



## بهینه سازی مدیریت سوخت به کمک الگوریتم مرکب PSO و یک روش نوین جهش

مرتضی زاده، خدیجه - نوروزی، علی - ذوالفقاری، احمد\* - مینوچهر، عبدالحمید -

صدیقی، مصطفی

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه راکتور

### چکیده:

در مدیریت سوخت اهداف مختلفی مد نظر قرار می‌گیرد، منجمله مسطح نمودن توزیع توان، مینیمم کردن ضریب بیشینه قدرت (*Power Peaking Factor*)، حداکثر کردن میزان مصرف سوخت و ... در این مقاله یافتن یک چیدمان بهینه بر مبنای حداکثر نمودن طول سیکل و میزان مصرف سوخت با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و با پایه قراردادن راکتور بوشهر، مورد بررسی قرار گرفته است. به کمک کد *WIMS* سطوح مقاطع و *BURN UP* در طول سیکل را بدست آورده و سپس با کد *PARCS* پارامترهای قلب محاسبه می‌شود و نهایتاً به کمک روش هوشمند ترکیبی *PSO* و *NOVEL MUTATION* به چیدمان بهینه می‌رسیم.

کلید واژه: مدیریت سوخت - *BURN UP* - *PSO* *NOVEL MUTATION* - طول سیکل - بهینه سازی

### مقدمه:

هدف از مدیریت سوخت بهره برداری بهینه سوخت از لحاظ فنی و اقتصادی می‌باشد. این بهره برداری بهینه شامل مسائلی نظیر بهینه سازی غنای سوخت، چینش بهینه سوخت و میله‌های کنترل درون قلب راکتور و توزیع جاذب‌های سوختنی و ... می‌باشد. همچنین از نظر اقتصادی کاهش هزینه سوخت که خود جزئی از هزینه تولید کیلووات ساعت انرژی می‌باشد باید حداقل امکان به کمترین مقدار خود برسد. روش‌های هوشمند متعددی جهت بهینه سازی مدیریت سوخت همچون *GA* [۱]، شبکه عصبی [۲] و *PSO* [۳] بکار گرفته شده است. روش *PSO* برای اولین بار توسط کندی و ابرهارت از سال ۱۹۹۵ بیان و توسعه یافته است. این روش براساس رفتار گروه ذرات همچون ماهی‌ها و پرندگان در طبیعت شکل گرفته است. [۴ و ۵] ترکیب روش *PSO* و *NOVEL MUTATION* در سال ۲۰۱۱ در مرجع [۶] دارای نتایج خوبی بوده و به همین دلیل از آن در این مسئله استفاده گردیده است.



## الگوریتم PSO :

در PSO هر ذره دارای دو ویژگی می باشد: سرعت و موقعیت. سرعت تعیین کننده اندازه حرکت در هر مرحله و موقعیت نشان دهنده راه حل انتخاب شده در فضای جستجو می باشد. در هر مرحله PSO برای هر ذره سرعت و موقعیتش را بهبود و به روز می کند<sup>۱</sup>. [۷] وقتی یک ذره در فضای جستجو حرکت می کند، بهترین موقعیت قبلی اش را در حافظه خود که معروف به Pbest و بهترین موقعیت سراسری Gbest نگه می دارد. به روزرسانی سرعت و موقعیت یک ذره طبق معادلات (۱) و (۲) می باشد.

$$V_{id}^{t+1} = w^t V_{id}^t + C_1 r_1^t (Pbest_{id} - X_{id}^t) + C_2 r_2^t (gbest_d - X_{id}^t) \quad (1)$$

$$X_{id}^{t+1} = X_{id}^t + V_{id}^{t+1} \quad (2)$$

d: ابعاد بردار ذره ،  $V_{id}^t$ : سرعت یک ذره در هر مرحله ،  $X_{id}^t$ : مکان ذره در هر مرحله ،  $r_1$  و  $r_2$ : اعداد تصادفی بین صفر و یک،  $w^t$ : ثابت وزنی اینرسی<sup>۲</sup> در هر مرحله و  $C_1$  و  $C_2$ : ثابت شتاب که معمولاً به ترتیب پارامتر شناختی<sup>۳</sup> و اجتماعی<sup>۴</sup> نامیده می شوند. [۵و۴]

## اپراتور جهش NOVEL :

الگوریتم PSO در طول مراحل اولیه جستجو به سرعت همگرا می شود، اما اغلب به طور قابل ملاحظه کند شده و می تواند قبل از اینکه به مقدار بهینه مطلق نهایی همگرا شود در بهینه های محلی به تله افتاده و متوقف گردد. در اینجا ما از جهش هم برای افزایش سرعت همگرایی و هم برای فرار از مینیمم های محلی استفاده کرده ایم. [۶] اپراتور جهش فوق شامل دو مرحله می باشد. در مرحله اول یک ذره جهش یافته MP به شکل زیر ایجاد می کنیم.

$$MP = X_i + \alpha_1 \cdot (X_{i1} - X_{i2}) + \alpha_2 \cdot (X_i - gbest) \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \text{rand}(0,1) \text{ و } \alpha_2 = \text{rand}(0,1) \quad (4)$$

$$\text{sum} = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (5)$$

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_1}{\text{sum}} \text{ و } \alpha_2 = \frac{\alpha_2}{\text{sum}} \quad (6)$$

<sup>1</sup> Updating

<sup>2</sup> Inertia weight at time step t

<sup>3</sup> Cognitive

<sup>4</sup> Social



## 18<sup>th</sup> Iranian's Nuclear Conference

Xi بردار موقعیت ذره  $\lambda$  در جمعیت فعلی، Xi1 و Xi2 بردارهای موقعیت دو ذره دیگر تصادفی مختلف انتخاب شده می باشد.  $i1 \neq i2$  و  $gbest$  بهترین ذره سراسری و  $rand(0,1)$  مقدار رندم بین صفر و یک می باشد. در مرحله دوم، مابا استفاده از روش Greedy یک فیلتر از ذرات فعلی Xi و ذرات جهش یافته MP انتخاب می کنیم. اگر MP بهتر از Xi آنگاه Xi را با MP جابجا می کنیم در غیر اینصورت Xi بدون تغییر باقی می ماند. [۶]

### محاسبات نوترونیکی :

هدف از محاسبات نوترونیکی پیش بینی پارامترهای قلب همچون راکتیویته، دانسیته توان، سطوح مقاطع ماکروسکوپیکی، BURN UP و... می باشد. این کار به وسیله یک الگوریتم خاص با کوپل دو کد PARCS و WIMS انجام گرفته است. برای ماکسیمم کردن طول سیکل در این مقاله محاسبات BURN UP در طول سیکل انجام گرفته است. از طرفی این فرضیه وجود داشت که اگر بتوان ضریب تکثیر موثر قلب در ابتدای سیکل را ماکسیمم کنیم آنگاه طول سیکل نیز ماکسیمم می گردد و روند محاسبات بسیار کاهش می یافت اما به دلیل تولید پلوتونیوم در طول سیکل کاری راکتور به دو چیدمان متفاوت می توان دست یافت که این فرضیه را نقض می کند. نمودار ضریب تکثیر بر حسب طول سیکل در شکل (۴) در قسمت نتایج آمده است. این نمودار نشان می دهد ممکن است چیدمانی باشد که دارای Keff ابتدای سیکل بیشتری است ولی طول سیکل کمتری دارد. محاسبات فوق بر روی راکتور بوشهر که دارای توان ۳۰۰۰ مگا وات با مشخصات قلب زیر می باشد، انجام گرفته است. [۸]

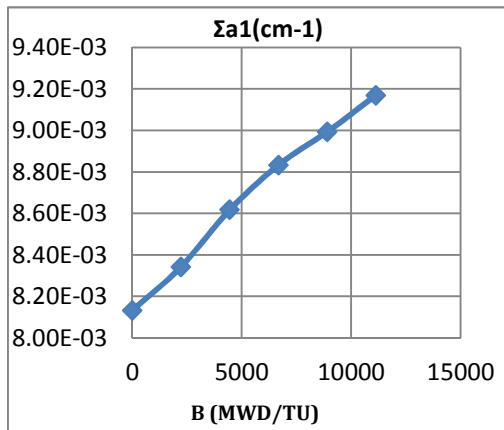
جدول (۱) مشخصات انواع مجتمع های سوخت در قلب راکتور WWER-1000 در سیکل اول [۸]

انواع مجتمع های سوخت	غناي $U^{235}$	تعداد میله های سوخت	
		نوع ۱	نوع ۲
16	1.6	-	311(1.6)
24	2.4	-	311(1.6)
36	3.62	66(3.3)	245(3.7)
24B20	2.4	-	311(1.6)
24B36	2.4	-	311(1.6)
36B36	3.62	66(3.3)	245(3.7)

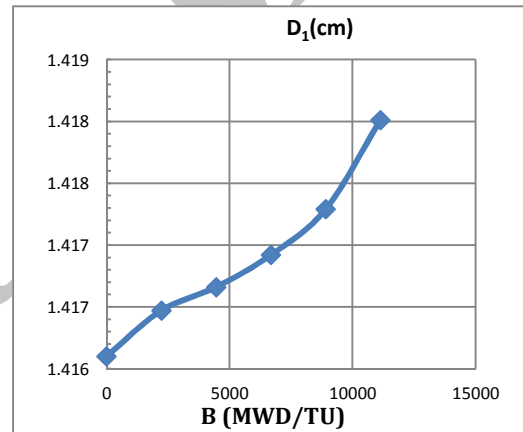


## نتایج محاسبات :

در این مقاله تابع هدف را حداکثر نمودن طول سیکل و میزان مصرف سوخت در طول سیکل اول بطوری که ضریب بیشینه توان (توان نسبی) از حد مجاز خود فراتر نرود و همچنین تا جایی سیکل ادامه یابد که ضریب تکثیر موثر قلب به مقدار یک در انتهای سیکل برسد، انتخاب شده است. محاسبه PPF یکی از فاکتورهای مهم است که می توان آن را به عنوان یک محدودیت در مدیریت سوخت در نظر گرفت. [۳ و ۹] برای محاسبه power peaking factor و ضریب تکثیر موثر قلب از کد محاسباتی PARCS استفاده نموده ایم. نمودارهای سطوح مقاطع برای یک مجتمع سوخت نمونه حاصل از BUEN UP در طول سیکل در شکل های (۱) تا (۳) آمده است.



شکل (۲) نمودار سطح مقطع جذب بر حسب BURN UP

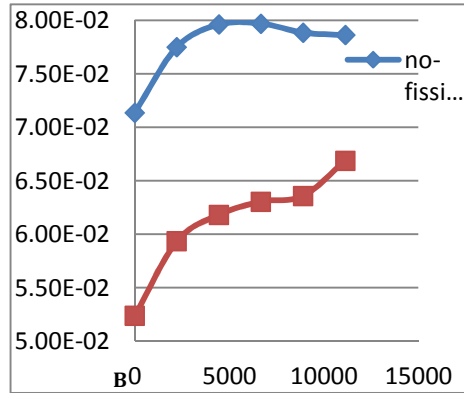
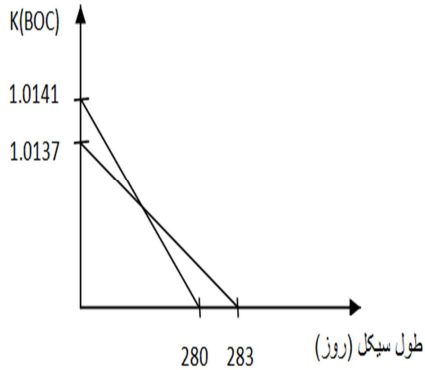


شکل (۱) نمودار ضریب دیفیوژن بر حسب BURN UP

در گروه نوترون های حرارتی در مورد سطح مقطع جذب، افزایش هسته های پاره های شکافت و همچنین تولید ایزوتوپ های سنگین  $^{236}\text{U}$ ،  $^{240}\text{Pu}$  و  $^{242}\text{Pu}$  می توانند عامل افزایش جذب باشند. در مورد سطح مقطع شکافت  $\nu \cdot \Sigma_{f2}$  که تا اواسط سیکل نمودار افزایش می یابد و در ادامه تا پایان سیکل کاهش داریم که تولید و مصرف ایزوتوپ های  $^{239}\text{Pu}$  و  $^{241}\text{Pu}$  و همچنین مصرف شدن  $^{235}\text{U}$  عامل اصلی این افزایش و کاهش می باشد.



18<sup>th</sup> Iranian's Nuclear Conference

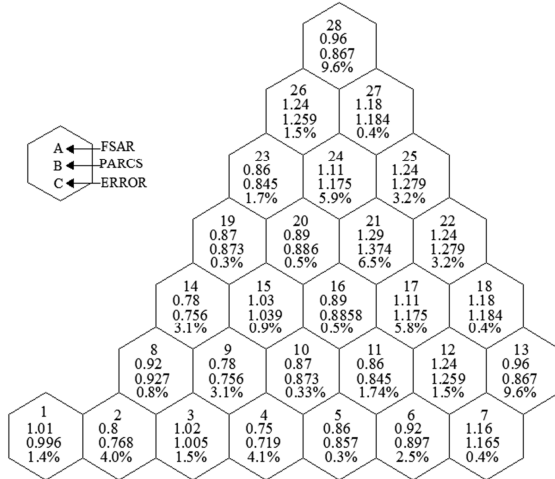


شکل (۳) نمودار سطوح مقاطع گروه ۲ بر حسب BURN UP شکل (۴) نمودار ضریب تکثیر موثر قلب بر حسب طول سیکل

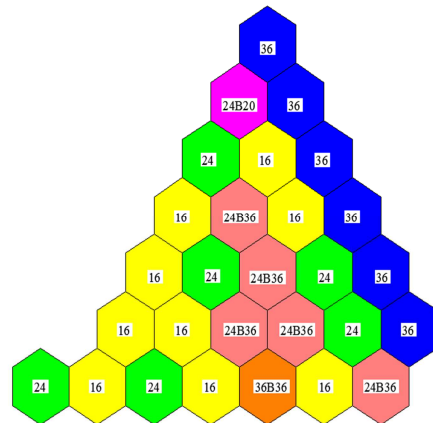
در شکل (۵) چینش پیشنهادی بدست آمده به کمک روش فوق نشان داده شده است. (با توجه به تقارن تنها یک ششم از قلب نشان داده شده است.)

جدول (۲) جدول نتایج

روش	تابع برازندگی (بر حسب روز)	ضریب بیشینه توان (ppf)
FSAR	292	1.33
PSO NOVEL MUTATION	299	1.28



شکل (۶) توان نسبی مجتمع های سوخت در ابتدای سیکل



شکل (۵) چیدمان حاصل از الگوریتم PSO NM



## بحث و نتیجه گیری :

در این تحقیق رفتار راکتور در طول سیکل مورد بررسی قرار گرفت و نتایج قابل قبولی برای توان نسبی مجتمع های سوخت چیدمان بوشهر بدست آمد. بعلاوه یکی از نتایج مهمی که حاصل شد، این است که ماکسیمم کردن ضریب تکثیر موثر قلب در ابتدای سیکل لزوما سبب افزایش طول سیکل نمی گردد. همچنین روش بکارگرفته شده دارای نتایج بهتری نسبت به سایر روش های مشابه خود می باشد.

## مراجع :

- [1] A. Norouzi, A. Zolfaghari, A. H. Minucmehr, F. Khoshahval, "An enhanced integer coded genetic algorithm to optimize PWRs", Annals of Nuclear Energy, 10 March 2011
- [2] مصطفی صدیقی "بهینه سازی مدیریت سوخت راکتورهای هسته ای PWR با استفاده از شبکه های عصبی" پایان نامه دکتری، دانشگاه امیر کبیر
- [3] F. Khoshahval, H. Minucmehr, A. Zolfaghari, "Performance evaluation of PSO and GA in PWR core loading pattern optimization", Nuclear Engineering and Design, volume 241, issue 3, March 2011
- [4] Kennedy, J. and Eberhart, R., "Particle Swarm Optimization" Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia 1995, pp. 1942-1945.
- [5] Venter, G. and Sobieski, J., " Particle Swarm Optimization," Structural Dynamics, and Materials Conference, Denver, CO. April 2002
- [6] Lei Chen 'Particle Swarm Optimization with A Novel Mutation Operator 'Basic Courses Teaching Department, August 19-22, 2011
- [7] X-S. Yang, "Engineering Optimization, an Introduction with Metaheuristic Applications", University of Cambridge, Department of Engineering Cambridge, United Kingdom, 2010
- [8] Federal Agency on Nuclear Energy of Russia, "Preliminary Safety Assessment Report for BNPP", ch.4, Moscow, 2001
- [9] O. Safarzadeh, A. Zolfaghari, A. Norouzi, H. Minucmehr, " Loading pattern optimization of PWR reactors using Artificial Bee Colony", Annals of Nuclear Energy, volume 38, issue 10, October 2011