی در بخش پنج آمده است و بخش آخر نیز نتیجه‌گیری است.

(جدول ۱) : دسته‌بندی و مقایسه تحقیقات انجام شده و مدل

سامانه‌ای پیشنهادی در این مقاله

امنیت	مدل سیستمی				مراجع
	رله	کانال مستقیم	کدگشا و ارسال	تداخل	
-	✓	✓	✓	✓	[۱۵]
-	✓	-	✓	✓	[۱۶]
-	✓	✓	✓	✓	[۱۸, ۱۷]
✓	-	✓	✓	-	[۱۹]
-	-	✓	-	-	[۲۱, ۲۰]
✓	✓	-	-	-	[۲۲]
✓	✓	✓	-	-	[۲۳]
✓	✓	-	✓	-	[۲۴]
✓	-	✓	✓	-	[۲۵]
✓	-	✓	-	✓	[۲۷, ۲۶]
✓	-	✓	✓	✓	مدل سیستمی پیشنهادی

در این بخش در ابتدا پارامترهای کanal و سیگنال‌های دریافتی در گیرنده‌های شبکه‌های سلولی و وسیله‌به‌وسیله را معرفی و سپس با استفاده از این تعاریف، احتمالات قطع ارتباط در شبکه سلولی و شبکه وسیله‌به‌وسیله را در بخش‌های سه و چهار محاسبه می‌کنیم.

۱-۲- پارامترهای کanal

فرض می‌کنیم کانال‌ها مستقل و دارای توزیع یکسان بوده و $h_{a \rightarrow b}$ بیان گر ضریب کانال بین گره‌های $a \in \{BS, DT, r, E\}$ و $b \in \{CR, DR, r, E\}$ است. همچنین، کانال‌ها دارای محوشوندگی رایلی هستند و در این صورت ضرایب کانال‌ها دارای توزیع نمایی با پارامتر $\sigma_{a \rightarrow b}^2$ است [۲۸] که در طول هر قاب ارسال، ثابت می‌مانند و به صورت مستقل از یک قاب به قاب دیگر تغییر می‌کنند. بنابراین می‌توان نوشت:

$$|h_{a \rightarrow b}|^2 = \sigma_{a \rightarrow b}^2 e^{-\sigma_{a \rightarrow b}^2 x}. \quad (2)$$

که در آن $E\{|h_{a \rightarrow b}|^2\}$ بیان گر مقدار مورد انتظار متغیر تصادفی x است.

۲- سیگنال‌های دریافتی

سیگنال‌های دریافتی در شبکه‌های سلولی و وسیله‌به‌وسیله در بازه‌های زمانی نخست و دوم به صورت زیر است:

$$y_{CR}^1 = \sqrt{P_{BS}} h_{BS \rightarrow CR} x_{BS} + \sqrt{P_{DT}} h_{DT \rightarrow CR} x_{DT} + n_{CR}, \quad (3)$$

$$y_{CR}^2 = \sqrt{P_{BS}} h_{BS \rightarrow CR} x_{BS} + \sqrt{P_r} h_{r \rightarrow CR} x_r + n_{CR}, \quad (4)$$

$$y_r^1 = \sqrt{P_{DT}} h_{DT \rightarrow r} x_{DT} + \sqrt{P_{BS}} h_{BS \rightarrow r} x_{BS} + n_r, \quad (5)$$

$$y_{DR}^1 = \sqrt{P_{DT}} h_{DT \rightarrow DR} x_{DT} + \sqrt{P_{BS}} h_{BS \rightarrow DR} x_{BS} + n_{DR}, \quad (6)$$

$$y_{DR}^2 = \sqrt{P_r} h_{r \rightarrow DR} x_r + \sqrt{P_{BS}} h_{BS \rightarrow DR} x_{BS} + n_{DR}. \quad (7)$$

که در آن y_a^i سیگنال دریافتی در گره a در بازه زمانی i^{th} ، P_a توان ارسالی گره a ، x_a سیگنال ارسالی توسط گره a ، n_a نویه دریافتی در گره a و r^* بهترین رله انتخاب شده جهت ارسال سیگنال در بازه زمانی دوم است.

در این مقاله طرح انتخاب رله بهینه پیشنهاد می‌شود که بر اساس آن رله‌ای با بیشترین ظرفیت امنیتی در گیرنده شبکه وسیله‌به‌وسیله جهت ارسال سیگنال انتخاب می‌شود.

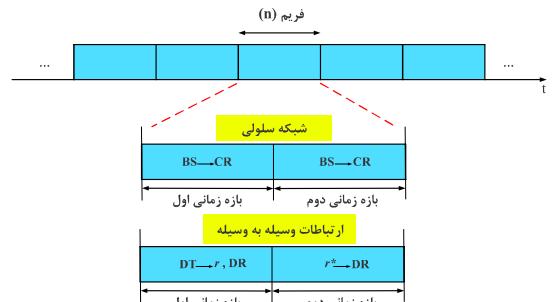
² Decoding set

فرآیند ارسال سیگنال در طرح مشارکتی پیشنهادی در این مقاله در شکل ۳ نشان داده شده است که در آن هر قاب^۱ ارسال سیگنال، به دو بازه زمانی تقسیم می‌شود. در شبکه سلولی، در هر دو بازه زمانی اطلاعات از ایستگاه پایه به گیرنده شبکه سلولی ارسال می‌شود. در ارتباطات وسیله‌به‌وسیله اطلاعات را ارسال و گیرنده وسیله‌به‌وسیله، رله‌ها و شنودگر آن را دریافت می‌کند. از بین تمام رله‌ها رله‌هایی که قادر به کدگشایی کردن سیگنال دریافتی هستند مجموعه کدگشاکنندگان K_D را تشکیل می‌دهند. در این صورت، فضای نمونه تمام مجموعه‌های کدگشاکنندگان ممکن برابر است با:

$$\Omega = \{\emptyset \cup K_D, D = 1, 2, \dots, 2^k - 1\}. \quad (1)$$

که در آن \emptyset بیان گر مجموعه تهی و K_D زیرمجموعه غیر تهی از k رله و به صورت $K_D \subseteq \{1, \dots, k\}$ است. در بازه زمانی دوم، در صورتی که مجموعه کدگشاکنندگان غیر تهی باشد، بر اساس طرح انتخاب رله پیشنهادی در این مقاله بهترین رله از مجموعه کدگشاکنندگان انتخاب و سیگنال دریافتی را ارسال می‌کند که در این حالت گیرنده وسیله‌به‌وسیله آن را دریافت می‌کند.

در این مقاله فرض می‌کنیم فرستنده وسیله‌به‌وسیله در بازه زمانی دوم و در زمان ارسال سیگنال توسط رله‌ها هیچ‌گونه اطلاعاتی را ارسال نمی‌کند [۲۵]. بنابراین، اگر مجموعه کدگشاکنندگان تهی و هیچ رله‌ای قادر به کدگشایی کردن سیگنال ارسالی توسط فرستنده وسیله‌به‌وسیله نباشد، هیچ ارتباطی در بازه زمانی دوم برقرار نمی‌شود و سیگنال دریافتی در گیرنده وسیله‌به‌وسیله در طول دو بازه زمانی ارسال، تنها ناشی از ارسال از طریق کانال مستقیم در بازه زمانی نخست است.



(شکل ۳): فرآیند ارسال سیگنال در طرح مشارکتی پیشنهادی

¹ Frame

(۱۳)

$$P_{DT} \leq \frac{P_{BS}\sigma_{DT-CR}^2}{\sigma_{BS-CR}^2\theta} \left[\frac{1}{1-P_{th}} e^{(\frac{\sigma_{BS-CR}^2 N_0 \theta}{P_{BS}})} - 1 \right],$$

(۱۴)

$$P_r \leq \frac{P_{BS}\sigma_{r-CR}^2}{\sigma_{BS-CR}^2\theta} \left[\frac{1}{1-P_{th}} e^{(\frac{\sigma_{BS-CR}^2 N_0 \theta}{P_{BS}})} - 1 \right].$$

۴- احتمال قطع شبکه وسیله به وسیله

در این مقاله فرض می‌کنیم تمام زیرمجموعه‌های ممکن مجموعه رله‌ها به صورت زیر باشد:

$$K_m \subseteq K, m = 0, 1, \dots, 2^{|K|} - 1, \quad (15)$$

در این صورت احتمال قطع شبکه وسیله به وسیله عبارت است از:

$$P_{outage}^{D2D} = \Pr(K_D = K_0) \Pr(\text{outage} | K_D = K_0) + \sum_{m=1}^{2^{|K|}-1} \Pr(K_D = K_m) \Pr(\text{outage} | K_D = K_m). \quad (16)$$

که در آن K_D بیان‌گر مجموعه رله‌هایی است که سیگنال را کدگشایی می‌کنند و K_0 مجموعه تهی است. در این بخش هر کدام از عبارات موجود در رابطه (۱۶) و درنهایت احتمال قطع ارتباط را در شبکه وسیله به وسیله به صورت یک عبارت بسته محاسبه می‌کنیم.

۴-۱- محاسبه

این احتمال به معنی آن است که مجموعه رله‌هایی که قادر به کدگشایی کردن سیگنال دریافتی از فرستنده وسیله به وسیله هستند، تهی باشد. مجموعه رله‌هایی که سیگنال را کدگشایی می‌کنند، زمانی تهی است که کانال ارتباطی فرستنده شبکه وسیله به وسیله به هریک از رله‌ها قطع شود؛ یعنی:

$$\Pr(K_D = K_0) = \prod_{r=1}^k P_{outage}^{DT-r}, \quad (17)$$

همچنین زمانی ارتباط فرستنده شبکه وسیله به وسیله با رله‌ها قطع خواهد شد که نرخ ارسالی فرستنده شبکه وسیله به وسیله از ظرفیت کانال بین فرستنده شبکه وسیله به وسیله و هر کدام از رله‌ها بیشتر باشد.

۳- احتمال قطع شبکه سلوالی

فرض می‌کنیم در شبکه سلوالی، ایستگاه پایه با نرخ ثابت R_1 اطلاعات را ارسال می‌کند. با توجه به اینکه شنودگر قادر به کشف پیام‌های ارسالی در شبکه سلوالی نیست، ارتباط در شبکه سلوالی زمانی قطع خواهد شد که نرخ ارسال اطلاعات توسط ایستگاه پایه از ظرفیت کانال ایستگاه پایه به گیرنده شبکه سلوالی بیشتر باشد؛ یعنی:

$$P_{outage}^{cellular,i} = \Pr(C_{BS-CR}^i \leq R_1), \quad (8)$$

که در آن $P_{outage}^{cellular,i}$ احتمال قطع شبکه سلوالی در بازه زمانی i ام و C_{BS-CR}^i ظرفیت کانال BS به CR در بازه زمانی i ام است که برابر است با:

$$C_{BS-CR}^1 = \log_2 \left(1 + \frac{P_{BS} |h_{BS-CR}|^2}{N_0 + P_{DT} |h_{DT-CR}|^2} \right), \quad (9)$$

$$C_{BS-CR}^2 = \log_2 \left(1 + \frac{P_{BS} |h_{BS-CR}|^2}{N_0 + P_r |h_{r-CR}|^2} \right), \quad (10)$$

که در آن N_0 بیان‌گر نویفه کانال است.

با جای‌گذاری هر کدام از روابط (۹) و (۱۰) در رابطه (۸) و استفاده از رابطه تابع چگالی احتمال توابع نمایی و محاسبات احتمالاتی [۲۹، ۳۰] روابط زیر حاصل می‌شوند:

$$P_{outage}^{cellular,1} = 1 - \frac{\frac{\sigma_{DT-CR}^2 N_0}{P_{DT}} e^{(-\frac{\sigma_{BS-CR}^2 N_0 \theta}{P_{BS}})}}{\frac{\sigma_{BS-CR}^2 N_0}{P_{BS}} \theta + \frac{\sigma_{DT-CR}^2 N_0}{P_{DT}}} e^{(-\frac{\sigma_{BS-CR}^2 N_0 \theta}{P_{BS}})}, \quad (11)$$

$$P_{outage}^{cellular,2} = 1 - \frac{\frac{\sigma_{r-CR}^2 N_0}{P_r} e^{(-\frac{\sigma_{BS-CR}^2 N_0 \theta}{P_{BS}})}}{\frac{\sigma_{BS-CR}^2 N_0}{P_{BS}} \theta + \frac{\sigma_{r-CR}^2 N_0}{P_r}} e^{(-\frac{\sigma_{BS-CR}^2 N_0 \theta}{P_{BS}})}. \quad (12)$$

که در آن $\theta = 2^{R_1} - 1$ است.

از آنجایی که شبکه‌های سلوالی و وسیله به وسیله تداخل متقابل بر یکدیگر دارند، به منظور حفظ کیفیت خدمات کاربران شبکه سلوالی و برای آنکه احتمال قطع شبکه سلوالی در دو بازه زمانی ارسال از مقدار آستانه P_{th} بیشتر نشود، می‌بایست توان ارسالی توسط فرستنده شبکه وسیله به وسیله و رله‌ها محدود شود. بنابراین با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) داریم:

$$\Pr(\text{outage} | K_D = K_0) = \\ 1 - \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_{DT-DR}(\alpha-1)}}{\alpha} \times \\ \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{1 - \lambda_{DT-E}(\lambda_3 - \lambda_2)}{(\lambda_3 - \lambda_2)^2} \right) \left[e^{(\lambda_{DT-DR} + \lambda_{DT-E})\lambda_3} E_1((\lambda_{DT-DR} + \lambda_{DT-E})\lambda_3) - \right] + \\ \left(\frac{1}{\lambda_3 - \lambda_2} \right) \left[\frac{1}{\lambda_2} - (\lambda_{DT-DR} + \lambda_{DT-E}) e^{(\lambda_{DT-DR} + \lambda_{DT-E})\lambda_2} \right] \\ \end{array} \right\}. \quad (23)$$

که در آن $\lambda_3' = \frac{\lambda_1 + \alpha - 1}{\alpha}$ و $\lambda_2' = \frac{\lambda_{BS-DR}}{\lambda_{DT-DR}}$ است.

۳-۴- محاسبه $\Pr(K_D = K_m)$

در این احتمال، فرض می‌شود مجموعه K_m مجموعه رله‌هایی هستند که سیگنال ارسالی توسط فرستنده شبکه وسیله‌به‌وسیله را کدگشایی می‌کنند. بنابراین به ازای رله‌هایی که در این مجموعه قرار ندارند، ارتباط کانال بین فرستنده شبکه وسیله‌به‌وسیله و آن رله‌ها قطع می‌شود. بنابراین مشابه با محاسبات انجام شده در بخش قبل، این احتمال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Pr(K_D = K_m) = \\ \prod_{r \in K_m} \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_{DT-r}(\alpha-1)}}{\alpha} \right) \times \\ \left(\frac{1 - \lambda_{DT-E}(\lambda_3 - \lambda_2)}{(\lambda_3 - \lambda_2)^2} \right) \left[e^{(\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E})\lambda_3} E_1((\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E})\lambda_3) - \right] + \\ \left(\frac{1}{\lambda_3 - \lambda_2} \right) \left[\frac{1}{\lambda_2} - (\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E}) e^{(\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E})\lambda_2} \right] \\ \end{array} \right\} \\ \prod_{r \in K_m^c} \left\{ \begin{array}{l} \left(1 - \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_{DT-r}(\alpha-1)}}{\alpha} \right) \times \\ \left(\frac{1 - \lambda_{DT-E}(\lambda_3 - \lambda_2)}{(\lambda_3 - \lambda_2)^2} \right) \left[e^{(\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E})\lambda_3} E_1((\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E})\lambda_3) - \right] + \\ \left(\frac{1}{\lambda_3 - \lambda_2} \right) \left[\frac{1}{\lambda_2} - (\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E}) e^{(\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E})\lambda_2} \right] \\ \end{array} \right\}. \quad (24)$$

۴-۴- محاسبه $\Pr(\text{outage} | K_D = K_m)$

محاسبه این احتمال به طرح انتخاب رله سنتگی دارد. در این مقاله طرح انتخاب رله بهینه پیشنهاد می‌شود. بر اساس طرح انتخاب رله بهینه پیشنهادی در این مقاله، رله‌ای جهت ارسال سیگنال به گیرنده شبکه وسیله‌به‌وسیله انتخاب می‌شود که دارای بیشترین ظرفیت امنیتی در گیرنده شبکه وسیله‌به‌وسیله باشد.

با توجه به اینکه در مدل سامانه‌ای پیشنهادی در این مقاله شنودگر، پیام ارسالی توسط فرستنده شبکه وسیله‌به‌وسیله را شنود می‌کند، جهت محاسبه احتمال قطع از مفهوم ظرفیت امنیتی کانال استفاده می‌کنیم. همان‌طور که در بخش مقدمه اشاره شد، ظرفیت امنیتی برابر با ظرفیت کانال اصلی شبکه منهای ظرفیت کانال شنودگر است. بنابراین داریم:

$$P_{\text{outage}}^{DT-r} = \Pr[C_{S_{DT-r}} < R_2], \quad (18)$$

که در آن R_2 نرخ ارسالی فرستنده شبکه وسیله‌به‌وسیله و $C_{S_{DT-r}}$ ظرفیت امنیتی کانال DT به r است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{S_{DT-r}} = C_{DT-r} - C_{DT-E}, \quad (19)$$

$$C_{DT-r} = \frac{1}{2} \log_2 (1 + \frac{P_{DT} |h_{DT-r}|^2}{N_0 + P_{BS} |h_{BS-r}|^2}), \quad (20)$$

$$C_{DT-E} = \frac{1}{2} \log_2 (1 + \frac{P_{DT} |h_{DT-E}|^2}{N_0 + P_{BS} |h_{BS-E}|^2}), \quad (21)$$

با استفاده از روابط بالا و به کارگیری روابط احتمالاتی، رابطه (17) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Pr(K_D = K_0) = \\ \left\{ \begin{array}{l} \left(1 - \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_{DT-r}(\alpha-1)}}{\alpha} \right) \times \\ \left(\frac{1 - \lambda_{DT-E}(\lambda_3 - \lambda_2)}{(\lambda_3 - \lambda_2)^2} \right) \left[e^{(\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E})\lambda_3} E_1((\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E})\lambda_3) - \right] + \\ \left(\frac{1}{\lambda_3 - \lambda_2} \right) \left[\frac{1}{\lambda_2} - (\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E}) e^{(\lambda_{DT-r} + \lambda_{DT-E})\lambda_2} \right] \\ \end{array} \right\}. \quad (22)$$

که در آن $\lambda_2 = \frac{\lambda_{BS-E}}{\lambda_{DT-E}}$ ، $\lambda_1 = \frac{\lambda_{BS-r}}{\lambda_{DT-r}}$ ، $\lambda_{a-b} = \frac{N_0 \sigma_{a-b}^2}{P_a}$ است. $\alpha = 2^{2R_2}$ و $\lambda_3 = \frac{\lambda_1 + \alpha - 1}{\alpha}$

۴-۵- محاسبه $\Pr(\text{outage} | K_D = K_0)$

قطع ارتباط کانال در صورتی که مجموعه رله‌ای کدگشاینده سیگنال تهی باشد، زمانی رخ می‌دهد که ارتباط فرستنده شبکه وسیله‌به‌وسیله با تمامی رله‌ها و همچنین کانال مستقیم بین فرستنده و گیرنده شبکه وسیله‌به‌وسیله قطع شود.

مشابه محاسبات انجام شده در بخش قبل، این احتمال

قطع به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Gamma_2 = \left(\frac{\lambda_3^* \lambda_2 (1 - \lambda_{DT-E} (\lambda_4^* - \lambda_2))}{(\lambda_4^* - \lambda_2)^2} \right) \times \\ \left[e^{(\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)\lambda_2^*} E_1 (\lambda_2^* (\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)) - \right]_+ \\ + \left[e^{(\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)\lambda_2^*} E_1 (\lambda_2 (\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)) \right] \\ \left(\frac{\lambda_1^* \lambda_2}{\lambda_4^* - \lambda_2} \right) \times \left[\frac{1}{\lambda_2} - (\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha) e^{(\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)\lambda_2^*} \right] \\ E_1 (\lambda_2 (\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)) \quad (31)$$

که در آن داریم:

$$\lambda_1^* = \frac{\lambda_{DT-DR} \lambda_{BS-DR} e^{-\lambda_{r-DR}(\alpha-1)}}{\lambda_{r-DR} \alpha (\lambda_{r-DR} - \lambda_{DT-DR})},$$

$$\lambda_2^* = \frac{\lambda_{BS-DR} + (\alpha-1)\lambda_{r-DR}}{\lambda_{r-DR} \alpha},$$

$$\lambda_3^* = \frac{\lambda_{r-DR} \lambda_{BS-DR} e^{-\lambda_{DT-DR}(\alpha-1)}}{\lambda_{DT-DR} \alpha (\lambda_{DT-DR} - \lambda_{r-DR})},$$

$$\lambda_4^* = \frac{\lambda_{BS-DR} + (\alpha-1)\lambda_{DT-DR}}{\lambda_{DT-DR} \alpha}.$$

بنابراین با جایگذاری روابط محاسبه شده در بخش های (۱-۴)، (۲-۴)، (۳-۴) و (۴-۴) در رابطه (۱۶)، احتمال قطع شبکه وسیله به وسیله در طرح مشارکتی پیشنهادی به صورت یک عبارت بسته محاسبه می شود.

۵- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش با استفاده از دو شبیه‌سازی، احتمال قطع ارتباط شبکه در ارسال از طریق کانال مستقیم بین فرستنده و گیرنده شبکه وسیله به وسیله و طرح مشارکتی پیشنهادی را مقایسه و همچنین اثر افزایش تعداد رله‌ها بر عملکرد قطع شبکه را بررسی می کنیم.

شبیه‌سازی یک: در این آزمایش احتمال قطع ارتباط شبکه در حالت ارسال اطلاعات تنها از طریق کانال مستقیم بین فرستنده و گیرنده شبکه وسیله به وسیله و ارسال اطلاعات با استفاده از رله در طرح مشارکتی پیشنهادی را به ازای تعداد رله‌های مختلف، بر حسب نسبت توان ارسالی ایستگاه پایه به نوونه کانال بررسی می کنیم.

نتایج شبیه‌سازی در شکل ۴ نشان داده شده است که

در آن پارامترهای شبکه به صورت زیر تنظیم شده‌اند:

همچنین سیگنال دریافتی در گیرنده شبکه وسیله به وسیله، بر اساس طرح انتخاب پیوند ترکیب بیشینه نسبت برابر با مجموع سیگنال دریافتی کانال مستقیم در بازه زمانی نخست و سیگنال دریافتی از رله انتخاب شده در بازه زمانی دوم است.

بر اساس طرح پیشنهادی، قطع ارتباط کانال درصورتی که K_m مجموعه رله‌های کدگشائیده پیام باشد زمانی رخ می‌دهد که نرخ ارسال رله انتخاب شده براساس طرح انتخاب رله بهینه، از ظرفیت امنیتی کانال بیشتر باشد. بنابراین داریم:

$$\Pr(\text{outage} | K_D = K_m) = \Pr[\max_{r \in K_m} C_{S_{DR}} < R_2] \\ = \prod_{r=1}^{|K_m|} \Pr[C_{S_{DR}} < R_2], \quad (35)$$

که در آن ظرفیت امنیتی در \mathbf{DR} است و برابر است با:

$$C_{S_{DR}} = C_{S_{DT-DR}} - C_{S_{DT-E}}, \quad (36)$$

$$C_{S_{DT-DR}} = \frac{1}{2} \log_2 (1 + \frac{P_{DT} |h_{DT-DR}|^2 + P_r |h_{r-DR}|^2}{N_0 + P_{BS} |h_{BS-DR}|^2}), \quad (37)$$

$$C_{S_{DT-E}} = \frac{1}{2} \log_2 (1 + \frac{P_{DT} |h_{DT-E}|^2}{N_0 + P_{BS} |h_{BS-E}|^2}), \quad (38)$$

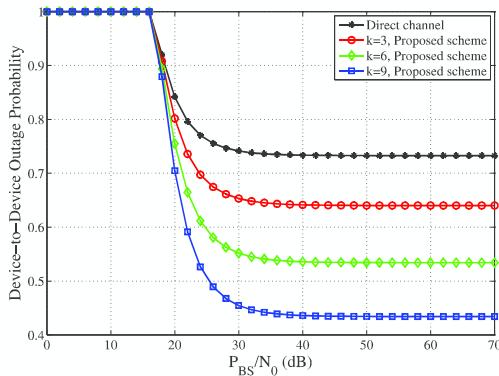
با جایگذاری روابط بالا در رابطه (۲۴) و استفاده از محاسبات احتمالاتی روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\Pr(\text{outage} | K_D = K_m) = \prod_{r=1}^{|K_m|} (1 + \Gamma_1 + \Gamma_2), \quad (39)$$

$$\Gamma_1 = \left(\frac{\lambda_1^* \lambda_2 (1 - \lambda_{DT-E} (\lambda_2^* - \lambda_2))}{(\lambda_2^* - \lambda_2)^2} \right) \times \\ \left[e^{(\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)\lambda_2^*} E_1 (\lambda_2^* (\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)) - \right]_+ \\ + \left[e^{(\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)\lambda_2^*} E_1 (\lambda_2 (\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)) \right] \\ \left(\frac{\lambda_1^* \lambda_2}{\lambda_2^* - \lambda_2} \right) \times \left[\frac{1}{\lambda_2} - (\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha) e^{(\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)\lambda_2^*} \right] \\ E_1 (\lambda_2 (\lambda_{DT-E} + \lambda_{r-DR}\alpha)) \quad (30)$$

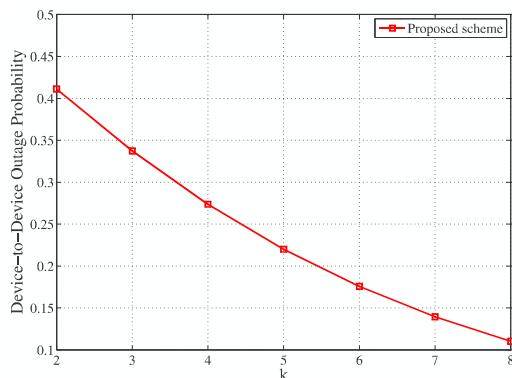
$$\begin{aligned}\sigma_{BS-CR}^2 &= \sigma_{DT-DR}^2 = \sigma_{r-DR}^2 = \sigma_{DT-r}^2 = 1, \\ \sigma_{BS-r}^2 &= 8, \sigma_{BS-E}^2 = \sigma_{DT-E}^2 = 10, \\ \sigma_{BS-DR}^2 &= \sigma_{r-E}^2 = 12, \sigma_{DT-CR}^2 = 40, \sigma_{r-CR}^2 = 60, \\ P_{BS} &= 60\text{dB}, P_{thr} = 0.05, R_1 = R_2 = 1.5\text{bps/Hz}, \\ N_0 &\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{BS-CR}^2 &= \sigma_{DT-DR}^2 = \sigma_{r-DR}^2 = \sigma_{DT-r}^2 = 1, \\ \sigma_{BS-r}^2 &= \sigma_{r-CR}^2 = 8, \sigma_{BS-E}^2 = \sigma_{DT-E}^2 = 10, \\ \sigma_{BS-DR}^2 &= \sigma_{DT-CR}^2 = \sigma_{r-E}^2 = 12, \\ P_{thr} &= 0.05, R_1 = R_2 = 1.5\text{bps/Hz}.\end{aligned}$$



(شکل ۴): احتمال قطع ارتباط شبکه وسیله‌به‌وسیله بر حسب نسبت توان ایستگاه پایه به نوافه کانال در ارسال از طریق کانال مستقیم و طرح پیشنهادی به‌ازای تعداد رله‌های $k=3,6,9$

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌کنید، با افزایش تعداد رله‌ها، عملکرد قطع ارتباط شبکه در طرح مشارکتی پیشنهادی و امنیت ارسال اطلاعات در حضور شنودگر بهبود می‌یابد.



(شکل ۵): احتمال قطع شبکه وسیله‌به‌وسیله بر حسب تعداد رله‌ها در طرح پیشنهادی

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک شبکه وسیله‌به‌وسیله در حضور شبکه سلولی که دارای تداخل متقابل بر یکدیگر هستند و یک شنودگر فعال که قادر به شنود پیام ارسالی توسط فرستنده شبکه وسیله‌به‌وسیله است، در نظر گرفته شده است که با

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش نسبت توان ارسالی ایستگاه پایه به نوافه کانال، احتمال قطع ارتباط شبکه در حالت غیرمشارکتی و طرح مشارکتی پیشنهادی کاهش می‌یابد. این امر بدين دليل است که با توجه به روابط محدودیت توان (۱۳) و (۱۴)، با افزایش توان ارسالی ایستگاه پایه فرستنده شبکه وسیله‌به‌وسیله و رله‌ها می‌توانند سیگنال‌های خود را با توان بیشتری ارسال کنند و درنتیجه احتمال قطع ارتباط شبکه در هردو حالت غیرمشارکتی و مشارکتی کاهش می‌یابد.

با توجه به نتایج شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که یک نقطه سد برای نسبت سیگنال به نوافه ارسالی ایستگاه پایه وجود دارد که اگر نسبت سیگنال به نوافه ارسالی ایستگاه پایه از مقدار سد کمتر باشد (یعنی $\gamma_{cutoff} = 16\text{dB}$)، احتمال قطع ارتباطات در شبکه وسیله‌به‌وسیله مساوی با یک است و هیچ‌گونه ارسال اطلاعاتی در ارتباطات وسیله‌به‌وسیله انجام نمی‌گردد.

همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که احتمال قطع ارتباط شبکه در طرح مشارکتی پیشنهادی نسبت به حالت ارتباط غیرمشارکتی و بدون استفاده از رله کاهش یافته است و بنابراین با استفاده از طرح مشارکتی پیشنهادی، امنیت ارسال اطلاعات شبکه در حضور شنودگر بهبود می‌یابد. به علاوه، با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش تعداد رله‌ها در طرح مشارکتی پیشنهادی، احتمال قطع ارتباط شبکه کاهش می‌یابد.

شبیه‌سازی دو: در این آزمایش احتمال قطع ارتباط شبکه را در طرح مشارکتی پیشنهادی بر حسب تعداد رله‌های مختلف بررسی می‌کنیم.

نتایج شبیه‌سازی در شکل ۵ نشان داده شده است که در آن پارامترهای شبکه به صورت زیر تنظیم شده‌اند:

- IEEE Signal Processing Letters, vol. 21, no. 5, pp. 531-534, May 2014.
- [6] P. Phunchongharn, E. Hossain, and D. I. Kim, "Resource allocation for device-to-device communications underlaying LTE-advanced networks," IEEE Wireless Communications, vol. 20, no. 4, pp. 91-100, August 2013.
- [7] Y. Sun, W. Trappe, and K. J. R. Liu, Network-aware Security for Group Communications, Springer, 2007.
- [8] Y. Liang, H. V. Poor, and L. Ying, "Wireless broadcast networks: reliability, security, and stability," in IEEE Information Theory and Applications Workshop, February 2008, pp. 249-255.
- [9] A. D. Wyner , "The wire-tap channel," Bell Syst. Tech. J., Vol. 54, No. 8, pp. 1355-1387, 1975.
- [10] A. Goldsmith, Wireless Communications, 1st ed. Cambridge University Press, 2005.
- [11] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, December 2004.
- [12] M. Dohler and Y. Li, Cooperative Communications: Hardware, Channel and PHY. Hoboken, Wiley Publishing, 2010.
- [13] A. Bletsas , H. Shin , M. Z. Win, "Cooperative Communication with Outage-Optimal Opportunistic Relaying," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 6, No. 9, pp. 3450-3460, 2007.
- [14] B. Maham, , A. Behnad, , M. Debbah, , "Analysis of Outage Probability and Throughput for Half-Duplex Hybrid-ARQ Relay Channels," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 61, No. 7, pp. 3061-3070, 2012.
- [15] Y. Zou, J. Zhu, B. Zheng, and Y. D. Yao, "An adaptive cooperation diversity scheme with best-relay selection in cognitive radio networks," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 58, no. 10, pp. 5438-5445, October 2010.
- [16] S. Majhi, S. S. Kalamkar, and A. Banerjee, "Secondary outage analysis of amplify-and-forward cognitive relays with direct link and primary interference," in Twenty First National Conference on Communications (NCC), 2015, pp. 1-6.
- [17] F. R. V. Guimares, D. B. d. Costa, T. A. Tsiftsis, C. C. Cavalcante, and G. K. Karagiannidis, "Multiuser and multirelay cognitive radio networks under spectrum-sharing constraints," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 63, no. 1, pp. 433-439, January 2014.
- [18] F. R. V. Guimares, D. B. d. Costa, M. Benjillali, T. A. Tsiftsis, and G. K. Karagiannidis, "Cooperative spectrum sharing systems with relay selection in the presence of multiple primary receivers," IET Communications, vol. 8, no. 4, pp. 546-553, 2014.
- [19] G. Brante, H. Alves, R. D. Souza, and M. L. aho, "Secrecy analysis of transmit antenna selection

توجه به مزوری بر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه موضوع این مقاله، تاکنون چنین مدل سامانه‌ای بررسی نشده است.

جهت حفظ کیفیت خدمات کاربران شبکه سلولی در مقابل تداخل ناشی از ارتباطات وسیله‌به‌وسیله، توان ارسالی توسط فرستنده شبکه وسیله‌به‌وسیله و رله‌ها را محدود کردیم. همچنین بهمنظور گسترش ارتباطات در شبکه، علاوه بر کانال مستقیم بین فرستنده و گیرنده شبکه وسیله‌به‌وسیله، ارسال اطلاعات از طریق رله را نیز در نظر گرفتیم و انتخاب رله بر اساس طرح بهینه را پیشنهاد کردیم. در طرح پیشنهادی، رله‌ای جهت ارسال اطلاعات به گیرنده شبکه وسیله‌به‌وسیله انتخاب شده است که دارای بیشترین ظرفیت امنیتی در گیرنده شبکه وسیله‌به‌وسیله باشد؛ بنابراین بر اساس این طرح، امنیت شبکه در حضور شنودگر بهبود و احتمالات قطع ارتباط در شبکه کاهش می‌یابد. در پایان، عملکرد قطع امنیتی را در شبکه وسیله‌به‌وسیله در حالت غیر مشارکتی و حالت مشارکتی با استفاده از طرح انتخاب رله پیشنهادی بر حسب تغییرات پارامترهای گوناگون شبکه شبیه‌سازی کردیم که نتایج شبیه‌سازی بیان گر بهبود عملکرد قطع امنیتی در ارتباطات وسیله‌به‌وسیله با استفاده از طرح مشارکتی پیشنهادی و افزایش امنیت شبکه در حضور شنودگر است.

۷- مراجع

- [1] M. N. Tehrani, M. Uysal, and H. Yanikomeroglu, "Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 86-92, May 2014.
- [2] J. Qiao, X. Shen, J. W. Mark, Q. Shen, Y. He, and L. Lei, "Enabling device-to-device communications in millimeter-wave 5G cellular networks," IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 1, pp. 209-215, January 2015.
- [3] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. B. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks," IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, December 2009.
- [4] D. Feng, L. Lu, Y. Yuan-Wu, G. Li, G. Feng, and S. Li, "Device-to-device communications underlaying cellular networks," IEEE Transactions on Communications, vol. 61, no. 8, pp. 3541-3551, August 2013.
- [5] D. Zhu, J. Wang, A. Swindlehurst, and C. Zhao, "Downlink resource reuse for device-to-device communications underlaying cellular networks,"



سoroush nadri مقطع کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک و در سال ۱۳۹۴ نیز تحصیلات کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات سیستم در دانشگاه صنعتی شاهroud اخذ کرده و در هر دو مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد با درجه شاگرد اولی فارغ التحصیل شده است. پایان نامه کارشناسی ارشد او، با عنوان "انتخاب رله در ارتباطات وسیله به وسیله جهت بهبود امنیت ارسال اطلاعات"، تحت راهنمایی آقای دکتر محمدرضا جوان، با نمره ۲۰ و درجه عالی دفاع و تاکنون چندین مقاله از ایشان در زمینه امنیت شبکه های مخابراتی بی سیم در کنفرانس ها و همایش ها، ارائه شده است. از زمینه های پژوهشی مورد علاقه او می توان به شبکه های رادیوشناختی، ارتباطات مشارکتی و امنیت در شبکه های مخابراتی بی سیم اشاره کرد.



محمد رضا جوان، درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته برق گرایش الکترونیک بهتر ترتیب از دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه صنعتی شریف دریافت و همچنین درجه دکترای خود را در رشته برق گرایش مخابرات سیستم از دانشگاه تربیت مدرس اخذ کرد. ایشان هم اکنون استادیار دانشکده برق و ریاضیک دانشگاه صنعتی شاهroud است. از جمله زمینه های پژوهشی وی مخابرات مولکولی، شبکه های رادیوشناختی، ارتباطات مشارکتی، امنیت در شبکه های مخابراتی بی سیم، روش های بهینه سازی و نظریه بازی ها است.

cooperative schemes with no channel state information at the transmitter," IEEE Transactions on Communications, vol. 63, no. 4, pp. 1330-1342, April 2015.

- [20] I. Krikidis, "Opportunistic relay selection for cooperative networks with secrecy constraints," IET Communications, vol. 4, no. 15, pp. 1787-1791, October 2010.
- [21] V. N. Q. Bao, N. Linh-Trung, and M. e. Debbah, "Relay selection schemes for dual-hop networks under security constraints with multiple eavesdroppers," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 12, no. 12, pp. 6076-6085, December 2013.
- [22] S. Yan, M. Peng, W. Wang, L. Dong, and M. Ahmed, "Relay self-selection for secure cooperative in amplify-and-forward networks," in 7th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM), August 2012, pp. 581-585.
- [23] Y. Zou, X. Wang, and W. Shen, "Optimal relay selection for physical-layer security in cooperative wireless networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 31, no. 10, pp. 2099-2111, October 2013.
- [24] M. Ju, K. S. Hwang, and M. S. Alouini, "Relay selection of nonregenerative secure relay networks," in IEEE International Conference on Communications (ICC), Jun 2014, pp. 5018 - 5022.
- [25] F. S. Al-Qahtani, C. Zhong, and H. Alnuweiri, "Opportunistic relay selection for secrecy enhancement in cooperative networks," IEEE Transactions on Communications, vol. 63, no. 5, pp. 1756-1770, May 2015.
- [26] T. T. Duy and V. N. Q. Bao, "Relay selection for secured communication in interference-limited networks," in The first NAFOSTED Conference on Information and Computer Science, 2015.
- [27] T. T. Duy, T. Q. Duong, T. L. Thanh, and V. N. Q. Bao, "Secrecy performance analysis with relay selection methods under impact of co-channel interference," IET Communications, vol. 9, no. 11, pp. 1427-1435, 2015.
- [28] D. S. Michalopoulos and G. K. Karagiannidis, "Distributed switch-and-stay combining (DSSC) with a single decode-and-forward relay," IEEE Communications Letters, vol. 11, no. 5, pp. 408-410, May 2007.
- [29] A. Papoulis , Probability, random variables and stochastic processes, McGraw-Hill, Inc, 1991.
- [30] I. S. Gradshteyn, I. M. Ryzhik, , Table of integrals, series and products, Academic Press, 2000.