



# بیست و یکمین کنفرانس هسته ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## راستی آزمایی و تحلیل رفتار گذرای راکتور آموزشی<sup>۱</sup> UTRS-1 در حادثه خرابی ناگهانی یکی از پمپ های خنک کننده مدار اول با استفاده از کد تحلیلی RELAP5/MODE3.2

سپیده آقاجان پور: امیرسعید شیرانی: ویدا یگانه: احمد حسینی غفار: محمدحسین نادری

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای، گروه راکتور

شرکت طراحی و مهندسی شبیه ساز های صنعتی ایران، ادیس

### چکیده:

در این مقاله به شرح مختصری از مدل های مورد استفاده و بررسی رفتار گذرای نرم افزار شبیه ساز راکتور آموزشی-UTRS-1 در حادثه خرابی ناگهانی یکی از پمپ های خنک کننده مدار اول، با استفاده از کد تحلیلی RELAP5/MODE3.2 پرداخته خواهد شد. از آنجا که سیمولاتور UTRS-1 به مقاصد آموزشی در دانشکده های مهندسی هسته ای کشور مورد استفاده قرار می گیرد کارکرد صحیح آن از درجه اهمیت بالایی در راستای ارتقای سطح آموزشی این زمینه برخوردار می باشد. بررسی رفتار دینامیکی شبیه ساز در شرایط بحرانی یک حادثه معیار مناسبی بمنظور سنجش رفتار صحیح آن می باشد. در نهایت تطابق خوبی بین نتایج مشاهده شده و رفتار کلی اجزا در نتایج هر دو نرم افزار دیده می شود.

**واژه های کلیدی:** شبیه ساز آموزشی-UTRS-1، حادثه خرابی پمپ، کد RELAP5/MODE3.2، رفتار گذرا، مدل سازی در شبیه ساز

### مقدمه

سیمولاتور آموزشی UTRS-1 نرم افزار شبیه ساز یک راکتور قدرت ۱۰۰ مگاوات است که به منظور آموزش و ایجاد ارتباط نزدیک بین دانشجویان رشته مهندسی هسته ای و این صنعت بر اساس امکانات و توانمندی های بومی طراحی شده است [1].

این راکتور از نوع آب سبک تحت فشار (PWR) با فشار مدار اولیه ۱۵۵ بار است. مدار اول راکتور شامل دو حلقه و دو مولد بخار با فشار کاری ۵۵ بار می باشد. دو نوع مدل در سیمولاتور مورد استفاده قرار گرفته است: مدل فیزیکی:

<sup>۱</sup>University Teaching Reactor Simulator – phase 1



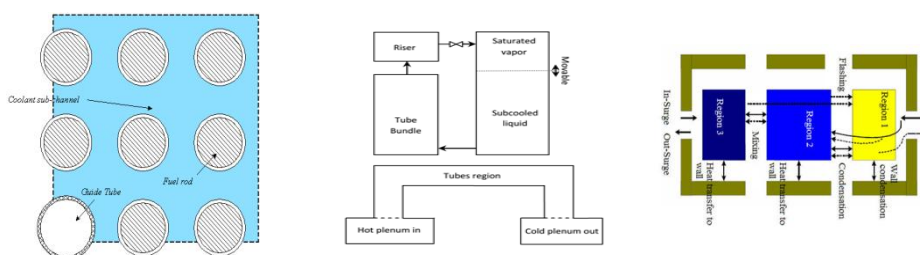
## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

یک مدل فیزیکی رفتار ترموهیدرولیک و نوترونیکی تمام اجزا و سیستم‌ها را با معادلات و فرمول‌های ریاضی معین و توابع مختلف شبیه سازی می‌کند.

مدل منطقی: یک مدل منطقی کنترل اتوماتیک هر فرایند و عملکرد حفاظت همه اجزا را با الگوریتم مشخصی شبیه سازی می‌کند [1].

قلب به صورت مجتمع‌های سوخت در نظر گرفته شده که در جهت شعاعی به ۹ قسمت و در جهت محوری به ۲۰ قسمت تقسیم بندی شده است و معادلات وابسته به زمان چند گروهی سه بعدی نفوذ را با در نظر گرفتن شش گروه نوترون تاخیری در معادله سینتیک نقطه‌ای برای محاسبات دینامیک راکتور حل می‌نماید. برای محاسبات دمای سیال در طول کانال از روش تک کانال گرم شونده استفاده شده است. محاسبات فشار در فشارنده توسط مدل شبه تعادلی سه ناحیه ای انجام گرفته است. همچنین مدل مولد بخار مورد استفاده در سیمولاتور UTRS-1 از حل معادلات بقاء برای هفت حجم کنترل در نظر گرفته شده تشکیل می‌گردد. این معادلات با حذف معادلات وابسته در نهایت منجر به تشکیل یک دستگاه معادله غیر خطی با ۹ معادله و ۹ مجهول می‌شود [1].



شکل ۱- گره بندی اجزای اصلی مدار اول در UTRS-1 (از سمت راست: مدل فشارنده-مدل مولد بخار-مدل قلب راکتور)

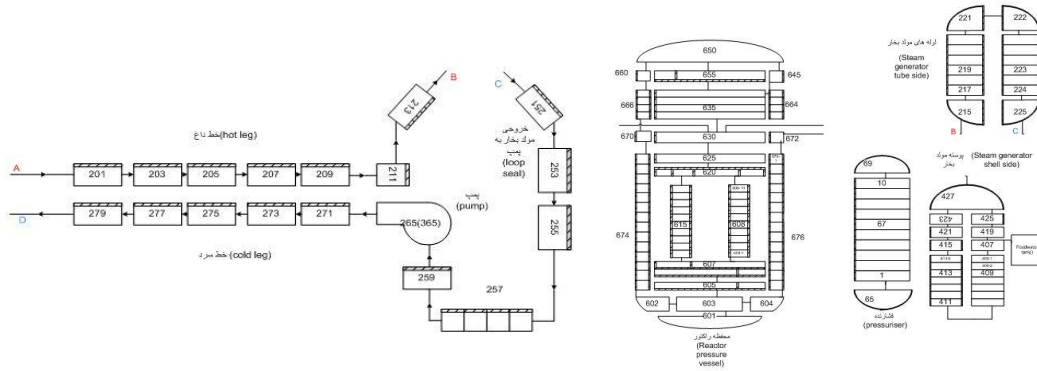
### شرح مدل‌سازی در RELAP5/MODE3.2

ورودی مدل برای کد RELAP5 بر اساس داده‌های طراحی راکتور UTRS-1 نوشته شده است. گره بندی‌های اصلی مدل در شکل ۱ نشان داده شده است [3].



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۲- گره بندی اجزای مدار اول در کد 3.2 mode/relap5

## حادثه خاموش شدن ناگهانی پمپ لوپ اول مدار اول راکتور

حادثه خرابی پمپ از دسته حوادث مبنای طراحی<sup>۲</sup> بوده در زیرمجموعه حوادث کاهش جریان سیستم خنک کننده راکتور<sup>۳</sup> قرار می گیرد که نتایج آن از نقطه نظر ایمنی غیر قابل چشمپوشی می باشد. این حادثه منجر به عدم موازنه بین حرارت تولید شده توسط سوخت و حرارت برداشت شده از قلب می شود که پتانسیل تجاوز از محدودیت های دمایی قلب یعنی DNBR را داشته و منجر به حالت گذرای کلی دما-فشار می گردد [2]. شرایط راکتور در شروع حادثه و پس از آن به شرح زیر می باشد:

- راکتور با قدرت ۱۰۰٪ در حال کار است.
- پمپ لوپ اول در ثانیه ۹۰ دچار خرابی شده است.
- پمپ لوپ دوم مدار اول همچنان در حال کار است.
- پس از گذشت ۰.۶ ثانیه از صدور سیگنال کاهش اختلاف فشار دو سر پمپ، سیگنال خاموشی آنی صادر شده و میله های کنترل به درون راکتور سقوط می کنند.
- پس از صدور سیگنال خاموشی آنی، شیر اصلی خروج بخار از مولدهای بخار بسته می شود.

## نتایج

در این بخش نمودارهای بدست آمده توسط شبیه ساز و کد RELAP5 در کنارهم نشان داده شده اند.

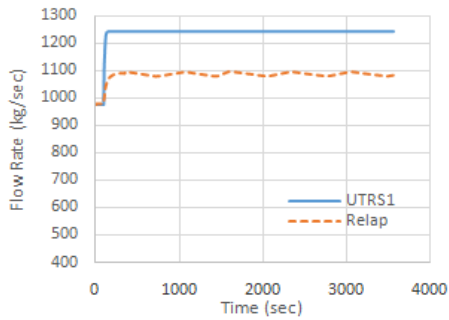
<sup>۲</sup>DBA

<sup>۳</sup>decrease in reactor coolant system flow rate

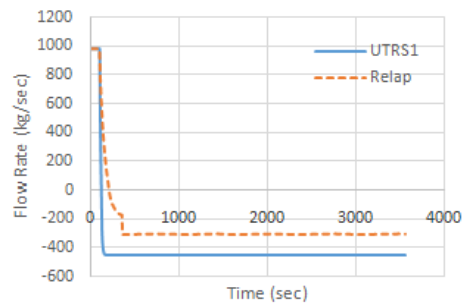


# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

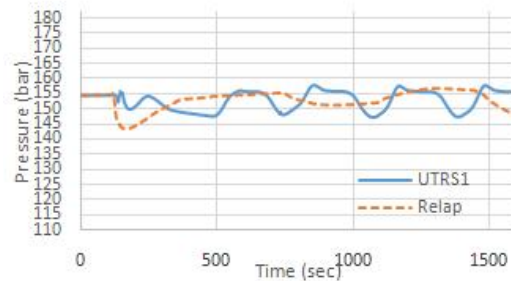
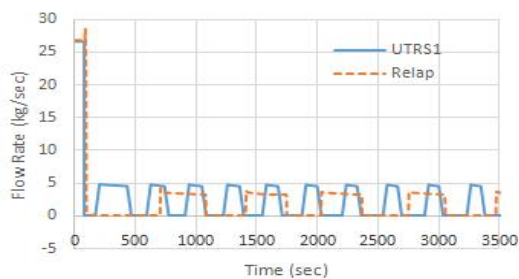


(ب)

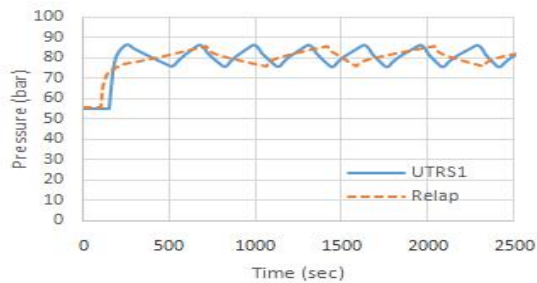


(الف)

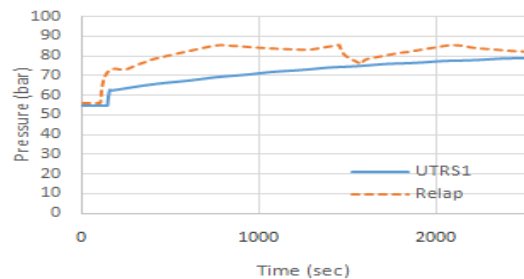
شکل ۳- الف) دبی لوپ معیوب، ب) دبی لوپ سالم



شکل ۴- فشار مدار اولشکل ۵- دبی بخار خروجی شیر اضطراری مولد بخار لوپ سالم



(ب)



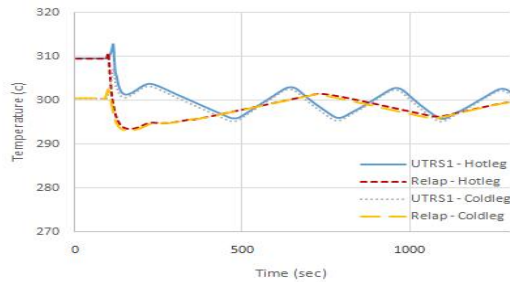
(الف)

شکل ۶- الف) فشار مولد بخار لوپ معیوب، ب) فشار مولد بخار لوپ سالم

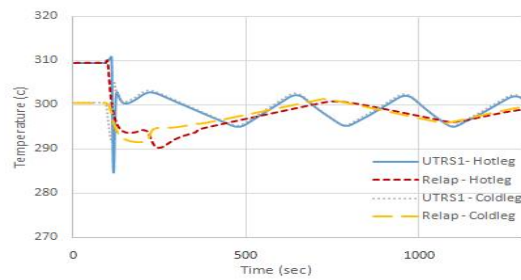


# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



(ب)



(الف)

شکل ۷- الف) دمای خط داغ و سرد در لوپ معیوب، ب) دمای خط داغ و سرد

## بحث

در اینجا به تحلیل نتایج به دست آمده از شبیه سازی با استفاده از دو نرم افزار RELAP5 و UTRS-1 می پردازیم. شکل ۳ الف و ب نشان دهنده تغییرات دبی لوپ های معیوب (A) و سالم (B) بر حسب زمان پس از وقوع حادثه خرابی پمپ در ثانیه ۹۰ می باشد. پمپ سالم آب خنک کننده را به درون محفظه راکتور فرستاده و بر اساس ضرایب افت فشار بین میله های سوخت و مسیر ورود آب از لوپ A، جریان آب به دو قسمت تقسیم شده و بخشی از بین میله های سوخت عبور کرده و بخش دیگر در جهت معکوس وارد لوپ A خواهد شد. بعلاوه، این پدیده بدلیل کاهش مقاومت هیدرولیکی کل باعث افزایش دبی آب در لوپ سالم خواهد شد. این رفتار در هر دو مدل به درستی دیده می شود.

با بررسی شکل ۴ می توان دریافت که با از دست رفتن جریان، کاهش ناگهانی فشار مدار اول اتفاق می افتد و سپس با عملکرد گرمکن های پشتیبان شاهد افزایش فشار بوده و در ادامه توسط اسپری کاهش فشار خواهیم داشت. سپس بدلیل نوسان فشار در مدار دوم شاهد نوسانات منظم فشار در مدار اول می باشیم. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می گردد پس از تریپ توربین و بسته شدن شیرهای خروجی بخار، با انتقال حرارت باقیمانده از مدار اول، فشار در مولدهای بخار بالا رفته و با رسیدن به ۸۶ بار، شیرهای تخلیه با خارج نمودن بخار، فشار و دما را کاهش می دهند. نوسانات مولد بخار لوپ سالم مدار دوم در نمودار شکل ۶ ب مشاهده می گردد. از آنجا که مولد بخار مربوط به لوپ معیوب جریان کمتری نسبت به لوپ سالم دریافت می نماید. در نتیجه انتظار داریم فشار در مولد بخار لوپ سالم به میزان بیشتری افزایش یابد. با توجه به نمودارهای شکل ۶ می توان دریافت در هر دو نرم افزار فشار در لوپ سالم به میزان بیشتری افزایش می یابد. طبق نمودار ۶ الف در نتایج Relap5 برای لوپ معیوب شیر تخلیه تنها یک بار عمل می کند. که بعلاوه اختلاف دمای اولیه بیشتر طبق نمودار ۷ الف و در نتیجه انتقال حرارت بیشتر در ابتدای

<sup>۴</sup>residual heat



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

معکوس شدن جریان و شیب تند افزایش فشار در RELAP5 می باشد در حالی که در سیمولاتور جریان سریعتر معکوس شده و اختلاف دمای خط داغ و سرد کمتر می باشد در نتیجه انتقال حرارت کمتر، شیب افزایش فشار نیز ملایمتر خواهد بود.

نمودارهای دمای شاخه‌های A و B در شکل ۷ نمایش داده شده است. در هر دو نمودار بدست آمده برای UTRS-1 و RELAP5 در لوپ A، با کاهش جریان خنک کننده میزان حرارت منتقل شده از طرف قلب به جرم معینی از سیال افزایش پیدا می کند و در نتیجه دمای خط داغ در ابتدا افزایش می یابد. همچنین در هر دو مدل با توجه به کاهش دبی جریان در لوپ معیوب و افزایش زمان ماند در مولد بخار، دمای خط سرد کاهش می یابد. دلیل نوسانات دما پس از خاموشی آنی راکتور، نوسانات فشار در مدار ثانویه، حرارت باقیمانده در قلب و عملکرد سیستم اسپری در راستای کاهش فشار مدار اول می باشد.

## نتیجه گیری

تفاوت‌های موجود در فرکانس نوسانات، ناشی از تفاوت در لختی مدل فیزیکی مولد بخار در تبدیل انرژی دریافت شده از مدار اول به فشار و در نتیجه خروج این انرژی به وسیله تخلیه بخار به اتمسفر می باشد. این لختی اثری در رفتار کلی نمودارها ندارد و تنها تعداد دفعات باز و بسته شدن شیر تخلیه را مشخص می کند. با بررسی تمام نمودارها نتیجه شد که بطور کلی مدل‌های مورد استفاده در شبیه ساز UTRS-1 پاسخ‌های صحیح و قابل قبولی داشته و شبیه ساز در شرایط بحرانی نیز به درستی عمل می نماید. علت تفاوت‌های مشاهده شده در نمودارها می تواند مربوط به تفاوت نوع گره بندی در دو مدل، نوع حل معادلات در RELAP5 و UTRS-1 و تفاوت در حجم بخار و مایع در نظر گرفته شده در مولد‌های بخار باشد که اثبات این نتایج نیاز به بررسی‌های دقیق‌تر دارد.

## مراجع

- [1]. UTRS-1 Technical document, EDIS, Iran, 2010
- [2]. Accident Analysis for Nuclear Power Plants With Pressurized Water Reactors, International Atomic Energy Agency, Austria, 21-23, 2003.
- [3]. RELAP5/MODE3.2 Code Manual, Idaho National Engineering Laboratory (INEL), Idaho, 1998.