



استفاده از کنترلر منطق فازی در الگوریتم جستجوی گرانشی جهت افزایش فرسایش راکتور همراه با حفظ ایمنی آن

محمودی باغسیاه، سید مصطفی^(۱) - آقای مغانلو، مهدی*^(۲)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی، گروه مهندسی هسته‌ای

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای

چکیده:

بهینه‌سازی چیدمان سوخت یکی از نگرانی‌های مهم در طراحی راکتورهای هسته‌ای می‌باشد. از این رو، در این مقاله یک روش بهینه‌سازی جدید با استفاده از کنترل کننده منطق فازی، به منظور کنترل یکی از پارامترهای الگوریتم جستجوی گرانشی، برای حل مسئله بهینه‌سازی چند هدفه و افزایش نرخ همگرایی ارائه شده است. اهداف نوترونیکی و ترموهیدرولیکی به ترتیب شامل افزایش ضریب تکثیر موثر، کاهش ضریب قله توان، تخت کردن چگالی توان و همچنین افزایش شار حرارت بحرانی و کاهش متوسط دمای مرکز سوخت می‌باشد. برای این منظور از کدهای PARCS و COBRA-EN به ترتیب برای اهداف نوترونیکی و ترموهیدرولیکی استفاده شده است.

کلمات کلیدی: الگوریتم جستجوی گرانشی فازی، کنترل کننده منطق فازی، بهینه‌سازی چند هدفه، WWER-1000

Implementation of fuzzy logic controller on the gravitational search algorithm for burnup increment with safety considerations

Mahmoudi, Sayyed Mostafa¹; Aghaie, Mahdi*²

¹ Amirkabir University of Technology, Department of Energy Engineering and Physics.

² Engineering Department, Shahid Beheshti University, G.C, P.O. Box: 1983963113, Tehran, Iran.

Abstract:

The Loading Pattern Optimization (LPO) is a complex combinatorial optimization problem in nuclear fuel management field. Hence, this paper presents a new optimization technique, which uses Fuzzy Logic Controller (FLC) for solving multi-objective optimization problems and Increase convergence rate of the Gravitational Search Algorithm (GSA). The Neutronics and Thermal-Hydraulics (NTH) goals in multi objective optimization are to maximize (Keff, CHF) and minimizing (PPFs and fuel temperatures) with flattening of power density. For NTH calculations, the PARCS and COBRA-EN are applied, respectively.

Key words: Fuzzy Gravitational Search Algorithm, Fuzzy Logic Controller, multi-objective optimization.

۱- مقدمه :



بهینه‌سازی چیدمان سوخت در قلب راکتور یکی از مسائل بهینه‌سازی ترکیبی سخت در مهندسی هسته‌ای می‌باشد. با توجه به عظمت فضای جستجو در اینگونه مسائل، در سالهای اخیر استفاده از الگوریتم‌های فوق ابتکاری برای بهینه‌سازی چیدمان سوخت رشد چشمگیری داشته است مانند: استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات [۱]، الگوریتم ژنتیک [۲]، الگوریتم جستجوی هارمونی [۳]، الگوریتم کرم شب تاب [۴] و الگوریتم جستجوی گرانشی^۱ [۵]. در این مقاله یک روش جدید با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی فازی^۲ [۶] برای بهینه‌سازی چند هدفه چیدمان سوخت ارائه شده است. برای افزایش نرخ همگرایی و اطمینان از راه حل بهینه یکی از پارامترهای الگوریتم جستجوی گرانشی [۷] توسط کنترل کننده‌های منطق فازی^۳ کنترل شده است. در این مقاله برای بدست آوردن چیدمان بهینه سوخت در قلب راکتور WWER-1000، یک تابع هدف که اهداف و محدودیتهای مرتبط با خواص نوترونیکی و ترموهیدرولیکی^۴ را در برگیرد ارائه شده است. برای محاسبات نوترونیکی و ترموهیدرولیکی به ترتیب از کدهای PARCS و COBRA-EN استفاده شده است.

۲- روش کار :

۲-۱- الگوریتم جستجوی گرانشی

الگوریتم جستجوی گرانشی [۷] با الهام از قانون گرانش در طبیعت و با استفاده از قوانین گرانش نیوتن نوشته شده است. در این الگوریتم عاملهای جستجو کننده مجموعه‌ای از اجرام می‌باشند. یک سیستم شامل N جسم را در نظر بگیرید که موقعیت هر جسم در فضای جستجو مطابق رابطه (۱)، یک بردار n بعدی است. موقعیت بعد d از جسم i با x_i^d نشان داده شده است.

$$X_i = \{x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n\} \quad \text{for } i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

در این رابطه منظور از N همان جمعیت اولیه و منظور از d تعداد متغیرهای سیستم می‌باشد. در هر مرحله نیروی جاذبه جسم j ام روی جسم i ام در هر بعد مطابق با رابطه (۲) محاسبه می‌شود. در این رابطه M_{aj} جرم گرانشی فعال جسم j ام، M_{pi} جرم گرانشی غیر فعال جسم i ام می‌باشد. $G(t)$ ثابت گرانشی در زمان t می‌باشد. \mathcal{E} یک مقدار بسیار کوچک است و R_{ij} مطابق رابطه (۳)، فاصله اقلیدسی بین دو جسم می‌باشد.

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{aj}(t) \times M_{pi}(t)}{R_{ij}(t) + \mathcal{E}} (x_j^d - x_i^d) \quad (2)$$

$$R_{ij} = \|x_i(t), x_j(t)\|_2 \quad (3)$$

¹. Gravitational Search Algorithm (GSA)

². Fuzzy Gravitational Search Algorithm (FGSA)

³. Fuzzy Logic Controller (FLC)

⁴. Neutronic and Thermal-Hydraulic (NTH)



نیروی وارد بر جرم i در بعد d در زمان t مطابق رابطه (۴) برابر ضربیهای تصادفی در بازه $[0,1]$ از تمام نیروهایی است که سایر اجسام بر آن وارد می‌کنند.

$$F_i^d = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j \times F_{ij}^d \quad (4)$$

در الگوریتم گرانشی، شتاب طبق قانون دوم نیوتن برای هر جسم و در هر بعد از رابطه (۵) محاسبه می‌شود. در این رابطه M_{ii} جرم اینرسی جسم i است.

$$a_i^d = \frac{F_i^d}{M_{ii}} \quad (5)$$

بعد از محاسبه شتاب، سرعت هر جسم مطابق با رابطه (۶) محاسبه می‌شود. در این رابطه $rand_j$ یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0,1]$ است که خاصیت تصادفی بودن الگوریتم را حمایت می‌کند. موقعیت جدید جسم i در بعد d مطابق با رابطه (۷) تغییر می‌کند [۷].

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (6)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (7)$$

در این الگوریتم، اجرام گرانشی و اینرسی مطابق رابطه (۸) برابر در نظر گرفته شده و برای تنظیم اجرام از رابطه (۹) استفاده شده است. مطابق با این رابطه اجسام با شایستگی بیشتر، جرم بیشتری نسبت داده می‌شود تا سایر اجسام را بیشتر به سمت خود جذب کنند.

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i \quad (8)$$

$$M_i = \frac{Fitness_i(t) - Worst(t)}{Best(t) - Worst(t)} \quad (9)$$

در رابطه (۹)، $Fitness_i(t)$ مقدار برازندگی جسم i ، $Best(t)$ مقدار برازندگی بهترین جسم در سیستم و $Worst(t)$ مقدار برازندگی بدترین جسم در سیستم در تکرار t ام می‌باشد. متغیرهای سیستم، مانند ثابت گرانشی در هر مرحله بروز رسانی می‌شوند. برای بروز رسانی متغیر ثابت گرانشی رابطه (۱۰) پیشنهاد شده است [۷].

$$G(t) = G_0 e^{-\alpha \frac{t}{T}} \quad (10)$$

G_0 ثابت گرانش اولیه، α یک ثابت مثبت و T کل تکرار الگوریتم و به عبارتی طول عمر سیستم است.

۲-۲- الگوریتم جستجوی گرانشی فازی

در الگوریتم GSA، پارامتر α در رابطه (۱۰) نقش مهمی را در افزایش یا کاهش قدرت اکتشاف و بهره برداری بازی می‌کند. مقدار ثابت G اثر بزرگی در شتاب اجرام دارد و بوسیله کنترل شتاب و سرعت اجرام،



توانایی افزایش یا کاهش تنوع و همچنین تقویت یا تضعیف قدرت اکتشاف و بهره برداری را داریم. هدف از الگوریتم FGSA، رسیدن به نتایج بهتر با کنترل پارامتر α در طول تکرار می‌باشد.

۲-۲-۱- تنوع و پیشرفت جامعه

موثرترین ابزار برای نظارت بر نرخ همگرایی الگوریتم اندازه‌گیری تنوع و پیشرفت جامعه می‌باشد. به همین منظور پارامتر ED برای اندازه‌گیری تنوع جامعه در نظر گرفته شده است. پارامتر ED با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$ED = \frac{R^{ave} - R^{min}}{R^{max} - R^{min}} \quad (11)$$

که در آن R^{ave} ، R^{min} و R^{max} به ترتیب مقدار متوسط، حداقل و حداکثر از فاصله بین اجرام و بهترین نتیجه می‌باشد. علاوه بر این، پارامتر CM برای اندازه‌گیری پیشرفت جامعه در نظر گرفته شده است. مقدار CM با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$CM = \frac{fit^{ave}(t-1) - fit^{ave}(t)}{fit^{ave}(t)} \quad (12)$$

اگر ED و CM به صفر میل کنند، جامعه در سطح پایینی از تنوع و پیشرفت قرار دارد.

۲-۲-۲- توابع عضویت و قوانین فازی

در این مقاله برای طراحی یک FLC، از یک سیستم استنتاج فازی که دارای چهار متغیر ورودی مانند تعداد تکرار (IT)، ED، CM و $\alpha(t-1)$ و یک متغیر خروجی مانند $\alpha(t)$ استفاده شده است، بنابراین پنج تابع عضویت به عنوان ورودی و خروجی در نظر گرفته شده است. متغیرهای زبانی مرتبط با IT، $\alpha(t-1)$ و $\alpha(t)$ پایین متوسط و بالا می‌باشد و متغیرهای زبانی ED و CM بالا و پایین می‌باشد. مقادیر ED و CM متعلق به بازه $[0, 1]$ ، IT متعلق به بازه $[1, T]$ و α متعلق به بازه $[0, 1]$ قرار دارد. محدوده مقدار α به صورت تجربی تعیین شده است. سیستم فازی پیشنهاد شده در بخش قبلی با چهار متغیر ورودی $3^4 = (3 \times 2 \times 2 \times 3) = 36$ قانون می‌باشد. برخی از قوانین فازی در جدول ۱ ارائه شده است. این قوانین برای جلوگیری از به دام افتادن در بهینه‌های محلی و همگرایی زودرس طراحی شده است.

۲-۳- کد PARCS و کد COBRA-EN

PARCS [۸] یک کد سینتیک نوترون می‌باشد که توسط دانشگاه پوردو (Purdue) توسعه داده شده است. این کد شبیه ساز قلب راکتور به صورت سه بعدی می‌باشد. در این مقاله برای انجام محاسبات نوترونیک و بدست آوردن توزیع توان در مجتمع‌های سوخت و همچنین محاسبه ضریب تکثیر از این کد استفاده شده است. کد COBRA-EN [۹] نسخه بروز شده کدهای COBRA-3C و COBRA-IV-I برای آنالیز



ترموهیدرولیکی قلب راکتورهای آب سبک مانند PWR و یا BWR می‌باشد. این کد مبتنی بر روش کانال جریان است که معادلات بقای جرم، انرژی و ممتهم را همراه با معادلات کمکی حل می‌کند.

۳- نتایج:

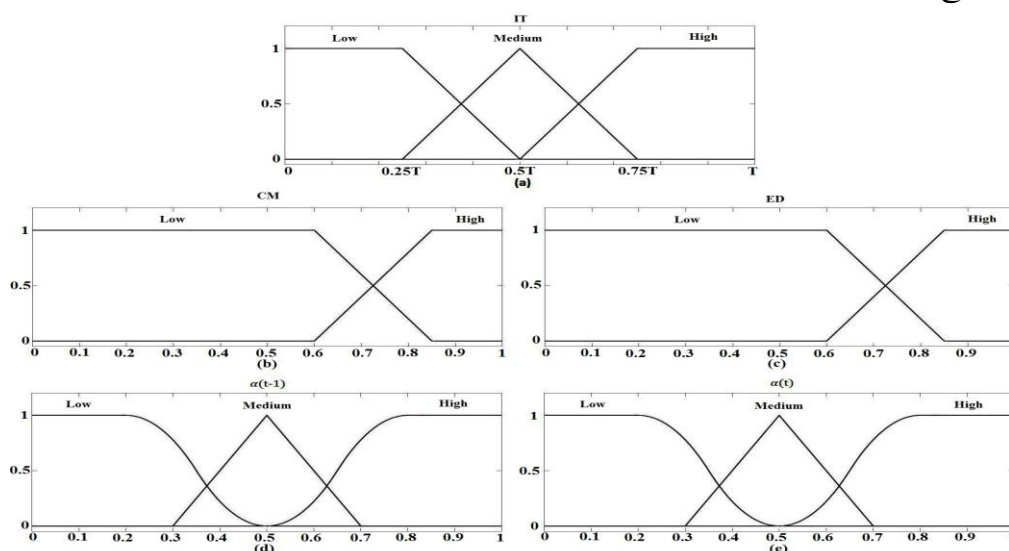
نیروگاه هسته‌ای بوشهر نوعی از راکتور WWER-1000 آب تحت فشار روسی می‌باشد. این راکتور دارای ۱۶۳ مجتمع سوخت شش ضلعی با گام ۲۳,۶ سانتی متر و توان حرارتی ۳۰۰۰ مگاوات می‌باشد. حداکثر مقدار ضریب قله توان و ضریب تکثیر به ترتیب ۱,۳۵۰۵ و ۱,۱۳۵۶۵۲ می‌باشد که توسط کد PARCS برای پیکربندی قلب واقعی محاسبه شده است. برای تخت کردن توزیع توان از رابطه (۱۳) استفاده شده است. [۱۰]

$$Flatness = \sum_{FA_i=1}^{28} \sum_{j>i} (PPF_i - PPF_j) \quad (13)$$

که PPF_i و PPF_j به ترتیب دانسیته قدرت FA_i و FA_j می‌باشد و FA_i در همسایگی FA_j قرار دارد. در انجام بهینه‌سازی مجتمع‌های سوخت نوع ۳۶ (ماده ۳) و مجتمع مرکز قلب ثابت در نظر گرفته شده‌اند. برای رسیدن به اهداف ذکر شده از تابع هدف ارائه شده در رابطه (۱۴) استفاده شده است [۱۰].

$$ff = \frac{PPF_{max} + Flatness}{K_{eff}} + \frac{a \times TEMP_{fuel}}{CHF_{max}} \quad (14)$$

در این رابطه پارامترهای نوترونیکی شامل حداکثر ضریب قله توان ضریب (PPF_{max})، ضریب تکثیر موثر (K_{eff}) و معیار تختی توان ($Flatness$) می‌باشد. همچنین پارامترهای ترموهیدرولیکی شامل حداکثر دمای مرکز سوخت ($TEMP_{fuel}$)، حداکثر شار حرارتی بحرانی (CHF_{max}) و a یک ثابت مناسب با مقدار ۰,۰۰۱ می‌باشد. توابع عضویت تعریف شده برای بهینه‌سازی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱) - توابع عضویت طراحی شده برای بهینه‌سازی چیدمان سوخت



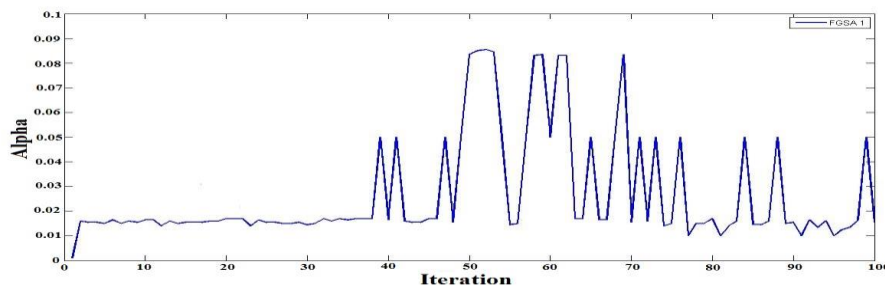
جدول (۱) - برخی از قوانین فازی جهت کنترل پارامتر α

Rule		IT	CM	ED	$\alpha(t-1)$		$\alpha(t)$
1	IF	low	high	low	medium	Then	low
2		medium	low	low	high		medium
3		high	high	high	low		medium
4		high	low	high	medium		high

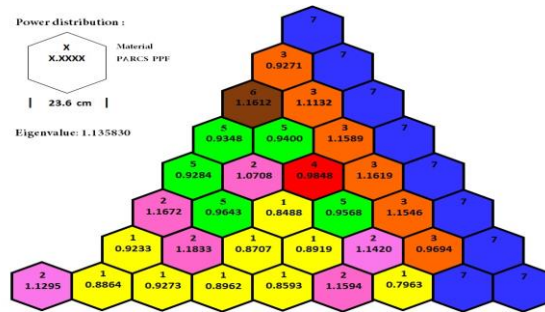
تغییرات پارامتر α بر حسب تکرار در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به توابع عضویت طراحی شده در شکل ۱، مقدار α در تکرارهای متوسط با توجه به تغییرات ED و CM از نوسانات بیشتری برخوردار می باشد. نتایج بهینه‌سازی برای این نمونه در جدول ۲ با نتایج حاصل از الگوریتم GSA مقایسه شده است. کمترین مقدار تابع هدف برای بهترین چیدمان الگوریتم FGSA برابر $1/4207$ می - باشد در حالی که در الگوریتم GSA این مقدار $1/4256$ می باشد. چیدمان پیشنهاد شده توسط الگوریتم FGSA در شکل ۳ نشان داده شده است. در چیدمان پیشنهاد شده حداکثر ضریب قله توان از $1/3505$ به $1/1833$ کاهش میابد.

جدول (۲) - نتایج بهینه‌سازی چیدمان سوخت در قلب راکتور WWER-1000

Best Results	Keff		PPFmax		CHF _{max}		TEMP _{fuel}		Flatness		Fitness Function	
	RCC	1/130652	1/3505		4/267360		1696/7		0.923		1/6681	
Run	GSA	FGSA	GSA	FGSA	GSA	FGSA	GSA	FGSA	GSA	FGSA	GSA	FGSA
#1	1/130957	1/130830	1/1888	1/1833	4/267480	4/267406	1513/3	1505/7	0.277	0.296	1/4256	1/4207
#2	1/132328	1/130915	1/2010	1/1962	4/267410	4/267402	1525/0	1519/5	0.166	0.211	1/4289	1/4277
#3	1/130831	1/132345	1/1917	1/2100	4/267405	4/267392	1514/6	1534/8	0.317	0.116	1/4320	1/4347
#4	1/132492	1/130779	1/1981	1/1901	4/267468	4/267411	1523/7	1513/6	0.285	0.367	1/4363	1/4348
#5	1/132492	1/130842	1/1981	1/2060	4/267468	4/267397	1523/7	1529/8	0.285	0.166	1/4363	1/4349
#6	1/130912	1/130891	1/2063	1/1897	4/267457	4/267379	1532/5	1515/2	0.193	0.372	1/4381	1/4352
#7	1/130933	1/130001	1/2035	1/1942	4/267395	4/267405	1527/4	1517/2	0.296	0.317	1/4435	1/4356
#8	1/130933	1/130455	1/2035	1/2015	4/267395	4/267395	1527/4	1524/9	0.296	0.244	1/4435	1/4370
#9	1/136008	1/134780	1/1975	1/1970	4/267472	4/267435	1523/0	1525/0	0.372	0.324	1/4438	1/4407
#10	1/130830	1/130813	1/2146	1/2020	4/267432	4/267405	1540/7	1526/0	0.172	0.320	1/4455	1/4440
Average	1/136072	1/130665	1/2003	1/1970	4/267438	4/267403	1525/1	1521/2	0.266	0.273	1/4374	1/4349

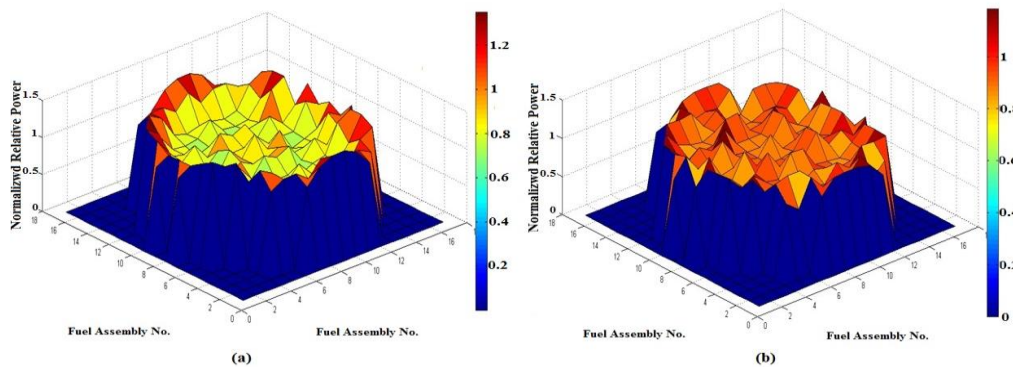


شکل (۲) - تغییرات پارامتر α بر حسب تکرار

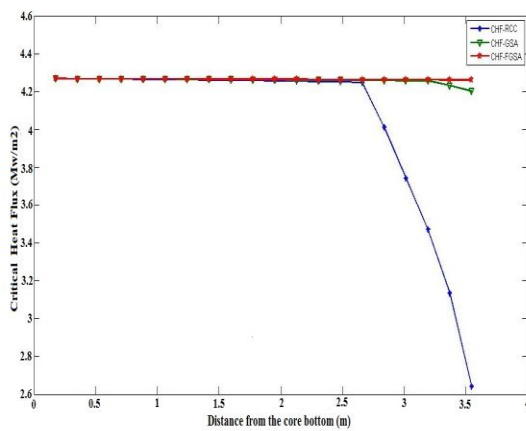


شکل (۳) - بهترین چیدمان سوخت بدست آمده توسط الگوریتم FGSA برای راکتور WWER-1000

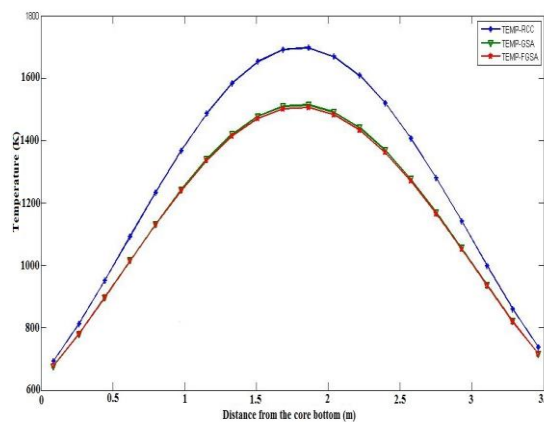
همچنین شکل ۴ مقدار کاهش و تخت کردن توزیع نسبی توان را برای نشان دادن عملکرد الگوریتم FGSA به تصویر کشیده است. شکل های ۵ و ۶ به ترتیب نتایج توزیع دمای مرکز سوخت و شار حرارت بحرانی را در فواصل محوری برای قلب واقعی و قلب پیشنهاد شده توسط الگوریتم FGSA را نشان می‌دهد. کاهش درجه حرارت مرکز سوخت به یکپارچگی مجتمع‌های سوخت در محدوده ایمن از حوادث هسته‌ای کمک می‌کند. همچنین افزایش CHF عامل ایمنی مهم در طول حوادث هسته‌ای می‌باشد.



شکل (۴) - توزیع نسبی توان سه بعدی قلب واقعی (a) و چیدمان پیشنهاد شده توسط FGSA (b)



شکل (۶) - مقایسه شار حرارت بحرانی



شکل (۵) - مقایسه توزیع دما در مرکز سوخت



۴- بحث و نتیجه گیری :

در این کار از الگوریتم جستجوی گرانشی فازی، برای پیدا کردن چیدمان بهینه سوخت قلب راکتور WWER-1000 استفاده شده است. به همین منظور و برای افزایش نرخ همگرایی و اطمینان از پیدا کردن چیدمان بهینه سوخت از کنترل کننده منطق فازی استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی با موفقیت برای بهینه سازی چند هدفه بر اساس اهداف نوترونیکی و ترموهیدرولیکی بکار گرفته شد. علاوه بر این برای رسیدن به اهداف NTH، الگوریتم FGSA با کدهای PARCS و COBRA-EN کوپل شده است. با توجه به نتایج بدست آمده حداکثر دمای مرکز سوخت از ۱۶۹۷،۷ به ۱۵۰۵،۷ درجه کلونین کاهش پیدا کرده است. نتایج نشان می دهد که الگوریتم FGSA برای بهینه سازی چیدمان سوخت عملکرد قابل قبولی دارد و همچنین همگرایی سریع، به سمت راه حل مورد نظر را داشته است و می توان از این الگوریتم در دیگر زمینه‌های مهندسی هسته‌ای استفاده نمود.

مراجع

- [1]-Khoshahval, F., Zolfaghari, A., Minuchehr, H., Sadighi, M., Norouzi, A., PWR fuel management optimization using continuous particle swarm intelligence. Ann. Nucl. Energy 37, 1263-1271. 2010.
- [2]-Aghaie, M., Norouzi, A., Zolfaghari, A., Minuchehr, A., Mohamadi Fard, Z., Tumari, R., Advanced progressive real coded genetic algorithm for nuclear system availability optimization through preventive maintenance scheduling. Ann. Nucl. Energy 60, 64-72, 2013.
- [3]-Aghaie, M., Nazari, T., Zolfaghari, A., Minuchehr, A., Shirani, A., Investigation of PWR core optimization using harmony search algorithms. Ann. Nucl. Energy 57, 1-15, 2013.
- [4]-Poursalehi, N., Zolfaghari, A., Minuchehr, A., A novel optimization method, Effective Discrete Firefly Algorithm, for fuel reload design of nuclear reactors. Ann. Nucl. Energy 81, 263-275, 2015.
- [5]-Mahmoudi, S.M., Aghaie, M., Bahonar, M., Poursalehi, N., A novel optimization method, Gravitational Search Algorithm (GSA), for PWR core optimization. Ann. Nucl. Energy 95, 23-24, 2016.
- [6]-Saeidi-Khabisi, F.S and Rashedi, E., Fuzzy gravitational search algorithm. Proceedings 2nd international conference on computer and knowledge engineering, 156-160, 2012.
- [7]-Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S., GSA: A Gravitational Search Algorithm. Information Sciences. 179, 2232-2248, 2009.
- [8]-Downar, T., Xu, Y., Kozlowski, T., 2006. PARCS v2.7 US NRC Core Neutronics. Simulator USER MANUAL. School of Nuclear Engineering, Purdue University, W. Lafayette, Indiana.
- [9]-Basile, D., Beghi, M., Chierici, R., Salina, E., Brega, E., 1999. COBRA-EN: an Upgraded Version of the COBRA-3C/MIT Code for Thermal Hydraulic Transient Analysis of Light Water Reactor Fuel Assemblies and Cores. ENELCRTN, Milano.
- [10]-Aghaie, M., Mahmoudi, S.M., A novel multi objective Loading Pattern Optimization by Gravitational Search Algorithm (GSA) for WWER1000 core. Prog. Nucl. Eng. 93, 1-11, 2016.



پاسخ به داوران

داور ۱:

با سلام و احترام

مقاله حاضر از لحاظ ساختار مقاله نویسی به شکل نسبتاً مناسبی تهیه شده است. منتها در بخشهایی از مقاله نقص‌هایی دیده میشود که در ادامه آمده است. به طور خلاصه این مقاله از لحاظ اینجانب مورد پذیرش جهت چاپ در کتابچه کنفرانس و ارائه سخنرانی است.

برخی از نکات علمی:

- مولف‌های بردار ذکر شده در رابطه (۱) به درستی معرفی نشده است. پیشنهاد میشود با یک مثال این مشکل حل شود.

با تشکر از توجه داور گرامی. این جمله به متن اضافه شده است " در این رابطه منظور از N همان جمعیت اولیه و منظور از d تعداد متغیرهای سیستم می باشد."

به طور مثال برای سیستمی با جمعیت اولیه ۲ ($N=2$) و تعداد متغیر ۳ ($d=3$) بردار x به صورت زیر می باشد:

$$X_1 = \{x_1^1, x_1^2, x_1^3\}$$

$$X_2 = \{x_2^1, x_2^2, x_2^3\}$$

- پارامتر M در رابطه (۲) توضیح داده نشده است.

نیوتن، رابطه بین شتاب، نیرو و جرم را طبق رابطه (۲) بیان می‌کند منظور از M همان جرم اجسام می باشد که در رابطه (۲) و در داخل متن به صورت زیر بیان شده است:

" در این رابطه M_{aj} جرم گرانشی فعال جسم Z ام، M_{pi} جرم گرانشی غیر فعال جسم i ام می باشد."

جرم گرانشی فعال، معیاری از میزان شدت نیروی گرانشی حول یک جسم است. بطوریکه هر چه یک جسم، جرم فعال بزرگتری داشته باشد نیروی گرانشی بیشتری در اطراف خود ایجاد می‌کند. جرم گرانشی غیر فعال نشان دهنده قدرت اثر متقابل در میدان گرانشی است. بطوریکه هر چه جسم، جرم گرانشی غیرفعال بزرگتری داشته باشد، نیروی گرانشی بیشتری را تجربه می‌کند.

- بخش ۲-۲ (جستجوی گرانشی فازی) باید بازنویسی شود تا ارتباطش و نحوه اثر گذاری آن در روابط بخش ۱-۲ مشخص شود.

با توجه به پاراگراف اول بخش ۲-۲: " در الگوریتم GSA، پارامتر α در رابطه (۱۰) نقش مهمی را در افزایش یا کاهش قدرت اکتشاف و بهره برداری بازی می‌کند. مقدار ثابت G اثر بزرگی در شتاب اجرام دارد و بوسیله کنترل شتاب و سرعت اجرام، توانایی افزایش یا کاهش تنوع و همچنین تقویت یا تضعیف قدرت اکتشاف و بهره برداری را داریم. هدف از الگوریتم FGSA، رسیدن به نتایج بهتر با کنترل پارامتر α در طول تکرار می باشد." هدف کلی استفاده از منطق فازی را بیان میکند یعنی با کنترل α از طریق منطق فازی بر روی ثابت G اثر گذاشته و می‌توانیم قدرت اکتشاف و بهره برداری الگوریتم را بالا ببریم.

- عبارت کامل FLC یعنی Fuzzy Logic Controller در پاورقی آورده شود.

در صفحه ۱ این عبارت در پاورقی گنجانده شده است.

- تعداد ارقام اعشار برای CHF در جدول ۲ بی معنی است.



با توجه به تعداد زیاد اهداف بهینه سازی و پیچیده‌گی فرآیند پیدا کردن چیدمان بهینه قلب، به همین منظور مقدار CHF با رقم اعشار بیشتری نشان داده شده تا بهبود فرآیند بهینه سازی را نشان دهد. در این نتایج مقدار ماکزیمم CHF نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶ در صورتی که مقدار متوسط گیری شده در نتایج گزارش می شد، احتیاج به استفاده از رقم اعشار بالا نبود.

- شکل (۳) اعداد و نوشته های روز نمودار به هیچ وجه خوانا نیست. Legend هم همین مشکل را دارد. اعداد و اشکال روی شکلها اصلاح گردید. اما به دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله به اجبار اشکال در ابعاد کوچکتری در مقاله گنجانده شده‌اند که از کیفیت تصاویر کاسته شده است.
- در شکل (۴) نیز اعداد و نوشته های روی نمودار به هیچ وجه خوانا نیست. Legend هم همین مشکل را دارد.
- اعداد و اشکال روی شکلها اصلاح گردید. اما به دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله به اجبار اشکال در ابعاد کوچکتری در مقاله گنجانده شده‌اند که از کیفیت تصاویر کاسته شده است.

داور ۲:

نکات مرتبط با نگارش متن:

- ۱- جهت یکسان سازی، پارامترهای ED، CM، IT و ... در متن و جداول به صورت ایتالیک باشد زیرا که در روابط به صورت ایتالیک هست.
- ۲- فاصله در کلمات تک کلمه‌ای در کل متن به نیم فاصله تبدیل گردد. نظیر "می کند" به "می‌کند"، "جرم‌های" به "جرم‌های" و ..
- ۳- در زیر نویسه‌های جداول و اشکال کلمه "شماره" حذف شود.
- ۴- در رابطه ۱۴ پارامترهای keff و CHF و.. تعریف شود.
- ۵- در پاراگراف ۱ ص ۲، در صورتی که از پارامترهای ضریب تکثیر موثر (k_{eff})، ضریب قله توان (β) و چگالی توان (ρ) در روابط استفاده شده آنها را در داخل پرانتز نماد گذاری کنید.
- ۶- برای جمله اول بند ۳-۲- یک مرجع مناسب ارائه دهید.
- ۷- برای سطر ۶ بند ۳-۲- یک مرجع مناسب ارائه دهید.
- ۸- برای سطر ۴ بند ۳ مرجع مناسب ارائه دهید.
- ۹- در جدول ۲- بعضی اعداد اعشاری با "/" و بعضی با "،" جداسازی شده اند لازم است در جدول و کل متن بطور یکسان با "/" جداسازی شود.
- ۱۰- در شکل ۳، ۴ و ۵ نوشته های اشکال نامشخص است بهتر است بازنویسی شود.
- ۱۱- به جای WWER1000 از WWER-1000 استفاده شود.
- ۱۲- متغیر IT بدون تعریف و اثر گذاری آن سیستم در بند ۲-۲-۲ استفاده شده است. تعریف و اثر گذاری آن بیان گردد.

پاسخ:



با تشکر از داور محترم بخاطر توجه و دقتی که در مطالعه این مقاله داشته‌اند. تمام آیتم های فوق اصلاح گردید.

نکات مهم داوری:

۱- نتایج مقاله حاضر با روش کنترل فازی پارامتر α در الگوریتم GSA با نتایج مقاله [۶] (صرفاً با روش GSA بدون تغییر و کنترل α) تفاوت چندانی نداشته و نتایج تقریباً نزدیک بهم حاصل شده است. لذا مشخص است که بیشترین تاثیر را الگوریتم GSA در بهینه‌سازی چیدمان سوخت و پارامترهای دیگر راکتور داشته است و تغییر پارامتر α با روش کنترل فازی ذکر شده خیلی موثر نبوده است. (مقایسه شکل های ۲ با ۷ مرجع [۶] و 3b با ۹ از [۶])

مقاله اشاره شده در مرجع [۶] بهینه سازی چند هدفه را با استفاده از الگوریتم GSA نشان می دهد. در مقاله ذکر شده بهترین قلب پیشنهادی توسط الگوریتم GSA آورده شده است. با توجه به این موضوع نتایج ارائه شده در مقاله حاضر باید با بهترین چیدمان قلب بدست آمده توسط الگوریتم GSA مقایسه شود. از اینرو، نتایج این دو الگوریتم با اختلاف کمی با هم در رقابت می‌باشند. برای این منظور جدول (۲) اصلاح گردید.

۲- با توجه به اینکه نوآوری مقاله در استفاده از روش فازی در GSA است نه خود GSA و با توجه به اینکه مقاله بکارگیری GSA در [۶] قبلاً ارائه شده است بهترین کار مقایسه عملکرد GSA با FGSA است نه مقایسه FGSA با سیستم موجود. زیرا که در این صورت اثر کنترل فازی در کنترل پارامتر α خود را نشان خواهد داد. بنابراین همه مقایسه ها و نمودارها بر این اساس تغییر یابد و نتایج دوباره تحلیل گردد. با توجه به نکات اشاره شده جدول (۲) اصلاح گردید و نتایج حاصل از الگوریتم GSA با FGSA مقایسه گردید. همچنین تغییرات دمای مرکز سوخت و شار حرارت بحرانی برای دو الگوریتم ذکر شده با نتایج سیستم قبل از بهینه سازی مقایسه شده است و در شکل های (۴) و (۵) این موضوع قابل رویت می‌باشد.

۳- در این مقایسه بهتر است نمودار تغییرات α بر حسب تکرار رسم شود و روند تاثیر آن در بهینگی پارامترهای خروجی بررسی گردد.

نمودار تغییرات α بر حسب تکرار (شکل ۲) به متن اضافه گردید.

۴- با توجه به بند ۱ این بخش، بهتر است قوانین فازی به بخشهای ریزی نظیر very low, low, medium, high, very high و یا .. تقسیم بندی گردد و یا اینکه یک تابع معیاری برای کنترل α و قوانین فازی آن تعریف گردد. تا اثر گذاری کنترل فازی روی α خودش را نشان دهد.

مقدار α در مقاله ارائه شده در مرجع [۱۰] ثابت در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه پارامتر α در رابطه (۱۰) نقش مهمی را در افزایش یا کاهش قدرت اکتشاف و بهره برداری بازی می‌کند. از اینرو، از کنترل کننده فازی برای اثر گذاری بر این پارامتر استفاده شده است. همچنین با توجه به نوع مسئله بهینه سازی در صنایع مختلف، می توان از قوانین فازی با بازه های مختلف استفاده نمود که می تواند در نتایج بهینه سازی تاثیر گذار باشد.

۵- چه تحلیلی برای عدم تغییر CHF بیش از 3m با روش FGSA دارید؟ در بخش مربوطه بیان گردد.



با توجه به اینکه یکی از اهداف بهینه سازی، افزایش CHF می باشد از این رو الگوریتم به دنبال چیدمان سوختی با این هدف می باشد. همچنین با توجه به اهداف دیگر مانند کاهش PPF و دمای سوخت در داغ ترین کانال و معیار تختی توان انتظار می رود که CHF افزایش پیدا کند. همچنین با افزایش دمای سیال در قسمت انتهایی مجتمع سوخت و با توجه به مدل EPRI ارائه شده در کد COBRA-EN مقدار شار حرارت بحرانی (CHF) در این قسمت کاهش میابد.