

## محاسبه و اندازه‌گیری ارزش میله‌های کنترل و میله‌های جاذب کاربید بور در قلب تعادلی راکتور تحقیقاتی تهران

افشین هدایت\*، سید محمد میروکیلی، سعیده صفائی

سازمان انرژی اتمی ایران - پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای

### چکیده

در این مقاله نتایج محاسبات ارزش میله‌های کنترل راکتور تحقیقاتی تهران و نیز میله‌های جاذب کاربید بور با دو قطر متفاوت ۴۰ و ۱۴ میلی‌متر در دو موقعیت با شار بالا (در مرکز قلب در موقعیت D6) و شار پایین (در حاشیه قلب در موقعیت B2) و نیز موقعیت قرارگیری مجموعه سوخت کنترل ظریف (B8) در قلب تعادلی (شماره 61-B) راکتور تحقیقاتی تهران ارائه شده است. بدین منظور قلب 61-B راکتور تهران با در نظر گرفتن میزان سوخت مصرفی هر یک از مجتمع‌های سوخت قلب، با استفاده از کدهای محاسباتی WIMSD و CITVAP از مجموعه MTR-PC و نیز کد MCNPX شبیه‌سازی شده و نتایج محاسبات با نتایج آزمایش کالیبراسیون میله‌های کنترل و جاذب کاربید بور در قلب راکتور تهران مقایسه شده است. نتایج محاسبات هر دو کد تطابق مناسبی را با نتایج آزمایشگاهی قلب راکتور تهران نشان می‌دهد.

کلید واژه: راکتور تحقیقاتی، میله‌های کنترل، کاربید بور، MCNPX، MTR-PC

### مقدمه:

از جمله آزمایش‌های ایمنی راه‌اندازی راکتور، اندازه‌گیری ارزش میله‌های کنترل می‌باشد. ارزش میله‌های کنترل وابسته به پارامترهای متنوعی از جمله نوع سوخت، کند کننده، خنک کننده، چیدمان قلب و موقعیت قرارگیری ماده جاذب در قلب راکتور می‌باشد. در این مقاله، نتایج کدهای محاسبات قلب راکتور در شبیه‌سازی چیدمان، مصرف سوخت، اثر موقعیت میله‌های کنترل در زمان راه‌اندازی قلب 61-B راکتور تحقیقاتی تهران [۱] با نتایج آزمایشات کالیبراسیون میله‌های کنترل و جاذب کاربید بور در قلب مذکور مقایسه شده است. بدین منظور، پس از اطمینان از صحت مدل‌سازی، ارزش راکتیویته میله‌های جاذب کاربید بور را در موقعیت‌هایی از قلب راکتور تهران که دارای شار نوترون متفاوت هستند، محاسبه شده و با نتایج آزمایش In-Hour [۲] مقایسه شده است. نتایج این تحقیق به منظور مقایسه نتایج کدهای محاسباتی با شرایط آزمایش بسیار سودمند می‌باشد. نتایج حاصل تطابق قابل قبولی را با نتایج آزمایش نشان می‌دهند. شکل 1 نحوه چیدمان مجتمع‌های سوخت تشکیل دهنده قلب 61-B راکتور تحقیقاتی تهران و درصد مصرف سوخت هر یک از این مجتمع‌ها را نشان می‌دهد [1, 2, 3].

جدول ۱. مشخصات هندسی میله‌های جاذب کاربید بور

Type	Rod Diameter (mm)	Absorber Diameter (mm)	Rod Height (cm)	Active Core Height (cm)
1	۴۲	40	۶۵	61.5
2	۲۰	14	۶۵	61.5

دو میله کاربید بور (B4C) با غلاف فولاد ضد زنگ به عنوان ماده جاذب در آزمایش مذکور [2]، در قلب 61-B مورد استفاده قرار گرفت. جدول 1 مشخصات هندسی میله‌های جاذب را در شرایط آزمایش نشان می‌دهد.

A	B	C	D	E	F
IR BOX	GR BOX	GR BOX	GR BOX	IR BOX	GR BOX
SFE 10.58%	CFE-RR 5.58%	SFE 32.03%	SFE 33.21%	SFE 21.59%	SFE 14.89%

SFE 28.14%	SFE 39.50%	SFE 48.71%	SFE 54.11%	CFE-SR2 3.12%	SFE 33.97%	3
SFE 24.47%	CFE-SR1 39.06%	SFE 52.69%	IR BOX	SFE 46.15%	SFE 15.65%	4
SFE 36.45%	SFE 34.66%	SFE 46.14%	SFE 56.65%	CFE-SR3 59.82%	SFE 19.47%	5
SFE 5.7%	SFE 26.47%	CFE-SR4 50.22%	SFE 55.43%	SFE 42.51%	SFE 3.72%	6
IR BOX	SFE 17.08%	SFE 28.86%	SFE 40.98%	SFE 5.17%	IR BOX	7
GR BOX	IR BOX	SFE 54.75%	GR BOX	GR BOX	GR BOX	8
GR BOX	GR BOX	GR BOX	GR BOX	GR BOX	GR BOX	9

SFE: Standard Fuel Element CFE: Control Fuel Element SR: Shim Safety Rod  
RR : Fine Regulating Rod IR-BOX: Irradiation Box GR-BOX: Graphite Box

شکل ۱. چیدمان قلب شماره 61-B راکتور تحقیقاتی تهران و درصد مصرف سوخت هر یک از مجتمع های آن

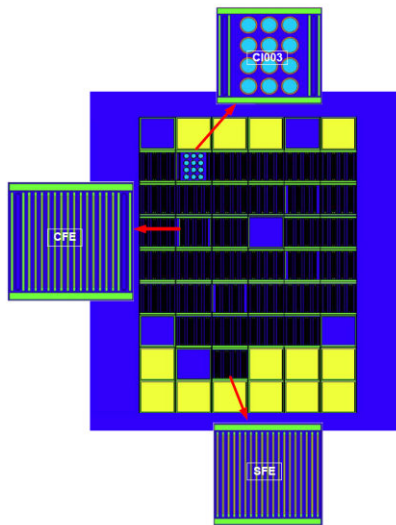
۲. کدها و الگوهای محاسباتی مورد استفاده :

۱،۲. بسته کد های محاسباتی MTR-PC :

در این محاسبات از بسته کد های محاسباتی MTR-PC [۴] استفاده شده است. در ابتدا از کد [۵] WIMSD 4، به منظور محاسبات سلولی بر پایه سطح مقاطع ماکروسکوپیکی، و سپس از کد POS-WIMS [۶]، به منظور همگن سازی موادی و فشرده سازی گروهی در بازه سلولی دلخواه، استفاده شد. مجموعه سطح مقاطع ماکروسکوپیکی پردازش شده در نواحی و بازه های انرژی مطلوب توسط کد [۷] HXS، به کتابخانه های مورد نیاز کد [۸] CITVAP، تبدیل شد. در نهایت از کد CITVAP، به منظور انجام محاسبات قلب استفاده شده است. الگو های محاسباتی، شامل: انتخاب نواحی، مواد، و انرژی، بر طبق ضمیمه گزارش آنالیز های ایمنی راکتور تحقیقاتی تهران [۹] انتخاب شد.

۲،۲. کد MCNP :

به منظور اطمینان از نتایج محاسبات مدل سازی علاوه بر بسته کد های محاسباتی MTR-PC، کد MCNPX2.6 [۱۰] برای محاسبات قلب بکار گرفته شد. کلیه اجزا تشکیل دهنده قلب شامل مجتمع های سوخت استاندارد و کنترلی، باکسهای پرتو دهی، بازتابنده ها و جاذب های کنترلی در این کد مدل سازی شده است (شکل ۲). کتابخانه داده های ENDF-VII در این محاسبات مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۲ - چیدمان و هندسه قلب مدل سازی شده توسط کد MCNPX

### ۳. نتایج محاسبات قلب راکتور:

#### ۱.۳. نتایج محاسبات اولین قلب با غنای پایین:

در این بخش، محاسبات اولین آرایش قلب راکتور تهران (جدول ۲) با سوخته‌های غنای پایین (LEU) (شکل ۳)، به منظور اعتبار سنجی محاسبات توسط هر دو ابزار محاسباتی MTR-PC و MCNP انجام شده است. در جدول ۳، مقادیر محاسبه شده با نتایج محاسباتی موجود در گزارش آنالیزهای ایمنی راکتور تحقیقاتی تهران [۱] مقایسه شده است. لازم به ذکر است؛ محاسبات انجام شده توسط MTR-PC در این بخش بر مبنای مدل همگن [۹] سوخت انجام شده است.

جدول ۲ - مشخصات عمومی مجموعه‌های سوخت

	A	B	C	D	E	F
1				IR 1	IR 2	
2		IR 3	CFE FRR	SFE	SFE	IR 4
3		SFE	SFE	CFE SSR 1	SFE	SFE
4		SFE	CFE SSR 2	SFE	CFE SSR 3	SFE
5		SFE	SFE	CFE SSR 4	SFE	IR 5
6		IR 6	SFE	SFE	IR 7	
7			IR 8	IR 9		
8						
9						

IR: Irradiation Box    SSR: Shim Safety Rod    FRR: Fine Regulating Rod

<b>Fuel elements:</b>	
U235 per Standard Fuel Element (SFE)	290 gr
U235 per Control Fuel Element (CFE)	214 gr
U per fuel plate	76 gr
<b>Meat:</b>	
Enriched U3O8	20% in weight of U235
U density	2.9617 gr/cm <sup>3</sup>
Meat density	4.76 gr/cm <sup>3</sup>
Void fraction	10.0%
Weight percentage	U235 12.45%, U238 49.78%, O 11.18%
	Al 26.59 %
<b>Shim and safety rods absorber</b>	
	Ag-In-Cd Alloy (80,15,5% in weight respectively)
	Density 10.17 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Control rods' Cladding Material</b>	
	AISI-316/L stainless steel
	Density= 7.95 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Regulating rod</b>	
	AISI-316/L stainless steel
	Density=7.95 gr/cm <sup>3</sup>

شکل ۳ - آرایش اولین قلب با غنای پایین راکتور تحقیقاتی تهران

جدول ۳. نتایج محاسبه راکتیویته اولین قلب راکتور تحقیقاتی تهران با سوخته‌های غنای پایین

Core State	Control Rod Positions (% Extraction)					Reactivity (pcm)			
	SR1 (C4)	SR2 (D3)	SR3 (E4)	SR4 (D5)	RR (C2)	MCNP results	2-D using MTR-PC	3-D using MTR-PC	SAR
Cold & Clean	100	100	100	100	100	7011	7296	7237	6916
	0	0	0	0	100	-12831	-12653	-12615	-12541
	100	100	100	100	0	6564	6803	6746	6364
HZP	100	100	100	100	100	6641	7008	6978	6549
HFP	100	100	100	100	100	3423	3853	3824	3319

جدول ۴. نتایج محاسبه ضریب تکثیر موثر قلب شماره ۱ (موقعیت بحرانی اولیه)

Parameter	Percentage of control rods withdrawal at critical point	
	MTR-PC result	MCNP result
$K_{eff}$	1.00006	1.00039
Reactivity	+6.1 pcm	+38.9 pcm

تفاوت بین محاسبات و داده‌های SAR با توجه به یکسان بودن مدل محاسباتی به دو دلیل می‌باشد که شامل: تولید سطح مقاطع

ماکروسکوپیکی برای بازتابنده (آب سبک) توسط کد محاسباتی جداگانه به غیر از کد محاسباتی WIMSD4، در محاسبات SAR [۱۱ و ۱۲]، و نیز استفاده از نسخه جدید کتابخانه سطح مقاطع هسته‌ای کد WIMSD4، که با استفاده از نسخه ENDF-B/IV به روز آوری شده است]

۱۳]. در جدول ۴ نتایج محاسبه ضریب تکثیر موثر قلب شماره ۱ در حالتیکه میله های کنترل در موقعیت بحرانی قرار داشته اند [۱۴] ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده می توان نتیجه گرفت؛ که مجموعه داده ها، کد ها و شیوه های محاسباتی بر پایه الگوهای محاسباتی معرفی شده [۹] قابل تایید می باشند.

## ۲.۳. نتایج محاسبات قلب 61-B

جدول ۵. پارامترهای نوترونی قلب 61-B قبل از شروع به کار

Neutronic Parameters	Calculated Parameters			Safety Margin
	HM	EFM	MCNP	
$K_{eff}$	1.0425	1.0307	1.0480	-
$\rho_{excess}(pcm)$	4073	2982	4578	-
Shutdown Margin (pcm)	6929	8374	6358	> 3000
Integral Worth of SSRs	11002	11356	10936	-
Safety Reactivity Factor	2.7	3.8	2.39	> 1.5
R. Rod Worth (pcm)	277	280	234	< $\beta_{eff}$

نتایج محاسبه مقادیر پارامترهای نوترونی و نیز تخمین راکتیویته قلب 61-B در حالت بحرانی شدن در ابتدای سیکل کاری مذکور بر مبنای دو مدل سلول همگن سوخت (HM) و بدنه تفکیک یافته (EFM)، با استفاده از MTR-PC و نیز کد MCNPX در جدول ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج محاسبه ضریب تکثیر موثر قلب 61-B (موقعیت بحرانی اولیه)

Parameters	Calculating Model	$K_{eff}$	Reactivity (pcm)
Control Rod Extraction	MTR-PC (HM)	1.01030	+ 1019
{SSRs: 61.5 %}	MTR-PC (EFM)	0.99835	-165
{FRR: 50 %}	MCNPX	1.01797	+1765

در مدل (HM) سطح مقاطع ماکروسکوپیکی برای کل یک مجموعه سوخت محاسبه شده در حالی که در مدل (EFM) این محاسبات برای دو ناحیه شامل صفحات سوخت و بخش نگه دارنده صفحات سوخت به طور جداگانه انجام می شود. اختلاف حدود 1000 pcm در نتایج دو الگوی محاسباتی فوق در محاسبات قلب شماره یک ذکر شده است [۹]؛ که صحت محاسبات را تایید می کند.

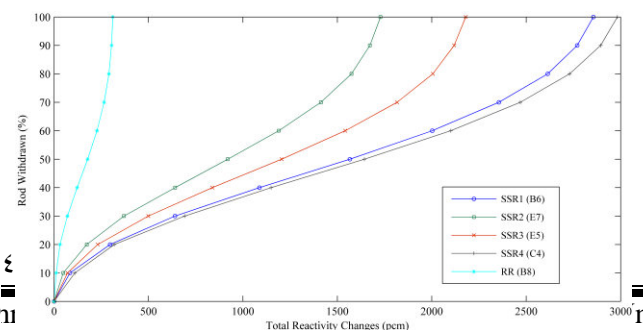
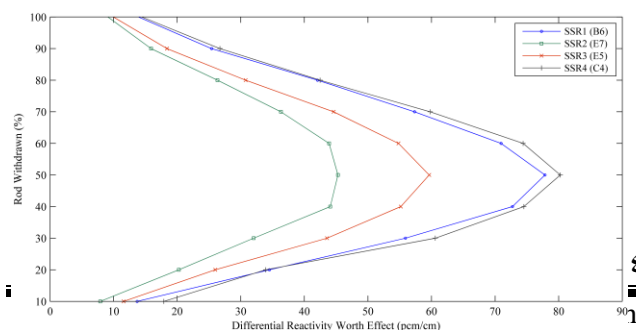
جدول ۷. مقادیر شار نوترونی سه گروهی در محفظه های پرتو دهی (5 MW)

Irradiating Boxes	Neutron Flux (n/s.cm <sup>2</sup> )				Total
		Fast	Epithermal	Thermal	
		0.821-10 MeV	0.625 eV-0.821 MeV	<0.625 eV	
IR 1	A9	4.38E+12	9.69E+12	2.44E+13	3.84E+13
IR 2	E9	6.33E+12	1.38E+13	3.06E+13	5.07E+13
IR 3	D6	2.04E+13	4.18E+13	7.67E+13	1.39E+14
IR 4	A3	9.36E+12	1.88E+13	4.11E+13	6.93E+13
IR 5	F3	8.62E+12	1.79E+13	3.80E+13	6.45E+13
IR 6	B2	8.28E+12	1.73E+13	3.64E+13	6.19E+13

جدول ۷ نشاندهنده مقادیر شار نوترونی سه گروهی در محفظه های پرتو دهی می باشد؛ این مقادیر با استفاده از مدل (EFM) در حالت ابتدای راه اندازی سیکل کاری راکتور (سرد بدون زیان) و با فرض خروج ۵۰٪ میله های کنترل محاسبه شده است.

## ۴. نتایج محاسبه ارزش میله های کنترل در قلب تعادلی

شکل های ۴ و ۵ به ترتیب نشاندهنده ارزش انتگرالی و دیفرانسیلی میله های کنترل راکتور تحقیقاتی تهران با استفاده از مدل EMF در زمان راه اندازی قلب 61-B راکتور (Startup) تهران میباشد.



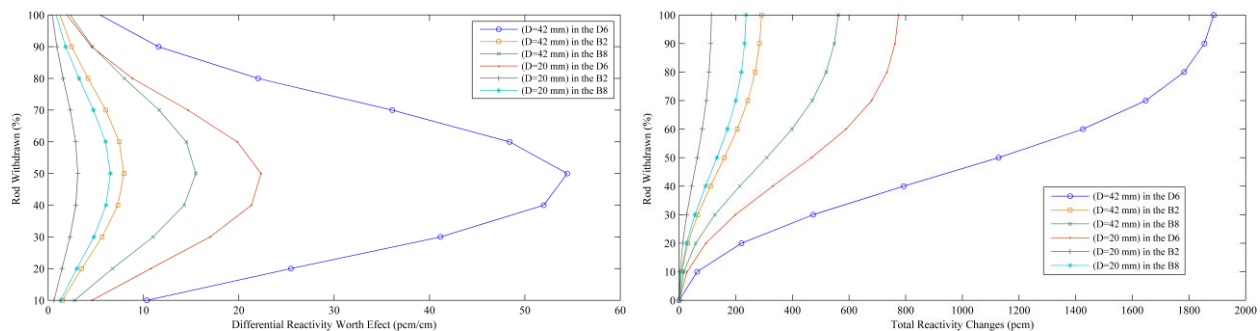
شکل ۴- ارزش انتگرالی میله های کنترل (مجموع تغییرات راکتیویته) شکل ۵- ارزش دیفرانسیلی میله های کنترل محاسبات فوق با فرض خروج نسبی سایر میله های کنترل (اثر سایه گذاری Shadowing Effect سایر میله های کنترل) انجام شد. جدول ۸ نشان دهنده تطابق مناسب مقادیر محاسبه شده ارزش میله های کنترل با نتایج آزمایش In-hour می باشد. شایان ذکر است؛ اندازه گیری ارزش میله های کنترل به روش کالیبراسیون توامان دو میله کنترل در توان پایین (نزدیک به حالت بحرانی اولیه) انجام شده است [۲].

جدول ۸. مقایسه مقادیر محاسباتی و آزمایشگاهی ارزش میله های کنترل

State	Reactivity Worth Effect (pcm)				
	RR (B8)	SR1 (B6)	SR2 (E7)	SR3 (E5)	SR4 (C4)
Calculations	310.9	2855.5	1728.4	2179.7	2982.8
Experiment [2]	307	2652	1967	2300	3042
Relative Differences (%)	1.27	7.67	12.13	5.23	1.95

## ۵. نتایج محاسبه ارزش میله های جاذب کاربید بور در قلب 61-B:

شکل های ۶ و ۷ به ترتیب نشاندهنده ارزش انتگرالی و دیفرانسیلی میله های جاذب کاربید بور در سه موقعیت قلب 61-B راکتور تهران شامل: شار بالا (D6)، شار پایین (B2)، و موقعیت بارگذاری سوخت CI003 (B8) (بدون خود مجموعه سوخت) ارائه شده است.



شکل ۷- ارزش دیفرانسیلی میله های جاذب کاربید بور

شکل ۶- ارزش انتگرالی میله های جاذب کاربید بور

جدول ۹. مقایسه مقادیر محاسباتی و آزمایشگاهی ارزش میله های جاذب کاربید بور

Rod Type	Position	Calculation results		In-hour Experiment
		MTR-PC	MCNP	
1(42 mm)	High Flux (D6)	1877	1958	1940
	Low Flux (B2)	291	282	114
2 (20 mm)	High Flux (D6)	774	965	826
	Low Flux (B2)	114	52	76

جدول ۹ نشان دهنده تطابق خوب بین مقادیر محاسبه شده با آزمایش In-hour در موقعیت با شار بالا برای هر دو میله جاذب کاربید بور می باشد.

## ۶. شبیه سازی حالات بحرانی قلب 61-B در آزمایش های کالیبراسیون میله های کنترل و میله جاذب کاربید بور:

جدول زیر نشان دهنده نتایج شبیه سازی استاتیک شرایط بحرانی ( $K_{eff} \approx 1$ ) قلب راکتور 61-B تحت شرایط آزمایش کالیبراسیون میله های کنترل و نیز میله های جاذب کاربید بور [۲] می باشد. نتایج نشان دهنده، شبیه سازی قابل قبول شرایط آزمایش در حالت های مختلف

موقعیت بحرانی قلب راکتور می باشد؛ به طوری که تغییرات  $K_{eff}$  نسبت به یک (حالت مطلق بحرانی) کوچکتر از ۰.۷۵% در کلیه موارد می باشد. لازم به ذکر است؛ وجود کسر نوترون های تاخیری مهمترین تفاوت تغییرات دینامیک قلب راکتور نسبت به حالت استاتیک محاسباتی مذکور میباشد. با توجه به مقدار محاسباتی لحاظ شده کسر نوترون های تاخیری ( $\beta_{eff}$ ) برابر 770 pcm برای قلب تعادلی [۱] تفاوت در مقدار راکتیویته محاسباتی در باز  $\pm 770$  pcm معنی دار بوده که کلیه موارد شبیه سازی شده را در بر می گیرد.

جدول ۱۰. نتایج شبیه سازی حالت های بحرانی قلب 61-B

Number	Rod Positions (% Out)					B,C Absorber Location			Calculation (MTR-PC)	
	SR1 (B6)	SR2 (E7)	SR3 (E5)	SR4 (C4)	RR (B8)	RR Position (B8)	Low Flux (B2)	High Flux (D6)	Keff	Reactivity (pcm)
1	64	64	64	64	50	-	-	-	0.99920	-80.5
2	64.7	64.7	64.7	64.7	50	-	20 mm	-	0.99972	-27.7
3	65	65	65	65	50	-	43 mm	-	0.99484	-518.2
4	70.4	70.4	70.4	70.4	50	-	-	20 mm	1.00396	394.4
5	80.5	80.5	80.5	80.5	50	-	-	43 mm	0.99809	-191.5
6	58	58	58	100	0.0	-	-	-	1.00171	170.6
7	58	58	58	76.8	100	-	-	-	0.99725	-275.4
8	83.5	0	83.5	100	50	-	-	-	1.00742	736.7
9	83.5	100	83.5	43.3	~50	-	-	-	1.00562	559.2
10	100	85	0	85	40	-	-	-	1.00225	224.2
11	23.5	85	100	85	40	-	-	-	0.99963	-36.6
12	61.5	61.5	61.5	100	-	20 mm	-	-	1.00285	284.2
13	61.5	61.5	61.5	89.6	-	Out	-	-	1.00371	370.0
14	64.2	64.2	64.2	100	-	43 mm	-	-	0.99711	-289.8
15	64.2	64.2	64.2	78.8	-	Out	-	-	0.99819	-181.2
16	61.5	61.5	61.5	89.6	-	-	-	-	1.00007	7.5

## ۷. بحث و نتیجه گیری:

مقایسه و بررسی نتایج محاسبات قلب راکتور اولیه و قلب تعادلی 61-B، مقایسه بین مقادیر ارزش میله های کنترل و میله جاذب کاربید بور با نتایج آزمایش اندازه گیری توامان میله جاذب (آزمایش In-hour در توان پایین)، و نیز شبیه سازی شرایط آزمایش در حالت های مختلف بحرانی قلب راکتور، نشاندهنده تطابق مناسب بین محاسبات کدهای هسته ای مورد استفاده با نتایج محاسباتی آزمایش می باشند. شایان ذکر است؛ موارد ذیل از جمله عوامل تفاوت نسبی ما بین نتایج محاسباتی با نتایج آزمایش می باشند:

**الف - علل اصلی خطا در محاسبات قلب و نیز شبیه سازی موقعیت های کاری راکتور، شامل:** تفاوت های موادی و تغییرات ساختاری سوخت های جدید مورد استفاده با سوخت های قبلی (از جمله چگالی سوخت و ناخالصی سوخت و غلاف)، خطای محاسباتی در میزان مصرف سوخت های مصرفی، صرف نظر کردن از توزیع محوری میزان مصرف سوخت های مصرفی، مصرف و استهلاک تدریجی میله های کنترل جاذب (طی چندین سال متوالی)، فرسایش و تغییرات ساختاری بازتابنده های گرافیت در اثر تابش رادیواکتیو داخل قلب (طی چندین سال متوالی).

**ب- علل اختلاف در محاسبه ارزش میله های کنترل و کاربید بور با نتایج آزمایش In-hour، شامل:** استفاده موثر از مقادیر محاسباتی نظیر کسر نوترون های تاخیری و نیز زمان تولید نوترون در محاسبه نتایج آزمایشگاهی (معادله In-hour) [۱۵]، استفاده از تقریب سینتیک نقطه ای در معادله In-hour، و نیز تفاوت ناشی از تلورانس های موادی و هندسی در ساخت با مشخصات و ابعاد محاسباتی.

## فهرست مراجع:

1. FSAR for TRR, 2009, "Final Safety Analyses Report for Tehran Research Reactor", Atomic Energy Organization of Iran, Tehran.
۲. اندازه گیری ارزش راکتیویته میله های جاذب کاربرد بور در راکتور تحقیقاتی تهران ، سازمان انرژی اتمی، معاونت توسعه کاربرد پرتوها، گزارش فنی راکتور تحقیقاتی تهران، -TRR REP-OP-056 ، ۹۱/۱۲/۲۸.
۳. محاسبه ارزش میله های کنترل و میله های جاذب کاربرد بور در قلب 61-B راکتور تحقیقاتی تهران ، سازمان انرژی اتمی، معاونت توسعه کاربرد پرتوها، گزارش فنی راکتور تحقیقاتی تهران، TRR-REP-NEU-016 ، 92/4/25.
4. MTR\_PC V. 3.0, 2006, "Neutronic, Thermal hydraulic and shielding, Calculations on Personal Computers", Nuclear Engineering Division, INVAP.
5. CCC-575 WIMSD4, 1991, "WIMS-D4: Winfrith Improved Multi-group Scheme Code System", OAK Ridge National Laboratory.
6. POS-WIMS V2.0, 2006, "Program to Condense and Homogenized Macroscopic Cross Section WIMS Output", MTR-PC Package, Nuclear Engineering Division of the INVAP S. E.
7. HXS V. 4.1, 2006, "Macroscopic Cross Section Library Manager", MTR-PC Package, Nuclear Engineering Division of the INVAP S. E.
8. Eduardo Villarino and Carlos Lecot, 2006, "CITVAP v3.1 User manual", MTR-PC Package v3.0, Reactor Calculation Code, An extended version of CITATION code, Nuclear Engineering Division, INVAP.
9. T.R.R. amendment to the safety report, INVAP S.E. version A, September 1989.
10. Los Alamos National Laboratory, 2008, "MCNPX USER'S MANUAL".
11. ANISN, 1973. Multi-group one dimensional discrete ordinates transport code with anisotropic scattering. ORNL.
12. GGTC-ENEL, 1978, General Atomic, Chiovatto & Di Pasquani.
13. Wims Library, 2006, " WIMS Unformatted Neutron Cross Section Data", MTR-PC Package, Nuclear Engineering Division of the INVAP S. E.
14. TRR Log Book, No. 24, 1993, Atomic Energy Organization of Iran (AEOI), Nuclear Research Center, Reactor Division, Iran.
15. Hetrick, D.L., 1971. "Dynamic of Nuclear Reactors", The university of Chicago Press, Chicago and London, ISBN: 0-226-33166-0.