



شبیه‌سازی هیدرودینامیکی راکتورهای اکسیداسیون حلقه درونی با استفاده از محلول آب خالص

فرید صفری

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

p_chem.eng_fs2005@yahoo.com

هادی شامی زاده

دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

امیر سپهریان آذر

استاد یار دانشکده علوم، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

حسین مسعودی طولارود

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

چکیده

شبیه‌سازی نرم افزاری ما در مورد نظام سرعت گاز ورودی و مقدار ماندگی گاز در راکتورهای هوایی یا همان Air Liftها می‌باشد. مدل اصلی که برای این شبیه‌سازی انتخاب شده دارای بررسی شرایط انتقال جرم نیز می‌باشد، فاز مایع استفاده شده در این راکتور می‌تواند از محلول CMC و آب یا آب و الکل باشد که محلول استفاده شده در این شبیه‌سازی و این مقاله آب خالص است. ولی در حالت کلی برنامه از هم‌گرا کردن معادلات تجربی یک راکتور و استفاده از روابط مختلف انواع Air Lift توسط شبکه‌های عصبی تهیه شده است و برای هر محلول دیگر نیز جواب گو می‌باشد. مقایسه بین مدل اصلی و مدل شبیه‌سازی شده برای انواع نازل‌های تک و ورودی، چند ورودی و چند ورودی ۲ نیز صورت گرفته است.

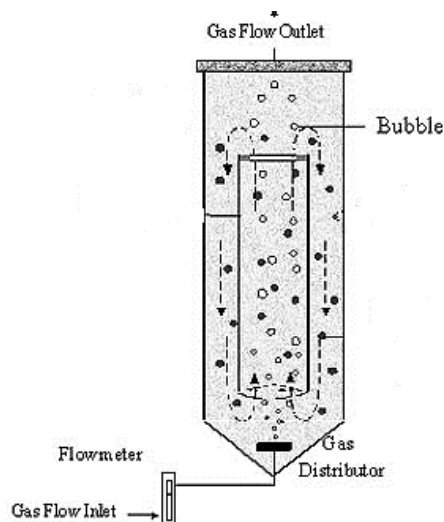
واژه‌های کلیدی: راکتور اکسیداسیون، ماندگی گاز، سرعت سطحی گاز، سرعت مایع، توزیع کننده

مقدمه

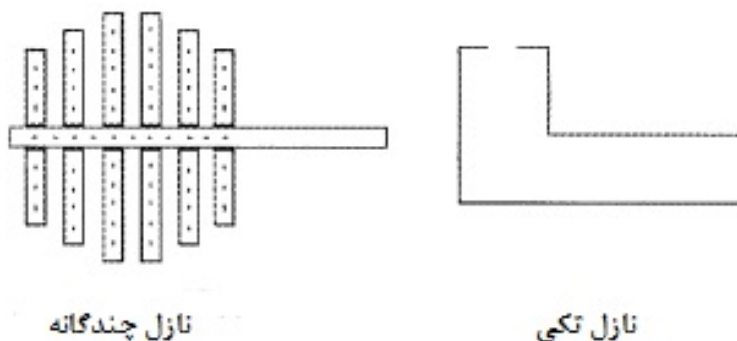
راکتورهای هوایی حلقوی که با جریان هوا کار می‌کنند در صنایع شیمیایی و بیولوژیکی برای واکنش‌های آرام مانند اکسیداسیون‌ها و کلردار شدن‌ها و در هر جا که سلول‌های گیاهی و حشره‌ها وجود داشته باشند مورد استفاده قرار می‌گیرند Air Lift ها به طور کلی در رشد میکروارگانیسم تأثیر بسزایی دارند. در این شبیه سازی مقدار ماندگی در راکتور و سرعت گاز و مایع طبق چند رژیم تعریف شده: (۱) رژیم همگن (۲) رژیم ناهمگن (۳) رژیم ما بین همگن و ناهمگن بدست می‌آید که البته برای توزیع کننده‌های مختلف تعیین نقطه تغییر رژیم از همگن به ناهمگن فرق می‌کند که به همین منظور ما از انواع توزیع کننده‌های تک ورودی و چند ورودی استفاده می‌کنیم.

دیتاها

ما از یک راکتور هوایی شیشه‌ای با حلقه داخلی مطابق شکل استفاده کرده‌ایم که شامل یک قسمت کف، یک رایزر با قطر داخلی ۰/۲۳ متر و با ارتفاع ۳ متر و جدا کننده با قطر ۰/۶ که از استیل ساخته شده و یک پایین آورنده با قطر ۰/۲۱ متر و سه توزیع کننده و با یک نازل اورفیزیکی تک‌ و دو توزیع کننده اورفیزیکی چندگانه می‌باشد که بالا رونده و پایین رونده هر دو به‌عنوان دو بخش اداره کننده ALR ها می‌باشد. سرعت گاز تزریقی بین ۱/۵ تا 12 cm.s^{-1} متنوع می‌باشد [3]. آب و اتانول برای این راکتور مورد استفاده قرار گرفته است. این محلول می‌تواند به‌عنوان فاز مایع تولید حباب کند و به‌عنوان شبیه ساز عملکرد مخلوط‌های ارگانیک بکار رود. این آزمایش در درجه حرارت عمومی و فشار اتمسفر انجام می‌گیرد.



شکل ۱- راکتور هوایی با حلقه درونی



شکل ۲- انواع نازل

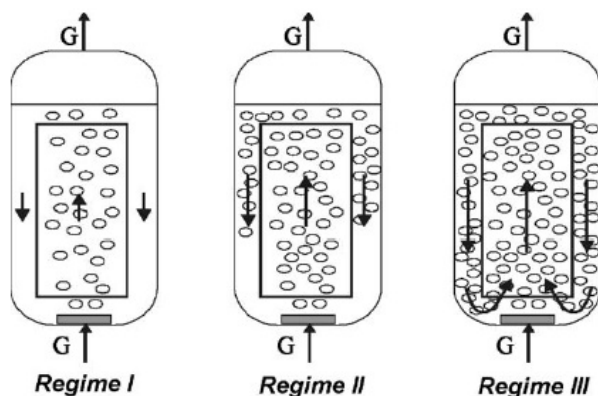
قطر روزنه (mm)	تعداد روزنه	
۱۰	۱	نازل اورفیزی تکی
۲	۷۲	نازل اورفیزی چندگانه ۱
۲	۱۲	نازل اورفیزی چندگانه ۲

جدول ۱- مشخصات نازل ها

رژیم های چرخشی

داخل پایین برنده در مقادیر بالای U_G عملاً با رشد سرعت ازدحام حباب برابر می شود. رژیم III: توزیع کننده چند ورودی ۱، رژیم چرخشی حباب، در مقادیر بالای سرعت جریان هوا سرعت مایع ناحیه پایین برنده برای چرخش حباب ها از میان بالا برنده کافی می باشد [2]

رژیم I: توزیع کننده تک ورودی، گاز در ناحیه پایین رونده موجود نمی باشد؛ این رژیم در کمترین سرعت های ظاهری گاز ورودی رخ می دهد. رژیم II: توزیع کننده چند ورودی ۲، لایه بندی و انحطاط حباب ها در داخل ناحیه پایین برنده، سرعت مایع



شکل ۳- رژیم های چرخشی در راکتور هوایی با حلقه درونی

$$P(z) = P^* + \int_Z^{H_R} \rho_L g(1 - \varepsilon_{GR}) dz + \int_Z^{H_R} \frac{2f\rho_L V_L^2}{D} \Phi_L^2 dz \quad (1)$$

که P^* فشار جدا کننده می‌باشد.

از رژیم‌های تعریف شده، رژیم مورد نظر ما که در سرعت‌های بالای گاز رخ می‌دهد از مدل فلاکس انحرافی که معرف رابطه بین ماندگی گاز با سرعت‌های گاز و مایع می‌باشد به رابطه زیر می‌رسیم [3].

$$\frac{U_G}{\varepsilon_G} = C_0 (U_G + U_L) + C_1(2)$$

مقادیر C_0 و C_1 را می‌توان از جدول زیر که روابط ماندگی

گاز را برحسب نوع نازل مشخص کرده است بدست آورد

معادله فشار رایزر:

شبه سازی هیدرودینامیکی معمولاً بر اساس بالانس بین نیروهای محرک و نیروهای مقاوم است. نیروی محرکه توسط فشار هیدرواستاتیک اعمال می‌شود و هر نیروی مقاوم برابر است با افت فشار در اطراف جریان که از تعادل آنها معادله زیر برای فشار موضعی رایزر ناشی می‌گردد.

$\frac{U_G}{\varepsilon_G} = 1/29 (U_G + U_L) + 0/19$	نازل اورفیزی چند گانه ۱
$\frac{U_G}{\varepsilon_G} = 1/32 (U_G + U_L) + 0/16$	نازل اورفیزی چند گانه ۲
$\frac{U_G}{\varepsilon_G} = 1/38 (U_G + U_L) + 0/20$	نازل اورفیزی تکی

جدول ۲= ماندگی گاز برای آب و بوتانول

سرعت خطی (V): سرعت موارد فاز را در یک مکان مشخص نشان می دهد.

رابطه بین U و V در بالا برنده یا پایین برنده

$$V_{LR} = \frac{U_{LR}}{1-\epsilon_{GR}} \quad (3)$$

$$A_D U_{LD} = A_R U_{LR} \quad (4) \text{ رابطه بین سرعت های چرخشی مایع در بالا برنده و پایین برنده}$$

سرعت کلی (V_{L-CIRC}): یک سرعت خطی متوسط را در مورد از مایع داخل راکتور ارائه می دهد.
پس در رژیم I داریم:

$$V_{L-CIRC} = (0/3 K_1)^{0/5} \left(\frac{U_{GC}}{M}\right)^{0/35} \quad (5)$$

که برای یک قسمت از رژیم II نیز برقرار می باشد.

$$V_{LD} = V_{SB} \quad (6) \text{ در رژیم II}$$

$$V_{L-CIRC}^3 + K_2 V_{L-CIRC}^2 - K_1 V_{GC} = 0 \quad (7) \text{ در رژیم III}$$

$$K_1 = \frac{4g He}{K_F} \delta$$

$$\sqrt{df} K_2 = \frac{2[M+(1-M)\alpha]}{1-\alpha} V_{SB} \quad 9$$

چرخشی می باشد و به صورت تجربی توسط مدل Heijnen محاسبه گردیده که مقدار آن برای رژیم و راکتور مورد نظر ما مطابق زیر است [4]:

$$K_F = 3/66$$

که در اینجا H_e ارتفاع موثر ستون، α نسبت توقف گاز در ناحیه بالا برنده و پایین برنده، m نسبت سطح مقطع بالا برنده و ستون می باشد [2] و K_f نیز ضریب اصطکاک کلی بوده که هم تحت تأثیر هندسه راکتور و هم وجود رژیم های

ماندگی گاز:

ماندگی گاز به عنوان فضای خالی گاز در توزیع گاز-مایع تعریف می شود و در IALRها به صورت زیر تعریف می گردد [2]

$$\epsilon_R = 1 - \frac{\Delta P}{\rho_L g \Delta h} \quad (10)$$

$$\epsilon_D = \alpha \epsilon_R - \beta \quad (11)$$

$$\epsilon_G = \frac{\epsilon_R A_R + \epsilon_D A_D}{A_R + A_D} \quad (12)$$

ثابت α و β نیز برای رژیم مورد نظر ما در مدل محاسبه گردیده [4]:

$$\alpha = 0/967$$

$$\beta = -0/0068$$

رابطه ماندگی کلی گاز در برابر سرعت سطحی

گاز:

Chisti دو رابطه منتشر کرده که به صورت جداگانه هم رژیم جریان حباب را در بالا رونده (رژیم II در شرایط پایین برنده) و هم رژیم به هم آمیخته شده جریان را در بالا رونده توضیح می‌دهد (رژیم III در پایین رونده) [5]

ارتباط بین فشار $P(1)$ در کف رایزر بالای تزریق کننده و فشار P_{dist} بوجود آمده از طریق بالانس انرژی در تزریق کننده:

$$P_{dist} - P(1) = \frac{1}{2} \rho_L \left[\left(\frac{U_{L(1)}}{1 - \varepsilon_{GR(1)}} \right)^2 - \frac{1}{2} \rho_L \right] \quad (17)$$

اطلاعات بدست آمده از طریق شبیه سازی

هیدرودینامیکی:

آنچه که از شبیه سازی و بررسی‌های انجام گرفته آشکار است، در شرایط مشابه نمودار $\varepsilon_G - U_G$ مربوط به توزیع کننده تکی پایین تر از توزیع کننده‌های چندگانه قرار می‌گیرد. پس ماندگی گاز در توزیع کننده تکی کمتر از توزیع کننده‌های چندگانه می‌باشد، در مورد توزیع کننده‌های چندگانه نیز می‌توان به این اشاره کرد که هر چه مقدار روزنه‌های آن بیشتر باشد ماندگی افزایش می‌یابد.

مقادیر $\varepsilon_D - \varepsilon_R$ که نیروی محرکه راکتورهای ایرلیفت می‌باشد برای مقادیر پایین تر U_{GL} به هم می‌باشد و در دامنه مقادیر بالاتر مربوط به سرعت جریان گاز ورودی سرعت چرخش فقط از طریق اصطکاک در مخزن اداره می‌شود.

$$\varepsilon_G = 1/488 U_{GC}^{K_1} K_1 = 0/892 \pm 0/075 \quad (13)$$

$$\varepsilon_G = 0/371 U_{GC}^{K_2} K_2 = 0/430 \pm 0/015 \quad (14)$$

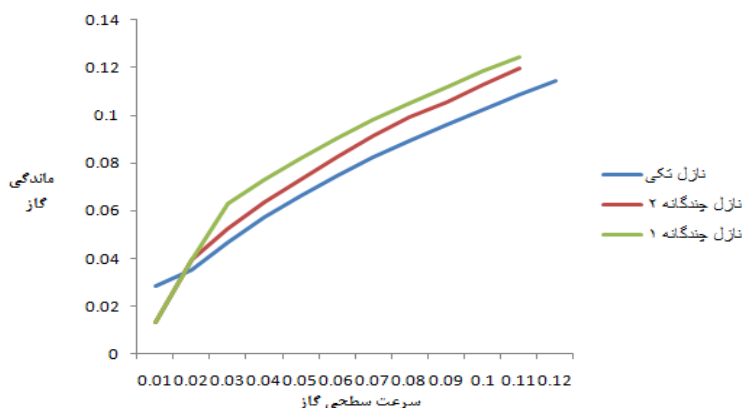
افت فشار پایین آورنده:

از دست دادن فشار از پایین برنده به تزریق کننده گاز می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

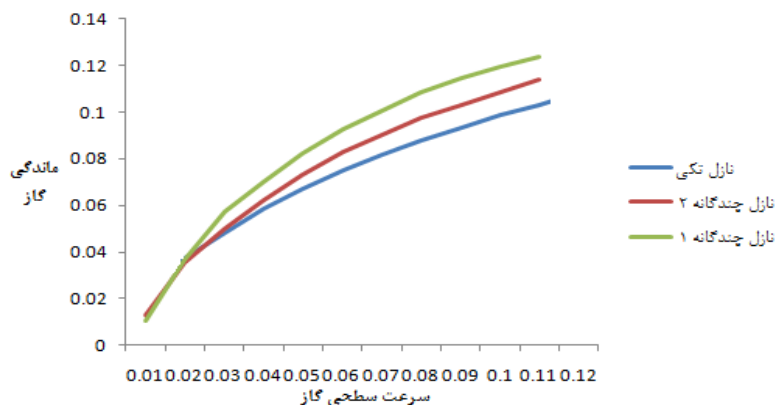
$$\Delta P_{FD} = K \rho_L \Phi_L^2 \quad (15)$$

و زمانی که K ضریب از دست دادن براساس میزان جریان مایع باشد، فشار در کف رایزر و زیر تزریق کننده نتیجه می‌دهد [3]:

بالانس انرژی در تزریق کننده:



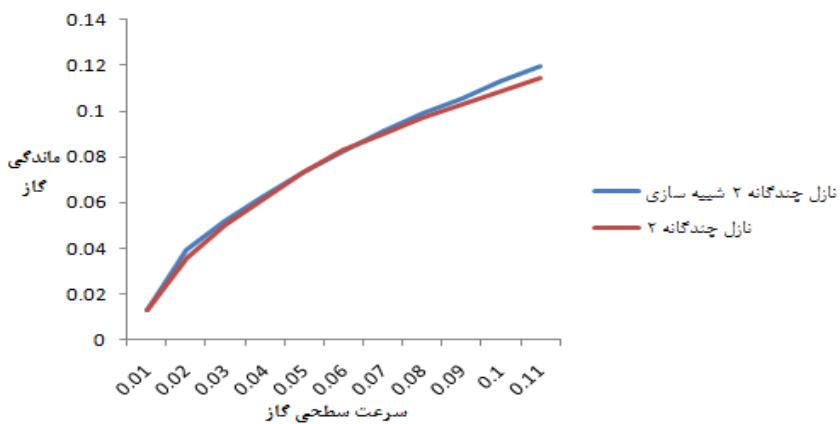
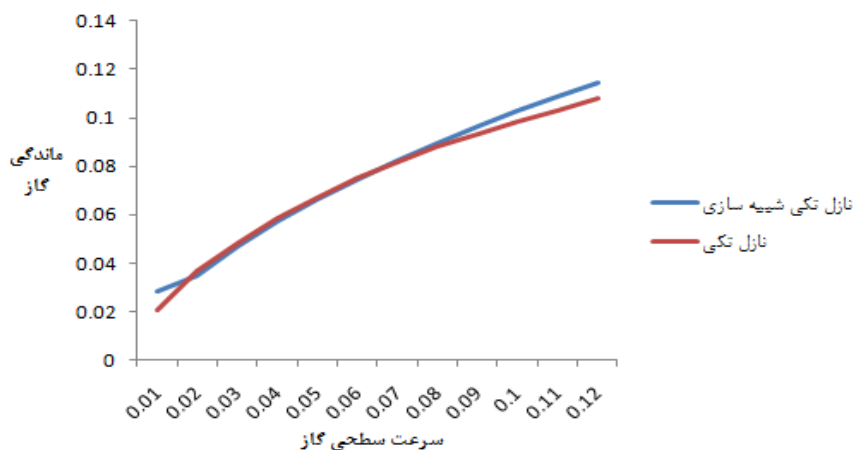
شکل ۴- نمودار ماندگی گاز مربوط به شبیه سازی



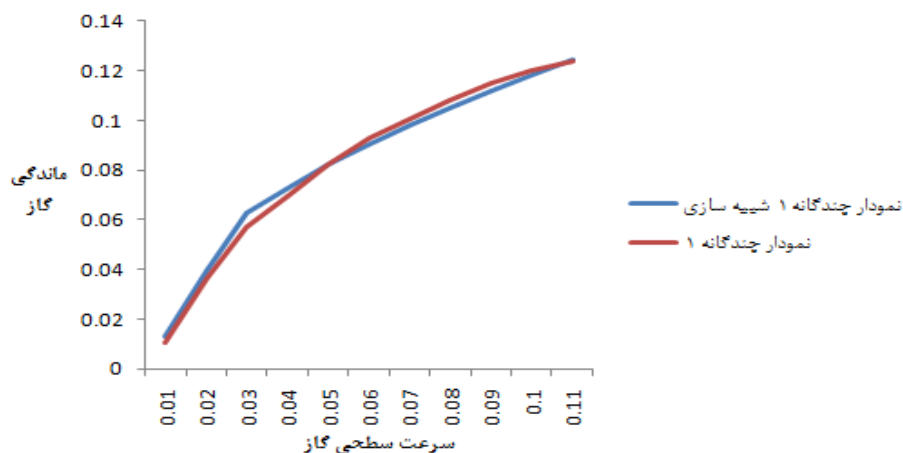
شکل ۵- نمودار ماندگی گاز مربوط به مدل

مقایسه بین ورودی‌های مختلف راکتور مدل و دیتاهای بدست آمده از شبیه سازی :

شکل ۶- مقایسه بین نازل تکی شبیه سازی و مدل



شکل ۷- مقایسه بین نازل چندگانه ۲ شبیه سازی و مدل



شکل ۸- مقایسه بین نازل چندگانه ۱ شیبه سازی و مدل

در نمودارهای بدست آمده حاصل از شبیه سازی با توجه به شرایط حدود ۰.۳ تا ۰.۳٪ خطا مشاهده میشود که قابل قبول می باشد.

که ماندگی گاز در استفاده از این محلول بیشتر از حالت آب خالص است که این به نوعی بهبود عملکرد راکتور تلقی میگردد.

منابع

- [1] J.C.Merchuk,(1994), "BIOREACTORS", AICHJ40,1105-1117
- [2] M.Blazej,(2004), "Scale influence on the hydrodynamics of an internal loop air-lift reactor", cep 43,1519-1527
- [3] E.Camarasa,(2001), "Development of a complete model for an air-lift reactor", ces 56,493-502
- [4] J.J.Heijnen,(1997), "A simple hydrodynamic model for the air-lift reactor operating in the gas recirculation regime", ces 52,2527-2540
- [5] Y.Chisti,(1989), "Airlift Bioreactors", Elsevier, London

بحث و نتیجه گیری:

نیروی محرکه در راکتورهای Air Lift تزریق گاز می باشد که سبب گردش مایع می شود بنابراین درک پارامترهای هیدرودینامیکی کنترل کننده فاز توزیع گاز و در نتیجه فیلد سرعت مایع مهم می باشد. از بررسی های بدست آمده می توان به این نتایج رسید که برای بهبود عملکرد راکتورهای هوایی بهتر است که از جریان های با میزان ورودی بالا استفاده کنیم بطوریکه هر چه تعداد روزنه های توزیع کننده ما بیشتر و بالطبع شدت هوای ورودی بیشتر باشد ماندگی در راکتور افزایش می یابد که مطلوب است. استفاده از محلول آب و بوتانول به جای آب خالص و تلفیق روابط مربوط به این محلول و استفاده از آنها در شبیه سازی مشاهده گردید