





شرکت فرآوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران (فاتسا)

4 و ۵ اسفند ماه ۱۳۸۹ منطقه هسته ای اصفهان

17_{th}Iranian Nuclear Conference

توسعه کد PFENT2 جهت حل معادله ترابرد درمختصات دو بعدی X-Y با استفاده از روش اجزای محدود و بسط هارمونیک های کروی

محمدرضاعباسی* – احمدرضاذوالفقاری – عبدالحمیدمینوچهر

دانشگاه شهید بهشتی – دانشکده مهندسی هسته ای

چکیدہ

در محیطهایی که تغییرات شار وابستگی شدیدی به جهت و مکان دارد نمی توان از روشهایی مانند معادله پخش استفاده نمود. در این مقاله جهت حل معادله ترابرد گروهی نوترون از اصل تغییر پذیری (⁺^{(*})⁺^{*} استفاده شده است. در این اصل از بسط هارمونیک های کروی ['] با پاریته زوج برای وابستگی زاویه ای شار و از روش اجزای محدود ['] برای بخش مکانی معادله ترابرد استفاده شده است. در بدست آوردن (_{(^(*))} از روش تعمیم یافته مجذور مربعات خطا استفاده شده است که در متن مقاله به آن اشاره شده است از مزایای این روش حل معادله ترابرد در محیط هایی که پراکندگی در آنها غیر همسانگرد یا جذب غیرشکافتی در آنها زیاد است، می باشد.در این مقاله توسط کد کامپیوتری PFENT2 که نوشته شده است، شار نوترون و متوسط شار برای هر ناحیه و همچنین ضریب تکثیر موثر برای محیطهای دوبعدی محاسبه شده و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه: معادله ترابرد نوترون-هارمونیک های کروی- روش اجزای محدود- اصل تغییر پذیری- محاسبات قلب

مقدمه

مطالعه و طراحی راکتورهای هستهای، مستلزم آگاهی از نحوهٔ توزیع ذرات علیالخصوص نوترون در محیط براساس مکان، انرژی، جهت و زمان می باشد. معادلهٔ اساسی که توزیع جمعیت نوترونی در یک محیط را ارائه می کند از طریق انجام موازنهٔ نوترون برروی واکنش های مختلف نوترون از قبیل تولید، فرار، جذب در یک المان حاصل می گردد[2]. در طی سالهای گذشته روش های مختلفی از قبیل جهت های مجزا^{[7}[7,7]، مونت کارلو[†] [2,7] روش نودال [1]وبسط هارمونیک های کروی [1]و برای حل معادلهٔ ترابرد بکار گرفته شده اند. در این مقاله نیز هدف حل معادلهٔ ترابرد نوترون در محیط های دو بعدی با استفاده از روش اجزاء محدود برای بخش مکانی و استفاده از هارمونیک های کروی زوج برای در نظر گرفتن جهت می باشد. از مزایای روش پاریته زوج این است که تقریباً نیمی از عبارت های ناشی از بسط زاویه ای استفاده می شود و

¹ Spherical Harmonic Method

² Finite Element Method

³ Discrete Ordinate Method

⁴ Monte Carlo Method



شرایط مرزی را می توان به سادگی اعمال نمود. شار متوسط در هر ناحیه نیز به عنوان پارامتر بسیار مهم در محاسبات سلولی محاسبه شده است.

معادله ترابرد در قالب پاریته زوج

$$\begin{split} \text{I1.3}(1.3) & \text{intermediation} \\ \text{addetive} \quad \text{Terms}(\mathbf{r}, \mathbf{G}, \mathbf{G}) = \int \mathbf{G} \mathbf{E}' \int d\Omega' \sum_{i} (\mathbf{r}, \mathbf{G}', \mathbf{G}') = \int \mathbf{G} \mathbf{E}' \int d\Omega' \sum_{i} (\mathbf{r}, \mathbf{G}', \mathbf{G}') = \mathbf{G} \mathbf{G} \mathbf{G}' \mathbf{G}_{i} \mathbf{G}_{i$$

$$\varphi^{+}(\mathbf{r},\boldsymbol{\mu},\boldsymbol{\omega}) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} [Y_{nm}^{o}(\boldsymbol{\mu},\boldsymbol{\omega}) \psi_{nm}^{o}(\mathbf{r}) + Y_{nm}^{e}(\boldsymbol{\mu},\boldsymbol{\omega}) \psi_{nm}^{e}(\mathbf{r})]$$
(V)

که در آن





شرکت فرآوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران (فاتسا)

17_{th}Iranian Nuclear Conference

$$Y_{nm}^{e}(\mu,\omega) = \left[\frac{2n+1}{4\pi}(2-\delta_{m0})\frac{(n-m)!}{(n+m)!}\right]^{1/2} P_{n}^{m}(\mu) \cos(m\omega)$$
(A)
$$Y_{nm}^{o}(\mu,\omega) = \left[\frac{2n+1}{4\pi}(2-\delta_{m0})\frac{(n-m)!}{(n+m)!}\right]^{1/2} P_{n}^{m}(\mu) \sin(m\omega)$$
(A)

۴ و ۵ اسفند ماه ۱۳۸۹

منطّقه هسته ای اصفهان

می باشد. تعداد ممان های این بسط برابر است با

$$M = \sum_{n=even}^{N-1} (2n+1) = \frac{(N+1)^2}{4}$$
 (1.)

بنابراین می توان (r, µ, w) بنابراین می توان (r, µ, w) بنابراین می توان

$$\varphi^{+}(\mathbf{r},\mu,\omega) = \sum_{j=1}^{E} \sum_{n=\text{even}}^{\infty} \sum_{m=0}^{n} \sum_{p=1}^{N_{e}} \left[Y_{nm}^{e}(\mu,\omega) B_{p}^{j}(\mathbf{r}) \psi_{nm}^{ej} + Y_{nm}^{o}(\mu,\omega) B_{p}^{oj}(\mathbf{r}) \psi_{nm}^{oj} \right]$$
(1))

$$\sum_{j=1}^{E} \sum_{j=1}^{N_{e}} (\mathbf{r},\omega) e^{j} (\mathbf{r},\omega) e^{j} (\mathbf{r},\omega) e^{j} (\mathbf{r},\mu,\omega) e^{j} (\mathbf{r}$$

$$\underline{Q}^{+T}(\mu, \omega) = [Y_{00}^{e}, Y_{20}^{e}, Y_{22}^{e}, Y_{22}^{o}, \dots, Y_{N-1,N-1}^{e}, Y_{N-1,N-1}^{o}]$$

$$\underline{\psi}^{jT} = [\psi^{e}_{100}, \dots, \psi^{e}_{p00}, \psi^{e}_{120}, \dots, \psi^{e}_{p20}, \psi^{e}_{p21}, \psi^{e}_{p21}, \psi^{o}_{p21}, \dots, \psi^{o}_{p21}, \dots, \psi^{o}_{1N-1,N-1}, \dots, \psi^{o}_{p,N-1,N-1}]$$

$$(1\%)$$

درآیه های ماتریس B توابع شکلی مربوط به روش اجزای محدود می باشد..
عبارت آخر در جمله اول رابطه (۶) به صورت زیر می باشد:
$$\int_{X_{i}}^{R_{Ne}} \int_{4\pi} \varphi^{+} C \varphi^{+} d\Omega dV = \int_{R_{i}}^{R_{Ne}} \int_{4\pi} \underline{B}^{jT}(r) \otimes \underline{Q}^{+T}(\mu, \omega) \underline{\Psi}^{j} C \varphi^{+}(r, \mu, \omega) \qquad (۱۴)$$

که در آن

$$C\varphi^{+}(r,\mu,\omega) = \sum_{n=even}^{\infty} \frac{2n+1}{4\pi} \Sigma_{n} \int_{4\pi} P_{n}(\mu_{0}) \varphi^{+}(r,\mu',\omega') d\Omega' \qquad (1\Delta)$$

$$e = \sum_{n=even}^{\infty} \frac{2n+1}{4\pi} \Sigma_{n} \int_{4\pi} P_{n}(\mu_{0}) \varphi^{+}(r,\mu',\omega') d\Omega' \qquad (1\Delta)$$

$$P_{n}(\mu_{0}) = \frac{4\pi}{2n+1} \sum_{m=0}^{n} [Y_{nm}^{e}(\mu,\omega) Y_{nm}^{o}(\mu,\omega)] \begin{bmatrix} Y_{nm}^{e}(\mu',\omega') \\ Y_{nm}^{o}(\mu',\omega') \end{bmatrix} \qquad (1S)$$

$$Y_{nm}^{o}(\mu',\omega') \end{bmatrix} \qquad (1S)$$

$$Y_{nm}^{o}(\mu',\omega') = e \sum_{n=even}^{\infty} \varphi^{+}(r,\mu,\omega) \exp[r(r,\mu,\omega) + r(r,\mu,\omega) + r(r,\mu,\omega)]$$

$$\frac{A_{2}^{+}}{2} = \sum_{n=even}^{N-1} \Sigma_{n} \sum_{m=0}^{n} \langle \underline{Q}^{+}, \begin{bmatrix} Y_{nm}^{e} \\ Y_{nm}^{o} \end{bmatrix} \langle Y_{nm}^{e} Y_{nm}^{o}], \underline{Q}^{+T} \rangle \qquad (1V)$$

همچنین برای جمله وابسته به مکان داریم





⁵ Swimming pool reactor



شکل۱) ابعاد راکتور استخری



ناحيه	Σ_t	Σ_{S}	$\nu \Sigma_{f}$		
١	•/٦	•/04	•/•٧٩		
۲	•/21	•/٢	•/•		
٣	•/٧	•/٦٦	•/• ٤٣		
٤	•/٦٥	•/0	*/*		
•	•/٩	•//4	•/•		

مختلف	نواحى	مقطع	سطح	اطلاعات	جدول۳)
-------	-------	------	-----	---------	--------

ضریب تکثیر و شار متوسط نرمالیزه شده بر تعداد نوترون های حاصل از شکافت در هر ناحیه با تقریب P_3 بدست آمده و با نتایج استپانک و ویلیامز در جدول ٤ و ٥ مقایسه شده است.

جدول٤)مقایسه ضریب تکثیرراکتور استخری			
نام کد	PNFENT2	FELICIT	SURCU
K _{eff}	1/	١/٠٠٦٩	۱/۰۰۸۳

جدول٥)مقایسه شار متوسط هر ناحیه برای راکتور استخری

ناحيه	١	۲	٣	٤	٥
PNFENT2	•/•17٨٥٢٤١	•/•••١٢٦٦٨١٧	•/••••£٣٣	•/•••7989	•/•••
FELICIT	•/•17٨0	•/•••١٣٧	•/••••£7	•/•••٣	•/•••٧٩٧
SURCU	•/•1٦٨٦	•/•••170	•/•••€١	•/•••790	•/•••٧٩١





شرکت فر آوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران (فاتسا) 17_{th} Iranian Nuclear Conference

شرکت فرآوری اورا

وليد سوخت هسته اي

نتيجه گيرى

3

مقلیسه شار و ضریب تکثیر نشان می دهد روش ذکر شده با تقریب بسیار خوبی با جواب های دقیق موجود همخوانی دارد.از مزایای این روش سهولت در اعمال شرایط مرزی و کاهش تعداد ممان های بسط هارمونیک کروی و توانایی حل هندسه های پیچیده می باشد.

منابع و مراجع

- [1]. Ron T. Ackroyd, Finite Element Methods for Particle Transport Applications to Reactor and Radiation Physics, John Wiley & Sons, New York, 1997
- [2]. G.I. Bell & S. Glasstone, Nuclear Reactor Theory, Van Nostrand Reinhold, New York, 1970

[۳]. م. عباسی، ا. ذوالفقاری، ا. حقیقت طلب، " استفاده از اصل تغییر پذیری ((ْ¢) K و روش اجزاء محدود برای حل معادله ترابرد نوترون"،چهاردهیمین دوره کنفرانس هسته ای ایران، یزد، اسفندماه۱۳۸۶ [۴]. م. عباسی، ا. ذوالفقاری، ع. مینوچهر، " حل معادله ترابرد نوترون چندگروهی و محاسبه فاکتور عدم مزیت با استفاده از

روش اجزا محدود و بسط هارمونیک های کروی"،پانزدهیمین دوره کنفرانس هسته ای ایران، گرگان، اسفندماه ۱۳۸۷

- [5]. J.R. Lamarsh, Introduction to Nuclear Reactor Theory, John Wiley & Sons, New York, 1966
- [6]. Stepanek, J., Thermal reactor Benchmark Calculations, Techniques, Results and Applications, EPRI NP.2855, PP. 26-31, 1983
- [7]. C.R.E. de Oliveria, Finite Element Techniques for Multi group Neutron Transport Calculations with Anisotropic Scattering ,London University Ph.D. Thesis., 1987
- [8]. W. M. Stacey, Nuclear Reactor Physics, John Wiley & Sons, New York, 2006