



بررسی اثر اندازه دریچه‌های خروجی قلب بر مدت زمان کارکرد راکتور MNSR اصفهان

علیرضا خاکزاد^{۱*}، محمدحسین استکی^۱، منصور طالبی^۲، جواد مختاری^۲

۱. گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان، صندوق پستی: ۸۱۷۴۶۷۳۴۴۱، ایران

۲. پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۸۳۶-۱۴۳۹۵، ایران

چکیده :

مکانیزم انتقال حرارت در راکتور تحقیقاتی MNSR اصفهان از نوع همرفت طبیعی بوده و آب سبک به عنوان خنک‌کننده آن می‌باشد. به دلیل وجود فیدبک دمایی منفی سیال خنک‌کننده، مهم‌ترین محدودیت این راکتور مدت زمان کارکرد عملی آن است. در این پژوهش با توجه به تغییر اندازه قطر دریچه‌های خروجی قلب، تغییرات دمایی خنک‌کننده قلب و مدت زمان کاری راکتور بررسی می‌شود. به این منظور، به کمک نرم‌افزار کامسول همدسه مورد نظر شبیه‌سازی شده (باتوجه به تقارن مسئله، نصف همدسه شبیه‌سازی می‌شود) و با فرض آرام بودن جریان و انتخاب شبکه‌بندی مناسب، تحلیل ترموهیدرولیکی به روش دینامیک سیالات محاسباتی بر روی سیال خنک‌کننده راکتور انجام می‌گردد. تحلیل مورد نظر در حالتی که قطر دریچه‌های خروجی نسبت به حالت نامی ۲۵٪ افزایش و ۲۵٪ کاهش داشته باشد، تکرار می‌شود. نتیجه این پژوهش نشان‌دهنده افزایش ۱۰٪ مدت زمان کارکرد راکتور در حالتی است که ابعاد قطر دریچه‌های خروجی ۲۵٪ نسبت به حالت نامی افزایش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها : راکتور MNSR، تحلیل ترموهیدرولیک، دینامیک سیالات محاسباتی، همرفت طبیعی

Investigation of the Effect of Core Outlet Size on the Operating Time of Isfahan's MNSR Reactor

Alireza Khakzad^{1*}, Mohammad Hossein Esteki¹, Mansour Talebi², Javad Mokhtari²

1. Department of Nuclear Engineering, Faculty of Physics, University of Isfahan, P.O.BOX: 8174673441, Iran

2. Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O.BOX: 14395-836, Iran

Abstract :

The heat transfer mechanism of Isfahan's research reactor MNSR is of natural convection type in which light water is used as reactor coolant. The leading constraint of this reactor is its operational performance duration, due to the negative temperature feedback of the coolant. In this work, variations in the heat of the reactor core coolant and the operational duration of the reactor were studied according to variations in the diameter of the outlet valves of the core. Thereon, the geometry of interest was simulated in COMSOL Multiphysics (where half of the geometry was simulated according to the problem symmetry) and assuming that the flow is laminar and by choosing an optimal reticulation system, the thermohydraulic analysis was carried out on the reactor coolant using computational fluid dynamics. Analyses were repeated when the diameter of outlet valves underwent a 25% increase and 25% reduction than the nominal state. The result of this study shows a 10% increase in the operating time of the reactor in a situation where the diameter of the outlet valves increases by 25% compared to the nominal state.

Keywords : MNSR Reactor, Thermohydraulic Analysis, Computational Fluid Dynamics (CFD), Natural convection.

Email: partikan.kh@gmail.com



۱. مقدمه

راکتور مینیاتوری چشمه نوترون که به اختصار به آن MNSR^۱ گویند، راکتوری تحقیقاتی و متراکم، ایمن و با قدرت کم ۳۰ کیلووات از نوع تانک استخری می‌باشد که طراحی این راکتور در سال ۱۹۸۰ بر اساس تکنولوژی روز صنایع چین و الگوبرداری از راکتور فشرده کانادایی اسلوپوک^۲ آغاز گردید. این راکتور دارای مشخصاتی از قبیل، اورانیوم با درصد غنای ۰.۲٪ بعنوان سوخت، غلاف آلومینیومی، خنک‌کننده و کندکننده آب سبک، بازتابنده برلیومی، سایت‌های پرتوهای داخلی و خارجی، میله کنترل مرکزی، آشکارساز نوترون، ضرایب راکتیویته سوخت (هرچند به دلیل تعداد اتم‌های ۲۳۹ کم در سوخت غنا بالا، این ضریب ناچیز است) و کندکننده منفی می‌باشد. باتوجه به اینکه مکانیزم برداشت حرارت در این نوع راکتور از نوع همرفت طبیعی می‌باشد و پمپی در آن وجود ندارد، دمای سیال خنک‌کننده داخل قلب افزایش می‌یابد. هرچقدر دمای سیال خنک‌کننده بیشتر شود، فیدبک دمایی منفی آن نیز اثر بیشتری از خود بجای می‌گذارد، در نتیجه سبب محدود شدن مدت زمان کاری راکتور می‌گردد. اساس کار این پژوهش، بررسی تغییرات مدت زمان کارکرد راکتور تحت تاثیر تغییر اندازه دریچه‌های خروجی قلب می‌باشد.

مطالعات فراوانی در خصوص مباحث کلی از قبیل مباحث نوترونیک و ترموهیدرولیکی این راکتور و تاثیر دمای خنک‌کننده بر مدت زمان کارکرد آن صورت گرفته است. نکته حائز اهمیت این است که مطالعات قبلی عمدتاً بررسی تغییرات مدت زمان کارکرد راکتور بر اثر اعمال راکتیویته اضافی و یا در اثر اعمال شرایط حادثه به قلب راکتور می‌باشد. از جمله مطالعات انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: داواهارا و همکاران، ضرایب دمایی راکتیویته راکتور تحقیقاتی سوریه برای شرایط نرمال و حادثه (بالاتر از ۴۵ درجه سانتیگراد) برای دو نوع سوخت غنای بالا و غنای پایین را با استفاده از کدگترا^۳ بررسی کردند. آنها دریافتند که هر سه ضریب دمایی راکتیویته منفی می‌باشد و ضریب راکتیویته کندکننده از همه قوی‌تر است [۱]. عمر و همکاران، رفتار ترموهیدرولیکی و نوترونی راکتور تحقیقاتی سوریه را با استفاده از کد ریلپ^۴ تحت شرایط عملیاتی همرفت طبیعی، عملیات عادی، تزریق راکتیویته و افزایش راکتیویته ناشی از حادثه شبیه‌سازی کردند و دریافتند که در صورت تزریق حداکثر راکتیویته که مربوط به خروج کامل میله کنترل است، فیدبک دمایی منفی بالای کندکننده سطح قدرت خروجی را کنترل کرده و حداکثر دمای غلاف به شرایط شروع جوشش نمی‌رسد [۲]. یاسر عباسی و همکاران، راکتور تحقیقاتی اصفهان را با تقریب محیط متخلخل و فیزیک همرفت طبیعی با تقریب بوزینسک و تکنیک ویژگی متغییر با استفاده از نرم افزار انسیس فلونت^۵ شبیه‌سازی کردند. این تکنیک عددی در دو مرحله یعنی محاسبه متغیرهای محیط متخلخل مانند تخلخل و افت فشار در منطقه اصلی و همچنین شبیه‌سازی همرفت طبیعی در راکتور با فرض متخلخل دانستن قلب انجام شد. این محققان پس از شبیه‌سازی دریافتند که عرض، شعاع و ارتفاع سوراخ‌های محیط متخلخل نقش مهمی بر جریان بازگشتی دارد [۳]. ظریفی و همکاران، با استفاده از کد ریلپ^۴ به بررسی رفتار ترموهیدرولیک راکتور تحقیقاتی ایران در شرایط گذرا حاصل از تزریق راکتیویته به قلب راکتور و بررسی این پارامترها بر ایمنی راکتور، پرداختند. در این مطالعه محاسبات گسترده‌ای در حالت‌های گذر مختلف انجام شد و در نهایت مجموعه‌ای از ویژگی‌های مهم این راکتور بدست آمد [۴].

بنجامین نیارکو و همکاران، رفتار قلب راکتور تحقیقاتی مینیاتوری غنا در هنگام از دست رفتن جریان در اثر انسداد کانال‌های خنک‌کننده قلب را با استفاده از کد ریلپ^۴ بررسی کردند و پس از بررسی دریافتند که همرفت طبیعی قادر به خنک‌سازی راکتور در حالت مسدود شدن ۳۵٪ از کانال‌ها بدون ایجاد هرگونه تهدید مهمی برای ساختار قلب و مواد سوخت از نقطه‌نظر درجه حرارت می‌باشد. همچنین به دلیل فیدبک منفی خنک‌کننده، در اثر انسداد کل کانال‌ها نیز، راکتور ایمن باقی خواهد ماند [۵]. آگبوی و همکاران، باتوجه به اینکه در

^۱ Miniature Neutron Source Reactor

^۲ SLOWPOKE

^۱ GETERA Code

^۲ RELAP5 Code

^۳ ANSYS FLUENT Software

راکتور تحقیقاتی نیجریه دستگاهی برای اندازه‌گیری دبی جریان وجود ندارد، آزمایش‌های تجربی در سطوح مختلف قدرت را برای بررسی رفتار پارامترهای ترموهیدرولیکی مانند دبی جریان، سرعت جریان، شار جرم، چگالی و عدد رینولدز در قلب انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که این پارامترها با افزایش سطح قدرت افزایش می‌یابد و جریان خنک‌کننده آرام است [۶]. احمد و همکاران، به بررسی ارتباط بین دمای سیال و سطح قدرت راکتور تحقیقاتی نیجریه پرداختند. به این منظور رفتار سطح قدرت و شار با تغییرات در دمای خنک‌کننده قلب برای این راکتور در دو سطح قدرت کامل و نیمه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دهنده‌ی وابستگی شدید سطح قدرت راکتور به دمای خنک‌کننده بود (با افزایش سطح قدرت، دمای خنک‌کننده نیز افزایش پیدا می‌کند) [۷]. هاینوئون و همکاران، رفتار دینامیکی و ترموهیدرولیکی راکتور تحقیقاتی سوریه به ویژه محاسبه پارامترهای خنک‌کننده قلب در حضور راکتیویته منفی حاصل از فیدبک دمایی خنک‌کننده را با استفاده از کد آلت^۶ شبیه‌سازی کردند. هدف این مدل بهبود شرایط خنک‌کننده جهت افزایش زمان عملیاتی راکتور بود [۸].

باتوجه به پژوهش‌های انجام شده، مباحث ترموهیدرولیکی بیان شده عمدتاً ناشی از اعمال راکتیویته به قلب در شرایط پایا و گذرا بوده و موضوع تغییرات دمایی سیال بر اثر تغییر ابعاد دریچه‌های خروجی کمتر مورد توجه بوده است. بنابراین: در این پژوهش، تغییرات مدت زمان کارکرد راکتور تحقیقاتی اصفهان تحت شرایطی که ابعاد دریچه‌های خروجی قلب تغییر می‌کند، بررسی می‌شود.

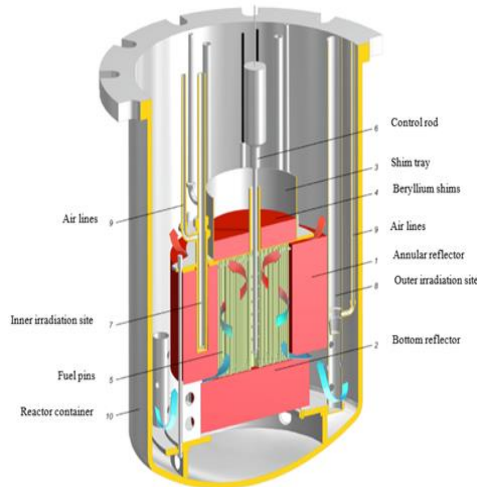
روش کار

انتقال حرارت در این راکتور بر اساس همرفت طبیعی می‌باشد. مانند شکل ۱، سیال خنک‌کننده از طریق مجرای ورودی به داخل قلب هدایت می‌شود. در اثر برداشت حرارت حاصل از شکافت، سیال خنک‌کننده منبسط شده و چگالی آن کمتر از سیال پیرامون با دمای پایین‌تر می‌شود و در نتیجه، به سمت بالا حرکت کرده و از طریق دریچه‌های خروجی به بیرون قلب هدایت می‌شود. به منظور بررسی رفتار ترموهیدرولیکی راکتور در اثر تغییر دریچه‌های خروجی قلب، ابتدا با توجه به مشخصات فنی که در جدول ۱ بیان شده است، راکتور به وسیله‌ی نرم افزار کامسول^۷ شبیه‌سازی می‌شود. پس از آن معادلات حاکم بر مسئله یافته شده و پس از اعمال شرایط مرزی، باتوجه به شبکه‌بندی مناسب به روش حجم محدود گسسته‌سازی^۸ و حل می‌شود. هندسه مورد پژوهش، قلب راکتور به همراه تانک آبی است که قلب در آن قرار گرفته است. قلب راکتور از تعداد ۳۴۳ میله سوخت تشکیل شده که در مدارهای دایره‌ای شکل با فاصله ۱۰.۹۵ میلی‌متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند. ارتفاع هر میله سوخت ۲۳۰ میلی‌متر می‌باشد. میله‌های سوخت به عنوان منبع تولید حرارت تعیین می‌شوند. اطراف قلب راکتور لایه‌های برلیوم قرار دارد. این لایه‌های برلیوم به عنوان بازتابنده عمل می‌کنند. ابعاد لایه‌های برلیوم به اینگونه است که، برلیوم اطراف قلب دارای ضخامت ۱۰۲ و ارتفاع ۲۳۸.۵ میلی‌متر، برلیوم پایینی با ضخامت ۵۰ و قطر ۲۹۰ میلی‌متر و برلیوم بالایی با قطر ۲۴۳ میلی‌متر و ضخامت متغییر که جهت جبران راکتیویته ازدست رفته قلب بعد از مدت زمان معین، ضخامت آن تعیین می‌شود. مجرای ورودی سیال به قلب فاصله ۶ میلی‌متری بین برلیوم پایینی و بدنه قلب می‌باشد. ۱۲ دریچه خروجی هریک به قطر ۳۰ میلی‌متر بر روی لایه‌ای به ضخامت ۷.۵ میلی‌متر بالای قلب قرار دارد. کل این مجموعه داخل تانک پر از آبی به قطر ۶۲۰ و ارتفاع ۵۶۰۰ میلی‌متر قرار می‌گیرد.

^۴ ATHLET Code

^۱ COMSOL Software

^۲ Finite Volume Method



Parameter	Description	Parameter	Description
Reactor type	Tank-in-pool	Fuel	UAL 4
Thermal power	30 KW	Enrichment	90.2%
Cooling system	Natural convection	Fuel density	3.456 g/cm ³
Internal irradiation channel	5	Diameter of fuel pellet	4.3 mm
External irradiation channel	5	Diameter of fuel rod	0.55 cm
Core Diameter	230 mm	No. of control rod	1
Core Height	230 mm	Absorber material	Cadmium
No. of fuel rod position	354	Material reflector	Beryllium
No. of fuel rod loaded	343	Side reflector	10.2 cm
No. of dummy rod	7	Bottom reflector	5.1 cm
Excess reactivity	3.85 mk	Top reflector	Variable

جدول ۱. مشخصات راکتور MNSR ایران

شکل ۱. نمایی از قلب راکتور MNSR اصفهان

معادلات حاکم بر مسئله

باتوجه به هندسه و فیزیک مسئله، معادلات حاکم عبارت‌اند از: ۱. معادله پیوستگی ۲. معادله ممنتوم ۳. معادله انرژی

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[u_i \rho \left(h + \frac{1}{2} u_j u_j \right) \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i (\tau_{ij})_{eff} \right], \quad k_{eff} = K + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t} \quad (3)$$

در روابط بالا ρ چگالی، u_i مولفه متوسط‌گیری شده سرعت نسبت به جرم، p فشار، u'_i جزء نوسانی سرعت، δ_{ij} دلتای کرونوکر، h مقدار متوسط‌گیری شده جرمی آنتالپی، τ_{ij} تنش برشی مؤثر، k_{eff} ضریب هدایت مؤثر، c_p ضریب هدایت مخصوص در فشار ثابت، μ_t ویسکوزیته توربولانس و Pr_t پرانتل توربولانس می‌باشد. باتوجه به تنظیمات نرم‌افزار در حالت جریان آرام و کوپل آن با حالت انتقال حرارت، معادلات جریان (۴) و انتقال انرژی (۵) به صورت زیر ساده می‌شوند:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho (u \cdot \nabla) u = \nabla \cdot [-pI + \tau] + F + \rho g \quad (4) \quad \rho c_p \frac{\partial u}{\partial t} + \rho c_p u \cdot \nabla T + \nabla \cdot q = Q \quad (5)$$

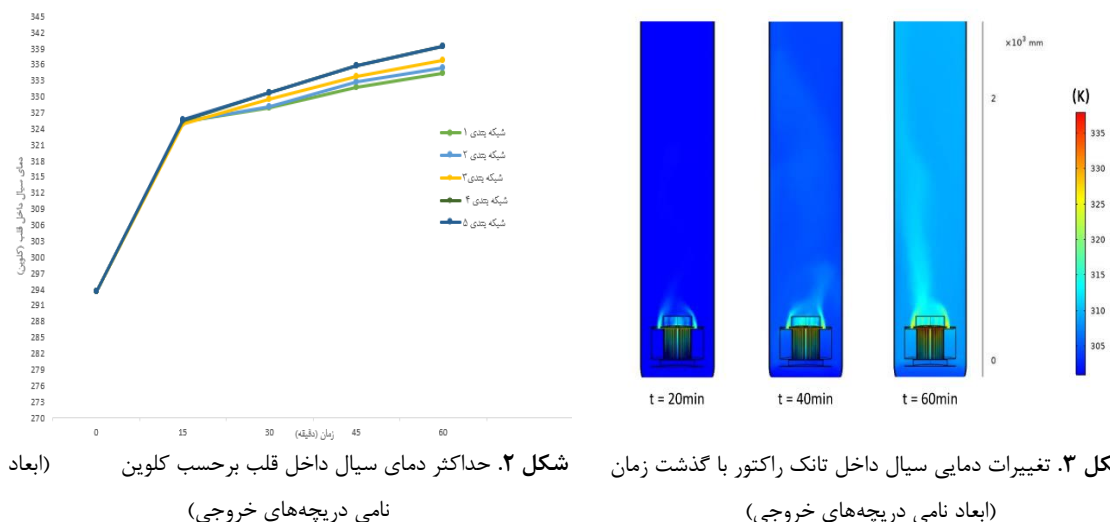
$$\rho \nabla \cdot u = 0 \quad q = -k \nabla T$$

در این معادلات u سرعت جریان شاره بصورت برداری، ρ چگالی، p اندازه فشار، I ماتریس یکه است. τ تانسور تنش لزجت و F بردار نیرویی است که به حجم سیال وارد می‌شود. $\rho \vec{g}$ نیروی گرانش، c_p ظرفیت گرمایی، T دما، q رسانش شار حرارتی و Q انرژی منبع گرما می‌باشد. پس از بررسی معادلات حاکم، شرایط مرزی و فرضیات مسئله را اعمال می‌کنیم. این شرایط عبارت‌اند از: سیال کاری آب سبک می‌باشد و با توجه به دامنه کم‌تغییرات، خواص ترموهیدرولیکی سیال ثابت فرض می‌شود، همچنین جریان آرام بوده و شرط گرانش نیز در آن لحاظ می‌شود. توان راکتور ۳۰ کیلو وات در نظر گرفته شده است. دمای اولیه سیال داخل تانک ۲۹۳.۱۵ کلوین و محفظه تانک توسط سیالی با دمای ۲۹۸.۱۵ کلوین احاطه شده است. مدت زمان کارکرد راکتور یک ساعت فرض می‌شود. پس از تعیین شرایط مرزی و معادلات حاکم

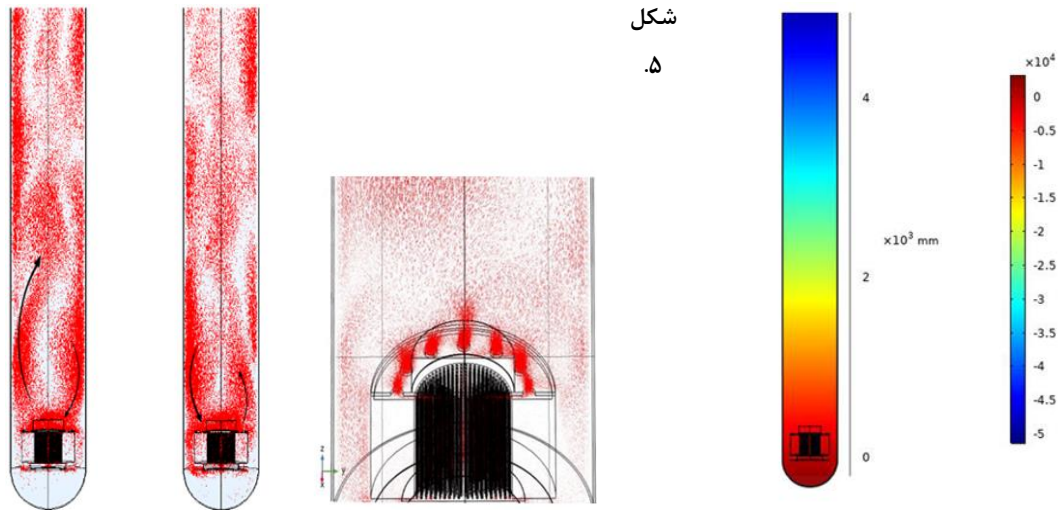
بر مسئله، شبکه‌بندی مناسب جهت گسسته‌سازی هندسه مدنظر اجرا می‌گردد. شبکه بندی در چند سطح مختلف انجام گرفته و پس از همگرا شدن نتایج، تحلیل مورد نظر در حالتی که قطر دریچه‌های خروجی نسبت به حالت نامی ۲۵٪ افزایش و ۲۵٪ کاهش داشته باشد، تکرار می‌شود.

نتایج

پس از شبیه‌سازی هندسه و اعمال شرایط مرزی مناسب، مکانیزم انتقال حرارت در این راکتور طی مدت زمان یک ساعت به کمک نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی شد. در ابتدا به منظور انتخاب شبکه‌بندی مناسب، حداکثر دمای سیال خنک‌کننده داخل قلب در ۵ حالتی که تعداد شبکه‌ها افزایش می‌یابد مورد بررسی قرار گرفت. طبق شکل ۲ به منظور مطالعه شبکه، حداکثر دمای سیال در حالت شبکه‌بندی ۴ و ۵ باهم برابر و مقدار تقریبی ۳۴۰ کلوین را نشان می‌دهد. تغییرات دمایی سیال خنک‌کننده در مدت زمان کارکرد راکتور بدون تغییر ابعاد دریچه‌های خروجی، در شکل ۳ نشان داده شده است. با گذشت زمان، دمای سیال داخل قلب افزایش یافته که سبب افزایش دمای سیال داخل تانک می‌شود. حداکثر دمای سیال داخل تانک (که مربوط به سیال داخل قلب است) تقریباً برابر ۳۴۰ کلوین می‌باشد.



شکل ۴ بردارهای جریان هنگام عبور از دریچه‌های خروجی قلب و داخل تانک را در حالتی که دریچه‌های خروجی دارای ابعاد نامی است، نشان می‌دهد. سیال خنک‌کننده پس از برداشت حرارت در قلب، از طریق دریچه‌های خروجی، از قلب خارج شده و با آب موجود در تانک مبادله انرژی انجام می‌دهد. در ابتدا به دلیل اینکه سیال داخل تانک نسبت به سیال خروجی از قلب کمتری دارد، جریان بازگشتی قوی‌تر عمل می‌کند. با گذشت زمان و با توجه به افزایش دمای سیال موجود در تانک، سیال خروجی از قلب قادر به طی کردن ارتفاع بیشتری بوده و جریان همرفتی شکل بهتری به خود می‌گیرد. کانتورهای فشار در شکل ۵ نشان داده شده است. در نزدیکی قلب فشار تقریباً صفر بوده و با فاصله گرفتن از آن، فشار نیز کاهش می‌یابد. این تغییرات فشار در کنار تغییرات دمایی سیال، سبب جابجایی و حرکت سیال داخل تانک و ایجاد جریان همرفتی می‌شود.



شکل
۵.

کانتورهای فشار برحسب پاسکال
(ابعاد نامی دریچه‌های خروجی)

شکل ۴. بردارهای جریان هنگام عبور از دریچه‌های خروجی و داخل تانک
راکتور (ابعاد نامی دریچه‌های خروجی)

جدول ۲ دمای سیال خنک‌کننده ورودی به قلب را در سه حالتی که دریچه خروجی تغییر می‌کند، نشان می‌دهد. بر این اساس دمای سیال ورودی به قلب در حالتی که دریچه خروجی دارای ابعاد نرمال، ۲۵٪ کوچکتر و ۲۵٪ بزرگتر می‌باشد تفاوت چندانی نداشته و تقریباً برابر ۳۰۷ کلوین می‌باشد. جدول ۳ نیز نشانگر دمای سیال خروجی از قلب در سه حالت یاد شده می‌باشد. دمای سیال خروجی در حالت ابعاد نرمال دریچه‌ها، دریچه‌های با ابعاد ۲۵٪ کوچکتر و ۲۵٪ بزرگتر به ترتیب برابر ۳۲۵.۴۱، ۳۲۸.۵ و ۳۲۴.۵۱ کلوین می‌باشد. متوسط دمای سیال خنک‌کننده قلب برحسب زمان نیز در جدول ۴ نشان داده شده است. متوسط دمای سیال خنک‌کننده در قلبی با دریچه‌های کوچکتر برابر ۳۲۱.۴۲ کلوین و در قلبی با دریچه‌های بزرگتر برابر ۳۲۰.۰۷ کلوین می‌باشد.

جدول ۲. تغییرات دمایی سیال ورودی به قلب برحسب کلوین

زمان	دریچه خروجی نرمال	دریچه خروجی ۲۵٪ کوچکتر	دریچه خروجی ۲۵٪ بزرگتر
۰	۲۹۳.۱۵	۲۹۳.۱۵	۲۹۳.۱۵
۵	۲۹۴.۴۲	۲۹۳.۸۹	۲۹۴.۳۸
۱۰	۲۹۴.۳۲	۲۹۴.۹۲	۲۹۵.۷۳
۱۵	۲۹۵.۳۲	۲۹۶.۶۴	۲۹۶.۵۴
۲۰	۲۹۶.۸۸	۲۹۸.۱۲	۲۹۷.۷۵
۲۵	۲۹۷.۷۵	۲۹۹.۲۵	۲۹۸.۹۳
۳۰	۲۹۹.۷۳	۳۰۰.۱۵	۳۰۰.۴۹
۳۵	۳۰۰.۹۲	۳۰۰.۱۷۵	۳۰۰.۱۱۳
۴۰	۳۰۲.۳۱	۳۰۳.۰۱	۳۰۲.۴۳
۴۵	۳۰۳.۷۳	۳۰۳.۸۶	۳۰۳.۷۱
۵۰	۳۰۵.۰۹	۳۰۵.۱۴	۳۰۵.۱۲
۵۵	۳۰۵.۸۳	۳۰۵.۹۴	۳۰۵.۹۹
۶۰	۳۰۶.۹۸	۳۰۷.۵۴	۳۰۷.۰۱

جدول ۳. تغییرات دمایی سیال خروجی از قلب بر حسب کلوین

زمان	دریچه خروجی نرمال	دریچه خروجی ۲۵٪ کوچکتر	دریچه خروجی ۲۵٪ بزرگتر
۰	۲۹۳.۱۵	۲۹۳.۱۵	۲۹۳.۱۵
۵	۳۱۰.۱۰	۳۱۵.۲۹	۳۱۱.۳۵
۱۰	۳۱۳.۰۲	۳۱۶.۸۰	۳۱۳.۳۴
۱۵	۳۱۴.۴۴	۳۱۸.۳۳	۳۱۳.۸۸
۲۰	۳۱۶.۱۲	۳۱۹.۹۰	۳۱۶.۳۶
۲۵	۳۱۷.۲۷	۳۲۱.۰۴	۳۱۶.۰۶
۳۰	۳۱۸.۶۲	۳۲۱.۹۷	۳۱۶.۴۵
۳۵	۳۲۰.۵۲	۳۲۲.۳۸	۳۱۹.۷۸
۴۰	۳۲۱.۸۸	۳۲۴.۵۰	۳۲۰.۴۰
۴۵	۳۲۳.۰۳	۳۲۵.۷۸	۳۲۲.۷۱
۵۰	۳۲۳.۳۲	۳۲۶.۶۵	۳۲۲.۹۶
۵۵	۳۲۴.۵۲	۳۲۷.۷۴	۳۲۴.۰۲
۶۰	۳۲۵.۴۱	۳۲۸.۵۲	۳۲۴.۵۱

جدول ۴. تغییرات متوسط دمای سیال داخل قلب بر حسب کلویین

زمان	دریچه خروجی نرمال	دریچه خروجی ۲۵٪ کوچکتر	دریچه خروجی ۲۵٪ بزرگتر
۰	۲۹۳.۱۵	۲۹۳.۱۵	۲۹۳.۱۵
۵	۳۰۲.۷۹	۳۰۷.۵۳	۳۰۶.۸۱
۱۰	۳۰۵.۸۴	۳۰۸.۷۷	۳۰۸.۴۸
۱۵	۳۰۷.۵۲	۳۱۰.۴۳	۳۰۹.۳۶
۲۰	۳۰۹.۳۰	۳۱۱.۹۱	۳۱۰.۹۲
۲۵	۳۱۰.۴۵	۳۱۳	۳۱۱.۶۳
۳۰	۳۱۲.۰۵	۳۱۴.۰۷	۳۱۲.۹۴
۳۵	۳۱۳.۶۷	۳۱۵.۲۸	۳۱۴.۳۹
۴۰	۳۱۴.۸۶	۳۱۶.۴۶	۳۱۵.۴۷
۴۵	۳۱۶.۱۴	۳۱۷.۹۰	۳۱۷.۰۷
۵۰	۳۱۶.۹۱	۳۱۹.۱۱	۳۱۸.۰۳
۵۵	۳۱۸.۲۸	۳۲۰.۱۶	۳۱۹.۰۶
۶۰	۳۱۹.۹۳	۳۲۱.۴۲	۳۲۰.۰۷

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر تغییر اندازه دریچه‌های خروجی قلب بر مدت زمان کارکرد راکتور MNSR اصفهان مورد مطالعه قرار گرفت. دمای ورودی به قلب در هر سه حالت ابعاد نامی دریچه‌ها، دریچه‌ها ۲۵٪ بزرگتر و دریچه‌ها ۲۵٪ کوچکتر تقریباً ثابت و برابر ۳۰۷ کلویین و دمای سیال خروجی قلب به ترتیب برابر ۳۲۵.۴۱، ۳۲۴.۵۱ و ۳۲۸.۵۲ کلویین می‌باشد. طبق جدول ۳ درحالی که ابعاد دریچه‌ها افزایش می‌یابد، دمای سیال خروجی پس از گذشت ۶۰ دقیقه به دمای ۳۲۴.۵۱ کلویین می‌رسد. این درحالی است که این دما درحالی که ابعاد نامی دریچه‌ها و دریچه‌های با ابعاد کوچکتر به ترتیب پس از گذشت مدت زمان ۵۵ و ۴۰ دقیقه حاصل می‌شود. بنابراین، افزایش ۲۵٪ ابعاد دریچه‌های خروجی سبب افزایش ۱۰٪ مدت زمان کارکرد راکتور می‌شود. از طرفی میزان برداشت گرما از میله‌های سوخت را می‌توان به کمک متوسط دمای سیال داخل قلب نشان داد. این دما در حالت ابعاد نامی دریچه‌ها و دریچه‌های بزرگتر تقریباً برابر ۳۲۰ کلویین و درحالی که ابعاد کوچکتر دریچه‌ها برابر ۳۲۱.۴۲ کلویین می‌باشد. از این رو، با کوچک کردن ابعاد دریچه‌های خروجی، برداشت حرارت از میله‌های سوخت کمتر شده و سبب افزایش دمای میله‌های سوخت و دمای متوسط سیال داخل قلب می‌شود.

مراجع

- [1] Dawhara S, Khattab K, Saba G. Reactivity temperature coefficients for the HEU and LEU fuel of the MNSR reactor. Prog Nucl Energy. 2016;88:28-32. 2015.11.012
- [2] Omar H, Ghazi N, Alhabit F, Hainoun A. Thermal hydraulic analysis of Syrian MNSR research reactor using RELAP5/Mod3.2 code. Ann Nucl Energy. 2010;37(4):572-581. 2009.12.021
- [3] Abbassi Y, Asgarian S, Ghahremani E, Abbasi M. Investigation of natural convection in Miniature Neutron Source Reactor of Isfahan by applying the porous media approach. Nucl Eng Des. 2016;309:213-223.2016.09.019
- [4] Ameyaw F, Ayensu A, Akaho EHK. Modeling and simulation of coupled nuclear heat energy deposition and transfer in the fuel assembly of the Ghana Research Reactor-1 (GHARR-1). Nucl Eng Des. 2011;241(12):5183-5188. 2011.09.013
- [5] Adu S, Nyarko BJB, Emi-reynolds G, et al. Analysis of Channel Blockage of MNSR Reactor Using the System Thermal-Hydraulic Code RELAP5 / MOD3 . Proceedings of the International Conference Nuclear Energy for New Europe, Portorož, Slovenia, September 14-17.



- [6] Agbo SA, Ahmed YA, Ewa IOB, Abubakar M, Anas MS. An experimental testing of coolant flow rate and velocity in the core of Nigeria Research Reactor-1. *Int J Nucl Energy Sci Technol*. 2015;9(2):171-185. 2015.071627
- [7] Ahmed YA, Balogun GI, Jonah SA, Funtua II. The behavior of reactor power and flux resulting from changes in core-coolant temperature for a miniature neutron source reactor. *Ann Nucl Energy*. 2008;35(12):2417-2419. 2008.08.005
- [8] Hainoun A, Alissa S. Full-scale modelling of the MNSR reactor to simulate normal operation, transients and reactivity insertion accidents under natural circulation conditions using the thermalhydraulic code code ATHLET. *Nucl Eng Des*. 2005;235(1):33-52. 2004.09.00