انجام محا سبات Burnup قلب نیروگاه بوشهر به کمک کدهای WIMS و CITATION

دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجن
افشین شجاعی [(a)] بهروز علایی [*]

۱- چکیده

نیروگاه بوشهر از نوع راکتورهای آب سبک روسی یا VVER می با شد قلب راکتور بر خلاف انواع نامی آن ، PWR ، از مجتمع های سوخت هگزاگونال تشکیل شده است و از نظر مدیریت سوخت نیز از شکل متفاوتی نسبت به PWR ها برخوردار هستند . در این گزارش انجام محاسبات فرسایش سوخت (BURNUP) قلب راکتور به منظور آنالیز رفتاری قلب راکتور در طول سیکل کاری آن در شرایط پایدار Stady State انجام می گیرد که با محاسبه پارامترهای نوترونیک و غلظت بحرانی اسید بوریک محلول در آب در زمانهای مختلف در طول سیکل کار راکتور همراه می باشد .

انجام محاسبات فوق به دو بخش تقسیم می گردد . بخش ابتدایی تهیه و تولید یک کتابخانه سطح مقاطع ماکروسکوپیک در شرایط Nominal اسمی راکتور در طول سیکل راکتور می باشد این کتابخانه شامل سطح مقاطع ماکروسکوپیک متوسط گیری شده مختلف اسید بوریک محلول در خنک کننده می باشد در این مرحله از کد سلولی WIMSبرای تولید سطح مقاطع ماکروسکوپیک دو گروهی و کد CITATION برای تهیه سطح مقاطع متوسط روی مجتمع های سوخت در مختصات مثلثی به کار می روند . بخش دوم : این بخش شامل انجام محاسبات قلب راکتور و فرسایش سوخت می باشد بدین منظور با استفاده از کد CITATION و روش درون یابی روی کتابخانه های تولید شده محاسبات قلب راکتور وفرسایش سوخت در فواصل زمانی مشخص ادامه می یابد تا راکتیویته اضافی Excess Reactivity ناچیز گردد وغلظت اسید بوریک لازم در آب به صفر نزدیک شود که این پایان سیکل اول می باشد .

۲ – مشخصات راکتور VVER-1000

۲. ۱ – قلب راکتور

قلب راکتور دارای 163 مجتمع سوخت مطابق شکل ۱ است مجتمع های سوخت این نوع راکتور شش وجهی (هگزاگونال) است دارای تقارن 60^{o} می باشد که مقدار گام مجتمع های سوخت از همدیگر 23.6 cm است .

(a) کارشناس انرژي اتمي
* behalaei@yahoo.com (عضو هيئت علمي داشگاه آزاد بروجن)

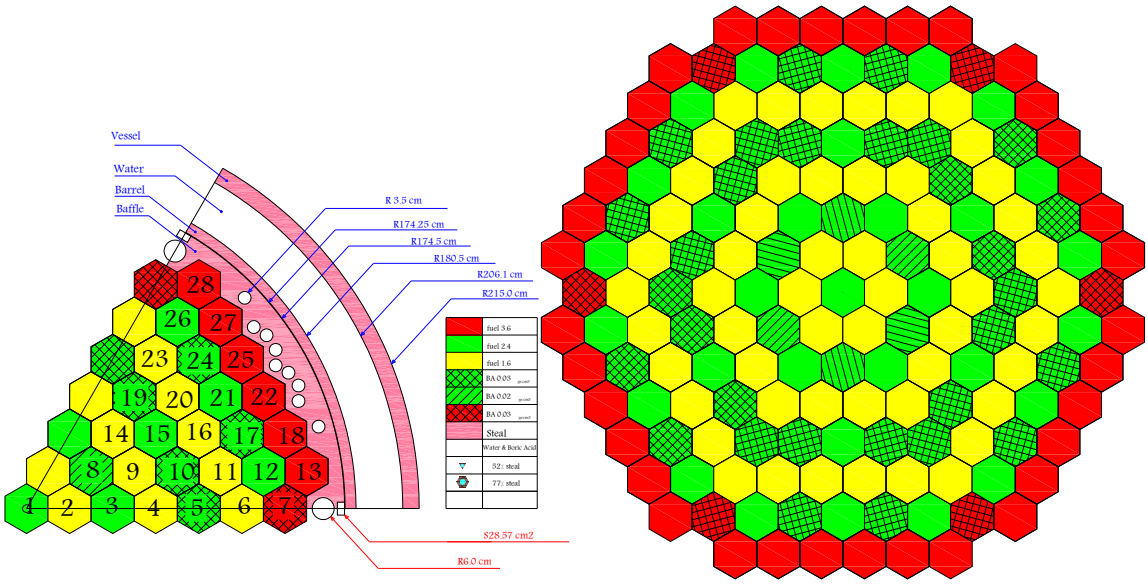
جدول ۱ : مشخصات راکتور VVER-1000 (مرجع ۵)

Specification	Values	Parameters	Values
Thermal power , MW	3000	**Fuel rods**	
Diameter of vessel cylinderical part	4535	Density , g/cm3	10.4-10.7
Active core height , cm	353	Pellet hole dia, cm	0.15
Equivalent core diameter , cm	316	Rod dia , cm	0.757
No of FA	163	Clad inside dia , cm	0.773
FA pitch	23.6	Clad outside dia , cm	0.91
Mass of UO2 , kg	79840	Pellet height , cm	0.9-1.2
Number of CPS AR	85	Active length , cm	353
Inlet coolant temperature , C	291	**Guid & centeral & measuring tubes**	
Outlet coolant temperature , C	321	Material	Alloy Zr+1%Nb
Coolant pressure , Mpa	15.7	outside diameter , cm	1.3
		Inside diameter , cm	1.1

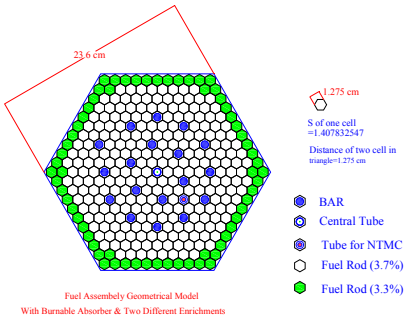
Parameters	Values	Parameters	Values
BAR		**CPS rods**	
Material	CrB2+Al	Material	B4C+(Dy2o3,TiO2)
Density , g/cm3	2.8	B4C density , g/cm3	1.7
Dia of absorber , cm	0.758	Dy2O3 , TiO2 , g/cm3	4.9
Cladding material	Alloy Zr+1%Nb	Dia of absorber , cm	0.72
Clading diameter , cm	0.91	Dia of absorber clading	0.82
Height	355	Material of clading	42XHM
Boron contents , g/cm3	0.02 , 0.036	No , of absorber rods	18
Mass of BAR , kg	21	Absorber rod height , cm	320
Mass of one BAR , kg	1.1	Down part height , cm	30
No , of absorber rods	18	**Fuel assembely**	
		No , of FA	163
		No , of fuel pins per assembely	311
		No , of guide channels	20
		No , grid space per assembely	15

۲. ۲ – مجتمع سوخت :

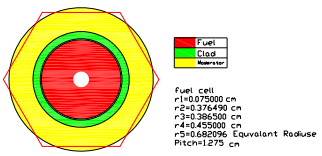
مجتمع سوخت راکتور مطابق شکل ۲ دارای 331 سلول است که در 312 سلول آن میله های سوخت قرار دارد و در 18 سلول دیگر بنا به نوع مجتمع سوخت بخشی از تقسیم کنترل راکتور یعنی میله های کنترل (Control Rod) و یا جاذب های سوختی (Burnable Absorber) و یا آب قرار می گیرد مشخصات مجتمع های سوخت در جدول ۱ آورده شده است گام سلولهای سوخت از همدیگر 1.275 cm است .



شکل ۱ : مجتمع های سوخت کل قلب راکتور VVER-1000 و 1/6 قلب



شکل ۲ : یک مجتمع سوخت راکتور VVER-1000



شکل ۳ : سلول سوخت راکتور VVER-1000

۲. ۳ – سلول سوخت :

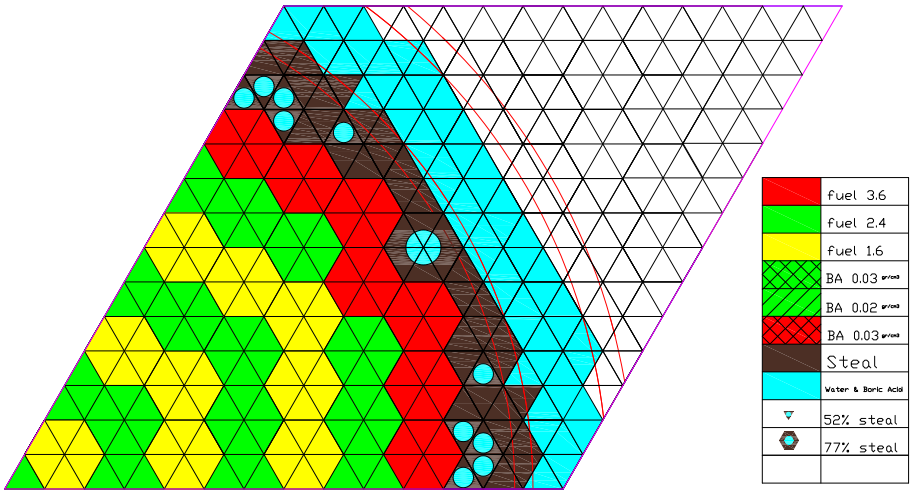
شکل ۳ یک سلول سوخت را نشان می دهد که در آن قسمتهای مختلف سلول سوخت مشخص شده است و شعاعهای آن نمایش داده شده است .

۲. ٤ – 1/6 قلب راکتور :

در سمت چپ شکل ۱ ، 1/6 قلب راکتور نشان داده شده است که در آن انعکاس دهنده های (Reflectors) آن مشخص شده است که سلولهای آن برابر $\frac{163-1}{6}+1=28$ است که سلولهای سوخت در این سلولها طبق شماره 1 تا 28 جایگذاری شده اند .

۲ . ۵ – نمایش سلولهای 1/6 قلب کاملا متقارن در شرایط مثلثی

اگر مقدار 30^o محور x ها را بچرخانیم و مانند شکل ۱ از قلب تصویر بگیریم شکل کاملا متقارنی از لحاظ شرایط مرزی برای ورودی (cit.inp) برنامه CITATION در شرایط مثلثی بدست می آوریم شکل ۵ مدل محاسباتی قلب را در مختصات مثلثی و تقارن 1/6 نشان می دهد در این مدل هر شش ضلعی سوخت یا بازتابنده های شعاعی برای محاسبات نوترونیک به شش قسمت تقسیم می گردد . حاوی تعداد 163 سلول مثلثی سوخت است و 104 سلول مثلثی حاوی انعکاس دهنده ها است که برنامه IFM.EXE برای این قسمت از راکتور محاسبات را انجام می دهد در مختصات مثلثی تعداد مشها شش برابر می شوند و شرایط مرزی بهتری برای 1/6 قلب طبق شکل زیر در نظر گرفته می شود لازم به ذکر است برنامه محاسبات را در این مختصات مانند شکل ۵ انجام می دهد ولی اطلاعات ورودی و نتایج خروجی به شکل مختصات سمت چپ شکل ۱ گرفته و داده می شود (شکل ۹) .



شکل ۵ : 1/6 قلب راکتور در مختصات مثلثی با 30^0 چرخش

در شکل ۵ سطح مقطع یک مجتمع سوخت را داخل هر کدام از این مثلثها قرار می دهند زیرا سطح مقطع یک مجتمع سوخت با 1/6 آن یکی است .

۳ – طریقه انجام محاسبات

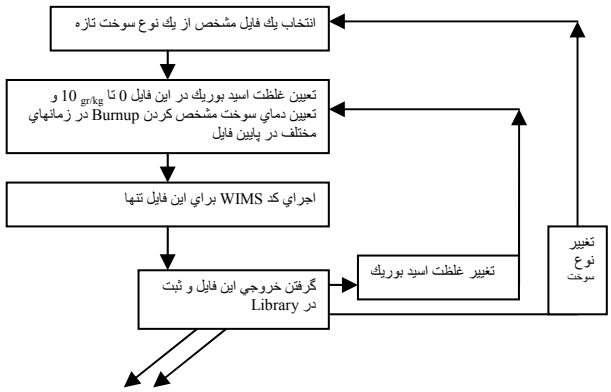
این نرم افزار سه برنامه اصلی دارد ۱ – برنامه LibWims.exe در شاخه LI\LIBF\LIBWIMS

۲ – برنامه Libf.exe در شاخه LI\LIBF ۳ – برنامه Ifm.exe در شاخه LI\IFM

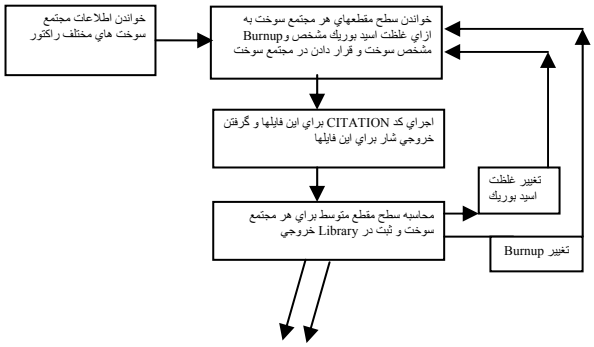
که این سه برنامه به ترتیب اجرا می شوند و کتابخانه هایی که هر کدام می سازند بایستی در برنامه بعدی قرار گیرد و برنامه بعدی اجرا شود

فلوچارت برنامه

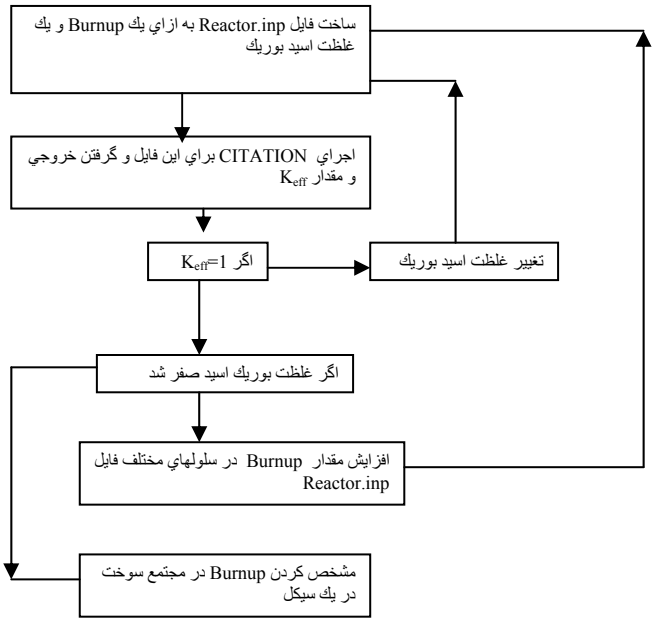
Libwims.exe



Libf.exe

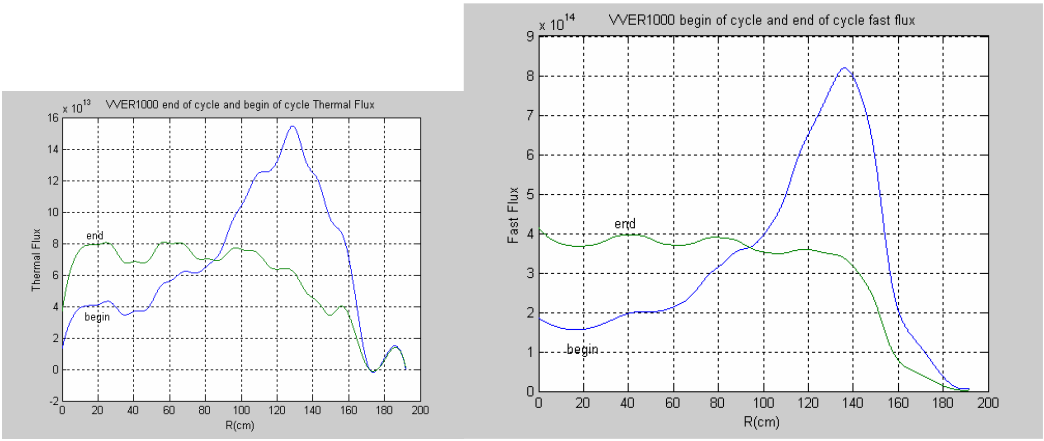


Ifm.exe



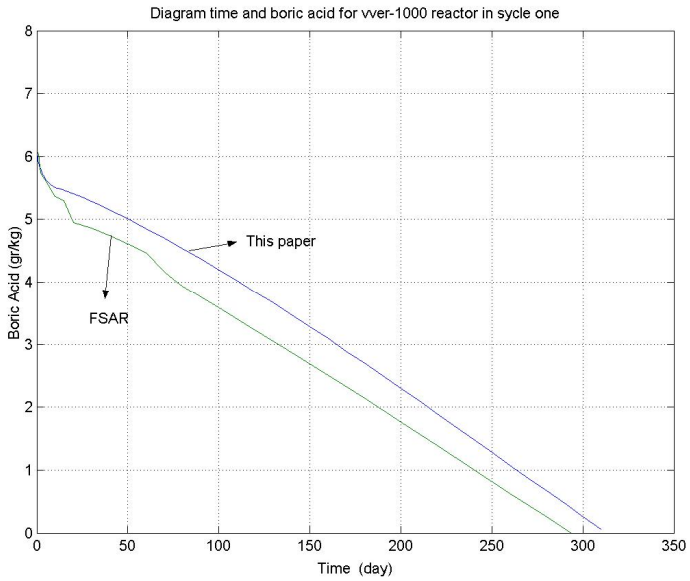
٤ – نتیجه گیری

پس از انجام محاسبات مقدار طول سیکل اول حدود 310 روز محاسبه شد شکلهای ٦ و ٧ فلو را در ابتدا و انتهای سیکل اول نشان می دهد همان طوری که مشاهده می شود فلو در انتهای سیکل خیلی یکنواخت تر از ابتدای سیکل است .



شکل ٦ : توزیع Flux Fast در ابتدا وانتهای سیکل اول شکل ٧ : توزیع Flux Thermal در ابتدا و انتهای سیکل اول

در شکل ٨ تغییرات غلظت اسید بوریک نسبت به زمان در طول سیکل اول را نشان می دهندکه در این شکل این این نتایج با FSAR نیروگاه بوشهر مقایسه شده است .



شکل ۸ : تغییرات اسید بوریک نسبت به زمان در طول سیکل اول

						28								28
						0.00								13.08
						1.61								0.85
						0.00								0.00
					26	27						26	27	
					0.00	0.00						14.75	14.92	
					1.50	1.82						1.02	0.96	
					0.00	0.00						0.00	0.00	
				23	24	25					23	24	25	
				0.00	0.00	0.00					11.76	13.72	14.26	
				0.76	1.21	1.66					0.95	1.00	0.93	
				0.00	0.00	0.00					0.00	0.00	0.00	
			19	20	21	22				19	20	21	22	
			0.00	0.00	0.00	0.00				12.67	11.83	14.67	14.26	
			0.56	0.72	1.36	1.66				1.09	0.95	1.04	0.93	
			0.00	0.00	0.00	0.00				0.00	0.00	0.00	0.00	
		14	15	16	17	18			14	15	16	17	18	
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			11.74	13.66	11.83	13.72	14.92	
		0.38	0.65	0.72	1.21	1.82			1.00	1.10	0.95	1.00	0.96	
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	8	9	10	11	12	13		8	9	10	11	12	13	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		13.54	11.74	12.67	11.76	14.75	13.08	
	0.37	0.38	0.56	0.76	1.50	1.61		1.12	1.00	1.09	0.95	1.02	0.85	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.09	12.05	14.21	11.53	12.58	12.06	14.91	
0.34	0.28	0.43	0.40	0.64	0.92	1.61	1.13	1.01	1.15	1.00	1.08	0.93	1.02	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

TIME=0.0 BURNUP TOTAL= 930001. MWDAY AND TIME=310 DAY

* - number of the cell in the symmetry section 60o
** - average poisons (MW*day/kgU)
*** - relative power distribution
**** - coolant heating up (oC)

شکل ۹ : مقدار Burnup و Relative power محاسبه شده در ابتدا و پایان سیکل اول برای سلولهای مختلف راکتور

شکل ۹ نتایج حاصل از محاسبات Burnup بر حسب MWday/KgU برای سلولهای مختلف پس از 310 روز کار سیکل اول را نشان می دهد و همچنین این شکل Relative Power را در شروع وپایان سیکل اول مشخص کرده است در جدول ۲ تغییرات ضرایب راکتیویته در طول سیکل اول مشخص شده است .

مقدار $\frac{\partial \rho}{\partial T_{H2O}}(\times 10^3 \% / C^\circ)$ تغییرات راکتیویته نسبت به دمای آب ،

مقدار $\frac{\partial \rho}{\partial T_{UO2}}(\times 10^3 \% / C^\circ)$ تغییرات راکتیویته نسبت به دمای سوخت ،

مقدار $\frac{\partial \rho}{\partial C}(\% / g / kg)$ تغییرات راکتیویته نسبت به تغییر غلظت اسید بوریک و مقدار Void Coefficient×10 را نشان می دهند .

جدول ۲ : جدول تغییرات ضرایب راکتیویته در طول سیکل اول

T(day)	$\frac{\partial \rho}{\partial T_{H2O}}(\times 10^3 \% / C^\circ)$	$\frac{\partial \rho}{\partial T_{UO2}}(\times 10^3 \% / C^\circ)$	$\frac{\partial \rho}{\partial C}(\% / g / kg)$	Void Coefficient ×10
0	-17.53	-2.68	-1.70	-0.55
0.25	-22.25	-2.60	-1.75	-0.72
0.5	-23.27	-2.62	-1.74	-0.74
1	-23.17	-2.61	-1.74	-0.74
2	-23.04	-2.61	-1.75	-0.74
5	-22.84	-2.57	-1.75	-0.74
10	-22.32	-2.53	-1.74	-0.72
15	-21.23	-2.49	-1.73	-0.69
20	-19.99	-2.46	-1.73	-0.65
30	-17.68	-2.39	-1.73	-0.58
40	-15.84	-2.35	-1.74	-0.53
50	-14.62	-2.32	-1.74	-0.50
60	-14.03	-2.28	-1.74	-0.49
70	-13.99	-2.25	-1.74	-0.49
80	-14.37	-2.23	-1.73	-0.51
100	-15.82	-2.16	-1.71	-0.56
120	-17.56	-2.12	-1.70	-0.62
140	-19.25	-2.08	-1.68	-0.68
160	-20.88	-2.04	-1.67	-0.73
180	-22.50	-2.00	-1.66	-0.78
200	-24.08	-1.97	-1.66	-0.83
220	-25.62	-1.93	-1.66	-0.87
240	-27.11	-1.89	-1.66	-0.92
260	-28.65	-1.85	-1.66	-0.97
280	-30.16	-1.81	-1.66	-1.01
300	-31.66	-1.77		-1.06
310	-32.43	-1.76		-1.08

۵ – مراجع :

۱– بررسی آرایشهای قلب راکتور VVER-1000 با هدف دستیابی به حداکثر تولید انرژی و تهیه نرم افزار مربوطه ، دکتر علی پذیرنده ، دکتر ناصر منصور شریفلو ، مجید شهاب فر

۲ – محاسبات مصرف سوخت نیروگاه اتمی بوشهر و طراحی برنامه کامپیوتری مربوطه ، دکتر علی پذیرنده ، دکتر افشار بکشلو ، محمد محسن ارتجاعی

۳ – انجام محاسبات برن آپ برای قلب راکتور بوشهر در دو حالت IN-OUT و OUT-IN در دو پارتیشن بندی ۳ و ٤ قسمته قلب ، دکتر ناصر منصور شریفلو ، دکتر امیر سعید شیرانی ، امیر اشکان وخشوری

-٤ Faghihi,K.,Fadaei.A.H.,2007.Reactivity coefficients simulation of the Iranian VVER-1000 nuclear reactor using WIMS and CITATION codes . progress in nuclear energy 49(2007)68-78

- ٥ FSAR (Final Safety Analysis Reactor Busher)