

## چگونگی برداشت حرارت از مدار ثانویه بر اثر شکستگی خط بخار

### در یک راکتور VVER-1000 نوعی

نوید ایوبیان\*، وهاب‌الدین رفیعی

دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوریهای نوین، گروه مهندسی هسته‌ای

#### چکیده:

فقدان خنک کننده در مدار ثانویه به دلیل شکستگی در لوله‌ی بین مولد بخار و توربین باعث کاهش فشار در مدار ثانویه شده، و این امر سبب می‌گردد سیستم‌های کنترلی به منظور افزایش آب تغذیه وارد مدار شوند. تزریق آب به مدار ثانویه که با خروج بخار از درون شکستگی همراه است، باعث کاهش میانگین دما و فشار خنک کننده در مدار اولیه می‌گردد. این مقاله به بررسی تاثیر و پیامدهای از دست رفتن خنک کننده مدار ثانویه، به دلیل شکستگی در خط بین مولد بخار و شیر اصلی جدا کننده‌ی بخار (Main Stream Isolation Valve)، در یک راکتور VVER-1000 نوعی می‌پردازد. تحلیل ترموهیدرولیکی این حادثه توسط کد RELAP5 نشان می‌دهد که معیارهای ایمنی در نظر گرفته شده برای این حادثه برآورده می‌شود.

کلید واژه: فقدان خنک کننده - راکتور VVER-1000 - شکستگی در مدار ثانویه - RELAP5

#### مقدمه:

#### توالی حادثه و عملکرد سیستم‌ها:

شکستگی در خط خروجی مولد بخار یک راکتور VVER-1000 نوعی، رویداد مهم در حادثه‌ی مورد بررسی می‌باشد. پس از این حادثه فشار در مدار ثانویه به شدت افت پیدا کرده و با افزایش جریان خنک کننده، میزان انتقال حرارت در مدار اولیه افزایش می‌یابد. حداکثر جریان بخار در لوله‌ی آسیب دیده مولد بخار در ابتدای این پروسه به  $2500 \text{ kg/s}$  می‌رسد. در این حادثه فشار به کمتر از  $4/9 \text{ Mpa}$  رسیده و اختلاف دمای اشباع بین مدار اولیه و ثانویه به بیش از  $75^\circ\text{C}$  افزایش می‌یابد.

پس از حادثه فرمان خاموشی راکتور صادر شده و شیر اصلی جدا کننده بخار (Main Stream Isolation Valve) بسته می‌شود. زمانی که فشار لوله‌ی اصلی بخار کمتر از  $4/4 \text{ Mpa}$  و اختلاف دمای اشباع بین مدار اولیه و ثانویه بیش از  $75^\circ\text{C}$  گردد، سیگنال قطع جریان آب تغذیه (اصلی و اضطراری) صادر شده و پمپ خنک کننده از مدار خارج می‌گردد. پس از خاموش سازی راکتور و قطع جریان آب تغذیه در مولد بخار

آسیب دیده، دمای خنک کننده در مدار اولیه تا لحظه‌ی تخیله مولد بخار، پایین باقی مانده و پس از تخیله مولد بخار افزایش می‌یابد. همچنین بسته شدن شیر اصلی جدا کننده‌ی بخار در مولدهای بخاری که آسیب ندیده‌اند، منجر به افزایش فشار در آنها می‌گردد. در صورتی که جریان آب تغذیه در این مولدها وصل نشده باشد، پرسنل باید تا ۳۰ دقیقه پس از شروع حادثه آن را مجدداً وصل نمایند [۱-۳].

### معیارهای ارزیابی ایمنی:

توجیه ایمنی راکتور، در حالت ذکر شده، براساس آنالیز معیارهای قابل قبولی است که برای این حادثه مشخص شده‌اند [۱-۳]:

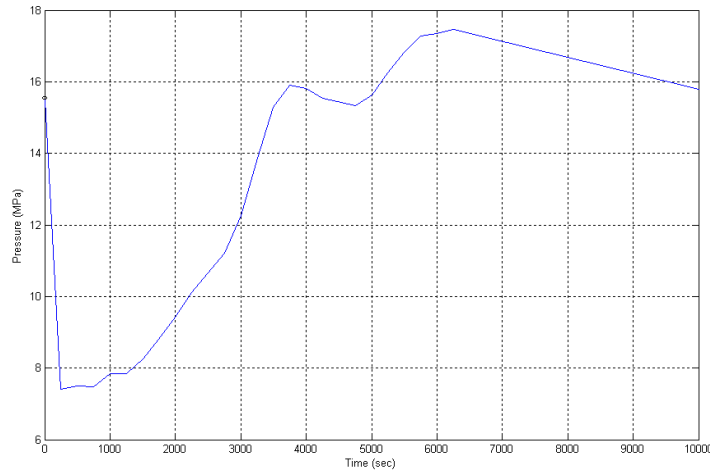
- فشار در سیستم خنک کننده‌ی اولیه و خطوط اصلی بخار نباید از ۱۵٪ مقدار پیش بینی شده تجاوز کند، یعنی فشار اولیه و ثانویه نباید به ترتیب از  $20/24 \text{ Mpa}$  و  $9/02 \text{ Mpa}$  بیشتر شوند.
- باید توجه داشت شرایط حادثه نباید وخیمتر گردد، بدین معنا که حادثه‌ی فعلی نباید گسترش بیشتری یابد و یا به وضعیت بدتری تبدیل شود.
- سیستم خنک کننده‌ی اولیه باید در حالت ایمن قرار گیرد، یعنی عمل خنک کننده‌گی کوتاه و طولانی مدت قلب تضمین شده باشد.
- فشار سیستم خنک کننده‌ی اولیه و خطوط اصلی بخار با احتساب سایر خرابی‌ها باید کمتر از محدودیت‌های مجاز در نظر گرفته شده در طراحی باشد.
- قرص‌های سوخت حتی به صورت موضعی هم نباید ذوب شوند.
- حداکثر دمای غلاف میله‌ی سوخت کمتر از  $1200^\circ\text{C}$  باشد.
- اکسیداسیون موضعی مربوط به غلاف سوخت کمتر از ۱۸٪ ضخامت اصلی غلاف باشد.
- کسری از زیرکونیوم در غلاف میله‌های سوخت که تحت واکنش قرار گرفته است باید کمتر از ۱٪ کل جرم آن در قلب باشد.

### روش کار:

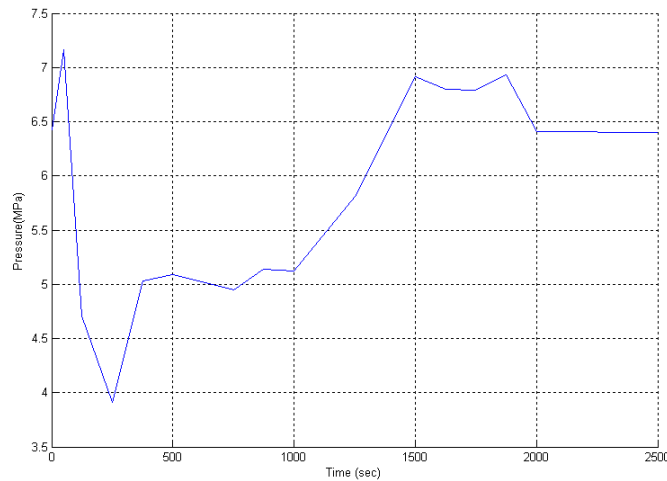
محاسبات مربوط به شکستگی لوله‌ی اصلی بخار توسط کد *RELAP5* انجام گرفته است [۴]. در این شبیه‌سازی فشارنده به مدار ۱ متصل شده و شکستگی در لوله‌ی مربوط به خروجی مولد بخار در مدار دیگری (مثلاً ۲) در نظر گرفته شده است. میزان خنک کنندگی در مدار اولیه به موجودی آب قابل دسترس در مولد بخار بستگی دارد و فرض شده که حجم آب در مولد بخار حداکثر مقدار ممکن باشد [۲،۳]. هنگامی که سطح آب در مولد بخار بیش از  $0/6 \text{ m}$  باشد، مقدار انتقال حرارت ثابت فرض می‌شود. اگر این سطح بین  $0/2 - 0/6 \text{ m}$  قرار گیرد، میزان انتقال حرارت وابستگی خطی به سطح آب مولد بخار خواهد داشت. در صورتی که این مقدار کمتر از  $0/2 \text{ m}$  شد، هیچ انتقال حرارتی در نظر گرفته نمی‌شود. زیرا مخلوط آب و بخار پایین‌تر از ردیف اول تیوب‌ها در مولد بخار قرار می‌گیرند [۲،۳].



19 th Iranian's Nuclear Conference

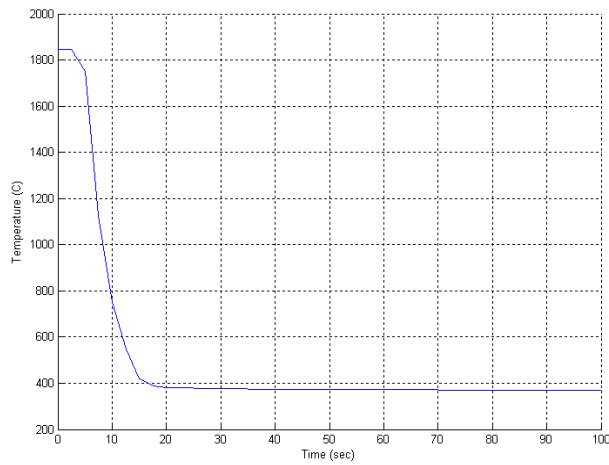


شکل ۱: فشار مدار اولیه

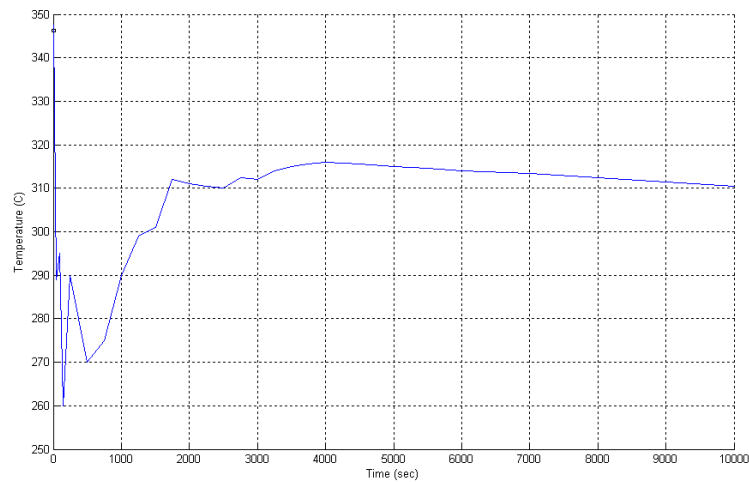


شکل ۲: فشار مدار ثانویه

حداکثر دمای قرص سوخت باید کمتر از دمای ذوب دی اکسید اورانیوم ( $2400^{\circ}\text{C}$ ) برای سوخت مصرف شده و  $2550^{\circ}\text{C}$  برای سوخت تازه) و حداکثر دمای غلاف نیز کمتر از  $1200^{\circ}\text{C}$  باشد. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب دمای قرص سوخت و غلاف میله‌ی سوخت را نشان می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها حداکثر دمای قرص  $1850^{\circ}\text{C}$  و حداکثر دمای غلاف  $315^{\circ}\text{C}$  به دست آورده شده است که بیان کننده‌ی ارضاء معیارهای لازم ایمنی می‌باشد.

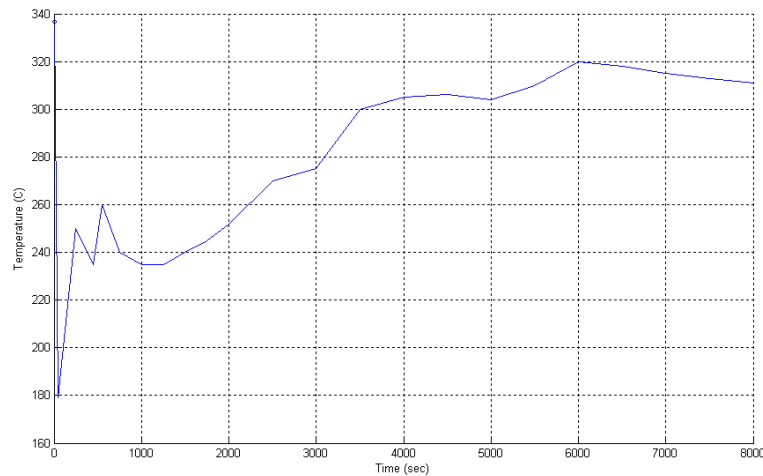


شکل ۳: دمای قرص سوخت



شکل ۴: دمای غلاف میله‌ی سوخت

شکل ۵ نیز دمای خنک کننده‌ی مدار اولیه در *Cold Leg* را نشان می‌دهد. با توجه به شکل حداقل دمای خنک کننده  $179^{\circ}\text{C}$  بوده و بنابراین معیار ایمنی ارضاء شده است، زیرا حداقل این دما بر اساس معیارهای ایمنی  $120^{\circ}\text{C}$  می‌باشد.



شکل ۵: دمای خنک کننده در مدار اولیه

### بحث و نتیجه گیری:

براساس نتایج مشاهده شده، در صورت شکستگی یکی از لوله‌های مربوط به خروجی مولد بخار در یک راکتور VVER-۱۰۰۰ نوعی، با توجه به اقدامات در نظر گرفته شده، معیارهای ایمنی موجود برآورده شده و راکتور در حالت ایمن نگاه داشته می‌شود.

### مراجع:

۱. Recommendations for accident analysis for NPP with WWER type reactors, IAEA-EBP-WWER-۰۱. IAEA, ۱۹۹۰.
۲. Standard format and contents of safety analysis report of nuclear stations. Part ۱۰. GUIDE ۱,۷۰, ۱۹۷۸.
۳. Ministry of Russian Federation of Atomic Power. Preliminary Safety Analysis Report (PSAR) for Bushehr Nuclear Power Plant. Moscow, ۲۰۰۱.
۴. RELAP<sup>۵</sup>/MOD<sup>۳,۳</sup> CODE MANUAL. Information Systems Laboratories, Inc. Rockville, Maryland. Idaho Falls, Idaho. December ۲۰۰۱.