

# An Optimal Power Allocation in Multi-Beam Satellite Communication Systems Including Inter-Beam Interference by Particle Swarm Optimization (PSO)

A. Rezaee<sup>1</sup>, N. Nobahari<sup>2</sup> and H. BarghiZanjani<sup>3</sup>

1, 2 and 3. Department of New Science and Technology, University of Tehran

\*

Postal Code: 1439957131, Tehran, IRAN

arrezae@ut.ac.ir

*This paper aims to propose the interference and also investigates the channel effect on power allocation issue. Here, the particle swarm optimization (PSO) method is employed in order to find the optimal solution. Because of the value of resources in the satellite telecommunication systems, optimizing the use of power allocation is very important. In these systems, because of non-zero side lobe, there exists an interference between beams that affects the allocation problem. To assess the efficiency of PSO algorithm, the obtained results are compared with the Duality Theory. The analogy is conducted through three different scenarios: In the first scenario, it is supposed to have interference between each beam and the three adjacent beams. The second scenario assumes that the first beam interferes with other beams. Finally, in the third scenario, the analysis of channel conditions of each beam and its effect on the power allocation problem is provided. The objective functions for the proposed method are the total system capacity and sum of the square of difference between the requested traffic and the allocated beam power. The results indicate that the proposed algorithm improves the solution in each scenario and implements justice to the power allocation issue.*

**Keywords:** Multibeam satellite communication systems, PSO optimization, Power allocation

---

1. Assistant Professor (Corresponding Author)

2. M. Sc. Student

3. M. Sc. Student

# تخصیص بهینه توان با الگوریتم ازدحام ذرات در سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای با تداخل بین بیمی

علیرضا رضائی<sup>۱\*</sup>، نیلوفر نوبهاری<sup>۲</sup> و حکیمه برقی زنجانی<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳- دانشکده مهندسی علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

\*تهران، کد پستی: ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱

arrezace@ut.ac.ir

به دلیل با ارزش بودن منابع توان در سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای، استفاده بهینه از آن‌ها بسیار اهمیت می‌یابد. بنابراین برای این سیستم‌ها، تخصیص توان حائز اهمیت است. در این سیستم‌ها به دلیل غیر صفر بودن لوب جانبی، تداخل بین بیمی وجود دارد که روی مسئله تخصیص توان اثر می‌گذارد. در این مقاله این اثر مهم و همچنین تأثیر شرایط کانال روی تخصیص توان بررسی شده و برای بهینه‌سازی از الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) استفاده شده است. همچنین برای نشان دادن کیفیت این الگوریتم برای مسئله مدنظر، این روش با تئوری دوگانگی در قالب سه سناریو مقایسه شده است. در سناریوی اول فرض می‌شود که هر بیم با سه بیم مجاور خود تداخل دارد و در سناریوی دوم فرض می‌شود که تنها بیم اول با سایر بیم‌ها تداخل دارد و در نهایت در سناریوی سوم به بررسی وضعیت کانال هر بیم و تأثیری که روی تخصیص توان می‌گذارد، پرداخته می‌شود. معیار مورد بررسی برای بهبود پاسخ در این مسائل، ظرفیت کل سیستم و جمع مربع تفاضل بین ترافیک درخواستی و توان اختصاصی به هر بیم، در نظر گرفته شده است. با بررسی پاسخ‌ها مشاهده می‌شود، این الگوریتم در هر سه سناریو پاسخ را بهبود بخشیده و موجب تخصیص بهینه توان شده است.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای چندبیمه، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، تخصیص توان

*pbest*

بهترین جواب فرد نام در تکرارهای مختلف

## علائم و اختصارات

$v_i^k$	بردار حرکت فرد نام در تکرار نام (تکرار جاری)
$v_i^{k+1}$	بردار حرکت اصلاح شده برای فرد نام
$x_i^k$	موقعیت جاری فرد نام در تکرار نام
$rand$	یک عدد تصادفی بین صفر و 1
$gbest$	بهترین جواب در میان تمامی افراد جامعه
$c_i$	ضریب وزنی برای هر مؤلفه
$w_i$	ضریب وزنی برای بردار سرعت فرد نام و ...

## مقدمه

ماهواره‌ها ویژگی‌هایی خاصی دارند که آن‌ها را از دیگر سیستم‌های مخابراتی متمایز می‌کند. یکی از این ویژگی‌ها پوشش سطح بزرگی از زمین توسط یک ماهواره است. معمولاً این پوشش توسط یک بیم انجام می‌گیرد. ولی مشکل این روش این است که بهره آنتن با پهنای باند محدود می‌شود. برای جبران این محدودیت، سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای چندبیمی پدیدار شدند. این سیستم‌ها، به جای استفاده از یک بیم بزرگ، از چند بیم نازک برای پوشش قسمت‌های مختلف زمین استفاده می‌کنند و به این ترتیب با کاهش زاویه روزنه بیم، موجب افزایش بهره می‌شوند شکل (۱).

استفاده از سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای چندبیمی مزایایی

۱. استادیار (نویسنده مخاطب)

۲. کارشناسی ارشد

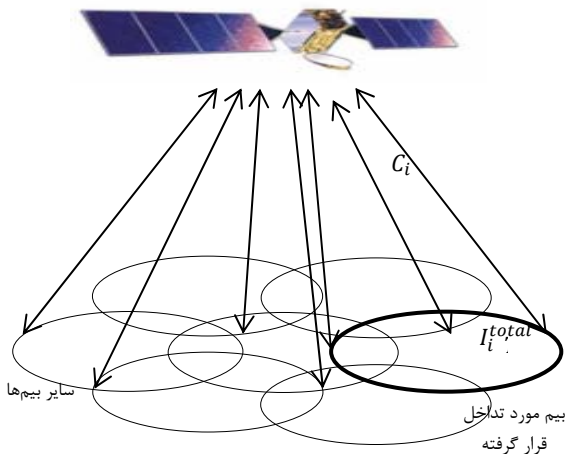
۳. کارشناسی ارشد

تخصیص توان، ظرفیت کل هم ماکزیمم شد، که ما با الگوریتمی دیگر این نتایج را بهبود بخشیده ایم.

در ادامه این مقاله به قسمت‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شود: در بخش ۲ ابتدا سیستم مخابرات ماهواره‌ای چندبیمه را مدل‌سازی کرده و سپس به ارائه فرمول تخصیص توان پرداخته می‌شود. در ادامه مختصری راجع به الگوریتم پیشنهادی خود (PSO) بحث می‌شود. و نهایتاً در بخش ۳ نتایج شبیه‌سازی و مقایسه آن با روش تئوری دوگانگی [۱] آورده می‌شود. در بخش ۴ نتایج این مقاله آورده می‌شود.

### مدل‌سازی سیستم مخابرات ماهواره‌ای چندبیمه

برای مدل‌سازی سیستم مخابرات ماهواره‌ای چندبیمه، شکل (۱) در نظر گرفته می‌شود:



شکل ۱- ساختار یک سیستم مخابرات ماهواره‌ای چندبیمه [۱]

در این شکل،  $T_i$  ترافیک درخواستی بیم  $i$ ام،  $I_i^{total}$  تداخل کل بین بیم  $i$ ام و دیگر بیم‌ها و  $C_i$  هم ظرفیت شانون برای بیم  $i$ ام است که برابر است با:

$$c_i = w \log_2 \left( 1 + \frac{P_i}{\gamma w N_0 + \sum_{k=1, k \neq i}^N P_k h_{i,k}} \right) \quad (1)$$

که در آن  $w$  پهنای باند هر بیم،  $P_i$  توان تخصیص داده شده به بیم  $i$ ام،  $\gamma$  فاکتور میرایی سیگنال بیم  $i$ ام (وابسته به شرایط هوایی، افت فضای آزاد، گین آنتن و ...)،  $N_0$  چگالی توان نویز هر بیم و  $N$  تعداد بیم‌ها است. همچنین  $h_{i,k}$  ضریب تداخل بیم  $k$ ام روی بیم  $i$ ام است که از ماتریس زیر قابل استخراج است. (تداخل ایجاد شده خود بیم، صفر در نظر گرفته شده، در نتیجه  $h_{ii} = 0$  است):

دارد. از جمله این که می‌توان ترافیک بیشتری را پاسخگو بود. همچنین با استفاده از این روش می‌توان از یک فرکانس، مجدداً استفاده کرد و ظرفیت کل سیستم را افزایش داد. در کنار این مزایا پیچیدگی‌هایی نیز به سیستم تحمیل می‌شود. از آنجا که لوب جانبی آنتن‌ها صفر نیست، وقتی از یک فرکانس مجدد استفاده می‌کنیم، تداخل بین بیمی رخ می‌دهد و در این صورت توان اختصاصی به هر بیم، علاوه بر ترافیک درخواستی آن بیم، به توان تخصیص یافته به بیم‌های دیگر نیز وابسته می‌شود. از طرفی به دلیل متفاوت بودن نواحی تحت پوشش، ترافیک درخواستی هر بیم متفاوت بوده و این امر موجب متفاوت بودن تداخل بین بیمی می‌شود [۱].

می‌دانیم که در ماهواره‌ها منابع توان، کمیاب و گران بوده و استفاده بهینه آن‌ها امری بسیار حیاتی است. برای بهینه کردن مصرف توان در سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای چندبیمه، باید توان اختصاصی به هر بیم بهینه شود. به این منظور تخصیص دینامیک توان مطرح می‌شود [۲، ۳].

در این مقاله برای بهینه‌سازی الگوریتم PSO استفاده شده است. روش PSO یک روش سراسری کمینه‌سازی است که با استفاده از آن می‌توان با مسائلی که جواب آنها یک نقطه یا سطح در فضای  $n$  بعدی است، برخورد کرد. این الگوریتم بر مبنای جستجوی تصادفی است، برای بهینه‌سازی کلی، براساس مدل‌هایی از سیستم‌های اجتماعی ساده، توسط ابرهات و سایرین ارائه و مشخص شد که در حل مسائل غیرخطی، مانند بهینه‌سازی توزیع توان بسیار کارآمد است [۴].

در مرجع [۵] مسئله تخصیص توان فرموله شده و حل تحلیلی‌ای برای آن ارائه شده است، ولی الگوریتم ریاضی برای حل آن ارائه نشده است. در [۶، ۷] برای حل این مسئله از روش‌های گرادینتی<sup>۳</sup> و دو بخشی<sup>۴</sup> استفاده شده است. در [۸] برای افزایش ظرفیت سیستم، از روشی استفاده شده که در آن تعداد محدودی از بیم‌ها انتخاب می‌شود و عدالت در تخصیص توان رعایت می‌شود ولی مانند کارهای قبلی، تداخل بین‌بیمی در آن در نظر گرفته نشده بود. در مرجع [۹] از روش جدیدی برای ماکزیمم کردن ظرفیت سیستم استفاده شد، ولی عدالت در تخصیص توان را نادیده گرفت. مرجع [۱۰] نیز از یک الگوریتم بهینه‌سازی توأم<sup>۵</sup> استفاده کرد تا بتواند بیشترین عدالت را در تخصیص توان رعایت کند، ولی توجهی به ظرفیت کل سیستم نکرد. نهایتاً در [۱۱] علاوه بر عدالت در

3. Subgradient  
4. Bisection  
5. Joint

براساس مطالعاتی که بر روی اجتماعات گوناگون مانند اجتماع پرندگان انجام شده است، این فرضیه وجود دارد که هر گونه اطلاعاتی بین جمعیت تبادل می‌شود. علاوه بر این، براساس مشاهدات اجتماعات انسانی، رفتار هر فرد متأثر از رفتار افراد دیگر اجتماع است. این فرضیات، اساس مفاهیم الگوریتم ازدحام ذرات هستند. ازدحام ذرات براساس اجتماع پرندگان در فضای دو بعدی توسعه یافته است. موقعیت هر فرد از این اجتماع براساس یک نقطه در فضای دو بعدی  $XY$  است. بردار سرعت در راستای محور  $X$  با  $V_X$  و سرعت فرد در راستای محور  $Y$  با  $V_Y$  نمایش داده می‌شود. اصلاح موقعیت فرد با استفاده از موقعیت و بردار حرکت آن انجام می‌شود. فرآیند جستجو براساس مفاهیم گفته شده را می‌توان به این صورت شرح داد که یک دسته از افراد یک اجتماع به دنبال بهینه‌کردن یک تابع هدف خاص هستند. هر فرد از این اجتماع بهترین جواب تاریخچه خود بهترین جواب فرد نام در تکرارهای مختلف<sup>۸</sup> و موقعیت کنونی خود را می‌داند. علاوه بر این هر فرد از بهترین جوابی که در تاریخچه جمعیت موجود است بهترین جواب در میان تمامی افراد جامعه<sup>۹</sup> آگاه است. بردار حرکت اصلاح شده برای هر فرد را می‌توان از رابطه (۴) به دست آورد:

$$v_i^{k+1} = w_i v_i^k + c_1 \cdot \text{rand} \cdot (pbest - x_i^k) + c_2 \cdot \text{rand} \cdot (gbest - x_i^k) \quad (4)$$

که در رابطه (۴):

$v_i^k$ : بردار حرکت فرد نام در تکرار  $k$ ام (تکرار جاری)،

$v_i^{k+1}$ : بردار حرکت اصلاح شده برای فرد نام،

$\text{rand}$ : یک عدد تصادفی بین صفر و ۱،

$x_i^k$ : موقعیت جاری فرد نام در تکرار  $k$ ام،

$pbest$ : بهترین جواب فرد نام در تکرارهای مختلف،

$gbest$ : بهترین جواب در میان تمامی افراد جامعه،

$w_i$ : ضریب وزنی برای بردار سرعت فرد نام و ...

$c_i$ : ضریب وزنی برای هر مولفه است.

با استفاده از معادلات بالا، یک بردار حرکت که به طور مشخص به  $pbest$  و  $gbest$  نزدیک می‌شود را می‌توان محاسبه نمود. موقعیت جاری هر فرد را می‌توان با استفاده از رابطه (۵) اصلاح کرد.

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (5)$$

شکل (۲) مفهوم اصلاح نقاط جستجو را نمایش می‌دهد. متغیرهای گسسته را می‌توان در روابط (۴) و (۵) با کمی اصلاحات اعمال کرد. اعداد گسسته را می‌توان برای بیان موقعیت و بردار سرعت فرد به کار برد.

$$H = \begin{bmatrix} 0 & h_{12} & \dots & h_{1n} \\ h_{21} & 0 & \dots & h_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1} & h_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

مشاهده می‌شود همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، ظرفیت هر بیم، به توان تخصیص یافته به سایر بیم‌ها هم بستگی دارد [۱۱، ۱۲].

### فرمول ریاضی تخصیص توان

در این مقاله، معیار ارزیابی جمع توان دوم تفاضل بین ترافیک درخواستی و ظرفیت اختصاصی به هر بیم است که قصد مینیمم کردن آن را داریم که فرمول آن در رابطه (۳) آورده شده است. همچنین به طور هم‌زمان قصد ماکزیمم کردن ظرفیت کل نیز مورد نیاز است. پس این معیار سعی می‌کند بین ماکزیمم کردن ظرفیت کل و عدالت در تخصیص توان بین بیم‌ها مصالحه برقرار کند [۱۱، ۱۲].

$$\min_{\{P_i\}} \sum_{i=1}^N (T_i - C_i)^2$$

$$\text{s.t. } C_i = w \log_2 \left( 1 + \frac{P_i}{\gamma w N_0 + \sum_{k=1, k \neq i}^N P_k h_{i,k}} \right) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N P_i \leq P_{total}$$

کل منابع توان ماهواره است.  $P_{total}$

### الگوریتم تخصیص توان دینامیک پیشنهادی

در دهه اخیر الگوریتم  $PSO$  که بر مبنای جستجوی تصادفی است، برای بهینه‌سازی کلی<sup>۶</sup>، براساس مدل‌هایی از سیستم‌های اجتماعی ساده، توسط ابرهارت<sup>۷</sup> و سایرین ارائه و مشخص شد که در حل مسائل غیرخطی، مانند بهینه‌سازی توزیع توان بسیار کارآمد است. خصوصیات این الگوریتم به صورت زیر است:

این الگوریتم براساس تحقیقاتی در مورد اجتماعات مختلف نظیر اجتماع پرندگان بنا شده است.

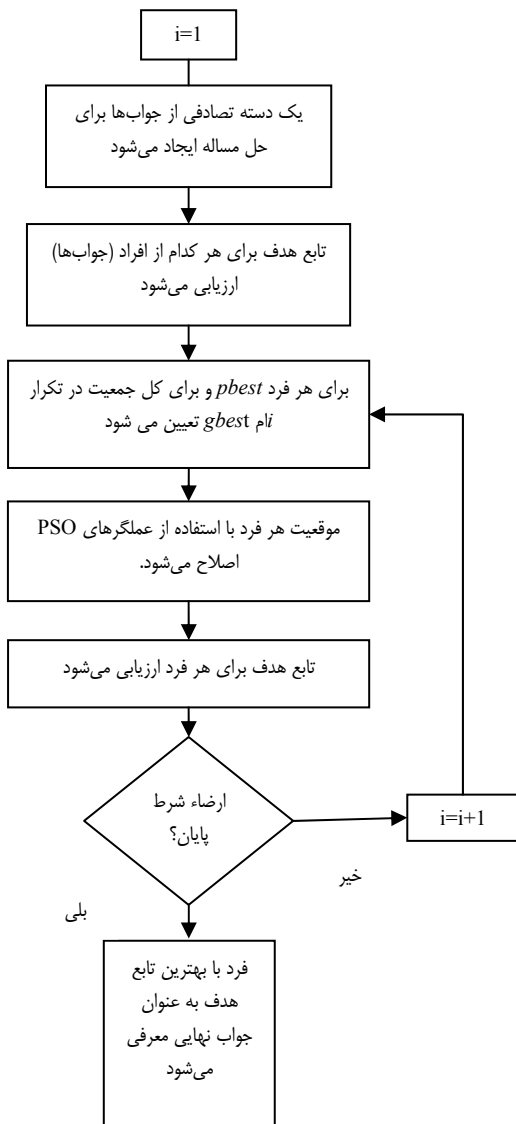
این الگوریتم براساس یک مفهوم بسیار ساده بنا شده است. بنابراین زمان لازم برای محاسبات بسیار کم بوده و به حافظه زیادی نیاز ندارد.

این الگوریتم برای مسائل بهینه‌سازی غیرخطی و پیوسته ابداع شده است. با این حال می‌توان برای مسائلی که متغیرهای گسسته نیاز دارند هم از این الگوریتم استفاده کرد.

8. pbest  
 9. gbest

6. Global  
 7. Eberhart

جستجوی هر متغیر، انتخاب می‌شود. در شکل (۳) مراحل انجام این الگوریتم نمایش داده شده است [۱۱].



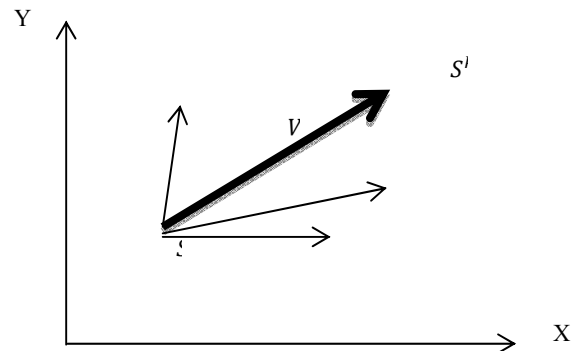
شکل ۳- الگوریتم PSO [۱۰]

### شبیه‌سازی مدل پیشنهادی

برای شبیه‌سازی از یک مدل سیستم مخابرات ماهواره‌ای استفاده شده است که ۱۰ بییم دارد. هر بییم پهنای باند ۵۰MHz دارد و چگالی طیفی توان نویز نرمالیزه شده آن  $\gamma N_0$ ،  $0.2e^{-6}$  است. کل توان ماهواره ۲۰۰W است و ترافیک درخواستی هر بییم از ۸۰Mbps تا ۱۷۰Mbps، با گام ۱۰Mbps افزایش می‌یابد.

برای نشان‌دادن بازدهی الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم زیر مقایسه می‌شود:

الگوریتم تخصیص توان دینامیک براساس تئوری دوگانگی [۱]



شکل ۲- مفهوم اصلاح موقعیت یک فرد در PSO [۱۱]

برای این که از همگرایی PSO اطمینان حاصل شود، از ضریب انقباض استفاده شده است و بردار حرکت اصلاح شده به صورت رابطه (۶) ارائه می‌شود:

$$v_{i+1}^k = k * [w * v_i + \varphi_1 \cdot rand. (pbest - x_i^k) + \varphi_2 \cdot rand. (gbest - x_i^k)] \quad (6)$$

که در رابطه بالا  $w$  و  $\varphi_1$  و  $\varphi_2$  همان ضرایب وزنی و  $k$  ضریب انقباض بر حسب  $\varphi_1$  و  $\varphi_2$  است. ضریب  $k$  را می‌توان به شکل زیر نمایش داد:

$$k = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|} \quad (7)$$

که در آن:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \text{ و } \varphi > 4 \quad (8)$$

انتخاب مناسب  $w$  باعث ایجاد یک تعادل بین جستجوی عام و محلی می‌شود. عموماً ضریب اینرسی  $w$  با استفاده از رابطه (۹) به دست می‌آید:

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \cdot iter \quad (9)$$

که در رابطه بالا  $iter$  شماره تکرار مسئله و  $iter_{max}$  حداکثر تعداد تکرارها را نمایش می‌دهد.

در فرآیند بالا حداکثر سرعت هر فرد به وسیله مقدار حداکثر  $v_{max}$  محدود می‌شود. در واقع این پارامتر، دقت جستجوی فضا بین نقطه جاری و نقطه هدف را مشخص می‌کند. این محدودیت جستجوی محلی، فضای مسئله را بهبود می‌بخشد. در صورتی که این پارامتر بسیار بزرگ انتخاب شود، ممکن است افراد از روی جواب‌های خوبی رد شوند. از طرفی اگر این پارامتر بیش از اندازه کوچک انتخاب شود، فرآیند جستجو به فضاهای کوچکی محدود خواهد شد. در بسیاری از مسائل  $v_{max}$  بین ۱۰٪ تا ۲۰٪ از فضای

جداول (۳) و (۴) ظرفیت کل سیستم و جمع تفاضل مربعات ترافیک درخواستی و ظرفیت اختصاصی به هر بیم را برای دو الگوریتم گفته شده و برای سناریوی دوم نشان می‌دهند:

جدول ۳- ظرفیت کل سیستم برای سناریوی دوم

الگوریتم	$\sum C_i$ (Mbps)
تخصیص توان بر اساس تئوری دوگانگی	۷۴۴/۴۰
PSO	۴۴۹۱

جدول ۴- جمع مربعات تفاضل ترافیک درخواستی و ظرفیت اختصاصی به هر بیم برای سناریوی دوم

الگوریتم	$\sum(T_i - C_i)^2$
تخصیص توان بر اساس تئوری دوگانگی	۵/۲۰ E ۱۶
PSO	۱/۹۲۰ E ۹

مشاهده می‌شود PSO در این مورد نیز موفق‌تر عمل کرده است و در مقایسه با تئوری دوگانگی، ظرفیت سیستم را بیشتر افزایش داده است و در کل، با استفاده از PSO ترافیک درخواستی هر بیم به توان اختصاصی به آن نزدیک‌تر شده است. در نتیجه باز هم به عدالت بیشتری در تخصیص توان رسیده‌ایم. نهایتاً برای بررسی شرایط کانال و تأثیر آن روی مسئله تخصیص توان سناریوی دیگری مطرح خواهیم کرد.

می‌دانیم که پارامتر چگالی طیفی توان نویز نرمالیزه شده  $\gamma N_0$  متاثر از شرایط کانال است. بنابراین، برای بررسی شرایط کانال روی هر بیم سناریوی زیر مطرح می‌شود.

سناریوی ۳. پارامتر چگالی طیفی توان نویز نرمالیزه شده  $\gamma N_0$  برای بیم ۳ تا ۵ به ترتیب  $0.2e^{-6}$ ،  $1.2e^{-6}$  و  $2.2e^{-6}$  و ترافیک درخواستی این سه بیم ۱۰۰Mbps در نظر گرفته می‌شود. ماتریس تداخل نیز مانند سناریوی ۲، و سایر پارامترهای باقی مانده نیز مانند قبل فرض می‌شوند.

جداول (۵) و (۶) ظرفیت کل سیستم و جمع تفاضل مربعات ترافیک درخواستی و ظرفیت اختصاصی به هر بیم را برای دو الگوریتم گفته شده و برای سناریوی سوم نشان می‌دهند:

جدول ۵- ظرفیت کل سیستم برای سناریوی سوم

الگوریتم	$\sum C_i$ (Mbps)
تخصیص توان بر اساس تئوری دوگانگی	۶۵۵/۷۰
PSO	۲۸۲۰

برای مقایسه دقیق‌تر، این دو الگوریتم را در سناریوهای زیر با هم مقایسه می‌کنیم:  
 سناریوی ۱، در این سیستم هر پرتو با سه بیم کناری خود تداخل ایجاد می‌کند. در نتیجه المان ماتریس تداخلی به صورت زیر خواهد شد:

$$h_{ij} = \begin{cases} 0.3 \text{if } |j-i|=1 \text{ or } |j-i \pm 10|=1 \\ 0.3 \text{if } |j-i|=2 \text{ or } |j-i \pm 10|=2 \\ 0.3 \text{if } |j-i|=3 \text{ or } |j-i \pm 10|=3 \\ 0 \text{else} \end{cases} \quad (10)$$

جداول (۱) و (۲) ظرفیت کل سیستم و جمع تفاضل مربعات ترافیک درخواستی و ظرفیت اختصاصی به هر بیم را برای دو الگوریتم گفته شده و برای سناریوی اول نشان می‌دهند:

جدول ۱- ظرفیت کل سیستم برای سناریوی اول

الگوریتم	$\sum C_i$ (Mbps)
تخصیص توان بر اساس تئوری دوگانگی	۶۷۵/۰۳
PSO	۱۹۲۰

جدول ۲- جمع مربعات تفاضل ترافیک درخواستی و ظرفیت اختصاصی به هر بیم برای سناریوی اول

الگوریتم	$\sum(T_i - C_i)^2$
تخصیص توان بر اساس تئوری دوگانگی	۳/۴۸ E ۱۶
PSO	۴/۴۹ E ۹

همانگونه که از جدول (۱) مشاهده می‌شود، الگوریتم PSO در مقایسه با تئوری دوگانگی، ظرفیت سیستم را بیشتر افزایش داده است و علاوه بر آن از جدول (۲) مشاهده می‌شود که در کل، با استفاده از PSO ترافیک درخواستی هر بیم به توان اختصاصی به آن نزدیک‌تر شده است. در نتیجه به عدالت بیشتری در تخصیص توان رسیده‌ایم.

حال برای بررسی‌های بیشتر در زمینه تأثیر تداخل بین بیمی روی مسئله تخصیص توان، سناریوی دیگری را مورد بررسی قرار می‌دهیم. سناریوی ۲. در این سناریو فرض می‌شود که یک منبع ایجاد تداخل مزاحم در بیم ۱ وجود دارد. بنابراین فرض می‌شود که تنها بیم ۱ با دیگر بیم‌ها تداخل دارد. المان ماتریس تداخلی به صورت رابطه (۱۱) خواهد شد:

$$h_{ij} = \begin{cases} 0.3 \text{if } (i = \{2, \dots, 10\}, j = 1) \\ 0 \text{else} \end{cases} \quad (11)$$

and Beam Allocation Based on Traffic Demands and Channel Conditions over Satellite Downlinks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 4, No. 6, 2005, pp. 2983–2992.

- [2] Wang, H., Liu, A. and Pan, X., “Optimization of Joint Power and Bandwidth Allocation in Multi-Spot-Beam Satellite Communication Systems,” *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2014, Article ID 683604, 2014, 10 Pages.
- [3] Wang, H., A. Liu, Pan and Jianfei Yang, “Optimization of Power Allocation for Multiusers in Multi-Spot-Beam Satellite Communication Systems,” *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.
- [4] Available: [on line], <http://www.swarmintelligence.org>
- [5] Hong, Y. Srinivasan, A., Cheng, B., Hartman, L. and Andreadis, P., “Optimal Power Allocation for Multiple Beam Satellite Systems,” *Proceedings of the IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS'08)*, 2008, pp. 823–826.
- [6] Feng, Q. Li, G., Feng, S. and Gao, Q., “Optimum Power Allocation Based on Traffic Demand for Multi-Beam Satellite Communication Systems,” *Proceedings of the 13th International Conference on Communication Technology (ICCT '11)*, pp. 873–876, September 2011.
- [7] Park, U., Kim, H.W., Oh, D.S. and Ku, B.J., “Optimum Selective Beam Allocation Scheme for Satellite Network with Multi-spot Beams,” *Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Satellite and Space Communications (SPACOMM'12)*, 2012, pp.78–81.
- [8] Nakahira, K., Kobayashi, K. and Ueba, M., “Capacity and Quality Enhancement using an Adaptive Resource Allocation for Multi-Beam Mobile Satellite Communication Systems,” *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '06)*, April 2006, pp. 153–158.
- [9] Lei, J. and 'azquez-Castro, M. A.V “Joint power and Carrier Allocation for the Multibeam Satellite Downlink with Individual SINR Constraints,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '10)*, May 2010, pp 1-5.
- [10] Ghazavi, M., Monsef, H., Ansari, J. and Kazemi, A., “An Effective Decentralized Scheme to Monitor and Control the Reactive Power Flow: A Holonic-Based Startegy,” *International Transactions on Electrical Energy Systems*, September 2015.
- [11] Yu, W. and Lui, R. “Dual Methods for Nonconvex Spectrum Optimization of Multicarrier Systems,” *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 54, No. 7, 2006, pp. 1310–1322.
- [12] Rezaee, A., “LearningImprovements In Mobile Robot Behavior With Faulty Sensors Usings Baysians Network,” A ARAie, A Nadi, GsShiry Journal of Iranian Assosiation of Electrical and Electronics Engeenirs 2008.
- [13] Wang, H., Liu, A. Pan, X. and Li, J., “Optimization of Power Allocation for a Multibeam Satellite Communication System with Interbeam Interference,” *Journal of Applied Mathematics*, Vol. 2014, Article ID 469437, 10.1155/2014/469437, January 2014.

**جدول ۶-** جمع مربعات تفاضل ترافیک درخواستی و ظرفیت اختصاصی به هر بیم برای سناریوی سوم

$\sum(T_i - C_i)^2$	الگوریتم
۳/۷۱E۱۶	تخصیص توان بر اساس تئوری دوگانگی
۱/۲۶۰E۹	PSO

مشاهده می‌شود PSO در شرایطی که وضعیت کانال‌ها یکسان نباشد نیز موفق‌تر عمل کرده است و در مقایسه با تئوری دوگانگی، ظرفیت سیستم را بیشتر افزایش داده است و در کل، با استفاده از PSO ترافیک درخواستی هر بیم به توان اختصاصی به آن نزدیک‌تر شده است. بنابراین در این سناریو نیز عدالت بیشتری در تخصیص توان به بیم‌ها رعایت می‌شود [۱۳].

## نتیجه‌گیری

در سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای، برای افزایش بهره، می‌توان به جای استفاده از یک بیم، از چند بیم نازک استفاده کرد. در این سیستم‌ها - که آن‌ها را به نام سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای چند بیمی می‌شناسیم - هنگام استفاده مجدد از فرکانس، به دلیل غیرصفربودن لوب جانبی آنتن‌ها، بین بیم‌ها تداخل وجود دارد. این اثر تداخلی، اثر مهمی است که نمی‌توان آن را نادیده گرفت و باید در مسئله تخصیص توان مورد توجه قرار گیرد. در این مقاله ابتدا مسئله تخصیص توان به صورت یک مسئله بهینه‌سازی فرموله شد و سپس بین ماکزیمم‌سازی ظرفیت کل سیستم و عدالت در تخصیص توان به بیم‌ها، مصالحه انجام شد. برای رسیدن به تخصیص توان بهینه، از روش PSO استفاده شد و برای نشان دادن کیفیت این روش، با روش بهینه‌سازی بر مبنای تئوری دوگانگی [۱] و در قالب سه سناریو، مقایسه شد. در سناریوی اول فرض شد که هر بیم با سه بیم مجاور خود تداخل دارد. در سناریوی دوم فرض شد که تنها بیم اول با سایر بیم‌ها تداخل دارد. و در نهایت در سناریوی سوم به بررسی وضعیت کانال هر بیم و تأثیری که روی تخصیص توان می‌گذارد پرداخته شد. مشاهده شد در هر سه سناریو، PSO بهتر عمل کرده و ظرفیت کل سیستم را در مقایسه با تئوری دوگانگی افزایش داده، و از طرف دیگر در مقایسه با تئوری دوگانگی مجموع فاصله بین مربع ترافیک درخواستی و توان اختصاصی به هر بیم را کاهش داده است. همه این‌ها نشان از این دارد که الگوریتم پیشنهادی، موجب عدالت بیشتر در تخصیص توان به بیم‌ها شده است.

## مراجع

- [1] Pérez-Neira, A. and Christopoulos, D., “Optimum Power