

## تداخل چندسلولی در شبکه‌های چندرله در حضور کانال‌های محوشدگی ناکامی

احسان سلیمانی‌نسب<sup>۱</sup>، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته - کرمان - ایران - ehsan.soleimani@kgut.ac.ir

**چکیده:** در این مقاله، سه پروتکل انتخاب رله برای شبکه‌های چندسلولی با چندین رله کدگشائی و ارسال که توسط چندین تداخلگر در گره‌های رله و مقصد مورد هدف قرار گرفته‌اند، پیشنهاد و تحلیل می‌شود. سه پروتکل زیر بررسی می‌شود: (۱) بهترین-بدترین فرصت‌طلبانه (OBW) که در آن مقصد بهترین سیگنال بین ارسال‌های از طریق رله و مستقیم را انتخاب می‌کند. (۲) ترکیبگر لینک مستقیم بهترین-بدترین (BWDC) که در آن مقصد ارسال‌های مستقیم و از طریق رله را با استفاده از ترکیبگر حداکثر نسبت ترکیب می‌کند. و (۳) بهترین-بدترین فرصت‌طلبانه هیبرید (HOBW) که در آن مقصد تنها در صورتی ارسال از طریق رله را انتخاب می‌کند که ارسال مستقیم در حالت قطعی باشد. برای هر کدام از این حالات، روابط به فرم بسته برای احتمال قطع روی کانال‌های محوشدگی ناکامی مستقل و ناهمسان (i.n.i.d.) بدست می‌آید. سپس مفاهیم طراحی جدیدی برای احتمال قطع در محیط‌های پرتداخل بدست می‌آید. در مقایسه با OBW، BWDC و HOBW گیرنده با پیچیدگی کمتر را پیشنهاد می‌دهند. همچنین، OBW و HOBW به احتمال قطع کمتری نسبت به BWDC در محیط‌های پرتداخل دست می‌یابند.

**واژه‌های کلیدی:** کانال تداخل، کدگشائی و ارسال، رله‌کردن فرصت‌طلبانه، احتمال قطع، محوشدگی ناکامی.

## Multi-cell Interference in Multi-Relay Networks with Nakagami- $m$ Fading Channels

E. Soleimani Nasab<sup>1</sup>, Assistant Professor

1- Department of Electrical and Computer Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran,  
Email: ehsan.soleimani@kgut.ac.ir

**Abstract:** In this paper, three relay selection protocols for multi-cell networks with multiple decode-and-forward relays targeted by multiple interferers at the relay and the destination are proposed and analyzed. The following three protocols are considered: 1) opportunistic best-worst (OBW) where the destination selects the best signal between the direct and the relayed transmissions, 2) best-worst direct link combiner (BWDC) where the destination combines the direct and the relayed transmissions using maximum ratio combining, and 3) hybrid opportunistic best-worst (HOBW) where the destination only selects the relayed transmission when the direct transmission is in outage. For each of these, new closed-form expressions for the outage probability over independent non-identically distributed (i.n.i.d.) Nakagami- $m$  fading channels are derived. New design insights into the outage probability in the high interference regime are obtained. Compared to BWDC, OBW and HOBW offer a lower complexity receiver. Further, we show that OBW and HOBW achieve a lower outage probability relative to BWDC in the high interference regime.

**Keywords:** Interference channel, Decode-and-forward, Opportunistic relaying, Outage probability, Nakagami- $m$  fading.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۳۰

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۲

نام نویسنده مسئول: احسان سلیمانی‌نسب

نشانی نویسنده مسئول: ایران - کرمان - انتهای اتوبان هفت باغ علوی - دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

## ۱- مقدمه

چند رله در حضور کانال محوشدگی رابلی و CCI در گره‌های رله و مقصد بررسی کردند. آن‌ها پروتکل DF را بررسی کردند که مسیر مستقیم بین گره‌های مبدأ و مقصد نیز در نظر گرفته نشده بود و رله ای که سیگنال مبدأ را با بکارگیری بهترین کانال رله-مقصد با موفقیت کدگشائی می‌کرد انتخاب می‌شد.

در [۲۲-۱۵] نیز مولفان روش‌های مختلف انتخاب رله را در حضور پروتکل‌های مختلف و سنجه‌های مختلف و کانال‌های محوشدگی مختلف بررسی کردند و روابطی را به فرم بسته ارائه دادند. در [۱۵] روش‌های انتخاب رله با ارتباطات دستگاه به دستگاه در یک شبکه سلولی نسل چهارم به منظور بیشینه‌کردن نرخ ارسال و کمینه‌کردن تاخیر دریافت اطلاعات بررسی شد. در [۱۶] روش انتخاب رله فرصت‌طلبانه بررسی شده که در آن فرض شده که اطلاعات حالت کانال به صورت دقیق وجود ندارد بلکه این اطلاعات در گیرنده تخمین زده شده و به صورت فیدبک در اختیار فرستنده قرار گرفته‌است. در [۱۷] مولفان احتمال قطع سیستم رله DF را با فرض منقضی شدن اطلاعات حالت روی کانال‌های محوشدگی رابلی بررسی کردند. در [۱۸] تحلیل عملکرد مجانبی گذردهی متوسط سیستم با روش‌های انتخاب رله روی کانال‌های محوشدگی بیسیم با کمک آمارگان ترتیبی انجام شده است. در [۱۹] مولفان مخابرات مشارکتی از نوع کدینگ شبکه را بکار برده و در یک شبکه دوپرسی چندکاربره با انتخاب رله، احتمال خطای سیستم را محاسبه کرده‌اند. در [۲۰] احتمال قطع و بهره چندگانگی یک شبکه دوپرسی چندکاربره با کمک روش‌های انتخاب رله تعمیم‌یافته بررسی شده است. در [۲۱]، روش‌های انتخاب رله به تعداد دلخواه روی کانال‌های محوشدگی مستقل و ناهمسان رابلی بررسی و مرتبه چندگانگی سیستم بدست آمده است. در [۲۲] مسئله انتخاب رله توزیع‌شده در شبکه‌های مشارکتی بیسیم به کمک تئوری بازی‌ها بررسی و حل شده است.

با شناخت کافی از محدودیت‌های کارهای قبلی، در این مقاله سه پروتکل انتخاب رله برای شبکه‌های چندسلولی با حضور مسیر مستقیم با چندین رله کدگشائی و ارسال که توسط چندین تداخلگر در گره‌های رله و مقصد مورد هدف قرار گرفته‌اند، پیشنهاد و تحلیل می‌شود. سه پروتکل زیر بررسی می‌شود: (۱) بهترین-بدترین فرصت‌طلبانه (OBW) که در آن مقصد، بهترین سیگنال بین ارسال‌های از طریق رله و مستقیم را انتخاب می‌کند. (۲) ترکیبگر لینک مستقیم بهترین-بدترین (BWDC) که در آن مقصد، ارسال‌های مستقیم و از طریق رله را با استفاده از ترکیبگر حداکثر نسبت ترکیب می‌کند. (۳) بهترین-بدترین فرصت‌طلبانه هیبرید (HOBW) که در آن مقصد، تنها در صورتی ارسال از طریق رله را انتخاب می‌کند که ارسال مستقیم در حالت قطعی باشد. طبیعتاً روش BWDC مزیتی نسبت به دو روش دیگر دارد زیرا که در آن ترکیبگر حداکثر نسبت (MRC) بهینه بکار می‌رود. با این وجود، وقتی که رله‌ها و مقصد به‌وسیله چندین تداخلگر مورد هدف قرار گرفته‌اند، برتری BWDC بر دو روش دیگر در محیط‌های پر

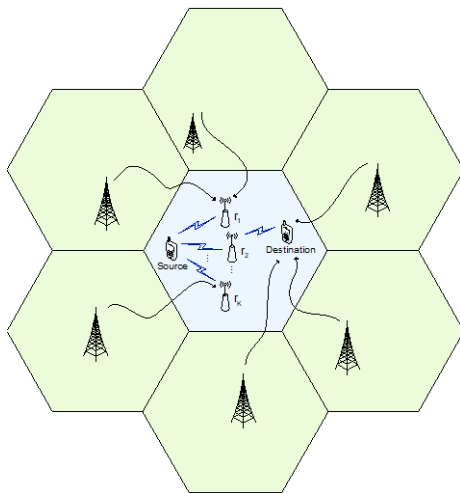
مخابرات مشارکتی فناوری کلیدی به منظور افزایش قابلیت اطمینان و اتصال در شبکه‌های بیسیم توزیع شده است [۱]. در واقع، مخابرات مشارکتی مفهومی کارا در استانداردهای کنونی و جدید در نسل‌های مخابرات سلولی به شمار می‌رود که پتانسیل بهبود همزمان پوشش، گذردهی و قابلیت اطمینان شبکه را دارا است [۲]. پرسش اساسی این است که چطور می‌توان مشارکت بین کاربران توزیع‌شده مکانی را در محیط‌های بیسیم واقعی در حضور محوشدگی چندمسیری و تداخلگرهای هم‌کانال تسهیل کرد.

انتخاب رله به عنوان راه‌حل کلیدی برای دستیابی به فواید چندگانگی مخابرات مشارکتی مطرح است. از بین روش‌های مختلف انتخاب رله، روش انتخاب رله "بهترین-بدترین" بیشترین استفاده را دارد که در آن نسبت سیگنال به نویز (SNR) انتها-به-انتهای لینک رله بوسیله ضعیف‌ترین پرش در سیستم دوپرسی مشخص می‌شود و رله ای انتخاب می‌شود که بهترین SNR انتها-به-انتهای را از میان ضعیف‌ترین پرش‌ها داراست. براین اساس، اکثریت کارهای مقالات قبلی، انتخاب رله را بر مبنای SNR و بدون حضور تداخل در گره‌های رله یا گره مقصد در نظر گرفته‌اند ([۳-۸] و مراجع آن‌ها را ببینید). در [۳، ۴] چندین طرح انتخاب رله بررسی شده است که در آن‌ها ثابت شده است که انتخاب رله بهترین-بدترین به حداکثر مقدار مرتبه چندگانگی در SNRهای زیاد دست می‌یابد. در [۵]، روابط فرم بسته جدیدی برای سنجه‌های تعیین عملکرد احتمال قطع و احتمال خطا با روش انتخاب رله بهترین-بدترین برای رله کدگشائی و ارسال (DF) در حضور محوشدگی ناکاگامی بدست آمده است. با در نظر گرفتن مسیر مستقیم بین مبدأ و مقصد، کار [۵] در [۶] گسترش یافت. عملکرد روش انتخاب رله با چندین آتن در رله در حضور کانال محوشدگی ناکاگامی در [۷] مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بررسی کلی روش‌های انتخاب رله در شبکه‌های توزیع شده در [۸] انجام گرفته است.

با حضور نسل‌های جدید مخابرات سلولی که در آن‌ها ترافیک‌های خیلی زیاد با انتخاب مجدد فرکانسی قابل هدایت است، تداخل هم‌کانال (CCI) به عنوان عامل غالب که تأثیر عظیمی روی عملکرد شبکه دارد مطرح شده است. در کارهای [۹-۱۳] و مراجع آن‌ها، CCI در شبکه‌های رله سلولی بررسی شده است. با این وجود در [۹-۱۳] هدف اصلی بررسی عملکرد سیستم در لینک‌های تک‌رله بدون بررسی مسئله انتخاب رله بوده است. در [۹] روابط فرم بسته احتمال قطع در حضور CCI در گیرنده ارائه شد. با فرض CCI در رله، احتمال قطع و نرخ خطای بیت (BER) سیستم دوپرسی در حضور کانال محوشدگی ناکاگامی در [۱۰] بدست آمد. کار [۱۰] برای محوشدگی ناکاگامی در [۱۱] گسترش یافت. همچنین اثر تاخیر فیدبک و شکلدهی پرتو و CCI در رله در [۱۲] مورد تحلیل قرار گرفت. در [۱۳] احتمال قطع و BER زمانی که تنها یک تداخلگر هر دوی رله و مقصد را هدف قرار داده است، بدست آمدند. در [۱۴] مولفان انتخاب رله را در یک شبکه

## ۲- مدل سیستم و آماره‌های محوشدگی

سیستم رله مشارکتی تک‌راهه شکل ۱ را در نظر بگیرید که در آن گره مبدأ  $s$  ارتباطی را با گره مقصد  $d$  به کمک  $K$  رله DF، برقرار می‌کند.



شکل ۱. مدل سیستم مشارکتی

سناریویی کلی فرض می‌شود که در آن گره‌های رله و مقصد توسط  $M$  تداخلگر که از سلول‌های مجاور نشئت گرفته‌اند، مورد هدف قرار گرفته‌اند. این تداخل‌ها سیگنال  $s_i$  را به ازای  $i = 1, \dots, M$  می‌فرستند. توان گره‌های مبدأ و رله با  $P$  و توان گره تداخل با  $P_I$  نشان داده می‌شوند. در تمامی ارسال‌ها، فرض می‌کنیم که کانال‌ها در طول زمان ارسال هر سمبل، ثابت باقی می‌مانند.

در سیستم پیشنهادی، SINR لینک مبدأ-رله در  $k$ -امین رله به صورت زیر حاصل می‌شود

$$\kappa_{s,r_k} = \frac{P|h_{s,r_k}|^2}{\sum_{i=1}^M P_I|h_{s_i,r_k}|^2 + N_0} = \frac{\gamma_{s,r_k}}{I_{r_k}} \quad (3)$$

که در آن  $I_{r_k} = \sum_{i=1}^M \gamma_{s_i,r_k} + 1$  است. ضرائب  $h_{s,r_k}$ ، متغیرهای تصادفی مستقل و ناهمسان کانال محوشدگی ناکاگامی بین مبدأ و  $k$ -امین رله و ضرائب  $h_{s_i,r_k}$ ، متغیرهای تصادفی مستقل و ناهمسان کانال محوشدگی ناکاگامی بین  $i$ -امین تداخلگر و  $k$ -امین رله می‌باشند. همچنین  $\sigma_k^2$  واریانس نویز در ورودی گیرنده  $k$ -امین رله می‌باشد. مشابه SINR لینک  $k$ -امین رله به مقصد به صورت زیر نمایش داده می‌شود

$$\kappa_{r_k,d} = \frac{P|h_{r_k,d}|^2}{\sum_{i=1}^M P_I|h_{s_i,d}|^2 + N_0} = \frac{\gamma_{r_k,d}}{I_d} \quad (4)$$

که در آن  $I_d = \sum_{i=1}^M \gamma_{s_i,d} + 1$  است. ضرائب  $h_{r_k,d}$ ، متغیرهای تصادفی مستقل و ناهمسان کانال محوشدگی ناکاگامی بین  $k$ -امین رله و مقصد و ضرائب  $h_{s_i,d}$ ، متغیرهای تصادفی مستقل و ناهمسان کانال

تداخل محو می‌شود. در واقع، نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که سناریوهای خاصی وجود دارد که در آن‌ها OBW و HOBW برتری نسبی بر BWDC با پیچیدگی پیاده‌سازی کمتر را دارند. برای سادگی مقایسه بین این سه پروتکل، روابط فرم بسته احتمال قطع در حضور کانال‌های محوشدگی ناکاگامی استخراج می‌شود. این مهم با استفاده از روش احتمال شرطی با ملاحظه نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل (SINR) لینک مستقیم و لینک‌های رله-مقصد حاصل می‌شود که در این لینک‌ها بدلیل حضور CCI یکسان در گره مقصد، فرآیندهای تصادفی وابسته آماری هستند. علاوه بر این، جنبه‌های طراحی مهم برای پروتکل‌های انتخاب رله پیشنهادی با شرایط کانالی مختلف، توان‌های ارسالی متغیر مبدأ و توان تداخلگرها بیان می‌شود.

نوآوری کار حاضر به صورت زیر خلاصه می‌شود:

۱- سیستم مشارکتی چندرله تک‌راهه سنتی بررسی می‌شود که گره-های رله و مقصد از چندین تداخلگر تاثیر می‌پذیرند. با تمرکز بر مدل محوشدگی ناکاگامی که به‌طور گسترده در سیستم‌های مخابراتی بکار می‌رود، روابط دقیق به فرم بسته برای احتمال قطع سیستم بدست می‌آید.

۲- سه پروتکل انتخاب رله OBW، HOBW و BWDC پیشنهاد و بررسی می‌شوند. برای هر سه پروتکل با یاریگیری از فرآیندهای تصادفی و احتمالات شرطی و روش‌های ریاضی، روابط دقیقی برای سنججه احتمال قطع که سنججه‌ای بسیار مهم در شبکه‌های موبایل سلولی است بدست آمده و مقایسه می‌شود. شبیه‌سازی‌های مونت کارلو صحت و دقت روابط مستخرجه را اثبات می‌کنند.

این مقاله بخش‌های زیر را شامل می‌شود. بخش ۲ مدل سیستم و آماره‌های محوشدگی مورد نظر را معرفی می‌کند. در بخش ۳، تحلیل عملکرد سیستم انجام شده و روابط به فرم بسته برای احتمال قطع با بکارگیری هر سه پروتکل انتخاب رله حاصل شده است. در نهایت در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی عددی ارائه شده و بخش ۵ جمع بندی و نتیجه‌گیری می‌پردازد.

نمادها: در این مقاله،  $f_h(\cdot)$  و  $F_h(\cdot)$  نشان دهنده تابع چگالی احتمال (PDF) و تابع توزیع تجمعی (CDF) متغیر تصادفی  $h$  هستند.  $g(a,b)$  توزیع احتمال گاما را نشان می‌دهد که  $a$  و  $b$  پارامترهای شکلدهی و تطبیق هستند. PDF و CDF توزیع گاما به صورت زیر تعریف می‌شوند

$$f_\gamma(\gamma) = \frac{\gamma^{a-1}}{b^a \Gamma(a)} e^{-\frac{\gamma}{b}} \quad (1)$$

$$F_\gamma(\gamma) = 1 - \frac{\Gamma(a, \gamma/b)}{\Gamma(a)} \quad (2)$$

که در رابطه بالا  $\Gamma(n) = \int_0^\infty e^{-t} t^{n-1} dt$  تابع گاما و  $\Gamma(b,x) = \int_x^\infty e^{-t} t^{b-1} dt$  تابع گاما ناقص می‌باشد. عملگر  $\mathbb{E}[\cdot]$  امید ریاضی و  $\Pr(\cdot)$  احتمال را نشان می‌دهد.

$$\Xi_M(i, j, \{m_q\}_{q=1}^M, \{\eta_q\}_{q=1}^M, \{l_q\}_{q=1}^{M-2}) = \sum_{l_1=j}^{m_1} \sum_{l_2=j}^{l_1} \dots \sum_{l_{M-3}=j}^{l_{M-2}} \left[ \frac{(-1)^{R_M - m_1} \eta_i^j}{\prod_{h=1}^M \eta_h^{m_h}} \right. \\
 \times \frac{(m_i + m_{1+U(1-i)} - l_1 - 1)!}{(m_{1+U(1-i)} - 1)! (m_i - l_1)!} \left( \frac{1}{\eta_i} - \frac{1}{\eta_{1+U(1-i)}} \right)^{l_1 - m_i - m_{1+U(1-i)}} \\
 \times \frac{(l_{M-2} + m_{M-1+U(M-1-i)} - j - 1)!}{(m_{M-1+U(M-1-i)} - 1)! (l_{M-2} - j)!} \\
 \times \left( \frac{1}{\eta_i} - \frac{1}{\eta_{M-1+U(M-1-i)}} \right)^{j - l_{M-2} - m_{M-1+U(M-1-i)}} \\
 \times \prod_{s=1}^{M-3} \frac{(l_s + m_{s+1+U(s+1-i)} - l_{s+1} - 1)!}{(m_{s+1+U(s+1-i)} - 1)! (l_s - l_{s+1})!} \\
 \left. \times \left( \frac{1}{\eta_i} - \frac{1}{\eta_{s+1+U(s+1-i)}} \right)^{l_{s+1} - l_s - m_{s+1+U(s+1-i)}} \right]$$

و  $R_M = \sum_{i=1}^M m_i$  می‌باشند.

بنابراین  $f_{Y_i}(x; m_i; \eta_i)$  به شکل زیر تعریف می‌شود

$$f_{Y_i}(x; m_i; \eta_i) = \frac{x^{m_i-1}}{\eta_i^{m_i} (m_i - 1)!} \exp\left(-\frac{x}{\eta_i}\right), \eta_i = \frac{\bar{\gamma}_i}{m_i} \quad (10)$$

که  $m_i$  پارامتر محوشدگی ناکاگامی و  $\Omega_i = \frac{P\mathbb{E}[h^2]}{N_0}$  متوسط

SNR بر سمبل است. با بکارگیری (10)، PDF متغیر  $I_{r_k}$  برابر است با

$$f_{I_{r_k}}(I_{r_k}) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{m_i} A_{i,j} f_{Y_i}(I_{r_k} - 1; j; \eta_i). \quad (11)$$

از آنجا که سیگنال دریافتی از رله‌ها مستقل از تداخل دریافتی و نویز است، می‌توان PDF متغیر  $\kappa_{s,r_k}$  را به شکل زیر نوشت [24]

$$f_{\kappa_{s,r_k}}(\kappa_{s,r_k}) = \frac{1}{\eta_{s,r_k}^{m_{s,r_k}} (m_{s,r_k} - 1)!} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{m_i} A_{i,j} \\
 \times \frac{1}{\eta_{s_i,r_k}^j (j-1)!} \int_1^{+\infty} \int_0^{\kappa_{s,r_k}} (\kappa_{s,r_k})^{m_{s,r_k}-1} e^{-\frac{I_{r_k} \kappa_{s,r_k}}{\eta_{s,r_k}}} d\kappa_{s,r_k} \\
 \times (I_{r_k})^{m_{s,r_k}} (I_{r_k} - 1)^{j-1} e^{-\frac{I_{r_k}}{\eta_{s_i,r_k}}} dI_{r_k}. \quad (12)$$

انتگرال داخلی رابطه (12) را با استفاده از روابط ۲.۳۳.۱۰ و ۳.۳۵۱.۱ مرجع [25] حل کرده و بنابراین می‌توان نوشت

$$f_{\kappa_{s,r_k}}(\kappa_{s,r_k}) = \frac{1}{(m_{s,r_k} - 1)!} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{m_i} A_{i,j} \frac{1}{\eta_{s_i,r_k}^j (j-1)!} \\
 \times \int_1^{+\infty} \gamma \left( m_{s,r_k}, \frac{\kappa_{s,r_k} I_{r_k}}{\eta_{s,r_k}} \right) (I_{r_k} - 1)^{j-1} e^{-\frac{I_{r_k}}{\eta_{s_i,r_k}}} dI_{r_k}. \quad (13)$$

با بکارگیری روابط ۲.۳۳.۱۰ و ۸.۳۵۰.۴ مرجع [25]، رابطه زیر برای حل انتگرال (13) بکار می‌رود

$$\int_1^{\infty} x^m e^{-\beta x^n} dx = \frac{\Gamma(\gamma, \beta)}{n \beta^\gamma}, \gamma = \frac{m+1}{n} \quad (14)$$

با اعمال رابطه ۳.۳ مرجع [26] برای بسط  $(I_{r_k} - 1)^{j-1}$  رابطه

$$(11)، می‌توان از رابطه ۸.۳۵۲.۶ مرجع [25] برای نمایش به فرم$$

سری تابع گامای ناقص پائین به صورت زیر بهره جست

محوشدگی ناکاگامی بین  $i$ -امین تداخلگر و مقصد می‌باشند. همچنین  $\sigma_d^2$  واریانس نویز در ورودی گیرنده گره مقصد می‌باشد.

برای سادگی مقایسه بین رله‌ها، معیار انتخاب رله بهترین-بدترین به شکل زیر انتخاب می‌شود [5، 7]

$$\kappa_{BW} = \max_{k \in R} \min(\kappa_{s,r_k}, \kappa_{r_k,d}) \quad (5)$$

که  $R = \{1, \dots, K\}$  می‌باشد. در گره مقصد، سه پروتکل مجزا برای کدگشائی سیگنال‌های ارسالی از مسیر مستقیم و مسیر رله بکار می‌رود. در ابتدا پروتکل بهترین-بدترین فرصت‌طلبانه (OBW) در نظر گرفته می‌شود که در آن مقصد بهترین سیگنال بین مسیر مستقیم و ارسال از طریق رله را با بکارگیری روش ترکیب انتخابی (SC) انتخاب می‌کند. در دومی، پروتکل ترکیبگر لینک مستقیم بهترین-بدترین (BWDC) بکار می‌رود که در آن مقصد ارسال‌های مسیر مستقیم و مسیر از طریق رله را با بکارگیری روش MRC ترکیب می‌کند. در سومی، پروتکل بهترین-بدترین فرصت‌طلبانه هیبرید (HOBW) در نظر گرفته می‌شود که مقصد تنها زمانی ارسال از طریق رله را انتخاب می‌کند که مسیر مستقیم در حالت قطعی باشد.

### ۳- تحلیل قطعی سیستم

#### ۳-۱- پروتکل بهترین-بدترین فرصت‌طلبانه (OBW)

وقتی که رله  $k$ -ام انتخاب می‌شود، SINR پروتکل OBW به صورت زیر نوشته می‌شود

$$\kappa_{OBW} = \max_{k \in R} \min(\kappa_{s,d}, \kappa_{BW}) \quad (6)$$

که در آن SINR لینک مبدأ-مقصد است. با توجه به (6)، وقوع قطع معادل است با

$$P_{OBW} = \Pr(\kappa_{s,d} < \gamma_{th}) \cap \Pr(\kappa_{BW} < \gamma_{th}) \quad (7)$$

که  $\gamma_{th} = 2^R - 1$  و  $R$  نرخ ارسال اطلاعات است.

با توجه به اینکه SINR مسیر مبدأ-مقصد و مسیر رله-مقصد وابسته آماری هستند زیرا که تداخل‌های یکسانی از سلول‌های مجاور را تجربه می‌کنند، از روش احتمالات شرطی به صورت زیر بهره برده می‌شود

$$P_{OBW}(I_d) = \Pr(\kappa_{sd} \leq \gamma_{th} | I_d) \times \prod_{k=1}^K \left[ 1 - \left( 1 - \Pr(\kappa_{s,r_k} \leq \gamma_{th}) \right) \right. \\
 \left. \times \left( 1 - \Pr(\gamma_{r_k,d} \leq I_d \gamma_{th} | I_d) \right) \right] \quad (8)$$

که در آن CDF متغیر تصادفی  $\kappa_{s,r_k}$  است. برای محاسبه این CDF، ابتدا مجموع  $M$  متغیر تصادفی گامای ناهمسان به شکل زیر محاسبه می‌شود [23]

$$f_{I_M}(I) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{m_i} A_{i,j} f_{Y_i}(I; j; \eta_i) \quad (9)$$

که در آن  $A_{i,j} = \Xi_M(i, j, \{m_q\}_{q=1}^M, \{\eta_q\}_{q=1}^M, \{l_q\}_{q=1}^{M-2})$

$$\lambda_{l,w} = \frac{\left(\frac{\gamma_{th}}{\eta_{s,d}}\right)^w}{w!} \left(\prod_{t=1}^l d_{r_{\mu_t}}\right) \left(\frac{\gamma_{th}}{\eta_{r_{\mu_t,d}}^{v_t}}\right)^{\sum_{t=1}^l v_t},$$

$$\phi_l = \sum_{t=1}^l v_t, \quad \psi_l = \sum_{t=1}^l \frac{\gamma_{th}}{\eta_{r_{\mu_t,d}}},$$

$$\phi_{l,w} = w + \sum_{t=1}^l v_t, \quad \psi_{l_0} = \frac{\gamma_{th}}{\eta_{s,d}} + \sum_{t=1}^l \frac{\gamma_{th}}{\eta_{r_{\mu_t,d}}}$$

در آخر برای استخراج رابطه فرم بسته احتمال قطع پروتکل OBW، امید ریاضی  $P_{OBW}(I_d)$  روی  $I_d$  طبق رابطه زیر نوشته می‌شود

$$P_{OBW} = \int_1^\infty P_{OBW}(I_d) f_{I_d}(I_d) dI_d \quad (22)$$

که در آن  $f_{I_d}(I_d)$  مشابه رابطه  $f_{I_{r_k}}(I_{r_k})$  در (۹) تعریف می‌شود.

با بکارگیری (۱۴) و بسط دو جمله‌ای، می‌توان از (۲۰) روی  $I_d$  انتگرال گیری کرد و احتمال قطع پروتکل OBW را بدست آورد

$$P_{OBW}(\gamma_{th}) = \sum_{l=0}^K \frac{(-1)^l}{l!} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{m_i} \lambda_{i,j} \sum_{u=0}^{i-1} \frac{(-1)^u}{u!(j-u-1)!} \times \frac{\Gamma(\tau_{j,u,l} \theta_{i,l})}{\theta_{i,l}^{\tau_{j,u,l}}} \exp\left(\frac{1}{\eta_{s,d}}\right) - \sum_{w=0}^{m_i-1} \sum_{l=0}^K \frac{(-1)^l}{l!} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{m_i} \quad (23)$$

$$\frac{\lambda_{l,w} A_{i,j}}{\eta_{s,d}^j} \sum_{u=0}^{j-1} \frac{(-1)^u}{u!(j-u-1)!} \frac{\Gamma(\Omega_{j,u,w,l}, \zeta_{i,l})}{\zeta_{i,l}^{\Omega_{j,u,w,l}}} \exp\left(\frac{1}{\eta_{s,d}}\right)$$

که در آن  $\zeta_{i,l} = \frac{1}{\eta_{s,d}} + \psi_{i_0}$ ،  $\tau_{j,u,l} = \phi_l + j - u$ ،  $\theta_{i,l} = \frac{1}{\eta_{s_i,d}} + \psi_i$  و

$\Omega_{j,u,w,l} = \phi_{l,w} + j - u$  می‌باشند. همانگونه که مشخص است پارامتر محوشدگی ناکاگامی به صورت یک عدد صحیح مثبت فرض شده‌است. لازم به ذکر است که رابطه (۲۳) شامل مجموع تعداد محدودی تابع ساده است که می‌تواند به صورت کارا با نرم افزارهای عددی نظیر Matlab و Mathematica پیاده‌سازی شود.

### ۲-۳- پروتکل ترکیبگر لینک مستقیم بهترین-بدترین (BWDC)

در پروتکل BWDC، بهترین رله طبق معیار زیر انتخاب می‌شود

$$\kappa_{BWDC} = \max_{k \in R} \min(\kappa_{s,r_k}, \kappa_{r_k,d} + \kappa_{s,d}). \quad (24)$$

بر مبنای اینکه ضعیفترین لینک (پرش) در هر شاخه انتخاب می‌شود، وقوع قطعی در سیستم رله DF به صورت احتمال قطع ضعیف ترین پرش شاخه انتخابی تعریف می‌شود

$$P_{BWDC} = \Pr(\kappa_{BWDC} \leq \gamma_{th}). \quad (25)$$

برای ساده شدن تحلیل، دو حالت مجزا فرض می‌شود. در اولی وقتی  $\kappa_{s,d} > \gamma_{th}$  داریم  $\Pr(\kappa_{r_k,d} + \kappa_{s,d} < \gamma_{th}) = 0$ . بدین ترتیب، با استفاده از رابطه (۲۵)، احتمال قطع پروتکل BWDC به صورت زیر نوشته می‌شود

$$\gamma(n,x) = (n-1)! \left(1 - e^{-x} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{x^i}{i!}\right) \quad (15)$$

بنابراین CDF متغیر  $\kappa_{s,r_k}$  به فرم بسته به صورت زیر حاصل می‌شود

$$F_{\kappa_{s,r_k}}(\kappa_{s,r_k}) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{a=0}^{i-1} \frac{A_{i,j} e^{-\frac{1}{\eta_{s_i,r_k}}} (-1)^{j-1-a}}{\eta_{s_i,r_k}^j a!(j-a-1)!} \quad (16)$$

$$\times \left( \frac{\Gamma\left(\gamma_1, \frac{1}{\eta_{s_i,r_k}}\right)}{\left(\frac{1}{\eta_{s_i,r_k}}\right)^{\gamma_1}} - \sum_{i=0}^{m_{s,r_k}-1} \left(\frac{\kappa_{s,r_k}}{\eta_{s_i,r_k}}\right)^i \frac{\Gamma\left(\gamma_2, \frac{1}{\eta_{s_i,r_k}} + \frac{\kappa_{s,r_k}}{\eta_{s_i,r_k}}\right)}{i! \left(\frac{1}{\eta_{s_i,r_k}} + \frac{\kappa_{s,r_k}}{\eta_{s_i,r_k}}\right)^{\gamma_2}} \right)$$

که در آن  $\gamma_1 = a+1$  و  $\gamma_2 = a+i+1$ .

بسط سری تابع گامای ناقص بالا با توجه به رابطه ۸، ۳، ۵، ۲، ۴ مرجع [۲۵] به شکل زیر قابل بیان است

$$\Gamma(n,x) = (n-1)! e^{-x} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{x^i}{i!} \quad (17)$$

با بکارگیری CDF توزیع گاما در رابطه ۳ مرجع [۱۵] و (۱۷) و جایگذاری (۱۶) در (۸)، رابطه (۸) به شکل زیر بازنویسی می‌شود

$$P_{OBW}(I_d) = \left[ 1 - e^{-\frac{I_d \gamma_{th}}{\eta_{s,d}}} \sum_{w=0}^{m_{s,d}-1} \left(\frac{I_d \gamma_{th}}{\eta_{s,d}}\right)^w \frac{1}{w!} \right] \times \prod_{k=1}^K \left[ 1 - d_{r_k} e^{-\frac{I_d \gamma_{th}}{\eta_{r_k,d}}} \sum_{v=0}^{m_{r_k,d}-1} \left(\frac{I_d \gamma_{th}}{\eta_{r_k,d}}\right)^v \frac{1}{v!} \right] \quad (18)$$

که  $d_{r_k} = 1 - \Pr(\kappa_{s,r_k} \leq \gamma_{th}) = 1 - F_{\kappa_{s,r_k}}(\gamma_{th})$  برای استخراج رابطه احتمال قطع پروتکل OBW، می‌بایست  $I_d$  را از رابطه (۱۸) استخراج کرده و سپس از  $P_{OBW}$  روی  $I_d$  متوسط‌گیری کرد.

با بکارگیری رابطه ۹ مرجع [۵] به صورت زیر می‌توان نوشت

$$\prod_{l=1}^K (1-x_l) = \sum_{l=0}^K \frac{(-1)^l}{l!} \sum_{n_1=1}^K \dots \sum_{n_l=1}^K \prod_{t=1}^l x_{n_t} \quad (19)$$

$n_1 \neq n_2 \dots \neq n_l$

بنابراین رابطه (۱۸) به صورت زیر بدست می‌آید

$$P_{OBW}(I_d) = \sum_{l=0}^K \frac{(-1)^l}{l!} \sum \lambda_l I_d^{\phi_l} e^{-I_d \psi_l} - \sum_{w=0}^{m_{s,d}-1} \sum_{l=0}^K \frac{(-1)^l}{l!} \sum \lambda_{l,w} I_d^{\phi_{l,w}} e^{-I_d \psi_{l_0}}, \quad (20)$$

که در آن

$$\sum \tilde{\lambda} = \sum_{\mu_1=1}^K \dots \sum_{\mu_l=1}^K \sum_{v_1=0}^{m_{r_{\mu_1,d}}-1} \dots \sum_{v_l=0}^{m_{r_{\mu_l,d}}-1}, \quad (21)$$

$\mu_1 \neq \mu_2 \dots \neq \mu_l$

$$\lambda_l = \left( \prod_{t=1}^l d_{r_{\mu_t}} \right) \left( \frac{\gamma_{th}}{\eta_{r_{\mu_t,d}}^{v_t}} \right)^{\sum_{t=1}^l v_t},$$

$$\int_0^u x^n e^{-\mu x} dx = \mu^{-n-1} \gamma(n+1, \mu u) \quad (33)$$

بنابراین انتگرال رابطه (۳۲) به شکل زیر حل می‌شود

$$P_{BWDC}(I_d) = P_{BWDC_1} + \sum_{k=0}^K \frac{(-1)^k}{k!} \sum_{n_1=1}^K \dots \sum_{n_k=1}^K \dots \sum_{n_1 \neq n_2 \neq \dots \neq n_k} \quad (34)$$

$$\frac{e^{-\left(I_d \gamma_{th} \sum_{m=1}^k \frac{1}{\eta_{r_{m,d}}}\right)} (I_d \gamma_{th})^{\sum_{z=1}^k p_z - s_z}}{\eta_{s,d}^{m_{s,d}} (m_{s,d} - 1)!} \times \prod_{t=1}^k \frac{d_{n_t}}{\eta_{r_{n_t,d}}^{p_t} s_t! (p_t - s_t)!} \gamma_1^{-\left(\sum_{z=1}^k s_z + m_{s,d}\right)} \times \gamma \left( \sum_{z=1}^k s_z + m_{s,d}, \gamma I_d \gamma_{th} \right)$$

$$\cdot \gamma_1 = \left( \frac{1}{\eta_{s,d}} - \sum_{m=1}^k \frac{1}{\eta_{r_{m,d}}} \right)$$

که در آن

در نهایت با بکارگیری روابط (۱۴) و (۱۵) تا از (۳۳) روی  $I_d$  انتگرال گرفته شود، رابطه فرم بسته احتمال قطع پروتکل BWDC به شکل زیر حاصل می‌شود

$$P_{BWDC} = P_{BWDC_1} + \sum_{k=0}^K \frac{(-1)^k}{k!} \sum_{n_1=1}^K \dots \sum_{n_k=1}^K \sum_{p_1=0}^{m_{n_1,d}-1} \dots \sum_{p_k=0}^{m_{n_k,d}-1} \sum_{s_k=0}^{p_k} \quad (35)$$

$$\frac{\left(\sum_{z=1}^k s_z + m_{s,d} - 1\right)! \gamma_1^{-\left(\sum_{z=1}^k s_z + m_{s,d}\right)} \gamma_{th}^{\sum_{z=1}^k p_z - s_z}}{\eta_{s,d}^{m_{s,d}} (m_{s,d} - 1)!} \times \prod_{t=1}^k \frac{d_{n_t}}{\eta_{r_{n_t,d}}^{p_t} s_t! (p_t - s_t)!} \left( \frac{\Gamma\left(\gamma_2, \gamma_{th} \sum_{m=1}^k \frac{1}{\eta_{r_{m,d}}}\right)}{\left(\gamma_{th} \sum_{m=1}^k \frac{1}{\eta_{r_{m,d}}}\right)^{\gamma_2}} \right)^{\gamma_2} \left( \frac{(\gamma_1 \gamma_{th})^i \Gamma\left(\gamma_3, \gamma_{th} \sum_{m=1}^k \frac{1}{\eta_{r_{m,d}}}\right) + \gamma_1 \gamma_{th}}{i! \left(\gamma_{th} \sum_{m=1}^k \frac{1}{\eta_{r_{m,d}}}\right)^{\gamma_3} + \gamma_1 \gamma_{th}} \right)^{\gamma_3}$$

$$\cdot \gamma_3 = \sum_{z=1}^k p_z - s_z + i + 1 \quad \text{و} \quad \gamma_2 = \sum_{z=1}^k p_z - s_z + 1$$

که در آن

همانگونه که مشخص است پارامتر محوشدگی ناکامی به صورت یک عدد صحیح مثبت فرض شده است. لازم به ذکر است که (۳۵) از تعداد محدودی ترم ضرب و جمع تشکیل شده است که محاسبه آن‌ها با نرم افزارهای عددی سراسر است.

### ۳-۳- پروتکل بهترین-فرصت طلبانه هیبرید (HOBW)

در HOBW، قطعی سیستم وقتی بوجود می‌آید که هر دوی ارسال لینک مستقیم و ترکیب ارسال از طریق رله و مسیر مستقیم زیر SNR آستانه از پیش تعیین شده  $\gamma_{th}$  به شکل زیر باشند

$$P_{HOBW}(\gamma_{th}) = \Pr(\kappa_{s,d} \leq \gamma_{th}) \cap \Pr(\kappa_{BWDC} \leq \gamma_{th}). \quad (36)$$

$$P_{BWDC}(I_d, \gamma_{s,d}) = \prod_{k=1}^K \left[ 1 - \left( 1 - P(\kappa_{s,r_k} \leq \gamma_{th}) \right) \times \left( 1 - P(\kappa_{r_k,d} + \kappa_{s,d} \leq \gamma_{th} | I_d, \gamma_{s,d}) \right) \right] \quad (26)$$

بنابراین اولین بخش  $P_{BWDC}$  به صورت زیر حاصل می‌شود

$$P_{BWDC_1}(I_d, \gamma_{s,d}) = \prod_{k=1}^K F_{\kappa_{s,r_k}}(\kappa_{s,r_k}) \quad (27)$$

که در آن CDF متغیر  $\kappa_{s,r_k}$  است که در (۱۶) آمده است. از آنجا که (۲۷) از  $I_d$  و  $\gamma_{s,d}$  مستقل می‌باشد، می‌توان نوشت  $P_{BWDC_1}(I_d, \gamma_{s,d}) = P_{BWDC_1}$ . شرطی روی  $I_d$  داریم  $I_d \gamma_{th} \leq \gamma_{s,d}$ . بنابراین، بخش دوم  $P_{BWDC}$  برابر است با

$$P_{BWDC_2}(\gamma_{th} | I_d, \gamma_{s,d}) = \prod_{k=1}^K \left[ 1 - \left( 1 - \Pr(\kappa_{s,r_k} \leq \gamma_{th}) \right) \times \left( 1 - \Pr(\gamma_{r_k,d} + \gamma_{s,d} \leq I_d \gamma_{th} | I_d, \gamma_{s,d}) \right) \right] \quad (28)$$

و همچنین احتمال قطع شرطی روی  $I_d$  و  $\gamma_{s,d}$  به شکل زیر بدست می‌آید

$$P_{BWDC}(I_d, \gamma_{s,d}) = P_{BWDC_1} + \int_0^{I_d \gamma_{th}} P_{BWDC_2}(I_d, \gamma_{s,d}) f_{\gamma_{s,d}}(\gamma_{s,d}) d\gamma_{s,d} \quad (29)$$

با بکارگیری CDF متغیر  $\gamma_{r_k,d}$  که در [۵] به صورت زیر تعریف شده

$$F_{\gamma_{r_k,d}}(\gamma) = 1 - \Gamma\left(m_{r_k,d}, \frac{\gamma}{\eta_{r_k,d}}\right) \frac{1}{(m_{r_k,d} - 1)!} \quad (30)$$

و اینکه  $d_{r_k} = 1 - \Pr(\kappa_{s,r_k} \leq \gamma_{th})$ ، رابطه (۲۹) به شکل زیر بازنویسی می‌شود

$$P_{BWDC}(I_d, \gamma_{s,d}) = P_{BWDC_1} + \int_0^{I_d \gamma_{th}} \prod_{k=1}^K \left[ 1 - d_k \left( 1 - P(\gamma_{r_k,d} \leq I_d \gamma_{th} - \gamma_{s,d} | I_d, \gamma_{s,d}) \right) \right] \times \frac{\gamma_{s,d}^{m_l-1}}{\eta_l^{m_l} (m_l - 1)!} \exp\left(-\frac{\gamma_{s,d}}{\eta_l}\right) d\gamma_{s,d} \quad (31)$$

مشابه بخش قبل، می‌بایست متوسط  $P_{BWDC}(I_d, \gamma_{s,d})$  را روی متغیرهای  $I_d$  و  $\gamma_{s,d}$  محاسبه کرد. بنابراین با اعمال روابط (۱۷) و (۱۹) و استفاده از رابطه ۳،۳ در [۲۵] می‌توان  $\gamma_{s,d}$  را از (۳۱) استخراج کرد و نوشت

$$P_{BWDC}(I_d, \gamma_{s,d}) = P_{BWDC_1} \quad (32)$$

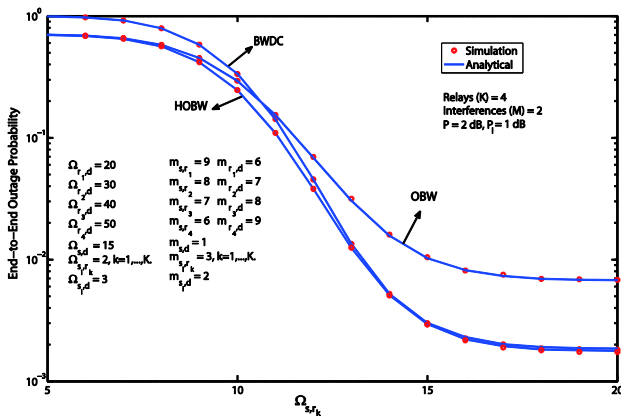
$$+ \sum_{k=0}^K \frac{(-1)^k}{k!} \sum_{n_1=1}^K \dots \sum_{n_k=1}^K \sum_{p_1=0}^{m_{n_1,d}-1} \dots \sum_{p_k=0}^{m_{n_k,d}-1} \sum_{s_k=0}^{p_k} \dots \sum_{n_1 \neq n_2 \neq \dots \neq n_k}$$

$$\frac{e^{-\left(I_d \gamma_{th} \sum_{m=1}^k \frac{1}{\eta_{r_{m,d}}}\right)} (I_d \gamma_{th})^{\sum_{z=1}^k p_z - s_z}}{\eta_{s,d}^{m_{s,d}} (m_{s,d} - 1)!} \prod_{t=1}^k \frac{d_{n_t}}{\eta_{r_{n_t,d}}^{p_t} s_t! (p_t - s_t)!}$$

$$\times \int_0^{I_d \gamma_{th}} e^{-\gamma_{s,d} \left(\frac{1}{\eta_{s,d}} - \sum_{m=1}^k \frac{1}{\eta_{r_{m,d}}}\right)} \gamma_{s,d}^{\sum_{z=1}^k s_z + m_{s,d} - 1} d\gamma_{s,d}$$

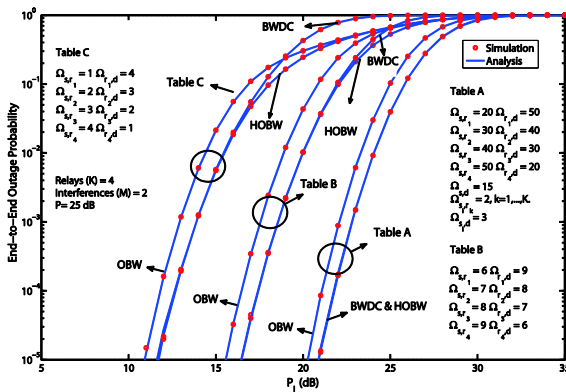
با بکارگیری رابطه ۳،۳۵،۱ در [۲۵] بصورت زیر داریم





شکل ۲. احتمال قطع بر حسب متوسط SNR لینک اول

شکل ۳ به بررسی تاثیر توان تداخل یعنی  $P_I$  بر احتمال قطع می پردازد. دیده می شود که با افزایش  $\Omega$ ، فاصله بین منحنی های احتمال قطع BWDC و HOBW کاهش می یابد. در SNR های کم، احتمال قطع BWDC بدتر می شود زیرا که سیگنال دریافتی تحت تاثیر تداخل رله و مقصد ضعیف شده است. همچنین می توان دید که در توان های کم تداخل، BWDC و HOBW عملکرد یکسانی دارند. اما در توان های زیاد تداخل، قطعی BWDC شدیداً نسبت به HOBW و OBW بیشتر شده است. بنابراین توان تداخل و میزان قطعی مورد نیاز می توان پروتکل مناسب را انتخاب نمود. به عنوان مثال در  $P_I = 20$  dB، OBW بهترین عملکرد قطعی و کمترین پیچیدگی پیاده سازی را داراست.



شکل ۳. احتمال قطع بر حسب توان تداخلگر

شکل ۴ به مقایسه اثر توان مبدأ یعنی  $P$  بر احتمال قطع می پردازد. مشاهده می شود که BWDC و HOBW در SNR های زیاد عملکرد مشابهی دارند. در مقادیر کم SNR و  $P$ ، BWDC بدترین احتمال قطع را نسبت به OBW و HOBW ارائه می دهد. با افزایش  $P$ ، مشاهده می شود که عملکرد قطع BWDC و HOBW همگرا می شوند. لازم به ذکر است که عملکرد قطعی BWDC و HOBW در مقادیر مختلف  $P$  بسته به پارامترهای کانال تنظیم شده همگرا می شود.

مشابه BWDC برای ساده سازی تحلیل، می توان از احتمال شرطی در دو حالت بهره جست. اولاً وقتی که  $\kappa_{s,d} > \gamma_{th}$  داریم  $\Pr(\kappa_{s,d} \leq \gamma_{th}) = 0$  بنابراین احتمال قطع حالت اول یعنی  $P_{HOBW_1}$  برابر صفر است. دوماً وقتی  $\kappa_{s,d} \leq \gamma_{th}$  می توان نوشت

$$P_{HOBW_2}(\gamma_{s,d}, I_d) = \Pr(\kappa_{s,d} \leq \gamma_{th} | \gamma_{s,d}, I_d) \Pr(\kappa_{BWDC} \leq \gamma_{th} | \gamma_{s,d}, I_d). \quad (37)$$

بنابراین احتمال قطع HOBW برابر است با

$$P_{HOBW}(\gamma_{s,d}, I_d) = 0 + \Pr(\kappa_{BWDC} \leq \gamma_{th} | \gamma_{s,d}, I_d),$$

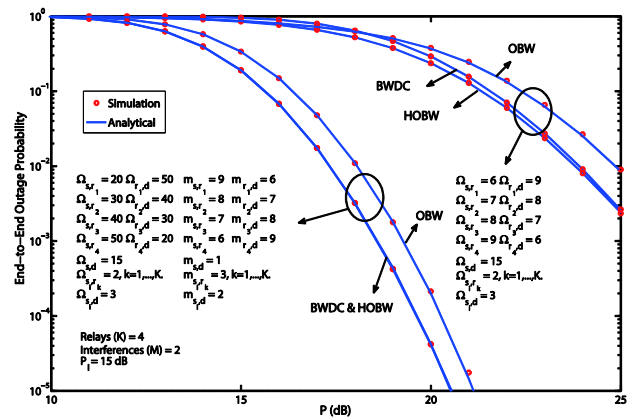
که معادل بخش دوم رابطه احتمال قطع BWDC در (۳۲) (یعنی  $P_{BWDC_2}$ ) است که به فرم بسته در (۳۵) بدست آمد.

#### ۴- نتایج شبیه سازی

در این بخش، شبیه سازی های عددی برای مقایسه احتمال قطع سه پروتکل پیشنهادی ارائه می شوند تا روابط استخراج شده را صحت سنجی کرد. در تمامی شبیه سازی ها، آستانه قطعی برابر ۳ است و پارامترهای کانال ها، تعداد رله ها و تعداد تداخلگرها در داخل شکل رسم شده مشخص شده اند. محیط شبیه سازی در یک سیستم مخابرات سلولی در نظر گرفته شده است و شبیه سازی مونته کارلو بکار رفته است. در اینجا ابتدا داده های ارسالی به صورت بیت های صفر و یک با احتمال برابر و تصادفی تولید می شوند. با استفاده از مدولاسیون BPSK اطلاعات مدوله می شوند. سپس کانال های محوشدگی مختلف با توزیع احتمال ناکاگامی i.i.n.d. برای رله های مختلف تولید می شوند. با تغییر SNR، اطلاعات با توان های ارسالی متفاوت در کانال های محوشدگی ارسال شده و دریافت می شوند. در ادامه بهترین رله بسته به نوع روش مورد استفاده بر طبق مقادیر کانال انتخاب شده و در صورت وجود مسیر مقصد از بین بهترین مسیر رله و مقصد نیز یکی انتخاب می شود. در انتها احتمال قطع به صورت شمارش تعداد بارهائی که SNR آنها به انتها از SNR آستانه کمتر شده نسبت به کل بارهائی که ارسال انجام شده محاسبه می شود.

شکل ۲ به ارزیابی تاثیر متوسط SNR لینک مبدأ-رله یعنی  $\Omega_{s,r_k}$  بر احتمال قطع می پردازد. همان گونه که ملاحظه می شود در مقادیر کم تا متوسط  $\Omega_{s,r_k}$ ، HOBW بهترین عملکرد را داراست. برای مقادیر زیاد  $\Omega_{s,r_k}$ ، BWDC به احتمال قطعی قابل مقایسه با HOBW با پیچیدگی کمتر دست می یابد. نکته دیگر اینکه هر سه پروتکل پیشنهادی در مقادیر بیشتر از  $\Omega_{s,r_k}$ ، اشباع می شوند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که در رله کردن DF، کانال مناسب پرش اول تاثیر آن چنانی بر عملکرد سرتاسری سیستم ندارد زیرا که عملیات کدگشائی در رله و مقصد، مستقل از یکدیگر با تاثیر ناچیزی بر عملکرد قطعی سیستم اتفاق می افتند.

- [7] E. Soleimani-Nasab, and M. Ardebilipour, "Multi-antenna AF two-way relaying over Nakagami- $m$  fading channels," *Wireless Personal Communications*, vol. 73, no. 3, pp. 717-729, 2013.
- [8] S. Abdullhadi, M. Jaseemuddin, and A. Anpalagan, "A survey of distributed relay selection schemes in cooperative wireless ad hoc networks," *Wireless Personal Communications*, pp. 1-19, Nov 2010.
- [9] C. Zhong, S. Jin, and K.-K. Wong, "Dual-hop systems with noisy relay and interference-limited destination," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 58, no. 3, pp. 764-768, Mar 2010.
- [10] H. Suraweera, H. Garg, and A. Nallanathan, "Performance analysis of two hop amplify-and-forward systems with interference at the relay," *IEEE Communications Letters*, vol. 14, no. 8, pp. 692-694, Aug 2010.
- [11] D. Benevides da Costa, H. Ding, and J. Ge, "Interference-limited relaying transmissions in dual-hop cooperative networks over Nakagami- $m$  fading," *IEEE Communications Letters*, vol. 15, no. 5, pp. 503-505, May 2011.
- [12] H. Phan, T. Q. Duong, M. Elkashlan, and H.-J. Zepernick, "Beamforming amplify-and-forward relay networks with feedback delay and interference," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 19, no. 1, pp. 16-19, Jan 2012.
- [13] H. Suraweera, D. Michalopoulos, and C. Yuen, "Performance analysis of fixed gain relay systems with a single interferer in Nakagami- $m$  fading channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. PP, no. 99, p. 1, 2012.
- [14] D. Lee and J. H. Lee, "Outage probability of decode-and-forward opportunistic relaying in a multicell environment," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 4, pp. 1925-1930, May 2011.
- [15] R. Ma, Y. Chang, H. Chen and C. Chiu, "On relay selection schemes for relay-assisted D2D communications in LTE-A systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 9, pp. 8303-8314, Sept. 2017.
- [16] M. E. Eltayeb, K. Elkhilil, H. R. Bahrami and T. Y. Al-Naffouri, "Opportunistic relay selection with limited feedback," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 63, no. 8, pp. 2885-2898, Aug. 2015.
- [17] E. Li, X. Wang, Z. Wu and G. Yang, "Outage performance of DF relay selection schemes with outdated CSI over Rayleigh fading channels," *IET Communications*, vol. 12, no. 8, pp. 984-993, 15 5 2018.
- [18] Y. H. Al-Badarneh, C. N. Georghiades and M. Alouini, "Asymptotic performance analysis of the  $k$ th best link selection over wireless fading channels: an extreme value theory approach," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 7, pp. 6652-6657, July 2018.
- [19] X. Zhang and H. Jafarkhani, "Asynchronous network coding for multiuser cooperative communications," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 12, pp. 8250-8260, Dec. 2017.
- [20] A. R. Heidarpour, M. Ardakani and C. Tellambura, "Generalized relay selection for network-coded cooperation systems," *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 12, pp. 2742-2745, Dec. 2017.
- [21] A. R. Heidarpour, M. Ardakani, C. Tellambura and M. Di Renzo, "Generalized user-relay selection in network-coded cooperation systems," *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Shanghai, China, 2019, pp. 1-6.



شکل ۴. احتمال قطع بر حسب توان گرهای اصلی

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله، عملکرد سیستم رله کدگشائی و ارسال تک‌راهه تداخل محدود روی کانال‌های ناکاگامی مستقل و ناهمسان بررسی شد که در آن گرهای رله و مقصد هدف تداخل قرار گرفته بودند. سه پروتکل بهترین-بدترین فرصت طلبانه (OBW)، ترکیبگر لینک مستقیم بهترین-بدترین (BWDC) و بهترین-بدترین فرصت طلبانه هیبرید (HOBW) بررسی و تحلیل شدند. روابط به فرم بسته برای احتمال قطع سه پروتکل انتخاب رله شبکه‌های چندسولوی در SNRهای دلخواه بدست آمد. این روابط ملاحظات طراحی مهمی را برای شرایط مختلف کانالی و مقادیر مختلف توان گرهای اصلی و تداخلی فراهم می‌آورند. به طور خاص دیده شد که OBW و HOBW برتری عملکردی را بر BWDC در شرایط تداخل شدید ارائه می‌دهند.

## مراجع

- [1] Peter Hong, Wan-Jen Huang, *Cooperative Communications and Networking*. Springer, Apr 2010.
- [2] C. Hoymann, W. Chen, J. Montojo, A. Golitschek, C. Koutsimanis, and X. Shen, "Relaying operation in 3GPP LTE: Challenges and solutions," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, pp. 156-162, Feb. 2012.
- [3] Y. Jing and H. Jafarkhani, "Single and multiple relay selection schemes and their achievable diversity orders," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no. 3, pp. 1414-1423, Mar 2009.
- [4] P. L. Yeoh, M. Elkashlan, Z. Chen, and I. B. Collings, "SER of multiple amplify-and-forward relays with selection diversity," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 59, no. 8, pp. 2078-2083, Aug 2011.
- [5] T. Duong, V. N. Q. Bao, and H.-j. Zepernick, "On the performance of selection decode-and-forward relay networks over nakagami- $m$  fading channels," *IEEE Communications Letters*, vol. 13, no. 3, pp. 172-174, mar. 2009.
- [6] G. Alexandropoulos, A. Papadogiannis, and K. Berberidis, "Performance analysis of cooperative networks with relay selection over Nakagami- $m$  fading channels," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 17, no. 5, pp. 441-444, May 2010.



- [22] M. S. Bahbahani, M. W. Baidas and E. Alsusa, "Distributed multi-relay selection via political coalition formation in cooperative wireless networks," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Doha, 2016, pp. 1-7.
- [23] G. Karagiannidis, N. Sagias, and T. Tsiftsis, "Closed-form statistics for the sum of squared Nakagami-m variates and its applications," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 54, no. 8, pp. 1353–1359, Aug 2006.
- [24] A. Papoulis, *Probability, Random variables, and Stochastic Processes*. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [25] I. Gradshteyn and I. Ryzhik, *Table of Integrals, Series and Products*, 7th ed., A. Jeffrey, Ed. Elsevier Inc., 2007.
- [26] M. R. Spiegel and J. Liu, *Mathematical Handbook of Formulas and Tables*, 3rd ed., ser. schaums outline. M. G. Hill, 2009.