

بررسی جریان توربولنس دو فازی (مایع - حباب) در داخل یک کانال با اتصال T و محاسبه نرخ جدایی فازها با استفاده از روش المان های گردابه ای

بهروز ظفرمند*

استادیار علمی - صنعتی گروه مهندسی نیروگاه
مجتمع عالی آموزشی پژوهشی صنعت آب و برق خراسان

محسن کهرم

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده: حرکت حباب ها در یک جریان توربولنس تابعی از زمان است و به همین دلیل از مدل های معمولی جریان درهم مانند $(k-\epsilon)$ برای بررسی و مطالعه دینامیک حباب ها نمی توان استفاده نمود. در این مقاله به بررسی جریان حباب های گاز در داخل یک کانال با اتصال T (T -Junction) و با جریان درهم و دو بعدی پرداخته می شود. این اتصال شامل یک ورودی و دو خروجی می باشد. از آنجا که تعیین مسیر، موقعیت و سرعت لحظه ای هر حباب بستگی به سرعت لحظه ای سیال دارد و تعیین محل دقیق حباب در هر لحظه زمانی قابل پیش بینی نیست، نمی توان از یک شبکه ثابت برای حل لحظه ای سرعت سیال استفاده نمود. روش گردابه های تصادفی روشی است برای تعیین سرعت سیال در هر نقطه از کانال بدون نیاز به تعیین سرعت در تمام میدان سیال. در این روش از حل معادله انتقال ورتیسیت در دو مرحله جابجایی و پخش استفاده می شود. با ارضای شرایط مرزی روی دیواره های جامد، گردابه ها متولد و توسط دو مکانیزم جابجایی و پخش در میدان جریان حرکت کرده و بر روی یکدیگر سرعت القاء می کنند. حرکت هر ورتکس ناشی از سرعت پتانسیل سیال بعلاوه مجموعه سرعت های لحظه ای القاء شده توسط ورتکس های دیگر و تصاویر آنها در مرکز ورتکس مورد نظر می باشد. به همین ترتیب سرعت لحظه ای در هر نقطه دلخواه از سیال نیز با استفاده از سرعت های لحظه ای القاء شده توسط ورتکس ها، تصاویر آنها و جریان پتانسیل عبوری از آن نقطه بدست می آید. در این مقاله تعدادی حباب با قطر کم در ورود به یک کانال با اتصال T رها شده و سپس با استفاده از توزیع سرعت لحظه ای سیال (فاز مایع) به ازای دبی های مختلف در دو شاخه خروجی اتصال و معادله کمکی حرکت حباب، سرعت و موقعیت هر حباب در لحظه بعدی محاسبه می شوند. معادله کمکی معادله نیوتن بوده و نیروهای مؤثر بر حباب نیروی ناشی از گرادیان فشار، نیروی جرم اضافه شده، نیروی درگ، نیروی شناوری، و نیروی لیفت می باشند. پس از تزریق حباب ها سرعت لحظه ای و مسیر حباب ها و نرخ جدایی فازها در دو شاخه خروجی اتصال T محاسبه شدند. این محاسبه به ازای دبی های مختلف توزیع شده در دو شاخه خروجی اتصال انجام گرفت. اگرچه هرگز نمی توان مسیر لحظه ای حباب ها را با یک مرجع (اگر موجود باشد) قیاس نمود اما در عوض نرخ جدایی فازها را می توان با نتایج تجربی مقایسه کرد. این مقایسه نشان داد که نرخ جدایی محاسبه شده با نتایج تجربی Seeger تطابق خوبی داشته و بیان می کند که دو فاز در دو شاخه خروجی اتصال T بطور یکسان توزیع نمی شوند. همچنین دیده شد که با تزریق حباب ها در یک نقطه اما در لحظه های مختلف، مسیرهای آن ها هرگز یکسان نیستند زیرا جریان فاز پیوسته (مایع) کاملاً درهم و تصادفی است. عدد رینولدز جریان مایع (فاز پیوسته) $Re=8000$ در نظر گرفته شده است.

کلمات کلیدی: جریان دو فازی درهم (مایع- حباب) - نرخ جدایی دو فاز در اتصال T

* مؤلف مکاتبه کننده

پست الکترونیکی: bzafarmand1@yahoo.com

تلفن: ۰۵۱۱ ۳۸۵۴۶۱۳ (+۹۸)

۱. مقدمه

اهمیت جریان های دو فازی مایع-گاز در صنعت غیر قابل انکار است. و بدین منظور مطالعات بسیار وسیعی در مورد آن صورت می گیرد. این نوع جریان ها در مهندسی هسته ای، مهندسی شیمی، و در انتقال محصولات نفتی به وفور وجود دارند. از طرفی شناخت دقیق جریان های دو فازی و پدیده های مختلف آن از خواسته های اساسی این جریان ها می باشد. یکی از مهم ترین موضوعات جریان های مایع-گاز، دانستن نرخ جدایی دو فاز از یکدیگر است که مورد توجه تعداد زیادی از محققین می باشد. و تا کنون دریافته اند که در اتصال T شکل، دو فاز یکسان جدا نمی شوند.

در سال ۱۹۸۱ [۱] Hanon & Lahey مطالعات تجربی روی جدایی دو فاز در یک اتصال Y شکل با زاویه اتصال ۹۰،۴۵ و ۱۳۵ درجه انجام دادند. در سال ۱۹۸۲ [۲] Zetzmann نرخ جدایی دو فاز را در یک اتصال Y شکل و به ازای زوایای مختلف اتصال اندازه گیری نمود. و در این ارتباط دو رابطه ی تجربی برای نرخ جدایی فازها بدست آورد. در سال ۱۹۸۶ [۳] Seeger & al با استفاده از داده های تجربی خود در یک اتصال T با قطرهای یکسان ($D=50\text{mm}$) رابطه ای برای نرخ جدایی حباب های هوا در آب ارائه نمودند. در سال ۱۹۸۸ [۴] Lemmonier & Hervieu با استفاده از یک مدل، نرخ جدایی را محاسبه نمودند. آنها تعدادی حباب را در داخل آب (با فرض جریان پتانسیل) رها نمودند و با استفاده از نیروهای اعمال شده بر یک حباب منفرد مسیر آنها را محاسبه نمودند. همچنین در سال ۱۹۹۰ [۵] Susana & al با در نظر گرفتن بیلان اندازه حرکت برای حباب و مدل $k-\epsilon$ برای فاز مایع، محاسباتی را انجام دادند. در میان مجموعه مدل های جریان دوفازی در اتصال T میتوان بیان نمود که هیچیک از آنها حالت عمومی ندارند.

در این تحقیق به آنالیز جریان دوفازی حباب-مایع در اتصال T پرداخته شده است. با محاسبه مسیر حباب ها، به ازای مقادیر مختلف برداشت دبی از شاخه عرضی اتصال، نرخ جدایی دو فاز تعیین شدند جریان مایع (فاز پیوسته) دارای عدد رینولدز ۸۰۰۰۰ می باشد. اساساً یکی از مشکلات شبیه سازی حرکت حباب ها در داخل سیال، تابع زمان بودن معادلات حاکم می باشد. در جریان درهم سرعت ها، نوسانی و تابع زمان هستند. در این تحقیق برای فاز مایع از مدل ورتکس های تصادفی که در هر گام زمانی سرعت های لحظه ای را محاسبه می کند استفاده شده است. روش ورتکس های تصادفی روشی است که از سال ها قبل در مورد هندسه های مختلف بخدمت گرفته شده است [۱۰-۹-۸-۷-۶]. برای تعیین سرعت و مسیر هر حباب در هر لحظه، نیاز به سرعت سیال و مشتقات سرعت سیال در همان لحظه و در نقطه حضور حباب می باشد. لذا روش ورتکس های تصادفی به خوبی می تواند این شرط مهم را برآورده سازد. در این تحقیق حرکت حباب ها (به عنوان فاز منفرد)، بصورت مجزا و لاگرانژی در نظر گرفته شده است. بطور کلی حباب ها در حین حرکت خود در داخل سیال تغییر شکل می دهند، اما در این تحقیق با توجه به کوچک بودن قطر حباب ها و در اولین قدم از این تغییر شکل صرف نظر شده است.

۲. جریان فاز پیوسته (مایع درهم)

در سال های اخیر توجه به خواص جریان های درهم اهمیت ویژه ای یافته است. دستیابی به این امر زمانی محقق می شود که معادلات حرکت (ناویر-استوکس) بصورت تابعی از زمان و مکان حل شوند. روش های جاری مدل کردن جریان های درهم عبارت است از حل معادلات ناویر استوکس یا معادله رینولدز که نیاز به معادلات کمکی دارند. مشکل اساسی این روش ها، عمومی نبودن ثابت های مدل می باشد. در عین حال روش هایی وجود دارد که بطور قابل توجهی مشکلات کمتری را دربر دارند، مانند روش ورتکس های تصادفی. که در این روش توزیع ورتیسیته بصورت تعدادی المان ورتکس مدل می شود که بصورت لاگرانژی حرکت می کنند. فرمولاسیون لاگرانژی، حرکت جابجایی ذرات سیال را بصورت سیستمی متشکل از تعدادی معادله دیفرانسیل معمولی مدل می کند که محاسبات را بسیار ساده می سازد [۱۰-۹-۸-۷-۶]. در این روش حرکت ورتکس ها شامل دو مکانیزم جابجایی و پخش می باشد، بر روی دیواره جامد ورتکس ها برای ارضای شرایط مرزی و صفر شدن سرعت مماسی بوجود می آیند و سپس توسط جابجایی و پخش در میدان جریان قرار می گیرند. انتقال به وسیله پخش، بصورت حرکت تصادفی ورتکس ها صورت می گیرد. مزیت عمده این روش بدست آوردن توزیع لحظه ای سرعت می باشد که پس از محاسبه سرعت های لحظه ای می توان سرعت های متوسط و نوسان های سرعت را به آسانی محاسبه نمود.

۳. معادلات حاکم و شرح مدل فاز پیوسته

معادله حاکم در روش ورتکس های تصادفی بصورت زیر است:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + U \cdot \nabla \omega = \frac{1}{\text{Re}} \nabla^2 \omega \quad (1)$$

که ω ورتیسیتته بی بعد شده توسط $\frac{U_0}{D}$ ، t زمان بی بعد شده توسط $\frac{D}{U_0}$ و $\text{Re} = \frac{U_0 D}{\nu}$ عدد رینولدز بر مبنای اندازه کانال D ، سرعت جریان ورود به کانال U_0 و ν لزجت سینماتیک سیال می باشد.

همان طور که گفته شد این روش در سالهای اخیر و در مورد هندسه های دو بعدی مورد استفاده قرار گرفته است [۶-۷-۸-۹-۱۰]. اساس کار مبتنی بر حل معادله انتقال ورتیسیتته در دو مرحله جابجایی و پخش است. برای صفر کردن سرعت مماسی بر روی دیواره از تولید ورتکس های مشابه (قطر و سیر کولاسیون یکسان) استفاده می شود. در مورد هندسه هایی که بصورت چند ضلعی هستند به منظور صفر کردن سرعت عمودی از تبدیل همدیس شوارتز-کریستوفل و تصویر ورتکس استفاده می شود. ورتکس های تولید شده بر روی دیواره که از صفر شدن سرعت مماسی حاصل می شود بصورت پخش از دیواره جدا شده و وارد میدان جریان می شوند و سپس بصورت جابجایی و پخش به حرکت خود ادامه می دهند. حرکت ناشی از پخش ورتکس ها بصورت دو جابجایی عمود بر هم است که در واقع این دو جابجایی، متغیرهای تصادفی با توزیع گوسی با مقدار متوسط صفر و انحراف از معیار $\sqrt{\frac{2\Delta t}{\text{Re}}}$ می باشند [۷-۸-۹-۱۰]. و شرط اولیه عبارت است از جریان پتانسیل در سرتاسر کانال.

تابع تبدیل همدیس شوارتز-کریستوفل در مورد یک کانال اتصال T بصورت زیر است:

$$F(\xi) = \frac{d\xi}{dz} = \pi \frac{1 - \xi^2}{\sqrt{5 - \xi^2}} \quad (2)$$

که $z = x + iy$ نقطه ای مختلط در داخل کانال $(i = \sqrt{-1})$ و ξ نقطه مختلط نظیر z در صفحه انتقال می باشد. جریان ورودی سیال به کانال، معادل یک چشمه در موقیبت $\xi = -1$ در صفحه انتقال و جریان خروجی از شاخه افقی کانال بمانند یک چاه در $\xi = +1$ در صفحه انتقال و جریان خروجی از شاخه عرضی کانال بمانند یک چاه در $\xi = \infty$ در صفحه انتقال می باشد. (شکل ۱). در اینجا فرض می شود: $D_1 = D_2 = D_3 = D$ و z توسط D بی بعد شده است. صحت نتایج جریان تک فاز با عدد رینولدز 80000 و مقایسه آن با نتایج تجربی در مرجع [۸] آمده است. در شکل (۲) خطوط جریان به ازای دبی عبوری از شاخه عرضی $Q_b = 0.8$ و به عنوان نمونه آورده شده است.

۴. معادلات حرکت حباب (فاز منفرد Discret)

در اینجا به بررسی حرکت حباب های منفرد در یک میدان لحظه ای سرعت مایع می پردازیم. یک ذره منفرد (مانند یک حباب)، کروی با شعاع ثابت a را در نظر می گیریم که بر اثر تغییرات تنش تغییر شکل نمی دهد. نیروهای اعمال شده بر روی یک حباب از رابطه زیر بدست می آید:

$$F = F_p + F_m + F_D + F_G + F_L$$

که F_p نیروی ناشی از گرادیان فشار سیال بوده که از جریان پتانسیل بدست می آید: $F_p = -\nabla \frac{\partial p}{\partial x_i} = \rho \nabla \frac{Du_i}{Dt}$

که ∇ حجم حباب و $\frac{Du_i}{Dt}$ مشتق ذاتی سرعت فاز مایع می باشد.

$$F_m = 0.5\rho\forall \frac{D(u_l - u_g)}{Dt} \quad \text{عبارتست از جرم اضافه شده که بر اثر شتاب گرفتن یک ذره بوجود می آید:}$$

$$F_D = -0.5\rho_l C_D \pi a^2 (\bar{u}_g - \bar{u}_l) |\bar{u}_g - \bar{u}_l| \quad \text{نیروی درگ می باشد که از رابطه زیر به دست می آید:}$$

که \bar{u}_g بردار سرعت فاز گاز، \bar{u}_l بردار سرعت فاز مایع و C_D ضریب درگ می باشد که از قانون استوکس و شیلر به دست می آید:

$$C_D = \left\{ \begin{array}{l} \frac{24}{Re_p} \dots \dots \dots Re_p < 10 \\ \frac{24}{Re_p} (1 + 0.15 Re_p^{0.687}) \dots \dots 10 < Re_p < 1000 \\ 0.44 \dots \dots \dots Re_p \geq 1000 \end{array} \right\}$$

در این رابطه $Re_p = |\bar{u}_g - \bar{u}_l| \frac{2a}{\nu}$ عدد رینولدز ذره منفرد (حباب) می باشد.

F_G : نیروی شناوری است: $F_G = -\forall (\rho_l - \rho_g) \bar{g}$ که \bar{g} شتاب جاذبه می باشد.

F_L : نیروی لیفت بوده که بر اثر حرکت یک جسم در یک سیال چرخشی (Rotational) بوجود می آید:

$$F_L = -\rho \forall C_L (\bar{u}_l - \bar{u}_g) \Lambda \bar{\omega} \quad \text{که } C_L \text{ ضریب لیفت و برابر } 0.5 \text{ و } \bar{\omega} = \text{Curl}(\bar{u}_l) \text{ می باشد.}$$

مجموع همه نیروهای وارد بر حباب باید برابر حاصلضرب جرم و شتاب آن باشد:

$$\sum F = \rho_g \forall \frac{Du_g}{Dt} \quad (3)$$

با جایگزینی تمام نیروها در این رابطه و با فرض $\rho_g \ll \rho_l$ و در فرم بی بعد در دو جهت طولی و عرضی خواهیم داشت:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{x}^* = 3 \frac{Du^*}{Dt} - \frac{6C_D}{8a^*} (\dot{x}^* - u^*) \sqrt{(\dot{x}^* - u^*)^2 + (\dot{y}^* - v^*)^2} - 2C_L (\dot{y}^* - v^*) \left(\frac{\partial v^*}{\partial X^*} - \frac{\partial u^*}{\partial Y^*} \right) \\ \ddot{y}^* = 3 \frac{Dv^*}{Dt} - \frac{6C_D}{8a^*} (\dot{y}^* - v^*) \sqrt{(\dot{x}^* - u^*)^2 + (\dot{y}^* - v^*)^2} + 2C_L (\dot{x}^* - u^*) \left(\frac{\partial v^*}{\partial X^*} - \frac{\partial u^*}{\partial Y^*} \right) \end{array} \right.$$

$$R_{ep} = Re (2a^*) \sqrt{(\dot{x}^* - u^*)^2 + (\dot{y}^* - v^*)^2} \quad \frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u^* \frac{\partial}{\partial X^*} + v^* \frac{\partial}{\partial Y^*} \quad (4)$$

\dot{x}^* و \dot{y}^* مؤلفه های سرعت \ddot{x}^* و \ddot{y}^* مؤلفه های شتاب یک حباب، $a^* = \frac{a}{D}$ شعاع بی بعد شده حباب، Re عدد رینولدز

جریان مایع و R_{ep} عدد رینولدز حباب می باشد. برای حل سیستم معادلات بالا از شرایط اولیه زیر استفاده می کنیم:

$$t = 0 \dots \dots \dots \left\{ \begin{array}{l} x^* = X_0^* \quad y^* = Y_0^* \quad \dot{x}^* = u^* \quad \dot{y}^* = v^* \end{array} \right\} \quad (5)$$

که X^* و Y^* موقعیت حباب، u^* و v^* مؤلفه های سرعت مایع در نقطه رها کردن حباب (X_0^*, Y_0^*) می باشد. با استفاده از روش رانک کوتای مرتبه چهارم برای هر پای زمانی سیستم فوق را حل می کنیم و بدین منظور برای هر گام زمانی به مشتقات $\frac{\partial u^*}{\partial t}, \frac{\partial u^*}{\partial X^*}, \frac{\partial u^*}{\partial Y^*}, \frac{\partial v^*}{\partial t}, \frac{\partial v^*}{\partial X^*}, \frac{\partial v^*}{\partial Y^*}$ و سرعت های u^* و v^* مایع در موقعیت حباب (X^*, Y^*) نیاز است. اگر یک حباب در لحظه t در موقعیت $(x^* = X^*, y^* = Y^*)$ قرار داشته باشد، برای محاسبه موقعیت آن در زمان $t + \Delta t$ مراحل زیر انجام می شود: با استفاده از توزیع لحظه ای ورتکس ها، سرعت مایع را در پنج نقطه $(X^*, Y^*), (X^* \pm \Delta X^*, Y^*), (X^*, Y^* \pm \Delta Y^*)$ و به منظور محاسبه مشتقات سرعت مایع به دست می آوریم. (با استفاده از گسسته سازی مرتبه دوم). مزیت اصلی این روش آن است که می توان در هر لحظه، سرعت را در یک نقطه دلخواه از سیال بدون نیاز به حل یک شبکه منظم و مفصل در داخل کانال بدست آورد. اضافه می شود که شتاب محلی سرعت مایع در نقطه (i, j) از رابطه $\frac{\partial u_{i,j}^{*k}}{\partial t} = \frac{u_{i,j}^{*k} - u_{i,j}^{*k-1}}{\Delta t}$ محاسبه می گردد که $u_{i,j}^{*k}$ سرعت در لحظه $k\Delta t$ می باشد. در مورد $\frac{\partial v_{i,j}^{*k}}{\partial t}$ نیز به همین ترتیب عمل می شود.

۵. مسیر حرکت حباب ها و محاسبه نرخ جدایی آن در اتصال T

به منظور محاسبه مسیر حرکت حباب ها، در ورود به کانال و در لحظه $t = 0$ تعدادی حباب با قطر $2a^* = 0.025$ رها می کنیم. با داشتن میدان لحظه ای ورتیسیت، سرعت و مشتقات لحظه ای آن را در نقطه تزریق حباب ها محاسبه نموده و سپس به حل دستگاه معادلات (۴) با شرایط اولیه (۵) و با روش رانک کوتای مرتبه چهارم می پردازیم. که جواب این دستگاه در واقع موقعیت و سرعت حباب ها را در لحظه های مختلف می دهد. نرخ جدایی فاز گازی بصورت زیر تعریف می شود [۸]:

$$\frac{x_3}{x_1} = \frac{I_g^*}{Q_b} \quad (۶)$$

که Q_b دبی عبوری از شاخه عرضی و I_g^* فاصله ایست که تمام حباب ها از شاخه عرضی عبور می کنند (شکل ۳). و اگر تمام حباب ها از شاخه عرضی عبور کنند در اینصورت $I_g^* = 1$ و $\frac{x_3}{x_1} = \frac{1}{Q_b}$ خواهند شد. نقاط تزریق حباب ها، $X^* = -2$ انتخاب شدند، جایی که جریان متأثر از اتصال نباشد. برای بدست آوردن مسیر حباب ها و به تبع آن نرخ جدایی فاز گازی، دو شعاع 0.0625 و $a^* = 0.0125$ برای حباب ها در نظر گرفته شد. اگر $D = 40mm$ $v = 10^{-6} m^2 / Sec$ باشند در این صورت چون $Re = 80000$ است لذا $a = 0.5mm$ $2.5mm$ خواهد شد. شکل (۴) مسیر حباب ها را به ازای $a^* = 0.0125$ و به ازای دو مقدار دبی های برداشتی 0.5 $Q_b = 0.2$ نشان می دهد. قابل ذکر است که تمام مسیرهای نشان داده شده در شکل های فوق لحظه ای هستند. با استفاده از این منحنی ها می توان I_g^* و سپس نرخ جدایی فاز گازی را محاسبه نمود. نرخ جدایی فاز گاز در شکل (۵) نشان داده شده است. در این شکل داده های تجربی [۳] Seeger و نتایج حاصل از مدل [۴] Hervieu نیز آمده است. می توان بیان نمود که:

(۱) به ازای شعاع حباب $a = 0.5mm$ تطابق خوبی بین مدل ما و مدل Hervieu وجود دارد. در عوض برای شعاع حباب $2/5$ میلیمتر، اختلاف به ازای $Q_b \leq 0.4$ محسوس است. در مدل Hervieu فرض شده است که جریان فاز پیوسته غیر چرخشی و لذا نیروی لیفت صفر است، این نشان می دهد که حباب های بزرگ، نسبت به نیروی لیفت بسیار حساس هستند.

(۲) به ازای $a = 2.5mm$ و $Q_b \geq 0.2$ ، نتایج بدست آمده با نتایج تجربی Seeger تطبیق خوبی دارد.

(۳) به ازای $a = 2.5mm$ و $Q_b \geq 0.6$ ، نتایج حاصل از مدل بخوبی از قانون نرخ جدایی کلی تبعیت می کند.

(۴) نرخ جدایی فاز گازی، تابعی از شعاع حباب می باشد زیرا نیروهای اینرسی و لیفت متناسب با حجم حباب می باشند.

پس از محاسبه نرخ جدایی فاز گازی، به ازای $Q_b = 0.6$ تعداد ۶ حباب با قطر بی بعد $2a^* = 0.02$ (چون عدد رینولدز 8000 است اگر $D = 40mm$ $v = 10^{-6} m^2 / Sec$ باشند در این صورت $a = 0.4mm$ خواهد شد) در موقعیت های $X_0^* = -0.6$ -0.48 -0.4 -0.32 -0.24 -0.16 -0.08 و در لحظات مختلف رها نموده و سپس مسیرهای آن ها رسم شدند که این مسیرها در شکل (۶) آمده است. با مشاهده این گونه منحنی ها می توان اظهار نمود که با تزریق حباب در یک نقطه اما در لحظات مختلف هرگز مسیر یکسانی برای آنها بدست نمی آید زیرا جریان فاز پیوسته، درهم و کاملاً تصادفی است. هم چنین حباب هایی که وارد مناطق چرخشی فاز پیوسته می شوند به دور خود می چرخند و برای مدتی در آن منطقه باقی می مانند و گاهی هم از منطقه چرخشی خارج می شوند.

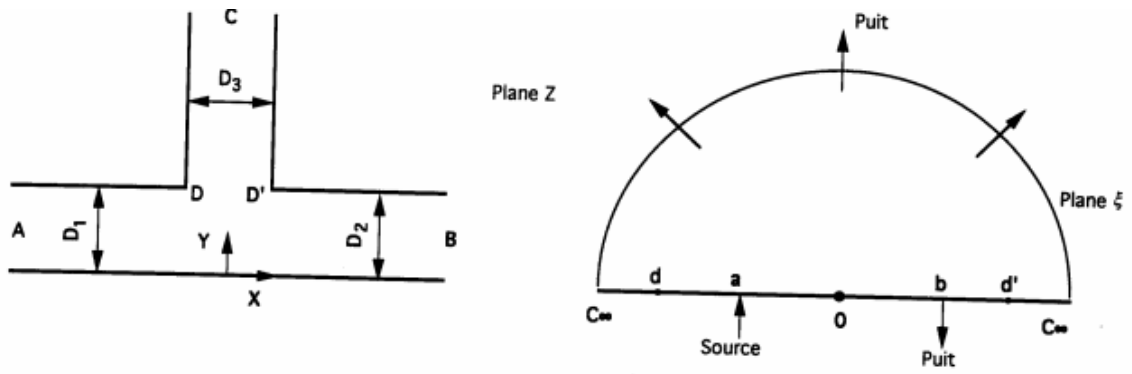
۶. نتیجه گیری

حرکت حباب ها در داخل جریان درهم تابعی از زمان است. مطلبی که مبین آن است که مدل های معمولی توربولانس مانند $(k - \epsilon)$ نمی توانند جهت مطالعه دینامیک حباب ها مورد استفاده قرار گیرند. توزیع لحظه ای ورتیسیتی این امکان را مهیا می سازد که توزیع لحظه ای سرعت و مشتقات فاز مایع و به تبع آن مسیر لحظه ای حباب ها را در داخل کانال محاسبه نماییم. بدین منظور سیستمی از معادلات مربوط به نیروهای اعمال شده بر حباب ها را با استفاده از روش رانک کوتای مرتبه چهارم حل نمودیم.

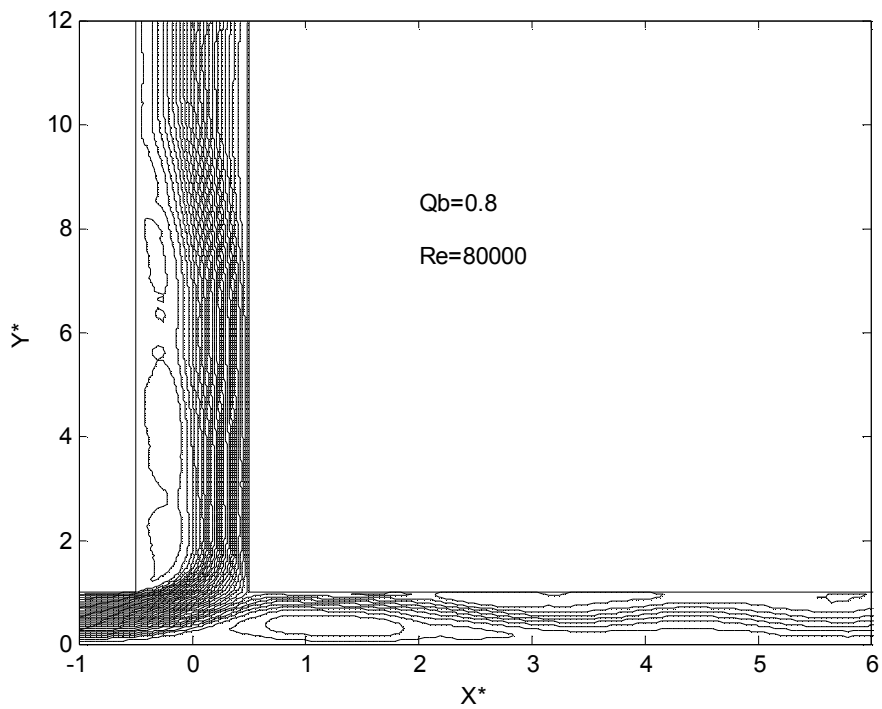
برای جریان حباب ها در داخل اتصال T، مسیر حباب ها و نرخ جدایی فاز محاسبه شدند اگر چه هرگز نمی توان مسیر لحظه ای حباب ها را با یک مرجع مقایسه نمود (اگر وجود داشته باشد) اما در عوض می توان نرخ جدایی فازها را با مقادیر تجربی مقایسه نمود. این قیاس نشان داد که نرخ جدایی محاسبه شده توسط مدل ما، به خوبی با نتایج تجربی [۳] Seeger تطبیق داشته و بیان می کند که دو فاز به یک نسبت در دو شاخه اتصال جدا نمی شوند. با مشاهده مسیرهای حباب ها، می توان بیان نمود که با تزریق حباب ها در یک نقطه اما در لحظه های مختلف، هرگز نمی توان مسیرهای یکسانی بدست آورد، زیرا جریان مایع کاملاً تصادفی و درهم است.

۷. مراجع

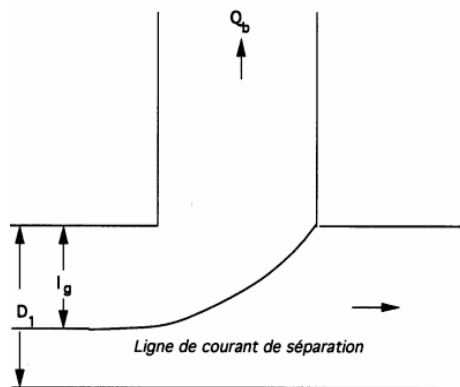
- [1] Hanon, T.J. & Lahey, T.T., 1981 "the measurement of phase separation in wyes and Tee", Nuclear Engineering and Design, North-Holland Publishing Compagne, pp.93-102
- [2] Zetzmann, K. 1982. "phase separation in a vertical tee junction" European Two Phase Group meeting, Paris
- [3] Seeger, W. & al, 1986 "two-phase flow at a tee junction with horizontal inlet, part I: phase separation". Int. J. Multiphase Flow vol. 12, No 4, pp.575-585
- [4] Lemonnier, H. & Hervieu, E., 1988. "Theoretical modeling and experimental investigation of single and two phase flow in a tee junction", ANS proc 1988. Hwat Transfer conf., Houston. Texas.
- [5] Susana & al, 1990, "the prediction of phase separation in branching conduit using a three dimensional two-phase model" T.N., Ed. Hemisphere Publishing Corporation, vol. 1, pp.3=24
- [6] Chorin A.J., "Numerical Study of Slightly Viscous Flow" Journal of Computational Physics, Vol.57, No.4 PP.785-796, 1973
- [7] Ghoniem A.F. & Gagnon, Y., "Vortex Simulating of Laminar Recirculating Flow" Journal of Computational Physics, Vol.68, No.2 PP.346-377, 1987
- [8] Zafarmand, B., "Simulation Numerique des Ecoulements Turbulents et a Bulles dans un Canal simple et dans un Te par la Methode des Vortex Aleatoires (RVM)". These de Docteur de l'I.N.P.L. France. 1996
- [9] ظفرمند بهروز، "شبیه سازی جریان های آرام و درهم در داخل کانال های ساده و پیچیده با روش ورتکس های تصادفی." ۱۳۷۸. ششمین کنفرانس دینامیک شاره ها، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [۱۰] ظفرمند بهروز، کهرم محسن. طوسی محمد رضا، "شبیه سازی جریان های آرام و درهم در داخل کانال با انبساط ناگهانی با روش ورتکس های تصادفی." ۱۳۸۰. نهمین کنفرانس دینامیک شاره ها، دانشگاه گیلان.



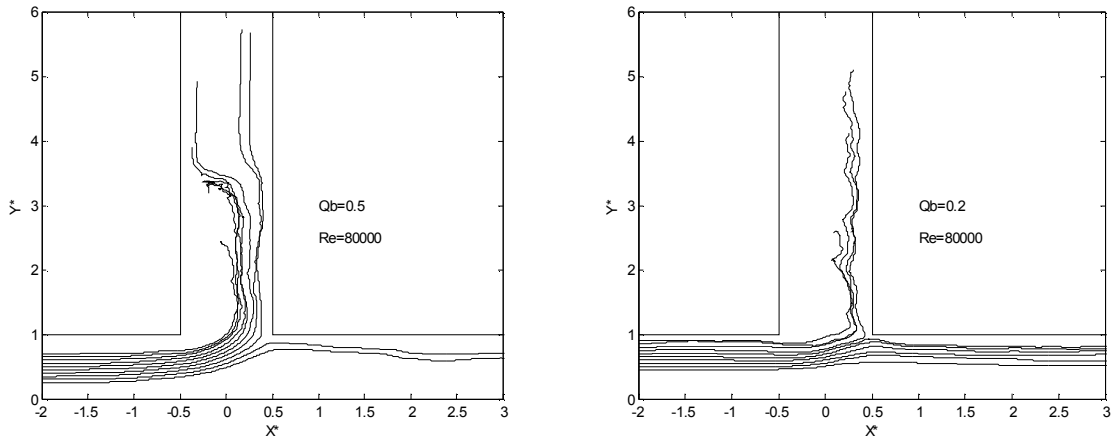
شکل ۱. کانال با اتصال T در صفحه فیزیکی Z و صفحه انتقال ξ مربوط به آن



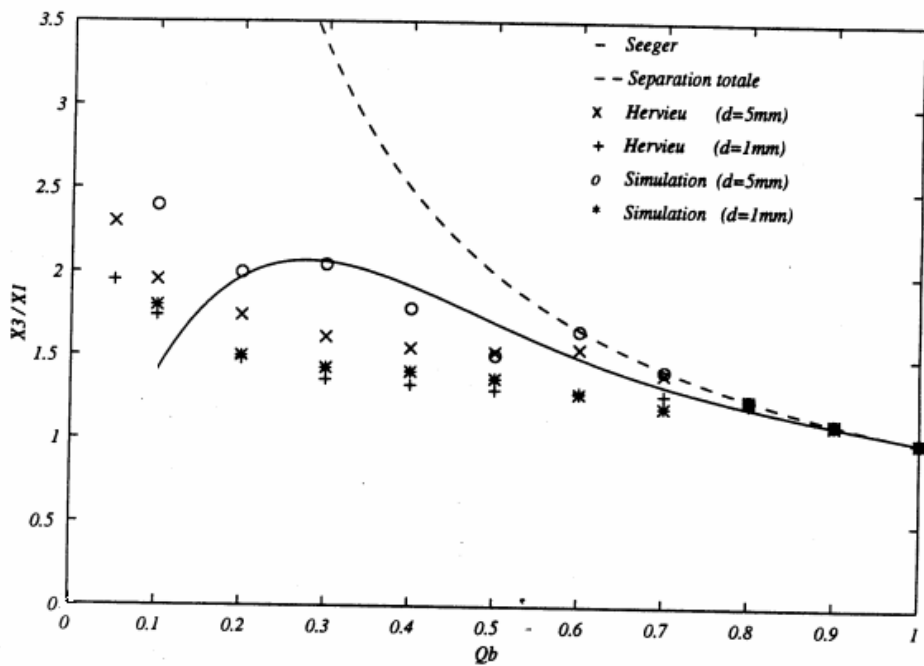
شکل ۲. نمایش خطوط جریان تک فاز و مناطق مختلف چرخشی به ازای $Re = 80000$ $Q_b = 0.8$



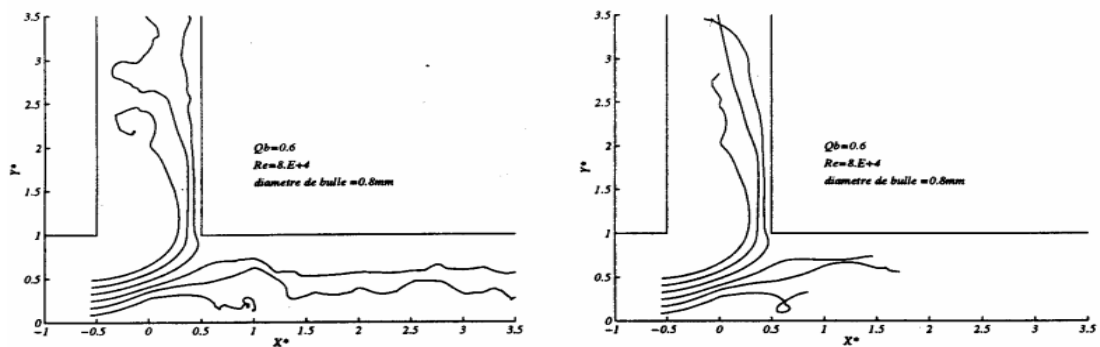
شکل ۳. معرفی I_g^* ، که تمام حباب های رها شده در آن، از شاخه عرضی عبور می کنند



شکل ۴. مسیر لحظه ای حباب ها با شعاع ۰/۵ میلیمتر در دو دبی برداشت مختلف فاز مایع ($Q_b = 0.2$ - 0.5) و $Re = 80000$



شکل ۵. نرخ جدایی حباب ها در اتصال T بر حسب دبی های مختلف برداشتی فاز مایع و مقایسه آن با نتایج تجربی



شکل ۶. نمایش لحظه ای مسیر حباب های رها شده با شعاع ۰/۴ میلیمتر، از یک نقطه و در زمان های مختلف به ازای عدد رینولدز فاز مایع ۸۰۰۰۰ و دبی برداشت مایع از شاخه عرضی $Q_b = 0.6$