روشی انرژی کارا برای گروه‌بندی کاربران در دسترسی چندگانه غیرمتعامد با در نظر گرفتن نیازمندی‌های کیفیت خدمات کاربران

نسرین غلامی [1]، ندا مقیم [2] و مهدیه قزوینی [3]
[1]دانشگاه اصفهان، دانشکده مهندسی کامپیوتر n.gholami1234@eng.ui.ac.ir
[2]دانشگاه اصفهان، دانشکده مهندسی کامپیوتر n.moghim@eng.ui.ac.ir
[3]دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی کامپیوتر mghazvini@uk.ac.ir

چکیده - دسترسی چندگانه‌ی غیر متعامد یکی از تکنولوژی های امیدبخش نسل پنجم شبکه‌های بی‌سیم است. از مباحث مهم در دسترسی غیر متعامد، گروه‌بندی کاربران به منظور انتخاب تعداد قابل قبولی از کاربران مناسب برای ارسال همزمان بر روی یک منبع است.گروه‌بندی مناسب کاربران بر کارایی سیستم تاثیر بسزایی دارد چرا که می‌توان با در نظر گرفتن معیارهای مختلف برای انتخاب کاربران به اهداف متفاوت مانند افزایش نرخ سیستم، افزایش عدالت و غیره دست یافت. در بیشتر کارهای انجام شده، گروه‌بندی بر اساس تفاوت شرایط کانال کاربران است و به کیفیت خدمات کاربران توجهی نمی شود. در این پژوهش، یک روش گروه‌بندی عادلانه با در نظر گرفتن حداقل نرخ مورد نیاز کاربران در کنار تفاوت شرایط کانال آن‌ها ارائه می‌شود که بر خلاف مدل‌های عدالت موجود که هدف آن‌ها دستیابی به نرخ برابر برای کاربران است، معیار عدالت را در برآورده کردن حداقل نرخ مورد نیاز کاربران در نظر می‌گیرد و در مصالحه‌ای به دنبال افزایش همزمان مجموع نرخ سیستم نیز هست. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی نه تنها از منظر عدالت عملکرد مطلوبی دارد بلکه برای دستیابی به این سطح از عدالت، مصرف توان کمتری نیز به همراه داشته و بهره‌وری انرژی را افزایش می دهد.

کلید واژه- دسترسی چندگانه‌ی غیر متعامد مبتنی بر توان، گروه‌بندی کاربران، کیفیت خدمات، 5G، Jain Index.

1- مقدمه

سرعت پیشرفت ارتباطات بی‌سیم و اینترنت اشیا، باعث حرکت به سوی طراحی نسل پنجم[1](5G) شبکه‌های بی‌سیم شده است که می‌تواند پیشرفت‌های قابل توجهی در ناحیه‌ی پوشش و ظرفیت شبکه ایجاد کند. افزایش تقاضای ترافیکی، سیستم های 5G را با چالش‌هایی نظیر چگونگی رسیدن به کارایی طیف بالا، اتصال انبوه و تاخیر پایین روبه‌رو می کند [1].

به منظور بهبود بهره‌وری طیف، افزایش مجموع نرخ سیستم و پشتیبانی از تعداد کاربر بیش‌تر، دسترسی چندگانه‌ی غیرمتعامد[2] (NOMA) به عنوان یک تکنولوژی امیدبخش توجه زیادی را برای استفاده در شبکه‌های 5G به خود جلب کرده است. ایده‌ی کلیدی NOMA پشتیبانی از تخصیص غیرمتعامد منابع به کاربران است، به این معنی که برخلاف روش‌های دسترسی چندگانه‌ی متعامد مرسوم، که یک منبع فقط به یک کاربر اختصاص می یابد، NOMA به چندین کاربر اجازه می‌دهد که یک منبع یکسان را به صورت همزمان به اشتراک بگذارند [2, 3].

استفاده از NOMA باعث ایجاد تداخل بین کاربری می‌شود. برای حل این مشکل، گیرنده از تکنیک حذف متوالی تداخل[3] (SIC) برای آشکارسازی سیگنال‌های دریافتی استفاده می‌کند که افزایش پیچیدگی آن را درپی دارد [1]. اگر تعداد کاربران ارسال کننده روی یک منبع زیاد باشد و یا اگر کاربران مناسبی برای ارسال همزمان انتخاب نشده باشند، پیچیدگی بالای گیرنده، افزایش احتمال خطا در آشکارسازی کاربران و افزایش تداخل بین کاربری پیش خواهد آمد. برای حل این مشکلات از تکنیک گروه‌بندی استفاده می‌شود. گروه‌بندی روشی برای انتخاب مناسب کاربران ارسال کننده بر روی یک منبع است. در این راه حل به کاربران هر گروه، منابع به صورت غیرمتعامد اختصاص می‌یابد، در صورتی که اختصاص منابع به گروه‌های متفاوت متعامد است. به طور کلی تکنیک‌های دستیابی چندگانه غیرمتعامد، شامل دسترسی چندگانه غیرمتعامد در حوزه‌ی

[1] 5Generation
[2] Non-Orthogonal Multiple Access
[3] Successive Interference Cancellation

توان[4] و کد است که در این پژوهش از تکنیک «دسترسی چندگانه غیرمتعامد حوزه‌ی توان» استفاده می‌شود.

در دسترسی چندگانه غیرمتعامد حوزه توان، سیگنال کاربران با سطوح مختلف توان با هم تلفیق شده و روی یک منبع یکسان ارسال می‌شود و در گیرنده سیگنال‌های آن‌ها با استفاده از تکنیک SIC آشکار می‌شود. سطوح توان متفاوت سیگنال کاربران مختلف باید با توجه به شرایط کانال آنها اختصاص یابد تا در گیرنده بتوان به راحتی عمل آشکارسازی را انجام داد.

معمولاً مسائل گروه‌بندی و تخصیص توان به صورت یک مسئله‌ی بهینه‌سازی فرموله می‌شود اما به دلیل سخت بودن[5] ماهیت مسئله، نمی‌توان هم‌زمان برای آن به یک جواب بهینه رسید بنابراین معمولا آن‌را به دو مسئله‌ی مجزای گروه‌بندی و تخصیص توان تفکیک می‌کنند. در زمینه‌ی گروه‌بندی و تخصیص توان پژوهش‌های زیادی صورت گرفته که هر کدام اهداف متفاوتی را مورد توجه قرار داده‌اند به عنوان مثال بیشینه کردن نرخ، کمینه کردن توان مصرفی و غیره. در اکثر مقالات از تفاوت شرایط کانال برای گروه‌بندی کاربران بهره می‌گیرند و تنها معیار در نظر گرفته شده برای گروه‌بندی اختلاف شرایط کانال آن‌ها است. به همین دلیل سطح توان ارسال کاربران را در الگوریتم گروه‌بندی، یکسان فرض می‌کنند.

این در حالی است که کاربران متفاوت نیازمندی‌های کیفیت خدمات متفاوتی دارند و گروه‌بندی تنها بر اساس اختلاف شرایط کانال کاربران، ممکن است باعث کاهش عدالت در سطح سیستم شود. زیرا ممکن است در برخی گروه ها، همه‌ی کاربران نرخ بالایی نیاز داشته باشند و این باعث افزایش تداخل بین آن‌ها شود، ولی در دیگر گروه‌ها این‌گونه نباشد. همچنین در مواقعی که هدف حداکثر کردن مجموع نرخ است روش بهینه‌ی قرار دادن کاربران با اختلاف شرایط کانال بیشتر در یک گروه، ممکن است باعث شود کاربران با شرایط کانال نزدیک به هم، از مزایای گروه‌بندی محروم شوند. بنابراین در نظر گرفتن این معیار به تنهایی باعث توزیع ناعادلانه‌ی کاربران در گروه‌ها شود. در نتیجه بهتر است در گروه‌بندی کاربران به نیازمندی کیفیت خدمات کاربران توجه شود و سطوح توان متفاوتی بر اساس حداقل نرخ مورد نیازشان به آن‌ها اختصاص یابد. همچنین در نظر گرفتن شرایط کانال و حداقل نرخ مورد نیاز کاربران در گروه‌بندی، سبب می شود که از گروه‌بندی کاربرانی که نسبت سیگنال به نویز آن‌ها به هم نزدیک است جلوگیری شود و گروه‌بندی عادلانه‌تری به دست آید.

دلیل این رویکرد آن است که در ارسال بالاسو، توان کاربر ضعیف بر روی کاربر قوی تداخل ایجاد می کند و اگر حداقل نرخ مورد نیاز کاربر ضعیف زیاد باشد تداخلی که بر کاربر قوی ایجاد می‌کند، زیاد است. بنابراین نیاز داریم که به جای بیشینه کردن تفاوت شرایط کانال کاربران در گروه‌های متفاوت، تفاوت SNR آنها را در گروه‌بندی در نظر بگیریم. علاوه بر این به دلیل استفاده از SIC در گیرنده، باید توان سیگنال کاربران یک گروه به اندازه‌ی کافی متفاوت باشد. بنابراین توان ارسال کاربر قوی روی توان ارسالی که کاربر ضعیف می تواند داشته باشد محدودیت ایجاد می‌کند و کاربر ضعیف برای کاهش تداخل باید روی توان ارسالش کنترل داشته باشد. در نتیجه باید کاربران ضعیف و قوی به صورتی عادلانه در گروه‌ها قرار بگیرند که کمترین محدودیت را برای آن‌ها در برداشته باشد.

با توجه به مطالب بیان شده، در این پژوهش به دنبال روشی برای گروه‌بندی کاربران بر اساس معیار عدالت هستیم به این صورت که بر خلاف کارهای صورت گرفته که تنها شرایط کانال را ملاک گروه‌بندی قرار داده‌اند علاوه بر شرایط کانال کاربران، حداقل نرخ مورد نظر آن‌ها نیز در الگوریتم گروه‌بندی مد نظر قرار بگیرد که باعث توزیع عادلانه‌تر کاربران قوی و ضعیف در گروه‌ها می‌شود. بنابراین در الگوریتم گروه‌بندی از تفاوت SNR کاربران برای توزیع آن‌ها در گروه‌ها بهره گرفته می‌شود.

در ادامه ی مقاله، در بخش 2 به بیان برخی کارهای مرتبط پرداخته می شود. مدل سیستم در بخش 3 ذکر می شود، در بخش 4 فرموله‌سازی مسئله نتیجه گرفته می‌شود، الگوریتم گروه‌بندی در بخش 5 بیان می‌شود و در بخش 6 نتایج شبیه سازی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش پایانی نیز نتیجه‌گیری مقاله آورده شده است.

2- کارهای مرتبط

در این قسمت برخی تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌ی گروه‌بندی تشریح می‌شود. در [4] نویسندگان به دنبال ارائه‌ی روشی برای بهبود روش گروه‌بندی برای کاربران با شرایط کانال نزدیک به هم هستند. زمانی که معیار گروه‌بندی، قرار دادن کاربران لبه‌ی سلول با کاربران مرکزی در یک گروه است، ممکن است کاربرانی که در میانه‌ی سلول قرار دارند به دلیل مسائل SIC نتوانند ارسال NOMA داشته باشند و بنابراین از افزایش ظرفیت حاصل از NOMA بی‌بهره می‌شوند. در این مقاله دو روش برای گروه‌بندی مناسب‌تر با در نظر گرفتن این کاربران ارائه می‌شود. ایده‌ی [5]،

[4] Power Domain NOMA
[5] NP-hard

ارائه‌ی الگوریتم گروه‌بندی با پیچیدگی محاسباتی پایین است. به منظور رسیدن به این هدف، نویسندگان برای هر یک از کاربران یک ضریب اولویت در نظر می‌گیرند و برای هر منبع، کاربر با بیشترین ضریب اولویت را انتخاب می‌کنند و سپس کاربر دوم به صورتی انتخاب می‌شود که بیشترین نرخ را روی این منبع داشته باشد و همچنین SIC موفق را نیز تضمین کند. در [6] تمرکز روی جلوگیری از قرار گرفتن کاربران با شرایط کانال مشابه در یک گروه و همچنین جلوگیری از اجرای کامل الگوریتم گروه‌بندی در مواقعی است که کاربر جدیدی وارد سیستم می‌شود یا از آن خارج می‌شود. و با تعیین توابع فاصله‌ای برای کاربران، این اهداف محقق می‌شود. در این مقاله، هدف الگوریتم تخصیص توان، حداقل کردن تداخل همراه با تضمین نرخ داده‌ی مورد نیاز کاربران است. هدف نویسندگان در [7]، اصلاح روش گروه‌بندی کاربران با در نظر گرفتن حداقل حدود است. زمانی که ایده‌ی گروه‌بندی بر مبنای قرار دادن کاربران دورتر از BS و کاربران نزدیک به BS در یک گروه باشد، اولین گروه حداکثر افزایش مجموع نرخ را دارا است در حالی که این افزایش نرخ تقریبا برای پنجاه درصد از گروه‌ها قابل توجه نیست بنابراین در این مقاله به دنبال راهی برای تضمین حداقل افزایش نرخ برای هر گروه هستند. در منبع [8] کاربران بر اساس شرایط کانال به دو گروه قوی و ضعیف تقسیم می‌شوند و کاربران گروه اول با کاربران گروه دوم در یک گروه قرار می‌گیرد و هدف از مسئله‌ی تخصیص توان، حداکثر کردن مجموع نرخ سیستم است. منبع [9] از مدل PF [6] برای ایجاد مصالحه بین عدالت و مجموع نرخ استفاده می‌کند و گروه‌بندی کاربران را نیز بر اساس اختلاف شرایط کانال کاربران انجام می‌دهد. در [10] نویسندگان برای تخصیص منابع از مدل α-fairness استفاده می‌کنند که قادر است با تغییر مقدار α و بدون به کارگیری مدل‌های عدالت مختلف سطوح عدالت متفاوتی را به دست آورد. با توجه به توضیحات در تمامی کارهایی که ذکر شد تنها معیاری که برای بهبود گروه‌بندی در نظر گرفته شده است تفاوت شرایط کانال کاربران است که با توجه به توضیحاتی که در انتهای بخش قبل آورده شده است تنها توجه به این معیار ساده روشی بهینه برای گروه‌بندی کاربران نمی‌باشد. در ادامه مدل سیستم به کاربرده شده بیان می‌شود و با توجه به آن روش گروه‌بندی پیشنهادی شرح داده می‌شود.

3- مدل سیستم

یک سیستم با یک ایستگاه پایه[7](BS) به همراه N کاربر که مجهز به یک آنتن فرستنده/گیرنده هستند را در ارسال بالاسو در نظر می‌گیریم. برای کاهش پیچیدگی گیرنده تعداد اعضای هر گروه به دو کاربر محدود می‌شود. فرض می‌کنیم اطلاعات شرایط کانال[8] (CSI) به صورت کامل در اختیار تمام کاربران و BS قرار دارد. همچنین SIC بدون نقص در نظر گرفته می‌شود یعنی تمامی سیگنال‌ها بدون خطا و به صورت کامل آشکارسازی و تفکیک می‌شوند.

3-1- ارسال بالاسو

در ارسال بالاسو، N کاربر سیگنال‌های خود (x_i) را با توان p_i به گیرنده‌ی واحد می‌فرستند و گیرنده این سیگنال‌ها را هم‌زمان روی کل پهنای باند موجود دریافت می‌کند. در ارسال بالاسو ترتیب آشکارسازی سیگنال کاربران به ترتیب نزولی شرایط کانال آن‌ها است. یعنی آشکارسازی سیگنال، از کاربر با بهترین شرایط کانال شروع می‌شود و تا کاربر با بدترین شرایط کانال ادامه می‌یابد. سیگنال دریافتی در گیرنده به صورت رابطه (1) نمایش داده می‌شود (z نویز سفید گوسی جمع شونده با میانگین صفر و واریانس σ^2 است):

$$Y = \sum_{i=1}^{n} h_i\sqrt{p_i}x_i + z \qquad (1)$$

کاربران بر اساس شرایط کانالشان به صورت رابطه‌ی (2) مرتب می‌شوند با توجه به این ترتیب، در هر گروه کاربر با شرایط کانال بدتر به عنوان کاربر ضعیف و کاربر با شرایط کانال بهتر، کاربر قوی نامیده می‌شود. در هر گروه کاربر ضعیف به دلیل استفاده از تکنیک SIC از کاربر قوی تداخل دریافت نمی‌کند اما کاربر قوی از کاربر ضعیف تداخل می‌گیرد. بنابراین نرخ (R) کاربران گروه با توجه به روابط زیر بدست می آید (B پهنای باند منبع تخصیص داده شده به گروه است).

$$|h_1| \geq |h_2| \geq \cdots \geq |h_n| \qquad (2)$$

$$R_i = B\log_2\left(1 + \frac{P_i|h_i|^2}{\sum_{j=i+1}^{n} P_j|h_j|^2 + \sigma^2}\right) \qquad (3)$$

$$R_n = \mathrm{B}\log_2\left(1 + \frac{P_n|h_n|^2}{\sigma^2}\right) \qquad (4)$$

4- فرموله سازی مسئله

در این بخش مسئله‌ی گروه‌بندی و تخصیص توان با توجه به اهداف بیان شده فرموله می‌شود و از آن در الگوریتم گروه‌بندی و

[6] Proportional Fairness

[7] Base Station
[8] Channel State Information

تخصیص توان به کاربران بهره گرفته می‌شود. در تحقیقات پیشین، گرفته معیارهای عدالت متفاوتی برای مسائل گروه‌بندی در نظر گرفته شده است. در این مقاله از مدل عدالت Jain Index برای برآورده کردن عدالت استفاده می‌کنیم. در اکثر روش‌هایی که هدفشان برآوردن عدالت کاربران است، نرخ به عنوان متغیر رابطه استفاده می‌شود و بیشترین سطح عدالت زمانی حاصل می شود که تمامی کاربران به نرخ ارسال یکسانی دست یابند. اما این دید بهینه نیست، زیرا کاربران نیازمند نرخ‌های ارسال متفاوتی هستند به همین دلیل، تخصیص منابع به گونه‌ای که کاربران به نرخ ارسال یکسان برسند عادلانه نیست و بهتر است در تخصیص منابع و گروه‌بندی با توجه به نیاز کاربران به گونه‌ای عمل کنیم که سود حاصل از گروه‌بندی برای کاربران یکسان باشد. در نتیجه در معیار Jain Index، از نسبت نرخ بیت بدست آمده برای کاربر به حداقل نرخ مورد نیاز آن برای حداکثر کردن عدالت استفاده می‌کنیم. همچنین علاوه بر ایجاد عدالت بین کاربران، افزایش مجموع نرخ سیستم نیز در نظر گرفته می شود و لذا این مقاله به دنبال ایجاد مصالحه ای بهینه بین عدالت و مجموع نرخ است.

- Jain Index

این معیار به صورت رابطه‌ی 5 بیان می‌شود که مقدار به دست آمده برای آن در بازه‌ی [0,1] قرار می‌گیرد. حداکثر مقدار آن، یعنی 1 زمانی حاصل می‌شود که واریانس X_i ها برابر صفر باشد. ما در این رابطه به جای X_i مقدار $\frac{R_i}{\varphi_i}$ را قرار می‌دهیم(R_i نرخ به‌دست آمده برای کاربر i و φ_i حداقل نرخ مورد نیاز کاربر است).

$$\frac{(\sum_{i=1}^{n} X_i)^2}{n.\sum_{i=1}^{n} X_i^2} \quad (5)$$

با توجه به مطالب بیان شده، مسئله گروه‌بندی و تخصیص توان به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$\max \ \alpha \frac{(\sum_{i=1}^{n} X_i)^2}{n.\sum_{i=1}^{n} X_i^2} + (1-\alpha)\sum_{i=1}^{n} R_i \quad (6)$$

$$X_i = \frac{R_i}{\varphi_i} \quad (7)$$

قسمت دوم رابطه 6 مربوط به مجموع نرخ سیستم است و ضریب α نشان دهنده میزان اهمیت نرخ کلی سیستم در مقابل عدالت کاربران است. بعد از جایگذاری مقدار X_i و R_i در رابطه‌ی (6) مسئله‌ی گروه‌بندی و تخصیص توان به صورت زیر بازنویسی می‌شود.

$$\max \ \alpha.\frac{\left(\sum_{i=1}^{n} B\log_2 \frac{P_i|h_i|^2}{\varphi_i \sum_{j=i+1}^{n} \beta_{i,j}P_j|h_j|^2 + \sigma^2}\right)^2}{n.\sum_{i=1}^{n}\left(\log_2 \frac{P_i|h_i|^2}{\varphi_i \sum_{j=i+1}^{n} \beta_{i,j}P_j|h_j|^2 + \sigma^2}\right)^2} + (1-\alpha).\frac{\sum_{i=1}^{n}(\log_2 \frac{P_i|h_i|^2}{\sum_{j=i+1}^{n} \beta_{i,j}P_j|h_j|^2 + \sigma^2})}{\sum_{i=1}^{n}(\log_2 \frac{P_t|h_i|^2}{\sigma^2})} \quad (8)$$

Subject to

C_1: $X_i \geq 1$

C_2: $P_i \leq P_t$

C_3: $\beta_{i,j} \in \{0,1\}$, $1 \leq i,j \leq n$

C_4: $\beta_{i,j} = \beta_{j,i}$, $1 \leq i,j \leq n$

C_5: $\beta_{i,i} = 0$, $1 \leq i \leq n$

C_6: $\sum_{i=1}^{n} \beta_{i,j} = 1$, $1 \leq i \leq n$

C_7: $\sum_{j=1}^{n} \beta_{i,j} = 1$, $1 \leq j \leq n$

C_8: $SNR_i - SNR_j \geq th$

قید اول تضمین می‌کند که همه‌ی کاربران به حداقل نرخ مورد نیاز خود برسند. در قید دوم P_t حداکثر توان ارسال کاربر است و این قید تضمین می‌کند که توان ارسال کاربر بیشتر از حداکثر سطح توان ارسال آن نشود. قید سوم تا هفتم تضمین می کنند که هر کاربر فقط عضو یک گروه باشد و تعداد اعضای گروه محدود به دو کاربر باشد. قید آخر شرط SIC است و به حساسیت گیرنده و کدینگ به کار رفته بستگی دارد و تضمین می‌کند که اختلاف SNR سیگنال کاربران در یک گروه از یک مقدار آستانه بیشتر باشد تا سیگنال‌ها به درستی تفکیک شوند. در ادامه به تشریح الگوریتم گروه‌بندی می‌پردازیم.

5- الگوریتم گروه‌بندی

همان‌طور که ذکر شد در اکثر تحقیقات مرتبط به گروه‌بندی، سطح توان ارسال کاربران را یکسان فرض می‌کنند و با این فرض و با توجه به شرایط کانال کاربران، آن‌ها را گروه‌بندی می‌کند. در این مقاله، سطح توان ارسال کاربران متفاوت در نظر گرفته می‌شود. بنابراین برای در نظر گرفتن نیازمندی کیفیت خدمات کاربر، ابتدا توان ارسالی که هر کاربر برای رسیدن به حداقل نرخ مورد نیازش باید داشته باشد را محاسبه می‌کنیم. در این محاسبه فرض بر آن است که کاربر به تنهایی از منبع تخصیص داده شده به آن استفاده می‌کند. مقدار محاسبه شده حداقل توانی است که کاربران در ارسال هم‌زمان بر روی یک منبع باید مصرف کنند. دلیل این امر آن است

که کاربر ضعیف در ارسال بالاسو از کاربر قوی تداخل نمی‌گیرد در نتیجه با این سطح از توان به نرخ مورد نیازش می‌رسد. همچنین کاربر قوی به دلیل این‌که از کاربر ضعیف تداخل دریافت می‌کند باید برای رسیدن به حداقل نرخ مورد نیازش و غلبه بر تداخل کاربر ضعیف با توانی بیشتر از این مقدار ارسال کند. سپس با توجه به حداقل توان به دست آمده برای کاربران و شرایط کانالشان و فرمول به دست آمده در قسمت قبل کاربران را به گونه‌ای گروه‌بندی می‌کنیم که کمترین محدودیت را بر آن‌ها اعمال کند و کاربران قوی و ضعیف به صورت بهتری در گروه‌ها توزیع شوند. سپس با توجه به همان فرمول به کاربران هر گروه توان تخصیص داده می‌شود. در این جا به دلیل پیچیدگی جستجوی جامع برای حل مسئله، از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[9] استفاده می‌شود. از دلایل استفاده از این روش می‌توان به پیچیدگی زمانی خطی و هم‌چنین متوقف نشدن در نقاط بهینه‌ی محلی اشاره کرد. به دلیل ماهیت گسسته‌ی مسئله‌ی گروه‌بندی و ماهیت پیوسته‌ی تخصیص توان و مقایسه‌ی روش گروه‌بندی پیشنهادی با روش‌های موجود هر یک از مسائل گروه‌بندی و تخصیص توان را به صورت مجزا با الگوریتم PSO حل می‌کنیم.

الگوریتم PSO از جمله روش‌های فراابتکاری[10] است که برگرفته از رفتار جمعی، جوامع زیستی است و در آن از هوش ازدحامی استفاده می‌شود. روش کار این الگوریتم به این صورت است که یک جمعیت اولیه از جواب‌های تصادفی (ذرات) تولید می‌شود سپس با توجه به تابع برازندگی[11] در تکرارهای متناهی این جواب‌ها بهبود یافته و در نهایت ذره با بهترین مقدار برازندگی به عنوان بهترین جواب به‌دست آمده، حاصل می‌شود. جزییات بیشتر این روش در منبع [11] آورده شده است. در این پژوهش هر کدام از ذرات یک گروه‌بندی اولیه را نشان می‌دهد و با توجه به رابطه‌ی 8 برازندگی هر جواب محاسبه می‌شود. سپس در تکرارهای تعیین شده هر کدام از این گروه‌بندی‌ها تکامل یافته و در نهایت گروه‌بندی با بیشترین مقدار برازندگی به عنوان جواب الگوریتم بازگردانده می‌شود.

6- ارزیابی و شبیه سازی روش پیشنهادی

در این مقاله برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی از نرم‌افزار MATLAB 2018a استفاده شده است. در جدول 1 پارامترهای شبیه‌سازی آورده شده است. در الگوریتم PSO، تعداد ذرات اولیه 40 ذره و تعداد تکرارهای الگوریتم 300 تکرار در نظر گرفته می‌شود. کاربران در محیطی دایره‌ای به شعاع 500m حول BS به صورت یکنواخت توزیع شده‌اند و حداقل نرخ مورد نیاز آن‌ها از 100Kbit/s تا 1Mbit/s متغیر است. همچنین مدل کانال را Two-Ray Ground در نظر می‌گیریم و مقدار path loss exponent را برابر 4 قرار می‌دهیم.

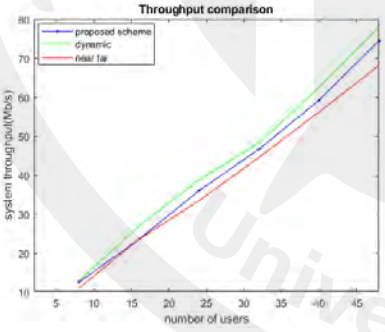
جدول 1: پارامترهای شبیه‌سازی

پارامترها	مقدار
چگالی نویز	-173 dBm/Hz
حداکثر سطح توان ارسال گره	24 dBm
حداقل آستانه‌ی SIC	10dBm
پهنای باند موثر سیستم	20MHz
پهنای باند هر بلاک منبع،B	180KHz
تعداد بلاکهای منبع در دسترس	100
α	0.5

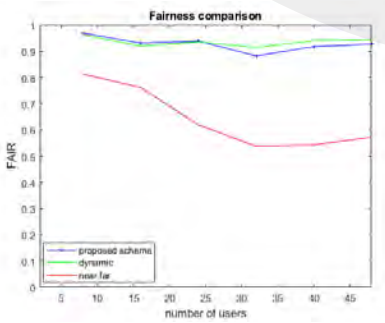
برای ارزیابی روش، پارامترهای نتایج مقدار توان مصرفی، میزان عدالت سیستم، گذردهی کلی سیستم و بهره‌وری انرژی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

روش گروه‌بندی پیشنهاد شده با روش گروه‌بندی near-far و dynamic ارائه شده در مرجع [4] و [7] مقایسه می‌شود و در هر سه حالت برای تخصیص توان به کاربران از فرمول 8 استفاده شده است.

گذردهی کلی شبکه، میزان عدالت، میزان مصرف توان و بهره وری انرژی دو روش فوق الذکر و روش پیشنهادی به ازای α=0.5 در نمودارهای 1 و 2 و3 و 4 آورده شده اند.



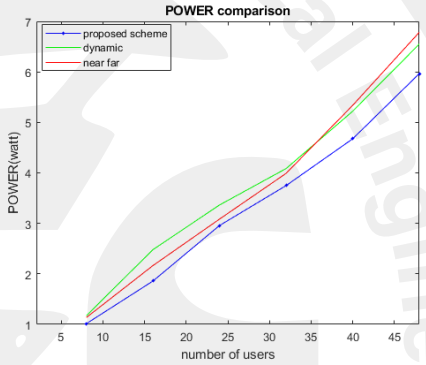
نمودار 1: مقایسه مجموع نرخ



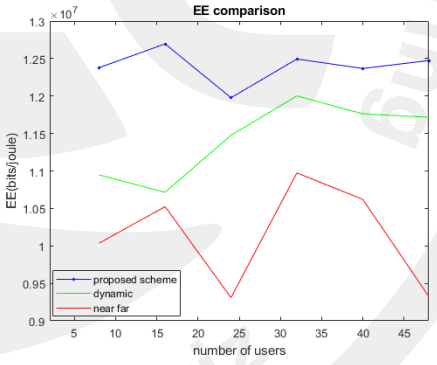
نمودار 2: مقایسه عدالت

[9] Particle Swarms Optimization
[10] Metaheuristic
[11] Fitness Function

همان‌طور که در نمودارهای 1 و 2 دیده می‌شود، روش پیشنهادی و روش dynamic هر دو به مصالحه ی تقریباً یکسانی در نرخ و عدالت دست می‌یابند. اما با افزایش تعداد کاربران روش dynamic همان‌طور که در نمودارهای بعدی نشان داده می‌شود برای رسیدن به این سطح از مصالحه باید توان بیشتری مصرف کند بنابراین طرح پیشنهادی از نظر بهره‌وری انرژی به صورت کاراتر عمل می‌کند. در تمامی موارد نیز طرح پیشنهادی نسبت به روش near-far بهتر عمل می‌کند. دلیل این امر آن است که تمرکز روش near-far بیشتر روی کاربران لبه و مرکز سلول است که برای کاربرانی که در لبه و یا مرکز سلول نباشند گروه‌بندی ناکارآمدی است.



نمودار 3: مقایسه‌ی مصرف توان



نمودار 4: مقایسه‌ی بهره‌وری انرژی

با توجه به نمودارهای 3 و 4، طرح پیشنهادی از نظر مصرف توان و بهره‌وری انرژی بهتر عمل می‌کند. دلیل این امر آن است که در روش پیشنهادی کاربرانی در یک گروه قرار می‌گیرند که کمترین تداخل را بر هم ایجاد کنند. بنابراین برای غلبه بر این تداخل توان کمتری مصرف می‌کنند. در نتیجه روش پیشنهادی باعث توزیع بهتر کاربران در گروه‌ها می‌شود.

7- نتیجه‌گیری

گروه‌بندی تنها بر اساس اختلاف شرایط کانال کاربران ممکن است باعث کاهش عدالت در سطح سیستم شود. بنابراین به منظور گروه‌بندی عادلانه تر کاربران و همچنین مصالحه بین مجموع نرخ سیستم و عدالت با در نظر گرفتن کیفیت خدمات هر کاربر، روشی بر مبنای عدالت نسبی برای گروه‌بندی ایجاد شد که بر اساس آن کاربران با توجه به حداقل توان مورد نیاز و همچنین شرایط کانالشان در گروه‌ها به گونه‌ای توزیع می‌شوند که هم عدالت نسبی و هم مجموع نرخ سیستم به یک مصالحه‌ی مناسب برسند. نتایج شبیه سازی نشان داد که روش پیشنهادی از لحاظ عدالت و مصرف توان بهتر از روش‌های موجود عمل می‌کند و از نقطه نظر بهره‌وری انرژی نیز بهتر عمل می‌کند.

مراجع

[1] M. Al-Imari, P. Xiao, M. A. Imran, and R. Tafazolli, "Uplink non-orthogonal multiple access for 5G wireless networks," in *2014 11th international symposium on wireless communications systems (ISWCS)*, 2014: IEEE, pp. 781-785.

[2] Z. Yang, W. Xu, C. Pan, Y. Pan, and M. Chen, "On the optimality of power allocation for NOMA downlinks with individual QoS constraints," *IEEE Communications Letters,* vol. 21, no. 7, pp. 1649-1652, 2017.

[3] L. Dai, B. Wang, Z. Ding, Z. Wang, S. Chen, and L. Hanzo, "A survey of non-orthogonal multiple access for 5G," *IEEE communications surveys & tutorials,* vol. 20, no. 3, pp. 2294-2323, 2018.

[4] M. B. Shahab, M. Irfan, M. F. Kader, and S. Young Shin, "User pairing schemes for capacity maximization in non-orthogonal multiple access systems," *Wireless Communications and Mobile Computing,* vol. 16, no. 17, pp. 2884-2894, 2016.

[5] J. He and Z. Tang, "Low-complexity user pairing and power allocation algorithm for 5G cellular network non-orthogonal multiple access," *Electronics Letters,* vol. 53, no. 9, pp. 626-627, 2017.

[6] C. W. Zaw and C. S. Hong, "Users Clustering and Power Allocation in Non-Orthogonal Multiple Access Systems: A Heuristic Approach." 2017.

[7] S. R. Islam, M. Zeng, O. A. Dobre, and K.-S. Kwak, "Resource allocation for downlink NOMA systems: Key techniques and open issues," *IEEE Wireless Communications,* vol. 25, no. 2, pp. 40-47, 2018.

[8] M. S. Ali, H. Tabassum, and E. Hossain, "Dynamic user clustering and power allocation for uplink and downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) systems," *IEEE access,* vol. 4, pp. 6325-6343, 2016.

[9] A. Li, A. Benjebbour, X. Chen, H. Jiang, and H. Kayama, "Uplink non-orthogonal multiple access (NOMA) with single-carrier frequency division multiple access (SC-FDMA) for 5G systems," *IEICE Transactions on Communications,* vol. 98, no. 8, pp. 1426-1435, 2015.

[10] Y. Sun, Y. Guo, S. Li, D. Wu, and B. Wang, "Optimal resource allocation for NOMA-TDMA scheme with α-fairness in industrial internet of things," *Sensors,* vol. 18, no. 5, p. 1572, 2018.

[11] G. T. Pulido and C. A. C. Coello, "A constraint-handling mechanism for particle swarm optimization," in *Proceedings of the 2004 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No. 04TH8753)*, 2004, vol. 2: Ieee, pp. 1396-1403.