ارائه مدل شبه دوبعدي مولد بخار نيروگاه اتمي بوشهر با استفاده از کد RELAP5

احسان ظریفی[۱*]، غلامرضا جهانفرنیا[۱]، سید خلیل موسویان[۲]

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۲. سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشکده رآکتور، تهران، ایران

چکیده

یکی از اجزاء مهم و استراتژیک در تمامی نیروگاههای هسته ای با رآکتور آب تحت فشار، مولد بخار می باشد. جهت آنالیز رفتار پایا و گذرای یک نیروگاه هسته ای، داشتن مدل ترموهیدرولیکی مطمئنی از مولد بخار بسیار ضروری است. در این مقاله با استفاده از قابلیتهای کد RELAP5 یک مدل ترموهیدرولیکی شبه دو بعدی جهت آنالیز مولد بخار افقی PGV-1000 ارائه گردیده است. با بکار گیری این مدل، رفتار پایدار مولد بخار استخراج و با نتایج مدارک مربوط به نیروگاه اتمی بوشهر و دیگر مراجع ذکر شده در مقاله مقایسه شده است. از مزایای مدل ترموهیدرولیکی پیشنهادی، در نظر گرفتن جریان cross-flow و نزدیکی مدل با هندسه واقعی مولد بخار می باشد.

کلید واژه ها : مولد بخار، رآکتور بوشهر، محاسبات ترمو هیدرولیکی، کد RELAP5

مقدمه

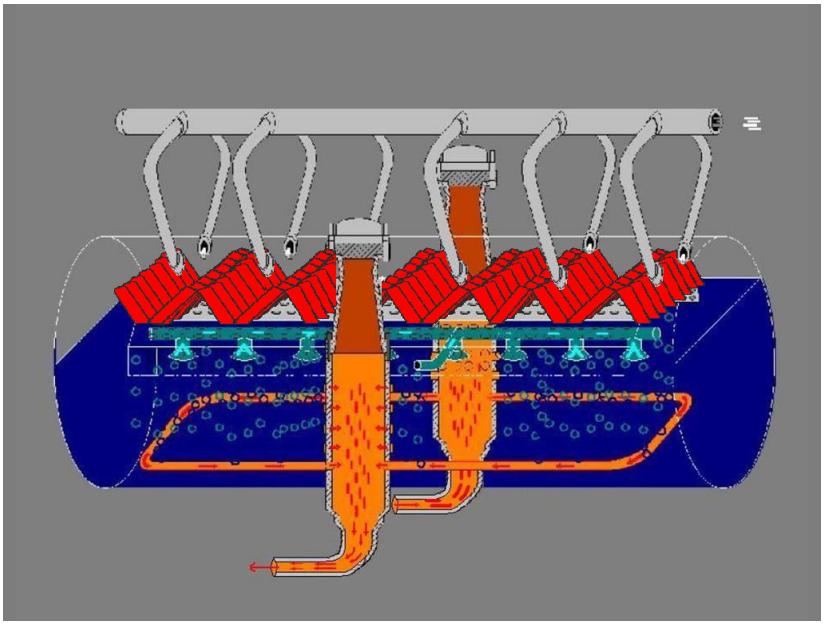
مولد بخار در نیروگاههای هسته ای با رآکتور آب تحت فشار یکی از قسمت های حساس مدار اولیه و ثانویه بوده و نقش آن تأمین دبی بخار لازم در مدار ثانویه از طریق برداشت حرارت از سیال مدار اولیه می باشد. رفتار این نوع مولدهای بخار با توجه به مکانیزم گردش طبیعی و دو فاز بودن سیال مدار ثانویه بسیار پیچیده می باشد. بکارگیری کدهای ترموهیدرولیکی هسته ای قوی از جمله RELAP5، TRAC، ATLETH، CATHARE و ... کمک شایانی به انجام این مدل سازی می نماید. انتخاب کد RELAP5 جهت مدلسازی مولد بخار، به دلیل قابلیت این کد در تحلیل ترموهیدرولیکی سیالهای دو فازی و در اختیار داشتن مدلهای مربوطه می باشد. در این مقاله به آنالیز و بررسی نتایج محاسبات مولد بخار PGV-1000 با بکارگیری نُدبندی مناسب از کد RELAP5 پرداخته شده و نتایج بدست آمده از کد با گزارشات FSAR نیروگاه اتمی بوشهر و دیگر مراجع ذکر شده، مقایسه شده است .

روش کار

۱- توصیف مولد بخار PGV-1000

هدف از کاربرد مولدهای بخار در نیروگاههای هسته ای با رآکتور آب تحت فشار، انتقال انرژی حرارتی از یک سیال با دما و فشار بالا به یک سیال با دما وفشار پائین تر می باشد. مولد بخار نیروگاه اتمی بوشهر از نوع PGV-

1000 بوده که انتقال حرارت در آن توسط لوله های افقی صورت می پذیرد. شکل ۱ شمای عملکرد این نوع مولد بخار را نشان می دهد. افت حرارتی سیال خنک کننده مدار اولیه هنگام عبور از بسته لوله های U شکل، صرف تبدیل آب مدار ثانویه به بخار می گردد. بخار تولیدی پس از عبور از خشک کننده، رطوبت آن گرفته شده و بخار اشباع به سمت توربین جریان می یابد. اجزاء اصلی این مولد بخار شامل: بدنه مولد بخار، دو جمع کننده (Collector) عمودی، بسته لوله های افقی، دو دریچه آدم رو (manhole) به طرف ثانویه، نازل آب تغذیه (Feed-water)، نازلهای آب تغذیه اضطراری، زیر آب (Blow-down)، خشک کننده بخار، خطوط لوله بخار و کلکتور بخار می باشد.



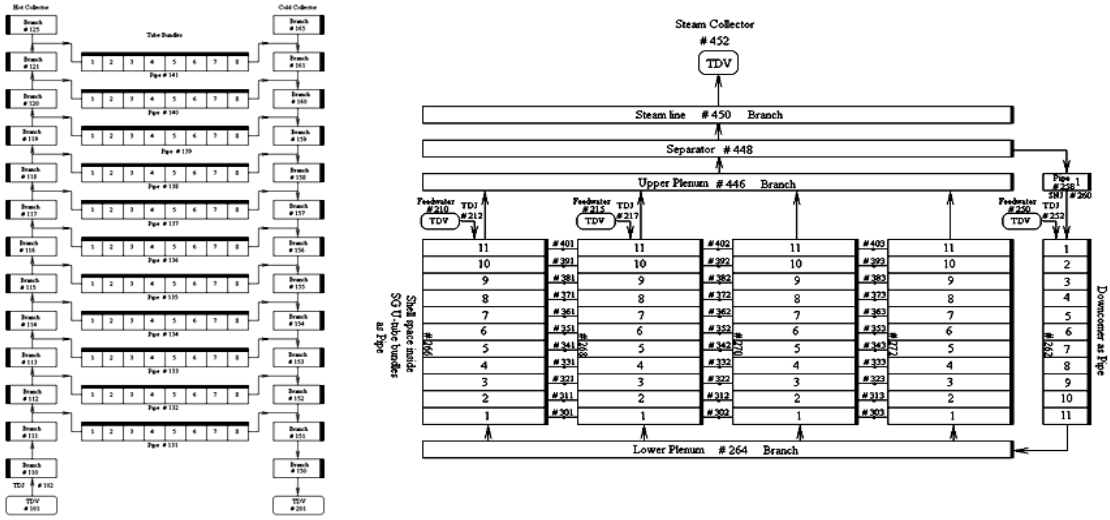
شکل (۱) شماتیک عملکرد مولد بخار PGV-1000

۲- توصیف کد RELAP5 [۴]

کد تحلیل حالت گذرای رآکتورهای آب سبک، RELAP (Reactor Excursion and Leak Analysis Program) در آزمایشگاه ملی مهندسی آیداهو در آمریکا توسعه یافته است. در این کد مدل سیال بر اساس معادلات توازن جرم و انرژی در هر حجم کنترلی بوده، که این حجمها توسط اتصالاتی (Junctions) به یکدیگر متصل شده اند. مدل ترموهیدرولیکی سیال دو فازی شامل فرآیندهای ترانسپورت بین مرزی در معادلات جرم، ممنتوم و انرژی می باشد. تحلیل یک مسئله در کد RELAP5 شامل مراحل ۱) جمع آوری، سازمان دهی اطلاعات و در نظر گرفتن شرایط مرزی، ۲) تعریف و نُدبندی مسئله، ۳) اطمینان از کیفیت مدل و ۴) اجرای کد وتحلیل نتایج می باشد.

۳- مدلسازی مولد بخار PGV-1000 با استفاده کد RELAP5

به طور کلی قبل از ارائه مدل برای هر طرحی، شناخت و درک پدیده های موجود در آن بسیار ضروری است، به طوریکه مدل ارائه شده برای یک طرح باید از نظر هندسی با سیستم مورد مطالعه مطابقت داشته باشد، در شرایط پایا، نتایج حاصل از مدلسازی با مقادیر اندازه گیری شده همخوانی داشته باشد و در شرایط گذرا، رفتار صحیحی از سیستم را بیان کند. مدلسازی مولد بخار در دو بخش اولیه و ثانویه انجام گرفته است. قسمت اولیه مولد بخار (۱۰۹۷۸ لوله) با ۱۱ گروه مختلف از لوله ها و در هر گروه با ۸ حجم کنترلی مدلسازی شده است. قسمتهای ورودی و خروجی (Hot & Cold Collectors) نیز با ۱۳ حجم کنترلی از نوع Branch شبیه سازی شده است. قسمت ثانویه مولد بخار در ۸ ناحیه شامل: lower plenum، ناحیه قرارگیری بسته لوله های مبدل حرارتی (Shell space inside SG U-tube Bundle)، upper plenum، down-comer، ورود آب تغذیه، جداکننده بخار (separator)، لوله های بخار و کلکتور بخار تقسیم شده است. ناحیه قرار گیری بسته لوله های مبدل حرارتی شامل ۴ گروه لوله عمودی بوده که توسط ۳۳ اتصالات افقی جهت شبیه سازی cross-flow junctions مدلسازی شده است. همچنین یک کنترل کننده سطح آب نیز در نظر گرفته شده که سطح آب مولد بخار را در کانالهای مختلف جریان، در زمانهای مختلف نشان می دهد. شکل ۲ نودالیزه به کار رفته در کد RELAP5 برای مدل نمودن قسمتهای اولیه و ثانویه مولد بخار را نشان می دهد.



شکل (۲) نودالیزه طرف اولیه و ثانویه مولد بخار PGV-1000

نتایج

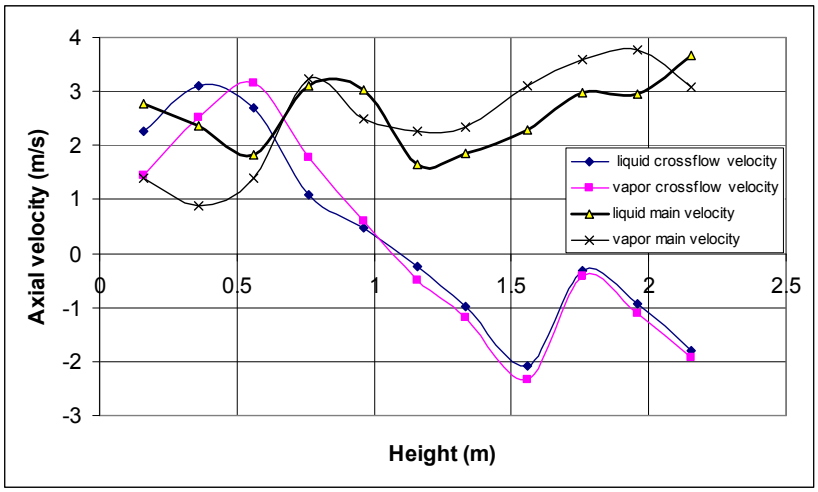
در جدول ۱ مقایسه نتایج محاسبات انجام شده با کد RELAP5 و مقادیر طراحی [۲] ارائه شده است.

همانطور که ملاحظه می گردد نتایج حاصل از مدلسازی با مقادیر طراحی تقریباً انطباق دارد و تفاوتها را می توان مربوط به خطای مدلسازی دانست.

جدول (۲) مقایسه بین مقادیر طراحی و مقادیر محاسبه شده از کد RELAP5

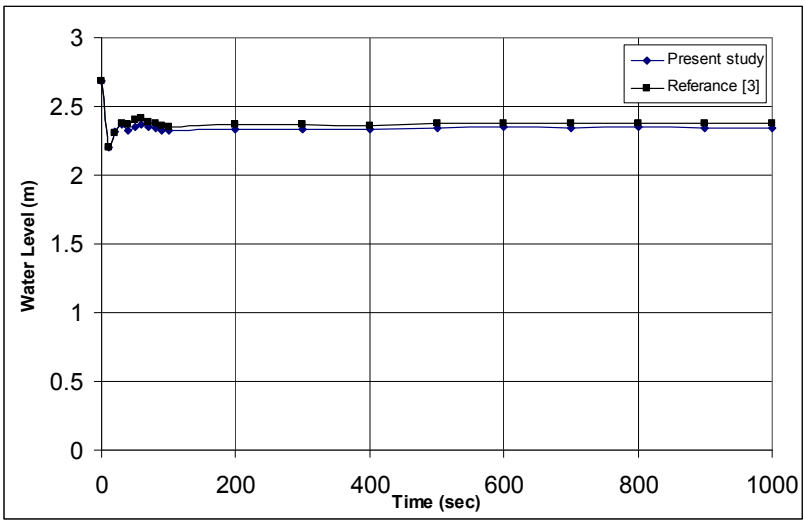
پارامتر	مقدار طراحی	مقدار محاسبه شده
توان حرارتی، (MW)	۷۵۳	۷۵۱/۲
ظرفیت بخار، (Kg/s)	۴۰۸/۳	۴۰۶/۸
دمای بخارخروجی، (^{o}C)	۲۷۸/۵	۲۷۸/۴
در صد جدا سازی خشک کننده (جدا کننده)	۹۹/۹	۹۷/۳

در شکل ۳ نمودار گرادیان سرعت در اولین کانال جریان عمودی و اتصالات جانبی (cross-flow junctions) ارائه شده است. مطابق نمودار ۳ ملاحظه می گردد که سرعت جریان در cross-flow junctions در نقاط مختلف، قابل مقایسه با سرعت در کانالهای جریان عمودی بوده لذا در نظر گرفتن cross-flow junctions جهت دستیابی به نتایج قابل قبول ضروری می باشد.



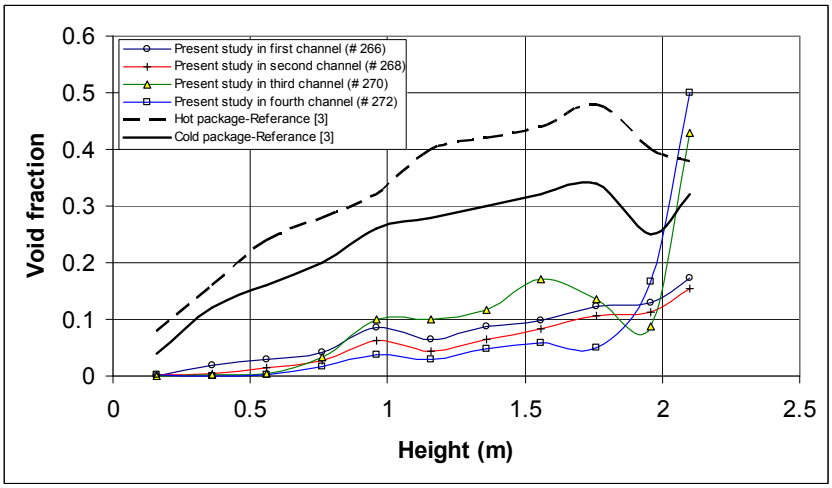
شکل (۳) سرعت در اولین کانالهای جریان عمودی واتصالات جانبی (cross-flow junction)

در نمودار ۴ تغییرات سطح آب در زمانهای مختلف ارائه و با نتیجه ارائه شده در [۳] مقایسه شده است، همانطور که ملاحظه می گردد منحنی تغییرات دارای روند تقریباً یکسانی می باشد.



شکل (۴) نمودار کنترل سطح آب در زمانهای مختلف با استفاده کد RELAP5 و مقایسه آن با مرجع [۳]

در نمودار ۵ توزیع کسر خلأ (Void fraction) با [۳] مقایسه شده است. ملاحظه می گردد که الگوی توزیع کسر خلأ با مقادیر مندرج در مرجع متفاوت است. تفاوت مذکور به دلیل لحاظ نکردن cross-flow junctions و احتمالاً به دلیل تفاوت موجود در نحوه مدلسازی هندسی سیستم در مرجع [۳] می باشد.



شکل (۵) مقایسه توزیع کسر خلأ در کانالهای جریان مختلف با [۳]

بحث و نتیجه گیری

هدف از اجرای این پروژه، ارائه مدل ترموهیدرولیکی مولد بخار با جریان جابجایی طبیعی بوده که نتایج استخراج شده در خصوص پارامترهای ترموهیدرولیکی جهت اطمینان از صحت مدلسازی با مقادیر مراجع موجود مقایسه و تحلیل جامعی از عملکرد مولد بخار ارائه گردد. لازم به ذکر است که با در اختیار داشتن مدل مذکور عملاً می توان رفتار مولد بخار را در شرایط پایدار و گذرا پیش بینی نمود.

از مزایای مدل ارائه شده در نظر گرفتن cross-flow junctions در ناحیه قرارگیری بسته لوله های مبدل حرارتی می باشد، که بدون لحاظ نمودن آن دستیابی به نتایج قابل قبول و نزدیک شدن به الگوی جریان واقعی در مولد بخار وجود ندارد.

با توجه به نتایج بدست آمده از کد RELAP5، در کارهای آینده، امکان سنجی تغییر محل آب تغذیه (Feed-water) و تخلیه (Blow-down) و اثرات آن در توزیع کسر خلأ (Void fraction) و غلظت ناخالصیها و همچنین آنالیز حوادث (سناریوهای) مختلف بر روی مدل اجرا شده و آنالیز رفتار دینامیکی سیستم قابل بررسی خواهد بود.

مراجع

۱- مدارک موجود در مرکز اسناد فنی سازمان انرژی اتمی ایران مربوط به مولد بخار نیروگاه اتمی بوشهر، شرکت افق هسته ای.

2- Bushehr NPP-Final Safety Analysis Report (FSAR), Atomic Energy Organization of Iran.

3- F. D'Auria, M. Frogheri, G. M. Galassi, MODELLING OF WWER-1000 STEAM GENERATORS BY RELAP5/MOD3.2 CODE, Fourth international seminar on horizontal steam generators, Lappeenranta, Finland, 11-13 March, 1997.

4- RELAP5/MOD3.2 code manual.

5- A. A. Kazantsev, S.V. Victorovich, 3D MODELING OF PGV-1000 STEAM GENERATOR WITH TRAC CODE, Safety assurance of NNP with WWER, May 23-26 2005, Podolsk, Russia.

6- Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Steam generator, IAEA-TECDOC-981, 1997.

7- B. I. Nigmatulin, V. I. Melikhov, O. I. Melikhov "Thermal-Hydraulic Analysis of Horizontal Steam Generator", The 2nd International Conference on Multiphase Flow. April 3-7, 1995, Kyoto, Japan, Proceedings, V.4, p.P8-9-P8

8- V. I. Melikhov, O. I. Melikhov, B. I. Nigmatulin, NUMERICAL MODELING OF SECONDARY SIDE OF THERMOHYDRAULICS OF HORIZONTAL STEAM GENERATOR, Third international seminar on horizontal steam generators, Lappeenranta, Finland, October 18-20,1994.