



بررسی پارامترهای ترموهیدرولیکی محفظه ایمنی راکتور در حادثه LOCA در حالت چند

حجمی

محمدصادقی آزاد، محمدباقر*^(۱) - چوبداررحیم، فرزاد^(۲)

دانشگاه صنعتی ارومیه، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مکانیک

دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مکانیک

چیکده

در این مقاله شکستگی گیوتینی که در شاخه سرد خنک کننده یک راکتور AP1000 اتفاق افتاده مدل سازی شده است. در مدل سازی انجام شده محفظه ایمنی چند حجمی در نظر گرفته شده است و معادلات مربوط به آنها را نوشته شده است و همچنین تاثیر انتقال حرارت و میعان بر روی آن بررسی شده است، لازم به توضیح است که مدل سازی با نرم افزار MATLAB انجام شده است. سپس نمودارهای تغییرات فشار، دما، کیفیت و انتقال حرارت با زمان ترسیم گردیده و سپس نتایج به دست آمده با نتایج موجود مقایسه شده است.

کلمات کلیدی: راکتور AP1000، مدل سازی چند حجمی، شاخه سرد خنک کننده، انتقال حرارت، دوفاری.

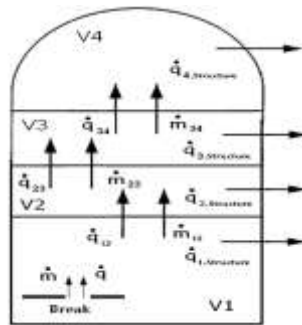
مقدمه:

در این مقاله یکی از حوادث مهمی که در محفظه ایمنی راکتورها رخ می دهد مدل سازی شده است. این حادثه مربوط به وارد شدن آب خنک کننده به داخل محفظه ایمنی در اثر شکستن لوله خنک کننده می باشد، که در این حادثه آب خنک کننده باعث افزایش دما و فشار محفظه ایمنی می گردد که اگر از افزایش این دما و فشار در داخل محفظه ایمنی جلوگیری نگردد، باعث می شود که فشار محفظه ایمنی از فشار طراحی بیشتر گردیده و در نتیجه محفظه ایمنی راکتور دچار آسیب گردد و در این صورت ممکن است که مواد رادیواکتیو وارد محیط زیست شده و باعث آلودگی آن گردد که این حادثه زمانی به اوج خود خواهد رسید که لوله خنک کننده از وسط دو نصف گردد که این خود نیز به دو حالت تقسیم میگردد: (۱) شکستگی در شاخه گرم لوله خنک کننده، (۲) شکستگی در شاخه سرد لوله خنک کننده. در این مقاله شکستگی گیوتینی که در شاخه سرد خنک کننده یک راکتور [1] AP1000 اتفاق افتاده مدل سازی شده است. در مدل سازی انجام شده محفظه ایمنی چهار حجمی در نظر گرفته شده است و معادلات مربوط به آنها را نوشته شده است و همچنین تاثیر انتقال حرارت و میعان بر روی آن بررسی شده است.

روش کار:

معادلات حاکم برای مدل‌سازی محفظه ایمنی در حالت چند حجمی:

در این بخش به معرفی معادلات استفاده شده در مدل‌سازی چند حجمی پرداخته شده است. در این مدل سازی محفظه ایمنی راکتور را صورت چهار حجمی تقسیم بندی کرده و معادلات بقای جرم و انرژی را برای آنها می نویسیم، و همچنین از معادله بقای ممتوم برای انتقال جرم در اثر اختلاف فشار بین دو حجم استفاده شده است، در شکل ۱ یک تقسیم بندی از محفظه ایمنی در حالت چهار حجمی نشان داده شده است [2].



شکل ۱- محفظه چهار حجمی مدل سازی شده

معادله بقای جرم:

$$\frac{dM}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \sum_i \dot{m}_i \quad (1)$$

که در این رابطه \dot{m}_{in} دبی جرمی خروجی از محل شکستگی لوله cold leg، و \dot{m}_{out} دبی جرمی ورودی از حجم اول به حجم دوم میباشد.

معادله بقای انرژی:

$$\frac{dU_{c.v}}{dt} = \dot{Q}_{c.v} - \dot{W}_{c.v} + \dot{m}_i e_i - \dot{m}_e e_e + \dot{W}_{flow\ in} \quad (2)$$

$$\dot{W}_{flow\ in} = FV = \int PVdA = Pvm$$

$$\frac{dU_{c.v}}{dt} = \dot{Q}_{c.v} - \dot{W}_{c.v} + \dot{m}_i (e_i - P_i v_i) - \dot{m}_e (e_e - P_e v_e) \quad (3)$$

معادله (3) را می توان به شکل زیر نوشت:

$$\frac{dU_{c.v}}{dt} = \dot{Q}_{c.v} - \dot{W}_{c.v} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{1}{2} v_i^2 + gZ_i \right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{1}{2} v_e^2 + gZ_e \right) \quad (4)$$

که کار حجم کنترل در حجمی برابر صفر میباشد به عبارت دیگر:

$$\dot{W}_{c.v} = P_i \frac{dV_i}{dt} = 0$$

معادله بقای ممتوم:

از این معادله برای انتقال جرم بین یک حجم با حجم های اطرافش استفاده می کنیم.

$$\frac{d\dot{m}_{ij}}{dt} = \left(\Delta P - C_{FC} \frac{|\dot{m}_{ij}| \dot{m}_{ij}}{\rho(A)^2} \right) \frac{A}{L} \quad (5)$$

که در این رابطه جرم تبادل شده بین دو حجم، ΔP اختلاف فشار بین دو حجم، CFC ضریب افت سیال، ρ دانسیته سیال، A سطح تماس بین دو حجم و L فاصله مراکز بین دو حجم میباشد.

و فشار کل و دمای کل هر حجم و فشار و دمای میانگین محفظه از رابطه زیر محاسبه می کنیم:

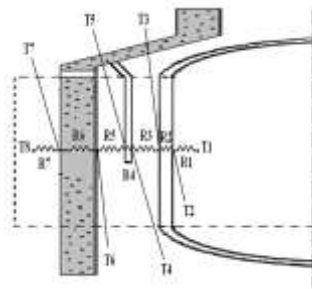
$$P_{total-i} = P_{air-i} + P_{water-i} + P_{steam-i} \quad (9)$$

$$T_{total-i} = \frac{(m_{water-i})(T_{water-i}) + (m_{steam-i})(T_{steam-i})}{(m_{water-i} + m_{steam-i})} \quad (10)$$

$$P_{average} = \frac{\sum_{i=1}^4 P_i V_i}{\sum_{i=1}^4 V_i}, \quad T_{average} = \frac{\sum_{i=1}^4 T_i V_i}{\sum_{i=1}^4 V_i} \quad (11)$$

معادلات حاکم در انتقال حرارت از محفظه ایمنی:

در شکل (۲) مقاومت هایی گرمایی موجود از داخل محفظه ایمنی تا محیط بیرون نشان داده شده است. معادلات انتقال حرارت استفاده شده در این مدل سازی در ادامه توضیح داده شده است.



شکل ۲- مقاومت های گرمایی چند لایه ای

برای محاسبه ضریب جابجایی محیط بیرون و Gap1 و Gap2 از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$h = \frac{Nu_l K}{l} \quad (12)$$

$$\overline{Nu}_l = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_l^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (13)$$



$$h = \frac{\left\{ 0.825 + \frac{0.387 \left(\frac{g(T_s - T_\infty)l^3}{T_v^2} Pr \right)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 K}{l} \quad (14)$$

که در این روابط Gr_l عدد گرافش، Ra_l عدد رایلی، Pr عدد پراتل، \overline{Nu}_l عدد ناسلت میباشند.
 h_{cont} ضریب جابجایی محیط داخل محفظه ایمنی برای میعان گاز از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$h_{cont} = 0.943 \left(\frac{9.8 \frac{1}{v_f} \left(\frac{1}{v_f} - \frac{1}{v_g} \right) K_f^3 h_{fg1}}{\mu_f (T_{sat} - T_{wall}) l} \right)^{0.25} \quad (15)$$

$$h_{fg1} = h_{fg} + 0.68 C_{pf} (T_{sat} - T_{wall}) \quad (16)$$

که در روابط بالا v_f ، v_g ، K_f ، μ_f ، h_{fg} و C_{pf} به ترتیب حجم مخصوص مایع، حجم مخصوص بخار، ضریب هدایتی مایع، ضریب ویسکوزیته مایع، آنتالپی اشباع آب و ظرفیت گرمایی مایع می باشند.

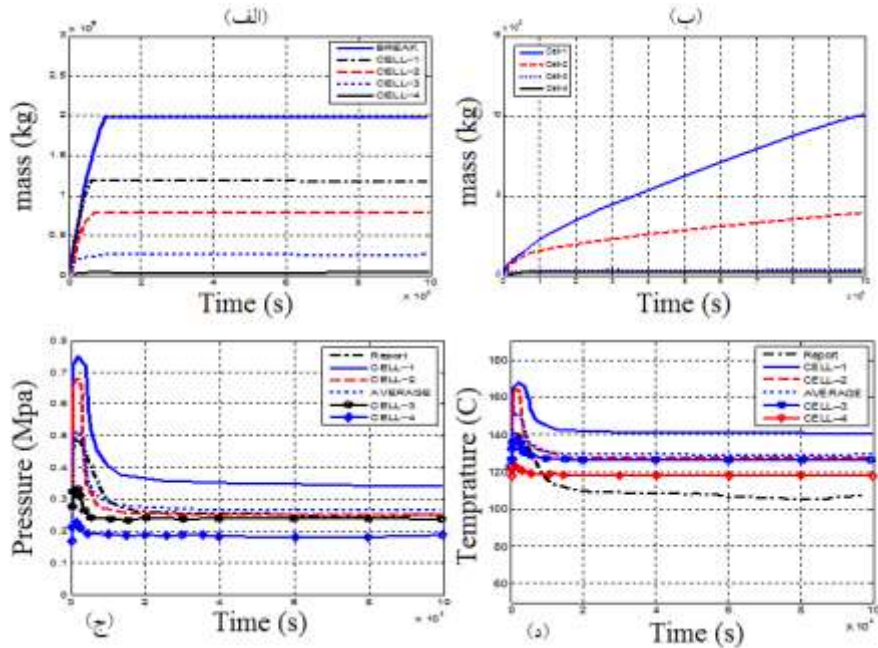
نتایج:

مقادیر اولیه و ابعاد هندسی محفظه ایمنی راکتور در جدول ۱ داده شده است.

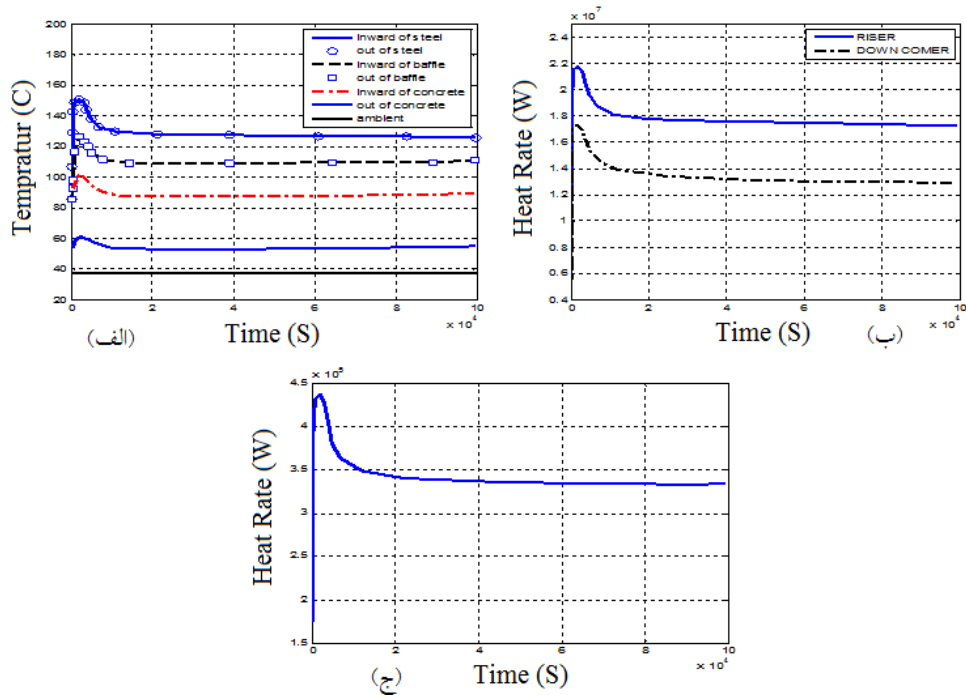
جدول ۱- مشخصات هندسی و شرایط اولیه محفظه ایمنی راکتور AP1000 [3].

پارامتر	توضیحات	مقدار
V_c	حجم محفظه ایمنی	58969.067 (m^3)
$A_{out.cont.}$	مساحت خارجی محفظه	5934.8567 (m^2)
T_{sato}	دمای اولیه محفظه	50 ($^{\circ}C$)
φ_0	رطوبت اولیه محفظه	0
$P_0 cont.$	فشار اولیه محفظه	0.1082 (MPa)
$P_{ColdLeg}$	فشار cold leg	15.9268 (MPa)
$T_{ColdLeg}$	دمای cold leg	280.66 ($^{\circ}C$)
\dot{m}_{air}	دبی هوای ورودی به Down comer	788.05 kg/s
l	طول دیواره انتقال حرارت	47.8209 (m)

نتایج حاصل از مدل سازی برای حالت چهار حجمی:



شکل ۳. الف) تغییرات جرمی آب، ب) تغییرات جرمی بخار، ج) - تغییرات فشار با زمان د) تغییرات دما با زمان



شکل ۴. الف) تغییرات دمای دیواره های محفظه بازمان، ب) انتقال حرارت در rise و down comer، ج) انتقال حرارت در جهت

شعاعی محفظه ایمنی



جدول ۲- مقایسه ماکزیمم فشار و دما در حالت با انتقال و بدون انتقال با نتایج موجود برای چهار حجمی

LOCA	پیک فشار (Mpa)	پیک دما (C)	اختلاف فشار مدل با [4]	اختلاف دمای مدل با [4]
نتایج حاصل از مرجع [4]	0.49	140.5	---	---
حجم ۱	0.7527	168.6	0.2627	28.1
حجم ۲	0.691	166.7	0.2010	26.2
حجم ۳	0.3457	139.8	0.1443	0.7
حجم ۴	0.2284	125.6	0.2616	14.9
متوسط گیری بین چهار حجم	0.5141	150.3	0.0241	9.8

بحث و نتیجه گیری:

مقایسه نتایج به دست آمده از مدل سازی برای حادثه وارد شدن آب خنک کننده به داخل محفظه ایمنی در حالت دو فازی با در نظر گرفتن چند حجم با نتایج موجود نشان از مدل سازی صحیح و درستی روابط استفاده شده می باشد. و همانطور که از نمودارها مشاهده می گردد به دلیل اینکه محل شکستگی لوله را در حجم اول در نظر گرفته شده است در نتیجه پیک فشار و دمای این حجم نسبت به حجم های دیگر زیادتر می باشد و به دلیل اینکه حجم بندی به صورت لایه های در جهت عمودی محفظه در نظر گرفته شده است در نتیجه حجم چهارم در مدل سازی چهار حجمی فضای بالایی محفظه را شامل می شود و از محل شکستگی لوله فاصله زیادی دارد در نتیجه پیک فشار و دمایی در این حجم نسبت به سایر حجم ها کم تر می باشد، و همچنین تغییرات جرمی آب و بخار در حجم اول نیز ماکزیمم می باشد. انتقال حرارت از دیواره ها و در Down-comer و Riser تابع تغییرات درجه حرارت داخل محفظه ایمنی می باشد در نتیجه زمانی که درجه حرارت داخل محفظه زیاد می گردد انتقال حرارت نیز افزایش می یابد.

مراجع:

- [1] UK Compliance document for AP1000 design, Section A UK safety case Overview, A.2 AP1000 safety philosophy, A 50
- [2] NUCLEAR SYSTEMS 1 Thermal Hydraulic Fundamentals, Neil E. Todreas, Mujid S. Kazimi, Massachusetts Institute of Technology, HEMISPHERE PUBLISHING CORPORATION 1990, Chapter 7, Page 239,
- [3] The Westinghouse AP1000 Advanced Nuclear Plant, Plant Description, Copyright 2003, Westinghouse Electric Co., LLC. Page 17,
- [4] UK AP1000 Safety, Security, and Environmental Report, Chapter 6, 6.2.2.2.3 Component Description, Page 6.2-18, 2007.