



دانشگاه مهندسی آزاد اسلامی
دایرکتوری کنفرانس

Code: EMME16-10108940973
ID: 894

کوامنامه‌ذره و ازانه مقاله



بین‌ویژه‌گواهی می‌شود مقاله با عنوان:

بورسی قطر قطرات خروجی از شبیوره همگرا-واگرد جویان دو فازی بخار-مایع

برنیسنگی: علی غنی، علیرضا یغمورانی

د‌حامدین کنفرانس ملی و دوین کنفرانس بین‌المللی پژوهش های کاربردی و مهندسی بردن، مهندسک و مهندسی‌گردنگ، که توسعه دانشگاه صنعتی مالک اشتر در مهر ۱۳۹۵، بهمن ۱۴۰۰

برگزار شده، با حضور ایشان به صورت تخصصی ارائه گردید.

این مقاله در ISC ، CIVILICA ، نمایه خواهد شد. توافق روز افزون شمارا در عرصه های علمی و اجرایی کنفرانس عین‌الآن ایران آزاد و مذکور می‌شود.

سخنرانی
علی جباری

دکتر حسن غانمی

دکتر مصطفی مانعی

سخنرانی
علی کنفرانس

دکتر ابراهیم کنفرانس

سخنرانی
علی جباری

دکتر ابراهیم کنفرانس



www.EMME.ir



لینک: [دانشگاه مهندسی مکانیک](#)
کد اتصال: ۹۱۶۰۷۱۶۰



لینک: [دانشگاه مهندسی مکانیک](#)
کد اتصال: ۹۱۶۰۷۱۶۰



دانشگاه صنعتی شاهرود

ID: 894

کوایینامه حضور



پیشنهاد کوایین می‌شود حضور آقای اسکار کارنامه:

علی‌رضایمودتاش

در جامعه کنفرانس می‌ودین کنفرانس بین‌المللی پژوهش های کاربردی دمندی برتر، مهندسی و فناوری که توسط دانشگاه صنعتی الکترونیک ایران ارائه می‌شود در تاریخ ۲۹ بهمن ۱۳۹۵

برگزار شده بدت ده ساعت حضور داشته و از طالب علمی آن استفاده نموده اند.

توپتی روز افزون شمارا داد عرصه های علمی و ایرانی کشور غیرنظامی ایران آزاد و مذیدم.

— سه‌تاره علی جباری‌شدی
— پیشنهاد کنفرانس

دکتر سینا ناقی‌کار
دیر علی‌کنفرانس

دکتر مصطفی بانی
دیر ایرانی‌کنفرانس



www.EMME.ir



کد انتشار: ۹۶۰۷۱۶۴
کد انتشار: ۹۶۰۷۱۶۴

لینک نظریه مقالات
کفایت: ۰



بررسی قطرات خروجی از شیپوره همگرا-واگرا در جریان دو فازی بخار-مایع

علی عظیمی^۱، علیرضا تیمورتاش^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، تبدیل انرژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

۲- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

خلاصه

پدیده‌ی چگالش در جریان بخار خالص در توربین، باعث پیدایش قطرات مایع در بخار و بروز مشکلات متعددی از جمله کاهش بازده توربین و فرسایش پره‌ها می‌شود. شواهد آزمایشگاهی در مورد جریان‌های چگالشی در داخل کanal های انبساطی، وجود اندازه‌ی چندگانه شعاع قطرات را اثبات نموده و اندازه‌گیری‌های نوری آشکار ساخته که توزیع شعاع قطرات بسیار گستردگ است. به منظور پیش‌بینی رفتار جریان دوفاز و تلفات ناشی از آن لازم است تا درک درستی از اندازه‌ی تمام قطرات ایجاد شده در جریان داشته باشیم. در این تحقیق جریان چگالشی در یک شیپوره همگرا-واگرا، با استفاده از معادله جوانه زایی کلاسیک اصلاح شده، در چهارچوب لاغرانژی-اویلری شبیه سازی شده است و جهت واقعی تر کردن شکل گیری قطرات در جریان بخار، از روش چند شعاعی برای مدلسازی جریان مایع استفاده شده است. در این روش، به منظور حذف میانگین گیری قطرات، دسته قطرات ایجاد شده در هر المان محاسباتی در ناحیه جوانه زایی، به طور جداگانه و بدون میانگین گیری با سایر قطرات، تا انتهای شیپوره رشد می‌نمایند. مقایسه نتایج به دست آمده از روش چندشعاعی با نتایج تجربی نازل مور نشان می‌دهد که شعاع حاصله ازین روش به شعاع تجربی بسیار نزدیک تر از روش تک شعاعی است.

کلمات کلیدی: جوانه زایی، رشد قطرات، چگالش ناگهانی، فشار چگالشی پایین، نازل همگرا-واگرا

۱. مقدمه

توربین‌های بخار یکی از قسمت‌های مهم واحدهای تولید توان بخار بوده، و علاوه بر اهمیت آن‌ها به عنوان یکی از اجزای چرخه ترمودینامیکی، از این نظر حائز اهمیت می‌باشند که بخش زیادی از اتلاف انرژی در چرخه ترمودینامیکی نیروگاهی به این دلیل است که بخار حین انبساط وارد ناحیه دوفازی می‌شود، اما در صنعت نیروگاهی، توربین‌های بخار برای کار با جریان با کسر تری بالا ساخته نشده‌اند. علاوه بر آن حضور قطرات آب موجود در بخار در طولانی مدت موجب خوردگی پره‌ها و تخریب مکانیکی می‌شود. افزایش ناگهانی فشار ناشی از تشکیل قطرات مایع که به علت انتقال حرارت داخلی بازگشت ناپذیر رخ می‌دهد شوک چگالش نامیده می‌شود. به این ترتیب شکل گیری و رفتار متعاقب قطرات و فعل و انفعال آن با فاز بخار موجب افت کارایی توربین می‌گردد. علاوه بر برآورده

*مشهد، صندوق پستی 1111-1111 teymourtash@um.ac.ir

مهندسی برق، مکانیک، مکاترونیک

پهمناه ۹۵، تهران، ایران



درست توزیع فشار و تری، محاسبه دقیق شعاع قطرات نیز بسیار حائز اهمیت است، زیرا منجر به برآورده درست آسیب های مکانیکی اجزای مختلف توربین بخار می شود.

معادله جوانه زایی یکی از معادلات حاکم بر فاز مایع است. این معادله در هر گام محاسباتی تعداد قطرات تازه شکل گرفته با شعاع بحرانی را محاسبه می کند و در نتیجه تعیین کننده تعداد قطرات تولیدی می باشد. داشتمندان زیادی از قبیل ولمر و وبر، بکر و دورینگ و زلدوبیج برای تحلیل پدیده جوانه زایی همگن تلاش نمودند و نتیجه کار ایشان تحت عنوان معادله جوانه زایی کلاسیک بیان شده است.^[1] پس از آن مطالعه بر روی موضوع جوانه زایی منجر به اعمال اصلاحات متنوع بر معادله کلاسیک شده است.

مدل های عددی متنوعی برای حل جریان بخار تر به کار برده شده است. مدل لاغرانژی-اویلری (مورد استفاده در این تحقیق) توسط محققانی نظری یانگ و باختر^[2]، اسکیلینگر و جکسون^[3] و یانگ و وايت^[4] استفاده شده است. در این مدل معادلات دینامیک گاز در دستگاه مختصات اویلری و معادلات جوانه زایی و رشد قطره در مختصات لاغرانژی حل می شوند. برای ترکیب این دو روش، مسیر جریان به تعداد زیادی گام کوچک تقسیم شده، و مدل برای هر گام معادلات اویلری را حل می کند. بنابراین پنج متغیر جریان یعنی دما، فشار، چگالی، سرعت و عدد ماخ به دست آمده، سپس توزیع اندازه قطره و کسر تری با دنبال نمودن ذره در مرجع لاغرانژی تعیین می گردد. راه اتصال و ارتباط بین حل های اویلری و لاغرانژی، میدان های فشار و دما است. یعنی در هر گام یک تقریب از میدان های فشار و دما با حل معادلات دینامیک گاز به دست آمده و این میدان ها بر معادلات جوانه زایی و رشد قطره اعمال می شوند تا کسر تری به دست آید.^[5]

برای تحلیل جریان دوفاز لازم است تا درک درستی از توزیع اندازه قطرات و تعداد آن ها در جریان بخار داشته باشیم. به این منظور در پژوهش حاضر از روش چندشعاعی برای مدلسازی فاز مایع استفاده شده است تا بتوان نتایج حاصله را بیش از پیش به نتایج آزمایشگاهی نزدیک تر نمود.

۲. توصیف مدل

حجم کنترل زیر را در نظر می گیریم که در آن A مساحت، P فشار، ρ دمای جرمی و U سرعت در جریان بخار می باشند. همچنین زیروند های L و G به ترتیب نشان دهنده خصوصیات مایع و بخار می باشند.

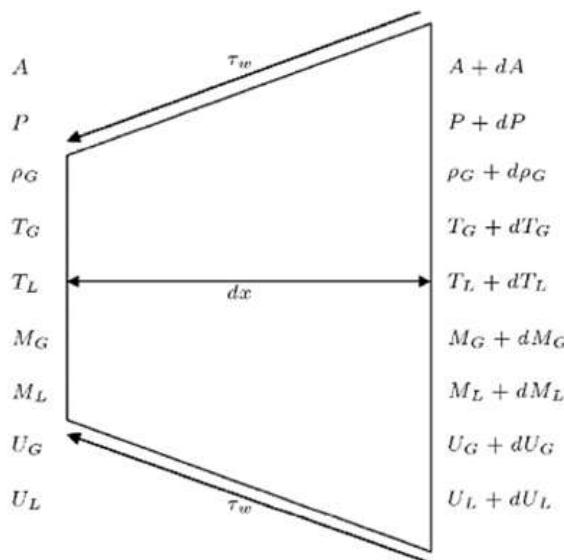
۱.۲. معادلات بقای جرم

با فرض اینکه حجم اشغال شده توسط فاز مایع قابل صرف نظر باشد:

$$M = M_L + M_G = \\ M_L + \rho_G A U_G = \text{Constant} \quad (1)$$

با دیفرانسیل گیری از فرمول بالا و مرتب کردن آن:^[5]

$$\frac{d\rho_G}{\rho_G} + \frac{dA}{A} + \frac{dU_G}{U_G} + \frac{dM_L}{M - M_L} = 0 \quad (2)$$



شکل ۱ - حجم کنترل سیال

۲.۲. معادله حالت

برای بخار ما فوق سرد، خواص مورد نظر از طریق بروونیابی بدست می آیند، بنابراین معادله حالت از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به منظور بهبود حل از معادله حالت ویریال توصیه شده توسط کالویچ استفاده می شود.[5]

$$p = \rho_G R T_G (1 + B_1 \rho_G + B_2 \rho_G^2 + B_3 \rho_G^3 + \dots) \quad (3)$$

ضرایب B_1 , B_2 , ... تابع دما هستند. معادله مورد نظر به شکل زیر در می آید:

$$\frac{dp}{p} - X \frac{d\rho_G}{\rho_G} - Y \frac{dT_G}{T_G} = 0 \quad (4)$$

$$X = \frac{\rho_G}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial \rho_G} \right)_{T_G} \quad (5)$$

$$Y = \frac{T_G}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T_G} \right)_{\rho_G} \quad (6)$$

۳.۲. معادله بر اساس عدد ماخ

عدد ماخ نقش کلیدی در جریان دو فازی بخار تر بازی می کند. با صرف نظر کردن از هر گونه تاثیر متقابل قطرات در انتشار صوت در فاز بخار :

مهندسی برق، مکانیک، مکاترونیک

بهمن ماه ۹۵، تهران، ایران

$$N = Ma^2 = \frac{U_G^2}{a} \quad (7)$$

که در آن a سرعت صوت و Ma عدد ماخ است.

با گرفتن لگاریتم و دیفرانسیل گیری:

$$\frac{dN}{N} = 2 \frac{dU_G}{U_G} + \frac{d\rho_G}{\rho_G} - \frac{dp}{p} \quad (8)$$

۴.۲ معادله بقای مومنتوم

با اعمال قانون بقای مومنتوم در حجم کنترل یک بعدی و دیفرانسیل گیری و مرتب سازی، معادله مومنتوم در حالت کلی به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{dp}{p} = -f \frac{\rho_G U_G^2}{2p} \frac{dx}{d_e} - \frac{(M - M_L)}{Ap} \frac{dU_G}{U_G} - \frac{M_L U_L}{Ap} \frac{dU_L}{U_L} \quad (9)$$

که در آن f نشان دهنده ی ضریب اصطکاک است.

با اعمال شرط عدم لغزش ($U_G = U_L = U$) داریم:

$$\frac{dp}{p} + \frac{f U_G^2 \rho_G}{2pd_e} Adx + \frac{(M_G + M_L) U_G dU_G}{U_G} = 0 \quad (10)$$

که در آن d_e قطر هیدرولیکی کanal است.

و در نهایت:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\gamma Ma^2}{2} \frac{fdx}{d_e} - \frac{\gamma Ma^2}{1-y} \frac{dU}{U} \quad (11)$$

که در آن γ نسبت ظرفیت های حرارتی مخصوص و $y = \frac{M_L}{M}$ کسر تری است.

۵.۲ معادله بقای انرژی

با نوشتن معادله بقای انرژی و دیفرانسیل گیری از آن :

$$d \left[M_G \left(h_G + \frac{U_G^2}{2} \right) + M_L \left(h_L + \frac{U_L^2}{2} \right) \right] = 0 \quad (12)$$

مهندسی برق، مکانیک، مکاترونیک

پیاپی ۹۵، تهران، ایران

با فرض اینکه ترم $\frac{U_G^2 - U_L^2}{2}$ در مقابل ترم $h_G - h_L$ قابل صرف نظر باشد و در نظر گرفتن شرط عدم لغزش بین فازی: [5]

$$\frac{dT_G}{T_G} - \frac{d(M_L L)}{MC_p T_G} + (\gamma - 1) Ma^2 \frac{dU}{U} = 0 \quad (13)$$

که در آن h آنتالپی و U انرژی درونی است.

پنج معادله بالا که در دستگاه اوبلری بدست آمده به روش رانج-کوتای مرتبه چهار حل می شوند و متغیر های سرعت، فشار، دما، چگالی و عدد ماخ محاسبه می گردند. اما قبل از آن لازم است پارامترهای تری نیز محاسبه گردند

۳. معادله جوانه زایی

۱.۱. جنبه ترمودینامیکی جوانه زایی

تشکیل قطرات بحرانی در بخار خالص توسط نظریه‌ی جوانه زایی همگن بیان شده است. به طور خلاصه تغییر انرژی آزاد گیبس برای یک توده از بخار در فشار P و دمای T_G ضمن چگالش به یک قطره آب دارای نقطه ماکزیممی مثل ΔG^* است که در شعاعی از قطره معادل با r^* که به شعاع بحرانی قطره موسوم است به وقوع می پیوندد. می توان نشان داد که: [6]

$$r^* = \frac{2\sigma_r}{\rho_L R T_G \ln \left[\frac{p}{p_s(T_G)} \right]} \quad (14)$$

$$\Delta G^* = \frac{16\pi\sigma_r^3}{\rho_L R T_G \ln \left[\frac{p}{p_s(T_G)} \right]} \quad (15)$$

قله منحنی ΔG بر حسب شعاع که همان ΔG^* می باشد به عنوان مانعی که تغییر فاز را مقید می سازد، شناخته می شود. افزایش نسبت فوق اشباع ($S = P/P_S(T_G)$) موجب افزایش نرخ بمباران مولکولی، کاهش r^* و متعاقباً کوتاه شدن قله ΔG به اندازه ای می شود که در این شرایط احتمال آنکه تعدادی از قطرات زیر بحرانی بطور اتفاقی تا اندازه فوق بحرانی رشد نمایند به یک می رسد و در این حالت جوانه زایی همگن فرآیندی موثر شده و تبدیل فاز به وقوع می پیوندد. قطراتی که شعاع آن ها از r^* کمتر باشد با از دست دادن مولکول ها و کاهش انرژی گیبس، تمایل درونی به تبخیر دارند و اگر شعاع بزرگتر از r^* باشد قطره رشد خواهد کرد و هرچه مقدار r^* کوچکتر باشد امکان تشکیل قطرات و جوانه زایی بیشتر می باشد.

مهندسی برق، مکاترونیک

پیاپی ۹۵، تهران، ایران

۲.۳. جنبه سینماتیکی جوانه زایی

در تحقیق حاضر نرخ جوانه زایی به عنوان تعداد قطرات بحرانی تشکیل شده در واحد حجم سیال و در واحد زمان از جوانه زایی کلاسیک تعریف می شود. رابطه زیر برای تعیین J که نرخ تشکیل قطرات بحرانی را به دست می دهد توسط زولدویچ معرفی شده است: [6]

$$J_{st} = \sqrt{\frac{2N^3}{\pi}} \frac{qp^2\sqrt{\sigma_r}}{\rho_L(RT_G)^2} \exp \left[\frac{-16\pi N\sigma_r^3}{3\rho_L^3(RT_G)^3 \left\{ \ln \left(\frac{p}{p_s(T_G)} \right) \right\}^2} \right] \quad (16)$$

در این رابطه N تعداد مولکول ها بر واحد جرم سیال، q ضریب چگالش (کسری از مولکول های برخورد کننده به سطح قطره که چگالیده می شوند) و K ثابت بولتزمن می باشد.

۴. محاسبه رشد قطرات مایع

قطرات فوق بحرانی تمایل به رشد کردن دارند تا بدینوسیله به انرژی آزاد گیبس متعادل تری نزدیک شوند. گرمای نهان حاصل از چگالش مولکول ها در وهله اول درون قطرات ظاهر و سپس به واسطه اختلاف دمای قطره و محیط، قسمتی از آن به بخار منتقل می گردد. برای محاسبه نرخ رشد قطره می باشد معادلات انتقال حرارت و جرم همزمان حل شوند که از نقطه نظر عددی نیازمند زمانی طولانی می باشد. در تحقیق حاضر برای کاستن حجم محاسبات تقریب گرماسی [7] که دمای قطره را به شعاعش مرتبط می سازد مورد استفاده قرار گرفته است. به طوری که:

$$T_L = T_s(P) - [T_s(P) - T_G] \left(\frac{r^*}{r} \right) \quad (17)$$

در تقریب فوق از تغییر ضریب کشش سطحی و انتالپی تبخیر در بازه T_G تا T_L اغماض شده است. با صرف نظر کردن از اینرسی حرارتی قطره و از طریق بالا انس انرژی می توان نرخ رشد قطره را به صورت زیر نتیجه گرفت:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{\alpha(T_L - T_G)}{\rho_L(h_G - h_L)} \quad (18)$$

در رابطه فوق α ضریب انتقال حرارت بین سطح قطره و بخار اطراف است. قطرات تشکیل شده ای اولیه در مقایسه با مسیر پویش آزاد مولکول های بخار کوچکند ولی ضمن رشد کردن می توانند بزرگتر از آن شوند. عبارت زیر که به گرماسی منسوب است تمام بازه فوق الذکر را می پوشاند و لذا در این کار مورد استفاده قرار گرفته است:

$$\alpha = \frac{\lambda}{r(1 + 3.18 K_n)} \quad (19)$$

در معادله فوق K_n عدد بدون بعد نودسن می باشد که عبارت است از نسبت مسیر پویش مولکول های بخار (\bar{l}) به قطره:

$$K_n = \frac{\bar{l}}{2r} \quad (20)$$

از تئوری سینماتیک گازها:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{\lambda}{(r + 1.59 \bar{l})} \left(\frac{T_L - T_G}{h_G - h_L} \right) \quad (21)$$

$$h_L = c_L(T_L - T_D) \quad (22)$$

که در آن c_L حرارت مخصوص آب، T_D دمای مرجع و برابر ۲۷۳.۱۵ کلوین می باشد و λ نیز ضریب انتقال حرارت رسانایی آب می باشد.

۵. روش چند شعاعی به کار رفته

اندازه گیری های اخیر از توزیع اندازه قطرات در توربین های بخار، نشان دهنده ی اینست که محاسبات تئوری قادر به پیش بینی مقادیر آزمایشگاهی نمی باشد. در حقیقت اندازه گیری های نوری مشخص کرده اند که توزیع شعاع در توربین های بخار چند گانه و بسیار گسترده است. [8] تعیین اندازه ی این قطرات گام مهمی در محاسبات مربوط به جریان دوفاز می باشد. در اغلب پژوهش های انجام شده از روش تک شعاعی برای تعیین اندازه قطرات استفاده می شود که در آن در هر گام محاسباتی در ناحیه جوانه زایی تمام قطرات قبلی در یک گروه ادغام می شوند و قطرات تازه شده در یک گروه جدید قرار می گیرند. به این ترتیب برای بدست آوردن شعاع متوسط از دو گروه قطرات میانگین گیری می شود. واضح است که این روش نمی تواند توزیع اندازه قطرات را پیش بینی کند و علاوه بر این بدليل میانگین گیری های متعدد، نتایج حاصل از آن با نتایج آزمایشگاهی مطابقت ندارد. [9]

برای رفع این مشکل، یانگ از روش چند شعاعی هرس شده استفاده کرد. در این روش او برای کاهش حجم محاسبات، قطرات با اندازه های یکسان را در گروه های یکسان قرار داد و با هرس کردن دسته قطرات، تعداد آن ها را به سه تا پنج دسته کاهش داد. اما روش او نیز با توجه به کم کردن تعداد دسته قطرات دقیق نبود. [10]

در تحقیق حاضر برای اولین بار از روش چند شعاعی کامل استفاده شده است. در این روش تعداد و اندازه ی دسته قطرات تشکیل شده در هر المان تا انتهای شیپوره حفظ می شود. بنابراین به تعداد المان های موجود در ناحیه جوانه زایی، گروه هایی از قطرات وجود دارند که هر کدام دارای تعداد و اندازه ی منحصر به فرد می باشند.

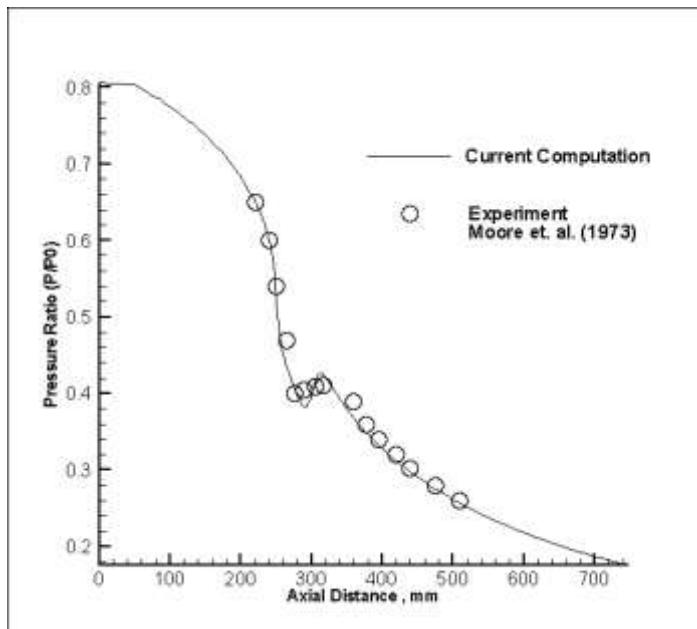
در این روش با الهام گیری از کار یانگ، برای هر گروه از قطرات، معادلات رشد به طور جداگانه حل می شوند و هر گروه از قطرات دمای منحصر به فرد خود را دارا می باشد.

۶. بحث و بررسی نتایج

تمام محاسبات برای شیپوره ی همگرا- واگرای نازل A مور انجام شده است. [11] طول این نازل ۷۵۰ میلی متر می باشد و محل گلوگاه در این شیپوره در فاصله ی ۲۵۰ میلی متری از ابتدای آن قرار دارد. همچنین فشار ورودی شیپوره ۲۵ کیلو پاسکال و دمای ورودی ۳۵۴.۶ کلوین، مطابق با آزمایش مور در نظر گرفته شده است. ضریب تقطیر برابر ۰.۰۳۶ و ضریب اصطکاک برابر ۰.۰۱۸ در نظر گرفته شده است. در شکل (۲) مقایسه ای بین توزیع فشار حساب شده با توزیع فشار اندازه - گیری شده توسط مور انجام شده است. مقایسه نشان می دهد که توافق بسیار خوبی بین نتایج حل انجام شده و مشاهدات تجربی وجود دارد. لازم به توضیح است که در منحنی توزیع فشار محوری، افزایش فشار موضعی وجود دارد که به خاطر جوانه زایی و چگالش ناگهانی بخار می باشد، به عبارتی با ورود بخار به ناحیه جوانه زایی و تشکیل قطرات، گرمای نهان حاصل از تشکیل قطرات به بخار مافوق صوت انتقال می یابد که باعث کند شدن سرعت جریان بخار شده و افزایش موضعی فشار را بوجود می آورد.

مهندسی برق، مکانیک، مکاترونیک

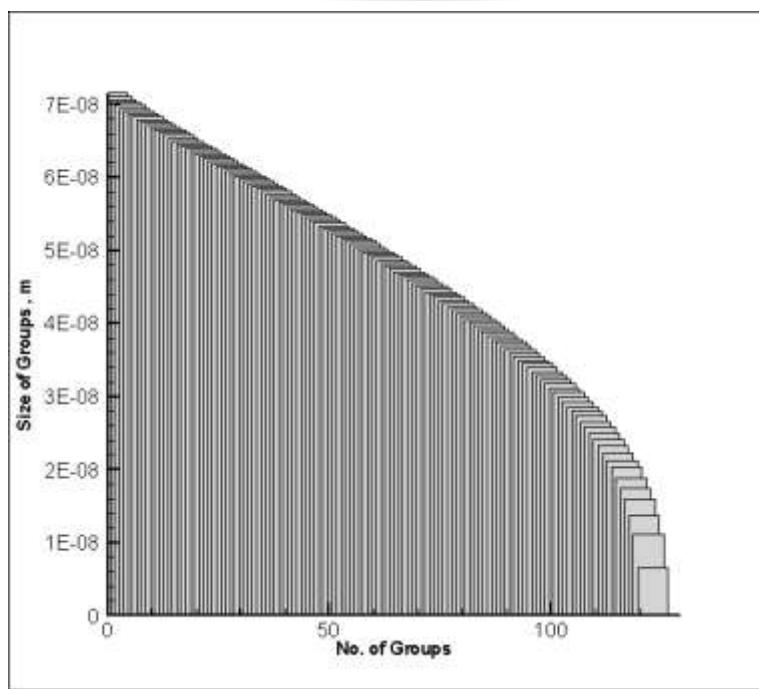
بهمن ماه ۹۵، تهران، ایران



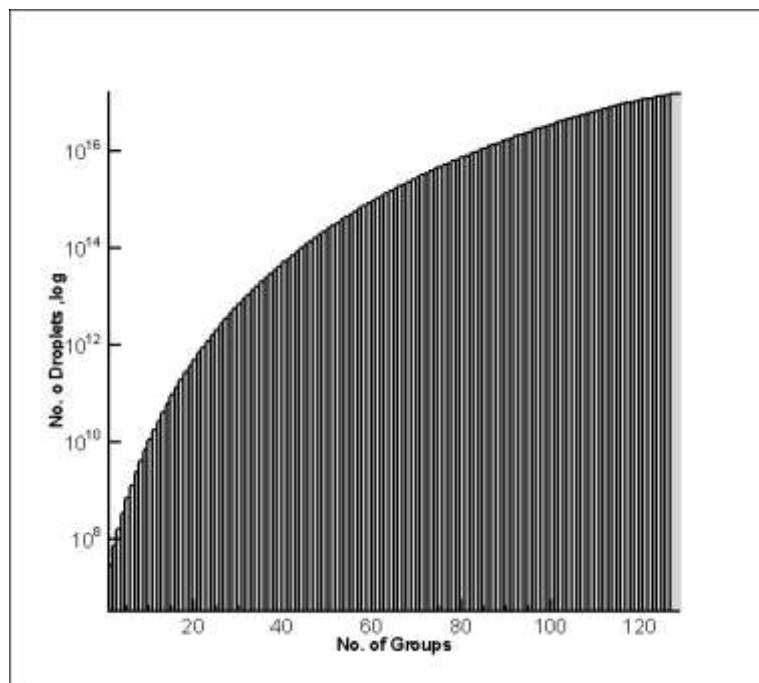
شکل ۲ - مقایسه توزیع فشار محاسبه شده با نتایج آزمایشگاهی

با عبور بخار از گلوگاه و وارد شدن به قسمت واگرای شیپوره، معمولاً نرخ انبساط سریع تر از آن است که بخار در شرایط تعادلی باقی بماند، لذا بدون تغییر فاز تا زیر خط اشباع سرد شده و در شرایطی نامتعادل موسوم به فوق اشباع یا فوق سرد قرار می‌گیرد، نهایتاً با افزایش درجه فوق سردی، حرکات اتفاقی مولکول ها موجب تولید جوانه ها و خوشه های پایدار مایع شده و در اثر فرآیند چگالش، سیستم به تعادل ترمودینامیکی رجعت می‌نماید. فرآیند مذکور که در غیاب سطوح صلب و ذرات خارجی در بخار به وقوع می‌پیوندد به جوانه زایی همگن موسوم است. در هر المان محاسباتی در ناحیه جوانه زایی، دسته قطراتی با شعاع و تعداد متفاوتی از قطره ها جوانه می‌زنند.

در شکل (۳) و (۴) به ترتیب اندازه و تعداد قطره های جوانه زده شده در ناحیه زایی، که تا انتهای شیپوره رشد کرده اند، رسم شده است. در این اشکال تعداد ۱۲۹ دسته قطره نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ها مشخص است، در ابتدای ناحیه زایی، خوشه هایی با اندازه ای بزرگتر و تعداد قطرات کمتر ایجاد می‌شود. لازم به ذکر است که پس از پایان ناحیه جوانه زایی، انبساط نزدیک به شرایط تعادلی ادامه می‌یابد، در این مرحله دیگر جوانه ای در بخار ایجاد نمی‌گردد و تعداد قطرات ثابت مانده و درصد رطوبت با رشد قطرات افزایش می‌یابد.

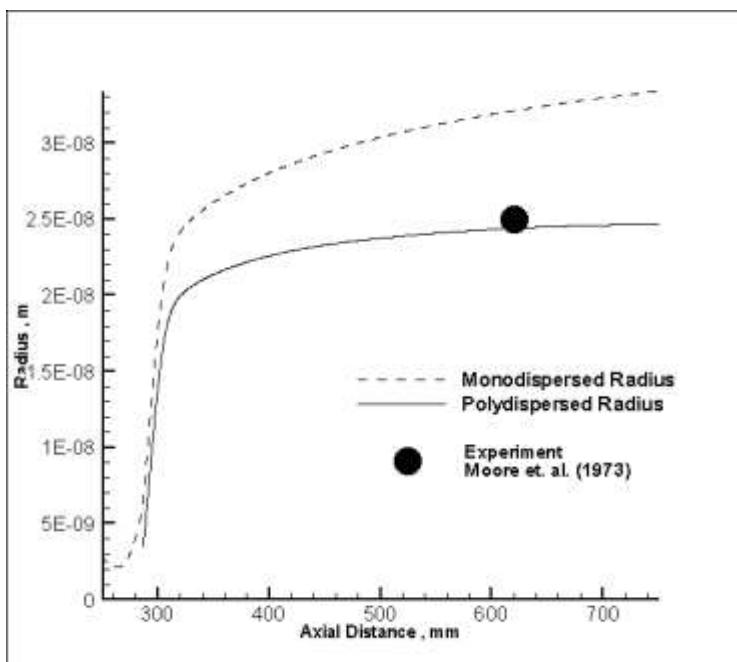


شکل ۳ - مقایسه اندازه ی گروه های ایجاد شده در ناحیه ی جوانه زایی



شکل ۴ - مقایسه تعداد قطرات تشکیل شده در ناحیه ی جوانه زایی

به منظور مقایسه شعاع محاسبه شده در این روش، با شعاع بدست آمده از آزمایش مور و همین طور شعاع حساب شده از روش تک شعاعی، در انتهای ناحیه جوانه زایی و با اتمام ایجاد قطرات جدید، یک بار از همه ی دسته قطرات موجود میانگین-گیری شده است. نتایج حاصل از این مقایسه نشان می دهد که در روش چند شعاعی به کار رفته در این تحقیق، شعاع حاصله منطبق بر شعاع اندازه گیری شده ای آزمایشگاهی می باشد. (شکل ۵)



شکل ۵ – مقایسه شعاع حاصل از روش چند شعاعی با نتایج آزمایشگاهی و روش تک شعاعی

می توان نتیجه گرفت که علی رغم طولانی تر شدن محاسبات در روش چند شعاعی، این روش قادر است تا در ک درست تری از مدلسازی فاز مایع در بخار بدست دهد. علاوه بر این چون در این روش هر دسته از قطرات تا انتهای شیپوره رشد می کنند، می توان تعداد و اندازه ی دقیق قطرات و همچنین میزان رطوبت موجود در هر مقطع از نازل را مشخص کرد. بدین ترتیب با اتخاذ تدبیر لازم، این روش می تواند کمک شایانی به حل مشکل تشکیل قطرات در پره های توربین بخار و کاهش راندمان آن نماید.

۷. مراجع

- Bakhtar F., Young JB., White AJ, Simpson DA (2005), “Classical nucleation theory and its application to condensing steam flow calculations”, Proc. Instn, Mech, Part C: J. Mechanical Engineering Science, Vol. 219, No. C12, pp.1315-1333.
- Young JB., Bakhtar F., (1976) , “A comparison between theoretical calculations and Experimental measurements of droplet sizes in nucleating steam flows”, Trans. Inst. Fluid Flow Machinery, pp. 259-276.

3.Skillings SA., Jackson R., (1987), “A robust time-marching solver for one-dimensional nucleating steam flows”, Int. J. Heat and Fluid Flow, 8, 139-144.

4.White AJ. ,Young JB. , (1993), “A time-marching method for the prediction of two-dimensional unsteady flow”, Inst. Aeronaut. J. Propulsion and Power, 9,579-587.

5.Amirirad E., Mahpeykar MR. ,Teymourtash AR. , (2013), “Evaluation of simultaneous effects of inlet stagnation pressure and heat transfer on condensing water-vapor flow in a supersonic Laval nozzle”, Journal of Scientica Iranica.

6.MacDonald JE. ,(1962-3)“Homogeneous Nucleation of vapor condensation”, Am. J. Phys. 817-870.

7.Gyarmathy G. (1963), “Zur wachstumsgeschwindigkeit kleiner flüssigkeitstropfen in einer übersättigten atmosphäre”, ZAMP, 14, 280.

8.White AJ., (2003), “A comparison of modeling methods for polydispersed wet-steam flow”, Int. J. Numer. Methods Eng, 57, 819-834.

9.Hughes FR., Starzmann J., White AJ., Young JB., (2016), “A comparison of modeling Techniques for polydisperced droplet spectra in steam turbines”, J. Eng. For Gas Turbines and Power, 138, 802-811.

10.Young JB. (1992), “Two-dimensional, non-equilibrium, wet-steam calculations for nozzles and turbine cascades”, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers J. of Turbomachinery, 114, 569-579.

11.Moore MJ. Walters PT, Crane RI, Davidson Bj., (1973), “ Predicting the fog drop size in wet steam turbines”, Institute of Mechanical Engineering (UK), Wet Steam 4 Conf., University of Warwick, Paper C37/73.