

## ارزیابی عملکرد سیستم های ایمنی لوپ تست سوخت راکتور تحقیقاتی تهران در طی

### حادثه از دست رفتن خنک کننده

سعیده صفائی عرشی<sup>۱</sup>، سید محمد میکیلی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴

#### چکیده

به منظور ارتقاء کاربری های راکتور تحقیقاتی تهران در زمینه ی تست سوخت و مواد هسته ای و با توجه به پتانسیل موجود در این راکتور برای ایجاد شرایط نوترونی و ترموهیدرولیکی مناسب جهت انجام تست های پرتو دهی نمونه میله های سوخت راکتورهای تحقیقاتی تولید شده در داخل کشور، لوپ تست سوخت راکتور تحقیقاتی تهران با فشار نامی ۱۰ بار و دبی جریان نامی  $m^3/h20$  به منظور شبیه سازی شرایط ترموهیدرولیکی راکتور مورد نظر طراحی و ساخته شده است. در این مقاله، عواقب حادثه از دست رفتن خنک کننده به دنبال بروز نقص در پمپ مدار خنک کننده اصلی تست لوپ بررسی شده و عملکرد سیستم های ایمنی در پاسخ به این حادثه برای تأمین پایدار خنک کنندگی سوخت-های تحت تست و نیز به حداقل رساندن عواقب نامطلوب این حادثه ارزیابی شده است. در این راستا، سناریوهای محتمل توسط کد RELAP5 شبیه سازی و توانایی تجهیزات ایمنی لوپ برای جلوگیری از هرگونه آسیب به سوخت تحت تست، ارزیابی شده است.

**واژه های کلیدی:** راکتور تحقیقاتی تهران، لوپ تست سوخت، تحلیل ایمنی، حادثه از دست رفتن خنک کننده

#### ۱- مقدمه

راکتور تحقیقاتی تهران با فشار نامی ۱۰ بار و دبی جریان نامی  $m^3/h20$  طراحی و ساخته شده است. به منظور ارزیابی عملکرد سیستم های ایمنی طراحی شده برای لوپ تست سوخت راکتور تحقیقاتی تهران در طی حوادث و وقایع محتمل در زمان کارکرد، تحلیل جامعی از ایمنی لوپ در حوادث محتمل انجام شده است. در این مقاله، عواقب حادثه از دست رفتن خنک کننده به دنبال بروز نقص در پمپ مدار خنک کننده اصلی تست لوپ بررسی شده و عملکرد سیستم های ایمنی در پاسخ به این حادثه برای تأمین پایدار خنک کنندگی سوخت های تحت تست و نیز به حداقل رساندن عواقب نامطلوب این

راکتور تحقیقاتی تهران یک راکتور ۵ مگاوات استخری از نوع MTR با میانگین شار نوترون حرارتی حدود  $3 \times 10^{13} n/cm^2.s$  است که به دلیل هندسه قلب و میزان مناسب شار نوترون، پتانسیل ایجاد شرایط مناسب جهت انجام آزمایشات در حین پرتو دهی بر روی سوخت راکتورهای تحقیقاتی را دارا است. به منظور بهره برداری از این پتانسیل و در راستای ایجاد شرایط نوترونی و ترموهیدرولیکی مناسب جهت تست نمونه میله های سوخت در معرض شار نوترون و در شرایط نوترونی و ترموهیدرولیکی مشابه شرایطی که میله سوخت در قلب راکتور اصلی با آن مواجه خواهد بود، لوپ تست سوخت

حادثه ارزیابی شده است.

به طور کلی، لوپ تست سوخت راکتور تحقیقاتی تهران از دو بخش  $IPS^1$  و  $OPS^2$  تشکیل شده است. بخش  $IPS$  شامل تمامی اجزاء لوپ است که داخل قلب و استخر راکتور تهران قرار گرفته‌اند. دو جزء اصلی این بخش عبارتند از:

یک کپسول پرتودهی که نمونه سوخت‌های تحت تست را در خود جای داده است و در یکی از موقعیت‌های پرتودهی داخل قلب راکتور بارگذاری می‌شود. این کپسول پرتودهی بر اساس ابعاد و تعداد نمونه سوخت‌های در نظر گرفته شده برای تست و نیز فضای مورد نظر برای بارگذاری در قلب طراحی می‌شود.

یک تانک تأخیری برای ایجاد تأخیر زمانی مناسب بین خروج آب از کپسول پرتودهی و ورود این آب اکتیو شده به ناحیه بیرون از استخر راکتور. از آنجا که عبور خنک‌کننده از روی میله‌های سوخت داخل کپسول باعث اکتیو شدن آن و تولید  $N-16$  و در نتیجه گسیل پرتو گاما پرنرژی می‌شود، ایجاد تأخیر زمانی مناسب توسط یک تانک تأخیری برای کاهش دز گاما در اطراف لوله‌های خروجی از استخر راکتور ضروری است.

بخش  $OPS$  لوپ تمام سیستم‌ها و تجهیزاتی را شامل می‌شود که خارج از استخر راکتور نصب شده‌اند و برای ایجاد شرایط ترموهیدرولیکی مورد نظر در لوپ و تأمین عملکرد ایمن لوپ طراحی شده‌اند. سیستم خنک‌کننده اولیه و ثانویه، سیستم خنک‌کننده اضطراری، سیستم تخلیه اضطراری و یک سیستم تصفیه یونی اجزاء بخش  $OPS$  لوپ هستند. دو پمپ، یک مبدل حرارتی، یک گرم‌کن الکتریکی و یک فشارنده ( $PRZ$ )، اجزاء اصلی سیستم خنک‌کننده را تشکیل می‌دهند. در لوپ خنک‌کننده، یک مسیر بای‌پس بین خروجی پمپ و ورودی مبدل حرارتی برای کنترل آهنگ عبور خنک‌کننده از کپسول پرتودهی در نظر گرفته شده‌است و تنظیم آهنگ عبور خنک‌کننده به وسیله دو شیر کنترلی نصب شده روی خط لوله اصلی و مسیر بای‌پس انجام می‌شود.

سیستم خنک‌کننده اضطراری متشکل از دو اکومولاتور است که در صورت افت فشار خنک‌کننده اولیه (به عنوان مثال، در اثر بروز شکستگی در خطوط لوله بخش  $OPS$ ) وارد عمل شده و جریان خنک‌کننده به سمت کپسول پرتودهی را فراهم می‌نمایند. اکومولاتورها به عنوان مخزن تخلیه در صورت افزایش فشار مدار اول نیز عمل می‌کنند. در مواردی که تخلیه به اکومولاتورها برای تعدیل فشار لوپ کافی نباشد شیرهای تخلیه اضطراری به تانک پسماند باز خواهند شد و تخلیه به تانک پسماند انجام خواهد شد.

## ۲- روش انجام تحقیق

در این پژوهش، شبیه‌سازی سناریوهای محتمل در حادثه از دست‌رفتن خنک‌کننده در تست لوپ و ارزیابی توانایی تجهیزات ایمنی لوپ برای جلوگیری از هرگونه آسیب به سوخت تحت تست در طی این حادثه، با استفاده از کد  $RELAP5/Mod3.2$  [۱] انجام شده است. بدین منظور، در ابتدا فرایند گره‌بندی<sup>۳</sup> بر اساس مدارک طراحی تست لوپ [۲ و ۳] انجام و تمامی اجزاء تشکیل دهنده سیستم خنک‌کننده تست لوپ در قالب عناصر تعریف شده برای کد شامل انشعاب، لوله، ساختارهای گرمایی<sup>۴</sup>، شیر، پمپ، حجم وابسته به زمان و غیره، مدل‌سازی شده‌اند. اتصال بین این عناصر نیز بر حسب شرایط، در قالب اتصال منفرد<sup>۵</sup>، اتصال وابسته به زمان<sup>۶</sup> و یا اتصال چندگانه<sup>۷</sup> معرفی شده‌است. شکل ۱ گره‌بندی سیستم خنک‌کننده اولیه لوپ تست سوخت و سیستم‌های ایمنی مرتبط با آن (سیستم خنک‌کننده اضطراری و سیستم تخلیه اضطراری) که برای مدل‌سازی حادثه از دست‌رفتن خنک‌کننده مورد استفاده قرار گرفته‌است را نشان می‌دهد.

در شرایط کارکرد عادی تست لوپ، پمپ مدار خنک‌کننده اولیه تست لوپ، آهنگ جریان مورد نیاز برای برداشت حرارت تولید شده در کپسول حاوی سوخت تحت تست (که در این مقاله به اختصار  $IPS$  نامیده شده است) را فراهم می‌کند. در این مقاله، عواقب قطع شدن

### ۳- نتایج و بحث

#### سناریو ۱

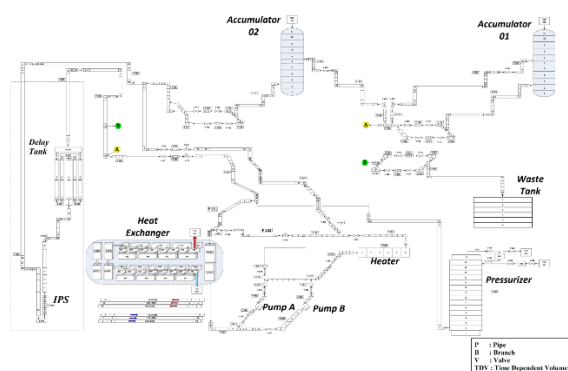
در این سناریو فرض شده است تست لوپ تا لحظه s ۱۰۰۰ در شرایط کارکرد پایدار قرار داشته ولی در لحظه s ۱۰۰۰ ناگهان برق پمپ A قطع شده است. در اثر از کار افتادن پمپ و ارسال سیگنال scram ، راکتور خاموش شده و مسیر بای پس پمپ ( شیرهای شماره ۳۳۰ و ۳۳۴) نیز باز شوند. افت جریان خنک کننده در مسیر cold leg باعث افت فشار در این خط لوله می شود. رسیدن فشار این خط لوله به کمتر از ۲/۳ bar باعث باز شدن شیرهای تزریق از اکومولاتور شماره ۲ (شیرهای شماره ۷۶۵، ۷۶۶، ۷۷۰ و ۷۷۱) و جریان یافتن خنک کننده از اکومولاتور شماره ۲ به سمت IPS می شود. در مسیر hot leg نیز با رسیدن فشار به کمتر از ۲/۳ bar تزریق از اکومولاتور شماره ۱ آغاز می شود. مجموع خنک کننده تزریق شده از اکومولاتورها وارد فشارنده می شود. به منظور جلوگیری از ورود گاز نیتروژن به درون لوپ، شیرهای تزریق از اکومولاتور با رسیدن ارتفاع آب درون اکومولاتور به کمتر از ۰/۵ m بسته می شوند. در نتیجه، جریان یافتن خنک کننده از اکومولاتورها به سمت فشارنده تا رسیدن سطح آب درون اکومولاتورها به مینیمم مقدار مجاز ادامه می یابد. پس از اتمام تزریق از کومولاتور، جریان از لوله ۱۰۸ به سمت فشارنده متوقف شده و خنک کننده از طریق لوله ۱۱۱ و سپس مسیر بای پس پمپ به سمت مسیر cold leg رفته و مجدداً وارد IPS می شود. بدین ترتیب یک جریان مثبت بسیار کوچک تا مدت زمان طولانی پس از قطع شدن پمپ و خاموشی راکتور در مدار برقرار می ماند که با توجه به کاهش قابل توجه گرمای واپاشی در زمان های طولانی همین مقدار جزئی جریان برای برداشت حرارت از IPS کافی است.

جریان خنک کننده ناشی از قطع شدن پمپ و نحوه عملکرد سیستم های ایمنی در پاسخ به این حادثه و چگونگی خنک سازی IPS پس از این حادثه بررسی شده است. به منظور در نظر گرفتن محافظه کارانه ترین شرایط، فرض شده است جریان برق پمپ A مدار خنک کننده اولیه قطع شده و پمپ رزرو B نیز وارد عمل نشود. از کار افتادن پمپ سیگنالی برای خاموش کردن اضطراری راکتور ارسال کرده و راکتور scram می دهد. به منظور بررسی تمامی شرایط محتمل در صورت بروز این حادثه، سناریوهای زیر شبیه سازی و تحلیل شده اند:

سناریو ۱: فرض شده از کار افتادن پمپ علاوه بر scram سیگنالی نیز برای باز شدن شیرهای موجود در مسیر بای پس پمپ ارسال نماید.

سناریو ۲: فرض شده پس از بروز حادثه مسیر بای پس پمپ بسته باشد.

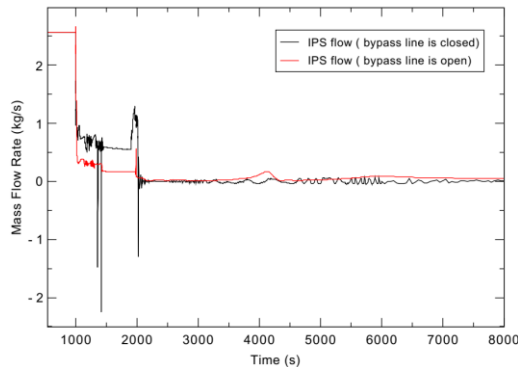
سناریو ۳: فرض شده از کار افتادن پمپ علاوه بر scram سیگنالی نیز برای باز شدن شیرهای موجود در مسیر بای پس پمپ ارسال نماید ولی به دلیل بروز نقص فنی هیچ گونه تزریقی از اکومولاتورها به مدار انجام نشود.



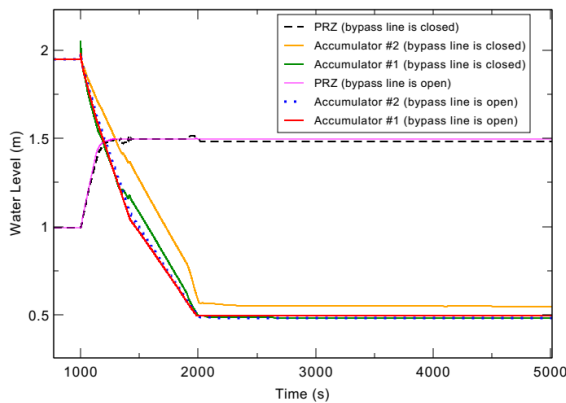
شکل ۱: گره بندی تست لوپ راکتور تهران برای مدل سازی در کد RELAP5

## سناریو ۲

تقریباً صفر می شود. در شکل ۳ تغییرات سطح آب موجود در اکومولاتورها و فشارنده پس از قطع شدن پمپ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود در هر دو سناریو، در مدت زمان بسیار کوتاهی پس از آغاز حادثه ابتدا تزریق از اکومولاتور شماره ۲ و سپس تزریق از اکومولاتور شماره ۱ آغاز می شود.



شکل ۲: آهنگ عبور جریان خنک کننده از IPS در سناریو ۱ و ۲

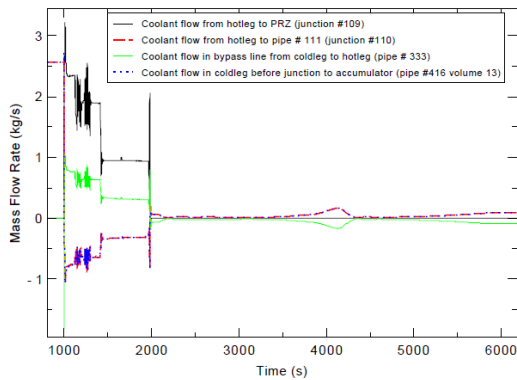


شکل ۳: تغییرات ارتفاع آب موجود در اکومولاتورها و فشارنده در سناریو ۱ و ۲

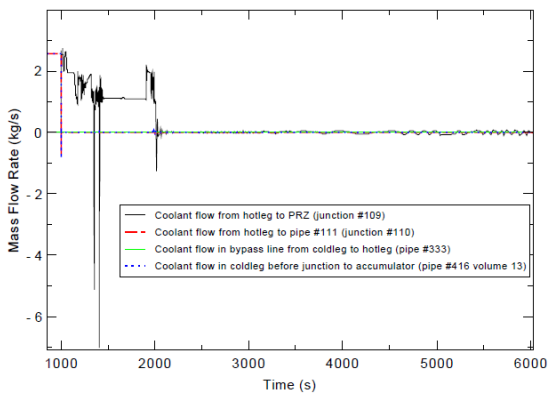
در شکل ۴ و شکل ۵، آهنگ جریان خنک کننده در تعدادی از اتصالات تست لوپ به ترتیب در سناریو ۱ و سناریو ۲ نشان داده شده است. بر اساس این اطلاعات می توان مسیر جریان خنک کننده در لوپ در طی این حادثه را مشخص کرد. در سناریو اول بلافاصله پس از

در این سناریو شرایط مشابه حالت قبل است با این تفاوت که فرض شده است در اثر از کار افتادن پمپ، راکتور خاموش شده ولی مسیر بای پس پمپ بسته باشد. در این حالت، پس از اتمام تزریق از کومولاتورها، جریان خنک کننده در لوپ تقریباً متوقف می شود که باعث می شود دمای خنک کننده درون IPS به دمای اشباع برسد و درون IPS بخار تشکیل شود. در ادامه، نتایج بدست آمده از شبیه سازی این دو حالت با هم مقایسه شده اند. بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه سازی حادثه، در هر دو سناریو، به دنبال افت جریان خنک کننده در مسیر cold leg در اثر از کار افتادن پمپ و در نتیجه افت فشار در این خط لوله به کمتر از ۲/۳ bar تزریق از اکومولاتور شماره ۲ و در اثر افت فشار در مسیر hot leg تزریق از اکومولاتور شماره ۱ انجام می شود. مجموع آب تزریق شده به مدار به فشارنده وارد می شود. در نتیجه سطح آب درون اکومولاتورها کاهش و سطح آب فشارنده افزایش می یابد تا جایی که کل حجم فشارنده پر شده و مابقی آب تزریق شده به مخزن مجاور فشارنده سرریز می شود.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود در هر دو حالت، بلافاصله پس از آغاز حادثه جریان خنک کننده عبوری از IPS به شدت افت می کند ولی پس از آغاز تزریق از اکومولاتورها تا حدودی ثابت می ماند و پس از تمام شدن ذخیره آب اکومولاتورها مجدداً کمی افت کرده و سپس تا مدت زمان طولانی پس از شروع حادثه تقریباً ثابت می ماند. همچنین، همانطور که در این شکل مشاهده می شود، باز شدن مسیر بای پس باعث ایجاد یک لوپ بسته و در نتیجه حفظ یک جریان کوچک و مثبت در IPS می شود که نقش بسیار مهمی در برداشت حرارت از IPS دارد. در حالتی که مسیر بای پس بسته باشد پس از اتمام تزریق از اکومولاتور چون مسیری برای جریان یافتن خنک کننده وجود ندارد، جریان عبوری از IPS



شکل ۴: آهنگ جریان خنک کننده در برخی اتصالات لوپ در سناریو ۱ حادثه LOFA



شکل ۵: آهنگ جریان خنک کننده در برخی اتصالات لوپ در سناریو ۲ حادثه LOFA

در شکل ۶ روند تغییرات ماکزیمم دمای سوخت و غلاف در راستای محوری در داغ‌ترین میله سوخت تحت تست درون IPS در سناریو ۱ و ۲ نمایش داده شده‌است. همانطور که در شکل دیده می‌شود پس از scram، دمای سوخت و غلاف به شدت افت می‌کند ولی پس از آن به علت وجود گرمای واپاشی درون سوخت و نیز کم بودن آهنگ عبور جریان خنک‌کننده تزریق شده از اکومولاتور، دما کمی افزایش می‌یابد و سپس تقریباً ثابت می‌ماند تا وقتی که تزریق آب از اکومولاتور به اتمام برسد. پس از اتمام تزریق اکومولاتور در حالتی که مسیر بای‌پس باز است اندکی افزایش دما رخ می‌دهد و پس از آن با توجه به کاهش گرمای واپاشی، دما تقریباً ثابت می‌ماند. در این

قطع شدن پمپ و باز شدن مسیر بای‌پس، جریان از hot leg به مسیر بای‌پس وارد شده و سپس از طریق cold leg مجدداً وارد IPS می‌شود. پس از باز شدن شیرهای تزریق از اکومولاتور شماره ۲، خنک‌کننده تزریق شده از اکومولاتور در محل اتصال با cold leg در دو مسیر جریان می‌یابد: بخش عمده آن به سمت IPS رفته و پس از عبور از آن و جریان یافتن در hot leg به دو قسمت شده یا وارد فشارنده می‌شود و یا از طریق لوله ۱۱۱ وارد مسیر بای‌پس و سپس cold leg می‌شود. بخش بسیار کوچکی نیز از محل اتصال خط لوله تزریق از اکومولاتور به cold leg به سمت لوله ۴۰۷ رفته، وارد مسیر بای‌پس شده و از طریق لوله ۱۱۱ و اتصال ۱۰۹ وارد فشارنده می‌شود. پس از پایان تزریق از اکومولاتورها، خنک‌کننده خروجی از IPS به سمت فشارنده نرفته و از طریق مسیر بای‌پس وارد cold leg شده و مجدداً وارد IPS می‌شود و بدین ترتیب یک جریان مثبت بسیار کوچک تا مدت زمان طولانی پس از قطع شدن پمپ و خاموشی راکتور در مدار برقرار می‌ماند. لازم به ذکر است در شکل ۴، منفی بودن آهنگ جریان در اتصال ۱۱۰ (اتصال بین لوله ۱۰۸ و ۱۱۱) و حجم ۱۳ از لوله ۴۱۶ به علت برعکس بودن جهت جریان عبوری نسبت به جهت مثبت تعریف شده در ورودی کد است. در سناریو دوم به علت باز نبودن مسیر بای‌پس، پس از باز شدن شیرهای تزریق از اکومولاتور شماره ۲، خنک‌کننده تزریق شده از اکومولاتور در محل اتصال با cold leg تنها به سمت IPS رفته و پس از عبور از آن و جریان یافتن در hot leg از اتصال ۱۰۹ وارد فشارنده می‌شود و در اتصال ۱۱۰ جریان صفر خواهد بود. پس از پایان تزریق از اکومولاتورها، به علت بسته بودن مسیر بای‌پس مسیری برای جریان خنک‌کننده به سمت IPS وجود ندارد و عملاً جریان در مدار صفر می‌شود.

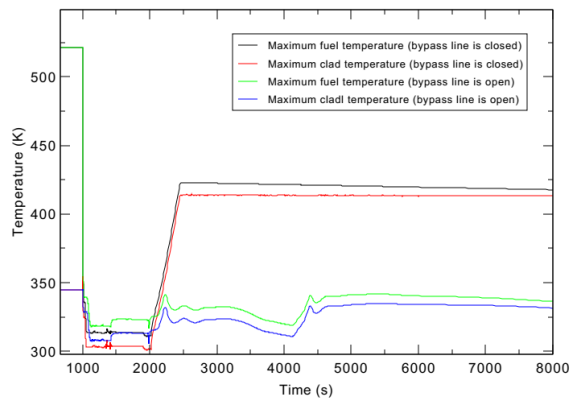
با توجه به نتایج حاصل از تحلیل های انجام شده، باز شدن مسیر بای پس پمپ پس از بروز حادثه قطع شدن پمپ، شرایط ایمن تری را برای تست لوپ در این حادثه ایجاد خواهد کرد به نحوی که دمای مرکز سوخت بسیار پایین تر از دمای ذوب بوده و دماهای غلاف و خنک کننده موجود در IPS نیز در محدوده ایمن و کمتر از دمای اشباع خنک کننده باقی خواهند ماند. اگرچه، حتی در صورت بسته بودن مسیر بای پس، جریان آب از اکتورهای می تواند تا حدود ۵۰۰۰ ثانیه پس از قطع شدن پمپ دمای IPS را کمتر از دمای اشباع نگه دارد.

### سناریو ۳

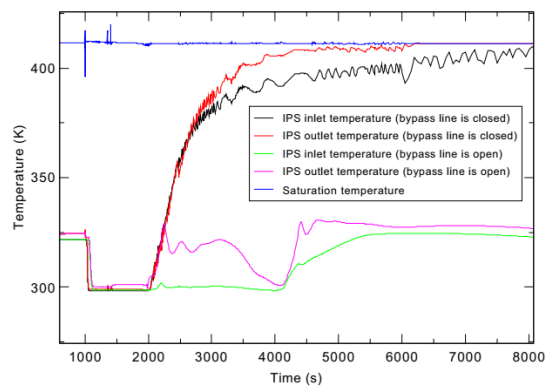
به منظور در نظر گرفتن محافظه کارانه ترین شرایط، در این سناریو فرض شده است برق پمپ در لحظه s ۱۰۰۰ قطع شود و در اثر از کار افتادن پمپ و ارسال سیگنال scram راکتور خاموش شده و مسیر بای پس پمپ ( شیرهای شماره ۳۳۰ و ۳۳۴) نیز باز شود ولی به دلیل بروز یک نقص فنی تزریقی از کومولاتورها به مدار انجام نشود. در شکل ۸ آهنگ عبور جریان خنک کننده از IPS در شرایط در نظر گرفته شده برای سناریو ۳ حادثه LOFA نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در این حالت نیز مشابه سناریو ۱ به علت باز بودن مسیر بای پس یک جریان مثبت کوچک در IPS برقرار خواهد بود. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۹ و شکل ۱۰ جریان مثبت کوچک برقرار شده در IPS برای برداشت گرمای واپاشی کافیسیت و موجب می شود دمای خنک کننده کمتر از دمای اشباع بوده و دمای سوخت و غلاف نیز در محدود مجاز باقی بمانند.

حالت به علت گردش جریان برقرار شده در لوپ از طریق مسیر بای پس، افزایش شدید دما مشاهده نشده و دما در محدوده ایمن باقی می ماند. ولی در حالتی که مسیر بای پس بسته است، از حدود ۲۰۰۰ ثانیه که تزریق از اکتومولاتور خاتمه یافته و مسیری نیز برای گردش جریان وجود ندارد افزایش شدید دما تا رسیدن به نزدیکی دمای اشباع رخ می دهد.

در شکل ۷ دمای خنک کننده درون IPS در سناریو ۱ و ۲ با دمای اشباع تحت شرایط موجود در IPS مقایسه شده است. همانطور که در این شکل دیده می شود، در حالتی که مسیر بای پس بسته است، دمای خنک کننده به دمای اشباع آب نزدیک شده و در نتیجه درون IPS بخار تشکیل می شود.



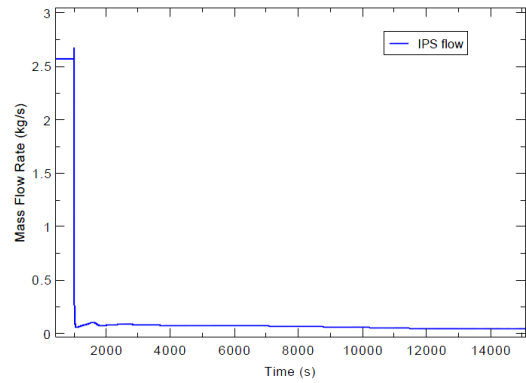
شکل ۶: تغییرات ماکزیمم دمای سوخت و غلاف در سناریو ۱ و ۲



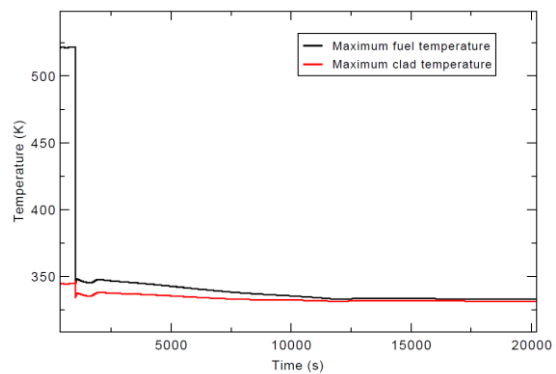
شکل ۷: تغییرات دمای خنک کننده درون IPS در سناریو ۱ و ۲

## ۴- نتیجه گیری

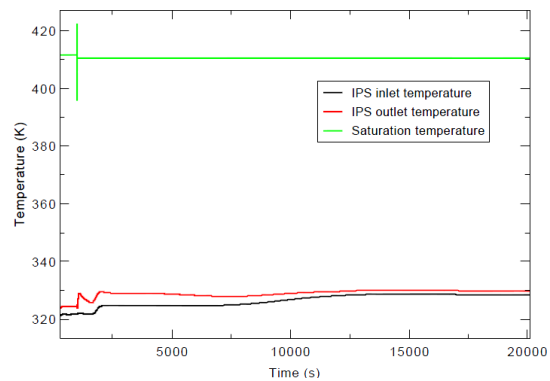
از سه سناریو بررسی شده برای حادثه LOFA در لوپ تست سوخت راکتور تهران، در سناریو ۲ که در آن مسیر بای پس پمپ بسته است، جریان خنک کننده در لوپ پس از اتمام تزریق از کومولاتورها تقریباً متوقف می شود و این مسئله باعث افزایش دمای خنک کننده درون کپسول IPS تا دمای اشباع و در نتیجه تشکیل بخار می شود. در نتیجه، باز بودن مسیر بای پس پمپ پس از بروز حادثه قطع شدن پمپ، شرایط ایمن تری را برای تست لوپ در این حادثه ایجاد خواهد کرد. اگرچه، حتی در صورت بسته بودن مسیر بای پس، جریان آب از اکومولاتورها می تواند تا حدود ۵۰۰۰ ثانیه پس از قطع شدن پمپ دمای کپسول IPS را کمتر از دمای اشباع نگاه دارد. در شرایط محافظه کارانه سناریو ۳، اگرچه به دلیل بروز یک نقص فنی تزریق از کومولاتورها به مدار انجام نمی شود ولی به علت باز بودن مسیر بای پس همچنان یک جریان مثبت کوچک در کپسول IPS برقرار خواهد بود. از مقایسه نتایج این سناریو با سناریو شماره ۱ که در آن تزریق از اکومولاتورها انجام می شود می توان نتیجه گرفت تزریق از اکومولاتورها که حدود ۱۰۰۰ ثانیه پس از شروع حادثه در سناریو ۱ ادامه پیدا می کند باعث می شود دمای سوخت، غلاف و خنک کننده در سناریو ۱ نسبت به سناریو ۳ فقط حدود ۱۳ درجه کمتر باشد. در نتیجه حتی در صورت عدم وجود تزریق از اکومولاتورها چنانچه در حادثه LOFA راکتور scram داده و مسیر بای پس پمپ نیز باز باشد کپسول IPS در شرایط ایمن قرار خواهد داشت. از نتایج این شبیه سازی برای تعیین set point مربوط به باز و بسته شدن شیرهای مسیر بای پس در منطق کنترلی حاکم بر تست لوپ استفاده شده است.



شکل ۸: آهنگ عبور جریان خنک کننده از IPS در سناریو ۲ حادثه LOFA



شکل ۹: تغییرات ماکزیمم دمای سوخت و غلاف در سناریو ۳ حادثه LOFA



شکل ۱۰: تغییرات دمای خنک کننده درون IPS در سناریو ۳ حادثه LOFA

## مراجع

- [1] SCIENTECH, Inc. (1998). *RELAP5/MOD3.2 code manual*.
- [2] TRR-FTL-PR-PID-02 (2016). Piping and instrument diagram of Tehran research reactor pressurized fuel test loop.
- [3] TRR-FTL-PR-RPT-06 (2016). Process description of Tehran research reactor pressurized fuel test loop.





## Evaluation of the Safety Systems of Tehran Research Reactor Fuel Test Loop during Loss of Flow Accident

Saiedeh Safaei Arshi<sup>a</sup>, Seyed Mohammad Mirvakili<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Nuclear Science and Technology Research Institute, Reactor and Nuclear Safety research school, Tehran, Iran

Received: 08 - 05 - 2021

Accepted: 05 - 09 - 2021

---

### Abstract

In order to enhance applicability of Tehran Research Reactor (TRR) for irradiation test of nuclear fuel and materials and considering TRR potential to provide required neutronic and thermal hydraulic conditions for irradiation tests on domestic fuel samples of research reactors, TRR fuel test loop with 10 bar nominal pressure and 20m<sup>3</sup>/h nominal flow rate is designed and fabricated to simulate thermal hydraulic conditions of the desired research reactor. In this paper, consequences of loss of flow in the loop due to primary pump breakdown are investigated and the functions of safety systems in response to this accident to provide continuous cooling of the fuels under test and mitigate any undesirable consequence are evaluated. In this regard, the probable scenarios are simulated using a RELAP5 model and the ability of the safety features of the loop to prevent any damage to the fuels under test is evaluated.

**Keywords:** Tehran Research Reactor, Fuel test loop, Safety evaluation, Loss of flow accident

---