بررسی پایداری جریان گردش طبیعی در تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL[1]

محمدمهدی، میرزایی: عطاالله، ربیعی:محمدرضا، نعمت اللهی

دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی مکانیک، بخش مهندسی هسته‌ای

چکیده:

در این تحقیق ناپایداری لوپ ترموهیدرولیکی گردش طبیعی SHUNCL به کمک کد RELAP5 مورد بررسی قرار داده شده است. پارمترهای که بر روی ناپایداری جریان گردش طبیعی می تواند تاثیر گذار باشد،تعیین و مورد تحلیل قرار گرفته شد. همچنین مرز پایداری بر حسب دو عدد بی بعد، تغییر فاز[2] (N_{pch})ودرجه مادون سرد[3] (N_{sub}) بدست آمدهو مشاهده گردید ناپایداری که در لوپ اتفاق می افتد ناپایداری دینامیکی نوع ۱ است.

کلمات کلیدی :

جریان گردش طبیعی، حالت گذرا،لوپشانکل،ناپایداری.

مقدمه :

نگرانی در عملکرد ایمن راکتورها منجر شده است که جریان گردش طبیعی بعنوان یک روشی برای برداشت گرما از داخل قلب راکتور های پیشرفته اتخاذ شود.عواملی از قبیل بهبود ایمنی،کاهش هزینه ها به دلیل حذف پمپ ها، بهبود توزیع جریان و سادگی طراحی سبب شده است تا جریان گردش طبیعی در راکتور های نسل آینده بکار گرفته شود.به کارگیری جریان گردش مستلزم مطالعه کامل پدیده و مدنظر قراردادن چالش‌ها و مسائل پیش روی آن می‌باشد. مهم‌ترین این چالش‌ها نیروی محرک، افت فشارهای سیستم، ناپایداری‌ها، شرایط کاری و شرایط شروع اولیه[4] و شار گرمایی بحرانی می‌باشند[1]. مطالعات تحقیقاتی نیز در همین زمینه‌ها صورت پذیرفته‌اند که بیش‌ترین سهم این مطالعات به مسائل پایداری اختصاص دارند.سیستم‌هایی که تحت جریان گردش طبیعی کار می‌کنند به چندین نوع ناپایداری حساس هستند که به دو دسته دینامیکی و استاتیکی تقسیم می شوند. ناپایداری‌ها، بین هر دو سیستمی که تحت جریان گردش طبیعی یا گردش اجباری کار می‌کند مشترک بوده، ولی جریان گردش طبیعی ذاتا نسبت به سیستم های گردش اجباری به دلیل غیر خطی بودن و پایین بودن نیروی محرک ناپایدارتر است. قاعدتا هر گونه اغتشاشی در نیرو محرکه روی جریان تأثیر گذاشته و متعاقباًاز آنجایکه تغییر در جریان نیز موجب می‌شود که نیرو محرکه تحت تأثیر قرار گیرد سبب می شودکه، سیستم یک رفتار نوسانی پیدا کند.فوکودا و همکارانش [2] در

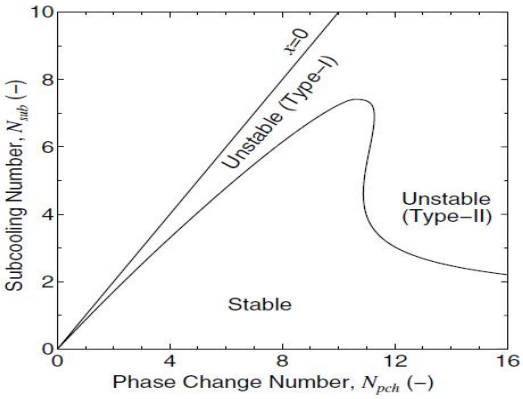
[1] SHirza University Natural Circulation Loop
[2] Phase change number
[3] Subcooling number
[4] Startup

سال ۲۰۰۵ یک مطالعه تئوری و آزمایشگاهی روی ناپایداری جریان دو فازی با یک لوپ ترموهیدرولیکی جریان گردش طبیعی انجام دادند و ناپایداری که در لوپ اتفاق می افتاد مورد بررسی قرار دادند.
کزمنکو و همکاران [3]در سال ۲۰۱۲ ناپایداری ناشی از فلشینگ در تست لوپ CIRCUS به کمک کد RELAP5 مورد بررسی قرار دادنکه نتایج کد و تجربی تطابق خوبی با هم داشتند. همچنین یو هان ژو وهمکارانش [4]در سال ۲۰۱۳ ناپایداری های دینامیکی در کانال های موازی در محدوده فشاری ۱ تا ۱۰ مگا پاسکال مورد بررسی قرار دادند مشاهد گردیدد با کاهش فشار سیستم به سمت ناپاداری پیش می رود. فعالیت های صورت گرفته و در عین حال در دسترس موجود نشان می دهد که بیشتر تحقیقات انجام گرفته در خصوص پایداری لوپ های ترموهیدرولیکی در محدوده فشار های نسبتا بالاتر از فشارهای اتمسفریک صورت پذیرفته که در این تحقیق تلاش شده است که پایداری لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL در دانشگاه شیراز آماده سازی و طراحی شده است به کمک نرم افزار در دسترس موجود (RELAP5) مورد ارزیابی قرار گرفته و همچنین پارامترهای موثر بر پایداریشاملشار حرارتی، ورودی مادون سرد، فشار سیستم، طول دودکش، اوریفیسنگ در ورودی ناحیه حرارتی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه به تئوری حاکم بر مرز ناپایداری سیستم و همچنین تاثیر پارامترهای مختلف میدانی بر پایداری لوپ ترموهیدرولیکی شانکل پرداخته می شود.

حاشیه پایداری:

یاداوری می شود که در صورتی که پارامترهای یک سیستم ترمو هیدرولیکی به طور همزمان دچار تغییرات شود از دو عدد بی بعد تغییر فاز و درجه مادون سرد استفاده می شود نحوه تغییرات این دو عدد نسبت به هم با توجه به تغییرات پارامترهای میدان جریان تعیین کنند مرز ناپایداری سیستم می باشد

شکل ۱ بر گرفته شده از مرجع[5] مرز ناپایداری سیستم را برحسب دو عدد بی بعد N_{sub}وN_{pch}نشان می دهد. خط مستقیم در شکل ۱ نقاطی موثر هستند که نشان می‌دهد کیفیت جریان در خروجی ناحیه حرارتی صفر است. بنابراین این خط نقشه پایداری را به دو بخش تقسیم می‌کند: یک ناحیه‌ی تک فازی ($N_{pch}<N_{sub}$) و یک ناحیه جوشش دوفازی ($N_{sub}N_{pch} \geq$).ناپایداری در ناحیه کیفیت پایین، وقتی که N_{pch} کمی بزرگتر از N_{sub} (در واقع پایین و در نزدیکی $N_{pch} = N_{sub}$)ناپایداری نوع ۱ است. و وقتی که کیفیت در خروجی قابل توجه است ناپایداری نوع ۲ اتفاق می افتد.



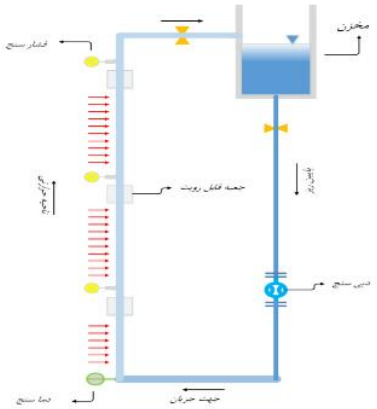
شکل۱: مرز ناپایداری نوع I وII برحسب اعداد بدون بعد N_{sub} و N_{pch}

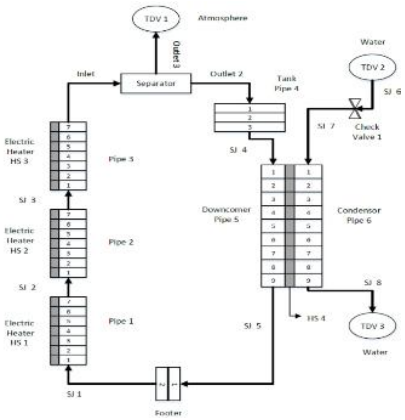
تجهیزات آزمایشگاهی و مدل Relap5 به همراه گره بندی :

به منظور مطالعات مقدماتی و بررسی جریان گردش طبیعی در یک کانال در حال جوشش، تست لوپ ترموهیدرولیکی تحت عنوان SHUNCLدر دانشگاه شیراز طراحی و ساخته شده و مشخصات آن در جدول۱ ارائه شده است. آزمایش‌ها در تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCLدر فشار اتمسفریک که مشابه شرایط شروع اولیهدر راکتورهای هسته‌ای است، انجام می‌پذیرد. شماتیک ساده‌ای از تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL به همراه گره بندی آن در کد RELAP5 در شکل۲نشان داده شده است.

جدول۱: مشخصات تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL

حجم مخزن	220 lit
فشار کاری	1 bar
توان حرارتی در واحد طول	1,2,3,4 kw/m
طول کانال جوشش	2,5,8 m
طول کانال دودکش	3,6 m





شکل۲: شماتیک از لوپ ترموهیدرولیکی شانکل در سمت چپ و نحوه گره بندی لوپ در RELAP5 سمت راست

نتایج :

در راستای بررسی پایداری لوپ ترموهیدرولیکی شانکل، تاثیر برخی از پارامترهای میدانی جریانی شامل: فشار سیستم، درجه مادون سرد، طول دودکش، ضریب افت ورودی و همچنین مرز پایداری مورد مطالعه قرار گرفته شده است که در ادامه به آنها پرداخته شده است.

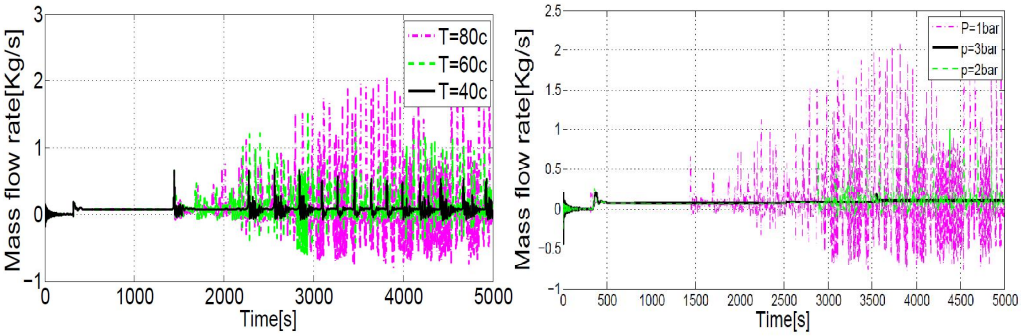
اثر فشار سیستم:قابل یادوری است که در فشارهای مختلف ویژگی‌های ترمو فیزیکی سیال تغییر می‌کند که این موجب می‌شود رفتار سیستم های ترموهیدرولیکی در فشارهای مختلف متفاوت باشد. در فشارهای پایین نرخ تغییرات چگالی قابل توجه بوده در نتیجه فشار سیستم می‌تواند بر روی ناپایداری سیستم تأثیر گذار باشد.توصیفی از شار جرمی میدان جریان بر حسب طول کارکرد زمانی لوپ در سه فشار متفاوت در شکل۳نشان داده شده است. مشاهده می شود که با کاهش فشار سیستم ناپایدار تر شده است.قابل ذکر است که با کاهش فشار، قاعدتا آستانه شار بحرانی به واسطه افزایش کسر خلا، کاهش پیدا می کند.

اثر درجه مادون سرد: در شکل ٤ تغییرات شار جرمی میدان جریان بر حسب زمان در سه دمای مختلف در ورودی ناحیه حرارتی نشان داده شده است. دیده می شود که با کاهش درجه مادون سرد در ورودی ناحیه حرارتی، طول ناحیه تک فازی در ناحیه حرارتی کاهش پیدا کرده و متاقبا کسر خلأ در کانال افزایشو در نتیجه پایداری سیستم کاهش پیدا می‌کند.

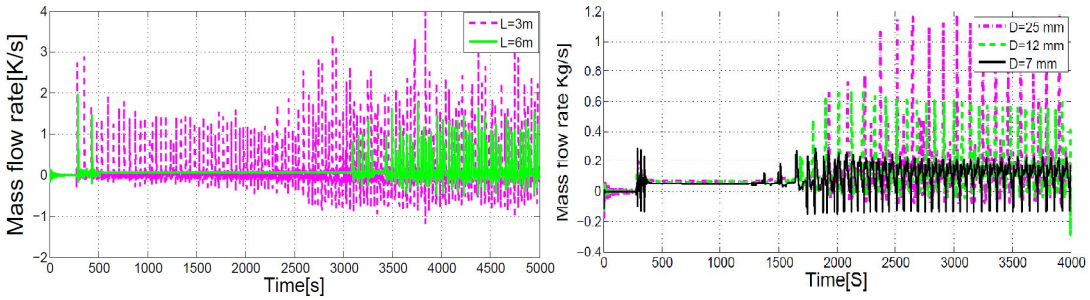
اثر طول دودکش:همان طور که در شکل ٥ پیداست با کاهش طول دودکش، شار جرمی در داخل لوپ ترموهیدرولیکی دچار نوسانات شدید شده که بیان گر حرکت سیستم به سمت ناپایداری است.قابل پیگیری است

که با کاهش طول دودکش نرخ شار جرمی جریان کاهش پیدا کرده در نتیجه کسر خلأ و افت فشار اصطکاکی داخل کانال افزایش پیدا می کند که موجب می شود سیستم به سمت ناپایداریبرود.

ضریب افت در ورودی ناحیه حرارتی: توصیفی از شار جرمی میدان جریان بر حسب طول کارکرد زمانی لوپ در سه قطر مختلف در شکل ٦نشان داده شده است. دیده می شود که با افزایش قطر ، شار جرمی در داخل لوپ ترموهیدرولیکی دچار نوسانات شدید شده که بیان گر حرکت سیستم به سمت ناپایداری است



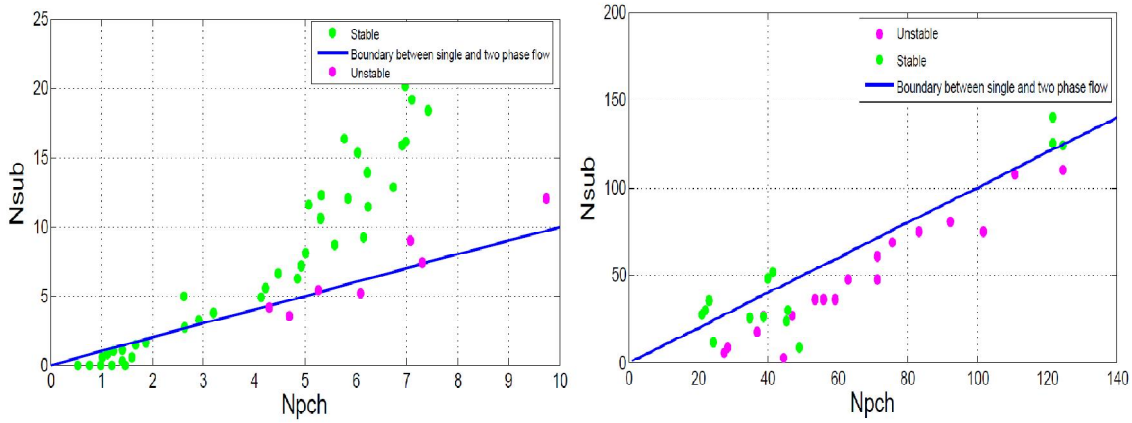
شکل۳:اثر فشار سیتم روی پایداری شکل٤: اثر درجه مادون سرد روی پایداری سیستم گردش طبیعی سیستم گردش طبیعی



شکل۵: اثر دودکش روی پایداری سیستم گردششکل٦: اثر ضریب افت در ورودی ناحیه حرارتی بر طبیعی ناپایداری در یک سیستم گردش طبیعی

حاشیه پایداری

شکل ۷ و ۸ مرز پایداری لوپ ترموهیدرولیکی شانکل را در دو فشار مختلف بر حسب دو عدد بی بعد N_{sub}و N_{pch} نشان می دهد. دیده می شود، نقاط ناپایدار بر روی یک منحنی در نزدیک خط $N_{pch} = N_{sub}$اتفاق می افتد در نتیجه ناپایداری که در لوپ ترموهیدرولیکی شانکل بر اساس تئوری حاکم ارائه شدهاتفاق می افتد از نوعیک می باشد.



شکل۱:منحنی ناپایداری لوپ شانکل شکل سمت راست تحت فشار ۰/۱ مگاپاسکال و شکل سمت چپ تحت فشار ۱/۵ مگاپاسکال.

نتیجه گیری وبحث :

در این تحقیق به آنالیز پایداری جریان گردش طبیعی در تست لوپ شانکل که در دانشگاه شیراز طراحی و ساخته شده بود،به کمک کد RELAP5 پرداخته شد. و خلاصه ای از نتایج آن در زیر آمده است:

مشاهده گردید رفتار سیستم در فشارهای بالا و پایین متفاوت بوده که ناشی ازتغییرات قابل توجه در پارمترهای ترموفیزیکی به ویژه کسر خلاسیال می شود به نحوی که سیستم در فشار های پایین به شدت ناپایدار می باشد. دیده شدافزایش درجه مادون سرد منجر به کاهش کسر خلا در کانال و در نتیجه باعث افزایش پایداری می شود. افزایش طول دودکش به واسطه بالا بردن شار جرمی جریان و متعاقبا کاهش کسر خلا سبب افزایش پایداری سیستم گردید.با کاهش قطر اوریفیس دامنه نوسانات کاهش یافتهو در نتیجه یک اثر پایدار کننده بر سیستم خواهد داشت.قابل جمع بندی است که ناپایداری که در لوپ ترموهیدرولیکی اتفاق می افتد چه در فشار های پایین و چه در فشار هایی بالا از نوع یک خواهد بود.

مراجع:

[1] P.K. Vijayan and A.K. Nayak, “natural circulation systems: advantages and challenges,” Bhabha Atomic Research Centre, India (2002)..
[2] Su Guanghuia,b,*, JiaDounan a, Kenji Fukuda b,1, GuoYujun, “Theoretical and experimental study on density waveoscillation of two-phase natural circulation of lowequilibrium quality”.Nuclear Engineering and Design 215 (2005) 187–198.
[3] Y. Kozmenkova,b, U. Rohdea,∗, A. Manerac, “Validation of the RELAP5 code for the modeling of flashing-induced instabilities”.Nuclear Engineering and Design 243 (2012) 168–175
[4] Yuan Zhou a,b, Zhengming Zhang a, Meng Lin a, Dong Hou b, Xiao Yan, “Capability of RELAP5 MOD3.3 code to simulate density wave instabilityin parallel narrow rectangular channels”.Annals of Nuclear Energy 60 (2013) 256–266.

[5] Masahiro FURUYA.“Experimental and Analytical Modeling ofNatural Circulation and Forced Circulation BWRs– Thermal-Hydraulic, Core-Wide, and Regional Stability Phenomena”.opmaandag 24 april 2006.
[2] Vijayan, P. K., Nayak, A. K. (2005). "Natural Circulation Systems: Advantages and Challenges." in Natural Circulation in Water Cooled Power Plants, IAEA-TECDOC-1474.
[3] A. K. Nayak, P. K. Vijayan, V. Jain, D. Saha, and R. K. Sinha ,
“Study on the flow-pattern-transition instability in a natural circulation heavy water moderated boiling light water cooled reactor,” Nuclear Engineering and Design, vol. 225, no. 2-3, pp. 159–172, 2003.
[4] The RELAP5 Code Development Team. (2001). “RELAP5/MODE3.2 Code Manual, Volume I; Code Structure, System models, And Solution Methodes”.
Idaho: Idaho National Engineering Laboratory.
[5] Y. Kozmenkov, U. Rohdea, A. Manera, “Validation of the RELAP5 code for the modeling of flashing-induced instabilities under natural-circulation conditions using experimental data from the CIRCUS test facility”, Nuclear Engineering and Design 243 (2012) 168– 175