



## بررسی ضریب پسا در سیستم های گاز مایع



1493 شماره 1، گروه مهندسی شیمی، پدیده های انتقال، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران  
MNR-510-2-931056

استناد به مقاله: کاکولوند، رضا، (1400). بررسی ضریب پسا در سیستم های گاز مایع، نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر، اول (اول)، 1-12.

### چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت شده:

پذیرفته شده: 1400/4/27

در دسترس آنلاین: 1400/4/27

واژگان کلیدی: دینامیک سیالات محاسباتی، ضریب پسا، نیروی پسا، جریان های دو فازی گاز مایع، سیالات نیوتنی

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) از جمله روش هایی است که در آن کارایی سیالات از راه های گوناگون مورد بررسی قرار می گیرد. برای این سیالات معادلاتی در نظر گرفته می شود که ویژه آن سیال و یک فازی، دو فازی و چند فازی بودن آن است. از جمله معادلاتی که در این روش ها بکار می رود نیروی پسا است که ضریب پسا را به همراه دارد. ضریب پسایی که در اینجا بکار برده می شود، برای سیستم های گاز مایع است، سیستم هایی که در آن حباب گاز و مایع که معمولاً آب است، در سطح جدایشی با هم تماس دارند و لغزشی در این سطح به بار می آید که نیروی پسا را به دنبال دارد. از جمله مختصاتی که برای محاسبات به کار گرفته می شود، اویلر-اویلری، اویلر - لاگرانژی و... است که مختصات مورد بررسی ما اویلر-اویلری است. معادلاتی که در کاوش های گوناگون CFD به کار برده شده است برای سیالات نیوتنی است که معمولاً برای سینی های غربالی و... بکار برده شده است. در این پژوهش مروری می کنیم بر ضرایب پسایی که در این چارچوب و در طی سالیان دور توسط پژوهشگران بدست آمده اند.

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_g \rho_g) + \nabla \times (f_g \rho_g v_g) = 0 \quad 1$$

فاز مایع

1. مقدمه:

نظریات مطرح شده

مدل ریاضی

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_l \rho_l) + \nabla \times (f_l \rho_l v_l) = 0$$

$f_k$ ،  $\rho_k$  و  $V_k$  به ترتیب جز حجمی، چگالی، میکروسکوپی و بردار سرعت برای فاز Kام هستند. جمع جز حجمی گاز و مایع بدین گونه بدست می آیند،

$$f_g + f_l = 1$$

معادلات اندازه حرکت

فاز گاز

مدل شامل جریان گاز و مایع در ساختار اویلر - اویلر است جاییکه فاز هایی که در تقابل هستند معادلات انتقال جدایی دارند، بنا بر این معادلات ناویر - استوکس با رینولدز متوسط (RANS) برای فاز گاز و فاز مایع بدین گونه نوشته می شود.

1- معادلات پیوستگی جرم

فاز گاز

$$C_D = \frac{4}{3} \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_l} g d_g \frac{1}{|v_g - v_l|^2}$$

[1] ، برای بالا رفتن حباب های پاشیده شده در ناحیه

مغشوش

$$|v_g - v_l| = \frac{U_g}{f_g^{average}}$$

در این معادله  $|v_g - v_l|$  سرعت نسبی بین گاز و مایع

است و آنمی تواند مانند یک تابع تابع سطحی سرعت گاز

تخمین زده شود  $U_g = Q_g / A_B$  ، gas

،  $f_g^{average}$  ، average holdup ، بدین گونه :

که  $f_g^{average}$  از معادله Bennett و همکارانش

بدست آمد [2] ،

$$f_g^{average} = 1 - \exp \left[ -12.55 (U_g \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g}})^{0.91} \right]$$

با جایگزینی درست در معادله انتقال مومنتوم سطح

جدایش در شکل مناسبی از CFD را بکار

بیرید: (van Baten and Krishna 1999) [1]

$$M_{gl} = f_g (\rho_l - \rho_g) \left[ \frac{1}{(U_g / f_g^{average})^2} \frac{1}{(1 - f_g^{average})} \right]$$

برای رژیم استوک داریم: [1]

$$\begin{aligned} 6 \quad & \frac{\partial}{\partial t} (f_g \rho_g v_g) + \nabla \times (f_g \rho_g v_g v_g) \\ & = -f \nabla p_g + \nabla \times [f_g \mu_g (\nabla v_g + \nabla v_g^T)] M_{gl} + \rho_g f_g g \end{aligned} \quad 3$$

فاز مایع

$$\begin{aligned} 4 \quad & \frac{\partial}{\partial t} (f_l \rho_l v_l) + \nabla \times (f_l \rho_l v_l v_l) \\ & = -f_l \nabla p_l + \nabla \times [f_l \mu_l^{\text{eff}} (\nabla v_l + \nabla v_l^T)] - M_{gl} + \rho_l f_l g \end{aligned}$$

$\mu_k$  و  $g$  به ترتیب ویسکوزیته مولکولی و بردار گرانش فاز  $k$  را نشان می دهند

$p_k$  میدان فشار است و مقدار یکسانی برای فاز گاز و مایع دارد ،  $p_i = p_g$  .

$M_{lg}$  انتقال اندازه حرکت بین فاز گاز و مایع را بیان می کند و بعلاوه شار اندازه حرکت از نوسانات سرعت و اغتشاش ناشی شده است که همه در ترم دیفیوژن یکی شده اند .

## 2. پیشینه تحقیق

پژوهش هایی در زمینه معادلات موازنه اندازه ذرات و نیروهای وارد بر ذرات به همراه ضرایب پسا و انرژی حاکم و چگونگی انتقال مواد توسط پژوهشگران ارائه شده است [24-11]. نیروی پسا، ضرایب پسا معادلات انرژی و حرارت ذرات و چگونگی پیدایش و از بین رفتن ذرات چگونگی انتقال ذرات در تحقیقاتی بررسی شده اند [36-25]. ضرایب پسایی توسط محققان در پژوهش ها مرور شده است [37].

### سطح جدایش انتقال اندازه حرکت

برای سطح جدایش انتقال مومنتوم ما شامل انتقال مومنتوم ناشی از نیروی پسا است . نیروی پسا بر واحد حجم بدین گونه نوشته می شود :

$$M_{gl} = \frac{3 f_g \rho_l}{4 d_g} C_D |V_g - V_l| (V_g - V_l) \quad 5$$

جائیکه  $d_p$  قطر حباب و  $C_D$  و ضریب پسا است .

ضریب پسای  $C_D$  با استفاده از همبستگی پسای Krishna و همکارانش برآورد شد

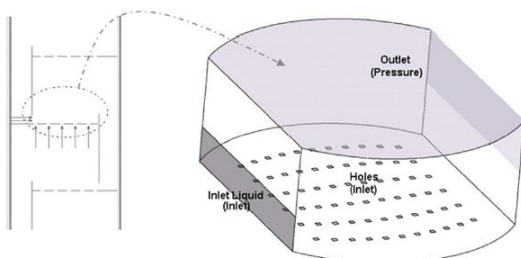


Fig. 1. Flow geometry and boundary conditions.

$$\frac{C_D - C_{D_0}}{C_{D_0}} = K \left( \frac{d_b}{\lambda} \right)^3$$

$$11 \quad Re_G = \frac{\rho_L U_G d_G}{\mu_L}$$

9

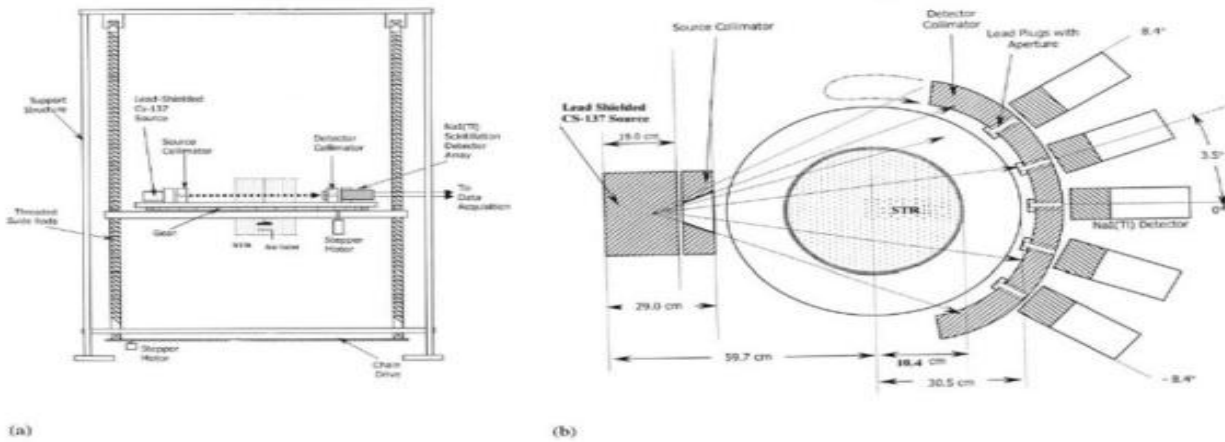


Fig. 2. Schematic of the CT scanner with the stirred vessel. (a) Front view, (b) top view, at one specific location of gantry plate (note that dimensions and angles are not to scale).

$$C_{D_0} = \max \left\{ \left( \frac{2.667 E_0}{E_0 + 4.0} \right), \left( \frac{24}{Re_b} (1 + 0.15 Re_b^{0.687}) \right) \right\} \quad 12$$

$\lambda$  مقیاس طولی کولوموگوروف (Kolmogorov) است  
 $d_p$  قطر حباب و  $K$  یک ثابت تجربی است که  $6 \times 10^{-6}$   
 بدست آمده است. بنابر این برای افزایش همبستگی پسا  
 ناشی از اغتشاش بدست می آید [5].

برای نمایش نوع دیگری از ضریب پسا در دینامیک  
 سیالات محاسباتی (CFD) شبیه سازی جریان گاز مایع در  
 یک میکسر استاتیک مارپیچ را نشان می دهیم.

### 3. مبانی نظری

ضریب پسا  $CD$  به طور ویژه به عدد رینولدز بستگی  
 دارد و برای رینولدزهای بزرگ تر که حباب ها توانایی  
 دگر سازه ای دارند و ساختار بیضوی دارند به عدد  $EO^4$   
 وابسته می شوند، اما به عدد  $MO^5$  غیر وابسته اند.

$$E_0 = \frac{(\rho_L - \rho_G) g d^2}{\sigma} \quad 13$$

$$M_0 = \frac{(\rho_L - \rho_G) g \mu_L^4}{\rho_L^2 \sigma^3} \quad 14$$

$$C_D = \frac{24}{Re_G} \quad 10$$

در حالت دیگر از کاربرد CFD، در ترم تغییرات  
 مومنتوم سطح جدایش  $F_{qi}$   
 شامل چهار ترم است نیروی برون زا<sup>1</sup>، نیروی توده  
 مجازی<sup>2</sup>، نیروی پسای سطح جدایش<sup>3</sup>

در ظرف گاز همزده ضریب پسا سطح جدایش  $CD$   
 تابع پیچیده ای از ضریب پسای مایع ساکن،  $f_g^{average}$   
 ، و اغتشاش همزده شده است، Lane و همکارانش  
 (2000) تاثیرات جریان مغشوش روی ضریب پسا را  
 بررسی کردند (slip velocity). بر اساس مقایسه  
 پیشنهاد توزیع جز حجمی گاز با داده های آزمایشگاهی،  
 یک فاکتور همبستگی مغشوش به وسیله ی Brucato و  
 همکارانش (1998) توصیه شد اما با مقدار پایین تری از  
 ثابت همبستگی است به دنبال آن ما همبستگی را برای  
 محاسبات ضریب پسا به کار برده ایم.

<sup>1</sup>basset force

<sup>2</sup>the virtual mass force

<sup>3</sup> the interphase drag force

<sup>4</sup>Eötvös number

<sup>5</sup>Morton number

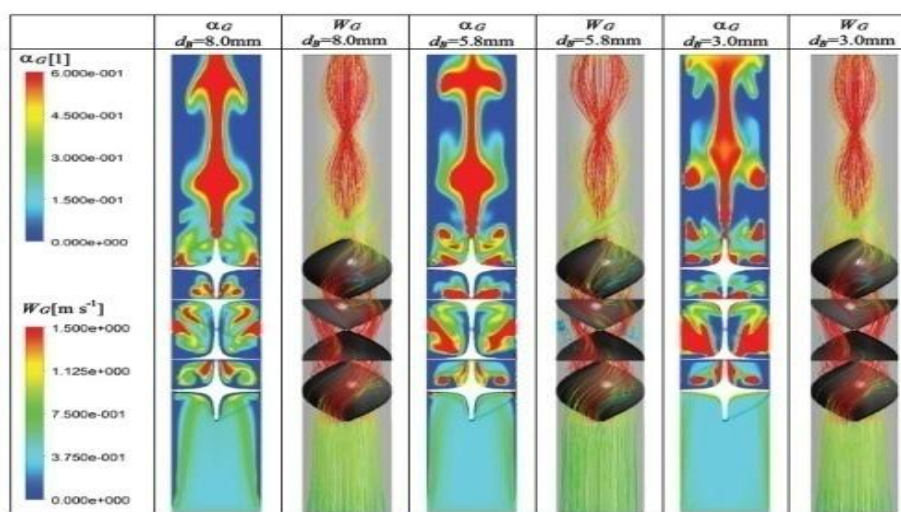


Fig. 5. Images of longitudinal sections parallel to the main flow direction through the center of the pipe showing gas fraction and streamlines of gas velocity for simulations assuming bubble sizes of 8.0, 5.8, and 3.0 mm, respectively.

ترکیب این اعداد بدون بعد بدین روش است :

$$Re^2 = \frac{4}{3C_D} \sqrt{\frac{E_0^3}{M_0}} \quad 19$$

شیلر و نیومن<sup>6</sup> با طبقه بندی های جریان گوناگون نواحی آن بعد از کنکاش موشکافانه سرعت های بالا رفتن حباب در جریان پراکنده و معادلات پیشرفته مفید برای هر بخش از گاز، همبستگی ضریب پسایی را مطرح کردند. نواحی به ذرات کروی متراکم ، ذرات متراکمی بیضوی و ناحیه کروی متراکم کلاهی جدا شده اند .

ناحیه ذرات کروی متراکم

$$C_D(sphere) = \frac{24}{Re_m} (1 + 0.15 Re_m^{0.687}) \quad 20$$

$Re_m$  عدد رینولدز مخلوط (mixture) است ؛

$$Re_m = \frac{\rho_l |\overline{U_g} - \overline{U_l}| D_b}{\mu_m} \quad 21$$

$\mu_m$  ویسکوزیته مخلوط بدین گونه بیان می شود :

$$\mu_m = \mu_l \left(1 - \frac{\alpha_g}{\alpha_{max}}\right)^{-2.5 \alpha_{max} (\mu_g + 0.4 \mu_l) / (\mu_g + \mu_l)}$$

در این معادله  $\alpha_{max}$  بیشترین مقدار را برای مخلوط بیان می کند که برابر با 0/52 است . ناحیه ذرات بیضوی متراکم :

$$C_D(ellipse) = \frac{2}{3} \sqrt{E_0 E} \quad 22$$

یک توزیع همبستگی در در رژیم های سازه های گوناگون در اعداد رینولدز به وسیله ی Zuber و Ishii (1979) پیشنهاد شد [6]:

$$C_D = \max(C_{D,sphere} \min(C_{D,ellipse} C_{D,cap})) \quad 15$$

$$C_{D,sphere} = \frac{24}{Re} (1 + 0.1 Re^{0.75}) \quad 16$$

$$C_{D,cap} = \frac{8}{3} \quad 17$$

نیروی پسا به حرکت بدنه دارای سیال ، مقاومت نشان می دهد ، نیروی پسای روی بدنه بدین گونه نوشته می شود .

$$F^D = \frac{1}{2} \rho_l U_{rel}^2 C_D A \quad 18$$

$\rho$  چگالی سیال و  $U_{rel}$  سرعت نسبی بین جریان اصلی و بدنه است ،  $A$  مساحت پاشیده شده بدنه در عرض صفحه ، در جهت سرعت نسبی است .

ضریب پسا نشاندهنده تاثیرات گرانی در فرمول است . گریس (گریس و همکارانش 1976) تجزیه و تحلیل ابعادی را برای حباب های منفردی اجرا کرد که در یک مایع ساکن بالا می رفتند و نتیجه گرفت که دینامیک آنها باید به طور کامل با توجه به زیر گروه های بی بعد مانند  $Re$ ،  $EO$  و  $MO$  بیان شده است:

توجه کنید که عدد  $Re$  نسبت نیروی ماند به پسای ویسکوز را نشان می دهد عدد  $EO$  نسبت شناوری نیروی تنشی سطح و عدد  $MO$  ویژگی گروهی دو فاز است .  $\sigma$  برپایه تنشی سطحی بین دو فاز است.

<sup>6</sup> Schiller and Naumann (1935)

تأثیرات نیروی جرم مجازی و بالا برنده در اینجا کوچک بوده و قابل چشم پوشی است .

$$F = -\frac{3\rho_l \alpha_l \alpha_g C_D |u_g - u_l| (u_g - u_l)}{4d} \quad 27$$

$d$  قطر حباب چسبندگی و شکست حباب گاز قابل صرف نظر کردن است و در حقیقت محاسبات بر اساس گاز ( hold-up ) و میدان جریان هستند . ضریب پسا با مدل شیلر- نیومن محاسبه شده است .

$$C_D = \begin{cases} \frac{24(1+0.15Re^{0.687})}{Re_p} & (Re_p \leq 1000) \\ 0.44 & (Re_p > 1000) \end{cases}$$

$Re_p$  عدد رینولدز نسبی است که شامل اثرات جریان مغشوش است .

$$Re_p = \frac{\rho_l |u_g - u_l| d}{\mu_l + c \mu_{l,j}}$$

در شکل دیگری از کاربرد CFD که معادلات یکپارچه ساده سازی شده برای معادلات ساده سازی شدهی سیستم کلی در شرایط پایا جمع شده اند ، ما به طور تجربی این مشکل را با ترکیب معادلات زیر محاسبه می کنیم ؛ ضریب پسای متوسط  $\beta$  و نیروی پسای متوسط  $F_D$  و استفاده آن در سیالات دو فاز و چند فاز بدین گونه است .

$$F_D = \beta(u_l - u_g) \quad 28$$

$$\beta = \frac{3}{4} \varepsilon_g \frac{C_D}{d_b} \rho_l |u_l - u_g| \quad 29$$

$$E = \frac{(1+17.67f^{6/7})}{18.67f} \quad 23$$

در ناحیه ی کلاhek های کروی مترakم<sup>7</sup>

$$C_D(cap) = \frac{8}{3} E' \quad 24$$

$$E' = (1 - \alpha_g)^2 \quad 25$$

گزینش بین ناحیه جریانهای گوناگون به شرح ذیل انجام می شود:

$$CD = \begin{cases} CD(کروی) \geq CD(بیضوی) & CD(کروی) \\ \min(CD(بیضوی), CD(کروی)) & CD(کروی) < CD(بیضوی) \end{cases}$$

این مدل در بازه ای از اعداد رینولدز قابل اجراست [7]:

در ناحیه ی کروی  $0 \leq Re < 1000$

در ناحیه بیضوی و کلاheکی  $Re \geq 1000$

مدل اختلاط گاز مایع

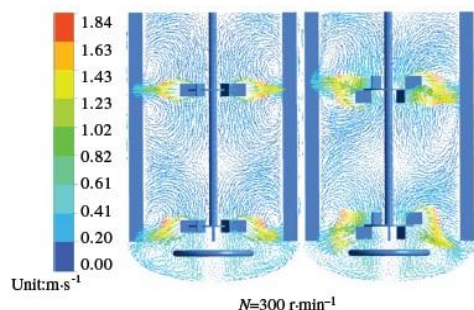
در نمونه دیگری از کاربرد ضریب پسا با کار برد مدل اولر-اولر شبیه سازی شده بود .

فرض شده که فاز مایع و فاز گاز فضای نسبی حجمشان را به اشتراک گذاشته اند به طوری که جمع حجم نسبیشان بدین گونه است :

$$\alpha_l - \alpha_g = 1$$

معادلات اندازه حرکت

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_l \rho_l u_l) + \nabla \cdot (\alpha_l \rho_l u_l u_l) = -\alpha_l \nabla p + \nabla \cdot \tau_l + \alpha_l \rho_l g + F \quad 26$$



فشار بین گاز و مایع به اشتراک گذاشته می شود.  $\tau_l$  تنش برشی فاز مایع ،  $F$  نیروی پسای بین فاز هاست

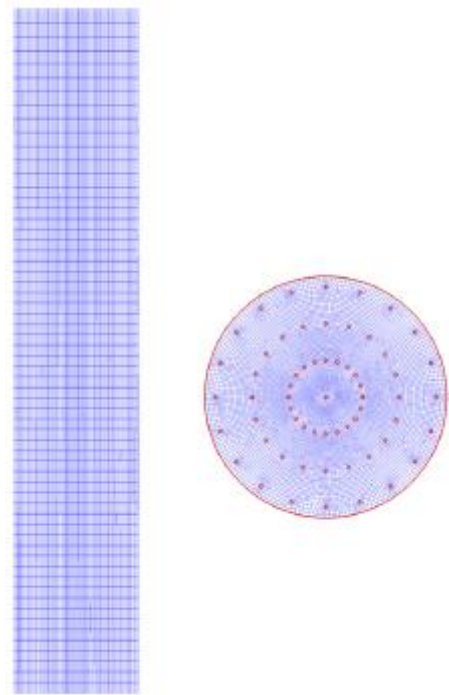
قانون اندازه حرکت<sup>9</sup> و در نتیجه استفاده از نیروی پسا<sup>10</sup> و به ویژه ضریب پسا<sup>11</sup> معادلات گوناگونی برای ضریب پسا بکار برده شده است که هر کدام دقت ویژه خود را دارند و برای ناحیه ویژه ای سیال کاربرد دارند و اجرا می شوند همانطوری که مشاهده می کنید هر کدام از این معادلات روش های به وجود آمدن خود را داشته اند که توسط پژوهشگران ایجاد شده است بعضی از این پژوهش گران معادلات را اثبات کرده اند و عده ای نیز این معادلات را تا جایی که وابسته به رینولدز بوده ثابت کرده و دقت آن را با تغییر ضرائب ثابت افزایش داده اند . از آنجایی که کاربرد این ضرائب در CFD بسیار است ، برآن شدیم تا مقالهای را گردآوری کنیم که تقریباً همهی این روابط را در سیستم گاز مایع و در ساختار نیوتنی و در چارچوب اولر اولر پوشش دهد، چرا که مواردی را که به طور رایج در طبیعت با آنها سرو کار داریم ، ساختار نیوتنی داشته و محیطی است که از دید بیننده قابل رؤیت و ناظر نسبت به آن ساکن است ، بدین گونه پاسخگوی پژوهشگرانی باشد که در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی و با این شرایط کار می کنند .

#### 4. روش تحقیق

تحقیقات انجام شده به صورت تئوری و براساس مطالعات کتب مباحث ریاضیات و سیالات اجرا شده است.

#### 5. بحث و نتیجه گیری:

با پیشرفت علم و در نتیجه آن صنعت و روی آوردن پژوهشگران به کارهای شبیه سازی شده و استفاده از نرم افزارهای گوناگون برای رسیدن و نزدیک شدن هر چه بیشتر به واقعیات صنعتی به خصوص شبیه سازی برجهای حبابکار روابط گوناگونی برای استفاده از آنها به کار برده شد که هر کدام میزان دقت ویژه خود را داشتند [10] و در هر چه واقعی تر کردن شبیه سازی پیش رفتند برای نیروی پسا و در ادامه آن ضریب پسا نیز چنین رخدادی وجود دارد که پژوهش گران در پی آنند مطالعات CFD را به بیشترین دقت خود برسانند در این مقاله براین روند کار در مورد ضریبپسای



شکل ؛ تحلیل دادهها در مش های تولید شده

تأثیرات ضریب پسا برای یک حباب به خاطر هر دو عامل ثبات قطر متغیر حباب  $d_b$  و تأثیرات پاشش حباب نشان داده شده با یک ضریب تصحیح بدین گونه نشان داده می شود .

$$C_D = C_{D_0} (1 - \varepsilon_g)^p \quad 30$$

ضریب پسای استاندارد برای یک حباب وبدون تأثیر حباب های همسایه است. مدل DBS<sup>8</sup> می تواند یک  $C_D/d_b$  تعادلی را محاسبه می کند [9].

Tomiyama (1998)

$$C_{D_0} = \max \left\{ \min \left[ \frac{16}{Re} (1 + 0.15 Re^{0.687}), \frac{48}{Re} \right], \frac{8}{3} \frac{E_0}{E_0 + 4} \right\} \quad 31$$

White (1974) و

$$C_D = 0.44 + \frac{24}{Re} + \frac{6}{1 + \sqrt{Re}} \quad 32$$

همانگونه که مشاهده کردید در CFD و در کاربرد های گوناگون برای سیالات دو فازی گاز و مایع با استفاده از

<sup>9</sup>Momentum

<sup>10</sup>Drag force

<sup>11</sup>Drag coefficient

Dual-Bubble-Size<sup>8</sup>

- [11] R. Kakulvand, Population balancing methods to describe the increase and decrease of particle size. Iranian International Journal of *Science, Culture and Art* 1 (1) (1400) 19-25.
- [12] کاکولوند، رضا، (1401). روش های موازنه ی جمعیت برای توصیف بزرگ شدن و کوچک شدن اندازه ذرات ، *نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر، اول (اول)*، 19-23.
- [13] شهریار ، بتول، ( 1399 ). اثر تنش سرمزدگی بر رشد گیاهان پاییزه و راهکارهای مقابله ، *نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر* ، 1، 1، 7-9.
- [14] پورشخی، محسن، (1400). الگوریتمی جدید برای حل مساله فروشنده دوره گرد متقارن ، *نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر، اول (اول)*، 8-18.
- [15] R. kakulvand, Review of drag coefficients on gas – liquid tower: the drag coefficient independent and dependent on bubble diameter in bubble column experiment, *Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 48-58.
- [16] Batul Shahriyar, Ciruc Mansourifar, The effect of frost stress on the growth of autumn plants and ways to deal with them. *Journal of Science, Culture and Art* 1 (1) (2021) 7-11.
- [17] R. kakulvand, The effects of transient radiant flow on pipe in contact with natural convection, for developed laminar flow of fluid with high Prandtl number, on enthalpy and entropy generation, *Journal of Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 130-137.
- [18] R. kakulvand, Effect of Non-uniform Convection on Entropy Generation and Enthalpy for the Laminar Developing Pipe Flow of a High Prandtl Number Fluid. *World Journal of Applied Chemistry*, 4 (2019) 69-78.
- [19] Reza. kakulvand, The effects of transient heat flux on the tube in contact with the natural convection, on enthalpy and entropy generation, for developed laminar flow of fluid with high Prandtl number. *Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 165-175.
- [20] Reza. kakulvand, Effect of non-uniform temperature distribution on entropy generation and enthalpy for the laminar developing pipe flow of a high Prandtl number fluid. *Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 98-106.
- [21] Mohsen Poursheikhi. A new algorithm to solve the symmetric iterative Marketer problem. Iranian International Journal of *Science, Culture and Art* 1 (11) (2021) 12-18.
- [22] Reza Kakulvand, Population balancing methods to describe the increase and decrease of particle size. *Science, Culture and Art*, 1 (1) (1400) 19-25.
- [23] R. kakulvand, Review of drag coefficients on gas – liquid tower: the drag coefficient independent and dependent on bubble diameter in bubble column experiment, *Journal of Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 48-58.
- [24] R. Kakulvand. Investigation of drag coefficient in gas-liquid systems. *Journal of Science Culture and Art*, 1 (1) (2021) 1 – 6.
- [25] R. Kakulvand. Investigation of drag coefficient in gas-liquid systems. Iranian International Journal of *Science Culture and Art*, 1 (1) (2021) 1 – 6.
- [26] پورشخی، محسن، (1400). الگوریتمی جدید برای حل مساله فروشنده دوره گرد متقارن ، *نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر، اول (اول)*، 8-18.
- [27] Batul Shahriyar, Ciruc Mansourifar, The effect of frost stress on the growth of autumn plants and ways to deal with them. *Science, Culture and Art* 1 (1) (2021) 7-11.
- برج های حباب کار دارای سیال نیوتنی در چارچوب اولر-اولری بکار برده شده اند و این روند واقعی سازی ادامه خواهد داشت تا پژوهش ها به نهایت ثمر خود برسد .
- ## سپاسگزاری
- از اساتید، داوران، ویراستاران و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر حمایت مالی و معنوی و همکاری در اجرای پژوهش قدردانی، تشکر و سپاسگزاری میشود.
- نام، نام خانوادگی، گروه، دانشگاه، موسسه، شهر، ایالت ، کشور  
\*ایمیل: rezakakulvand93@gmail.com  
تلگرام: 09167077398
- ## 6. منابع:
- [1] Krishna, R. van Baten, J.M. Ellenberger, J. Higler, A.P. Taylor, R. CFD simulation of sieve tray hydrodynamics , *Chem. Eng. Res. Des., Trans IChen* , 77 1999 , 639–646.
- [2] van Baten, J.M. Krishna, R . Modelling sieve tray hydraulics using computational fluid dynamics, *Chem. Eng. J.* 77 , 2000, 143–151.
- [3] Tomiyama, A . Kataoka , I. Z'un, I. Sakaguchi , T. Drag coefficients of single bubbles under normal and micro gravity conditions, *JSME Int. J.* 42 , 1998 , 472 – 479.
- [4] Ishii, M. , Zuber, N. , 1979 . Drag coefficient and relative velocity in bubbly, droplet or particulate flows. *AIChE J.* 25, 843–855 .
- [5] Avinash R. Khopkar, Philippe A. Tangu , CFD simulation of gas–liquid flows in stirred vessel equipped with dual rushtonturbines: influence of parallel, merging and diverging flow configurations , *Chemical Engineering Science* , 63 , 2008 , 3810 – 3820.
- [6] Zidouni ,F. Krepper , E. Rzehak , R. Rabha , S. Schubert , M. U.Hampel , Simulation of gas–liquid flow inahelical static mixer, *Chemical Engineering Science* , 137, 2015 , 476 – 486.
- [7] Stephen Yamoah, Raúl Martínez Cuenca , Guillem Monrós , Sergio Chiva , Rafael Macián - Juan , Numerical investigation of models for drag, lift ,wall lubrication and turbulent dispersion forces forthe simulation of gas–liquid two-phase flow , *chemical engineering research and design* , 98 , 2015 , 17–35 .
- [8] Fengling Yang , Shenjie Zhou , Xiaohui An , Gas–liquid hydrodynamics in a vessel stirred by dual dislocated - bladeRushton impellers , *Chinese Journal of Chemical Engineering* , 23 , 2015 , 1746 –1754 .
- [9] Ning Yang , Zongying Wu , Jianhua Chen , Yuhua Wang, Jinghai Li , Multi-scale analysis of gas–liquid interaction and CFD simulation of gas–liquid flow in bubble columns, *Chemical Engineering Science* , 66 , 2011, 3212–3222 .
- [10] Clift , R , Grace J. R, Weber M. E., *Bubbles, Drops, and Particles* , 111 Fifth Avenue, New York, New York 10003, p 380 , 1978..

- [28] Reza. kakulvand, Effect of Non-uniform Convection on Entropy Generation and Enthalpy for the Laminar Developing Pipe Flow of a High Prandtl Number Fluid. *World Journal of Applied Chemistry*, 4 (2019) 69-78.
- [29] R. kakulvand, Effect of non-uniform temperature distribution on entropy generation and enthalpy for the laminar developing pipe flow of a high Prandtl number fluid. *Journal of Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 98-106.
- [30] R. kakulvand, The effects of transient heat flux on the tube in contact with the natural convection, on enthalpy and entropy generation, for developed laminar flow of fluid with high Prandtl number. *Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 165-175.
- [31] R. kakulvand, The effects of transient radiant flow on pipe in contact with natural convection, for developed laminar flow of fluid with high Prandtl number, on enthalpy and entropy generation, *Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 130-137.
- [32] Reza Kakulvand,. Population balancing methods to describe the increase and decrease of particle size. Iranian International Journal of *Science, Culture and Art*, 1 (1) (1400) 19-25.
- [33] R. Kakulvand. Investigation of drag coefficient in gas-liquid systems. *Journal of Science Culture and Art*, 1 (1) (2021) 1 – 6.
- [34] Reza Kakulvand,. Population balancing methods to describe the increase and decrease of particle size. International Journal of *Science, Culture and Art* 1 (1) (1400) 19-25.
- [35] کاکولوند، رضا، (1401). روش های موازنه ی جمعیت برای توصیف بزرگ شدن و کوچک شدن اندازه ذرات ، نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر، /ول(اول)، 19-23.
- [36] شهریار ، بتول، ( 1399 ). اثر تنش سرمازدگی بر رشد گیاهان پاییزه و راهکارهای مقابله ، نشریه علم، فرهنگ و هنر ، 1، (1)، 7-9.
- [37] R. Kakulvand. Investigation of drag coefficient in gas-liquid systems. Iranian International Journal of *Science Culture and Art*, 1 (1) (2021) 1 – 6.