



سال دوم، شماره ۶
بهار ۱۳۹۰، صفحات ۴۳-۳۳

توسعه یک مدل راکتور زیست محیطی با محلول آب و CMC

هادی شامی زاده

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

h-shamizadeh@iau-ahar.ac.ir

غلامحسین مسعودی ریحان

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

h-reyhani@iau-ahar.ac.ir

چکیده

شبیه سازی دینامیکی ما در مورد نظام جریان مایع و مقدار ماندگی گاز در راکتورهای هوایی می باشد. راکتورهای هوایی راکتور زیست محیطی می باشد، که در اغلب در واکنش های اکسیداسیون به کار می رود. مدل اصلی انتخاب شده برای شبیه سازی دارای بررسی شرایط انتقال جرم و اختلاط نیز می باشد. فاز مایع استفاده شده برای شبیه سازی، آب و 0.5% CMC می باشد. بطوری برنامه نوشته شده، که برای هر حلال دیگری نیز جواب های مناسبی خواهد داد. یعنی بصورت یک برنامه پایه (شبکه های عصبی) می باشد. که از همگرا کردن شبکه های عصبی این برنامه تهیه شده است.

کلید واژه: راکتور، ماندگی گاز، سرعت مایع، هیدرودینامیک، ریزر

مقدمه:

راکتورهای هوایی حلقوی که با جریان هوا کار می‌کنند، در صنایع شیمیایی برای واکنش‌های اکسیداسیون و کلرین استفاده می‌شوند، و نیز در هر جایی که شامل سلول‌های شکاف حساس وجود داشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. (حشره‌ها و سلول‌های گیاهی) ALRها به طور کلی در رشد مرحله میکروارگانیسم‌ها نسبت به سایر راکتورها بهینه‌تر و کم‌خطرتر می‌باشد. در شبیه‌سازی انجام گرفته بر اساس دینامیک محاسباتی سیالات برای مشخص کردن مقدار ماندگی در راکتور و سرعت مایع و چرخش مایع دو رژیم تعیین می‌شود.

۱- رژیم همگن ۲- رژیم نا همگن: که با استفاده از آنالیزهای موجود برای سرعت‌های مختلف نوع رژیم مشخص می‌شود که البته برای توزیع کننده‌های مختلف نقطه انحراف فرق می‌کند. توزیع کننده‌هایی که استفاده شد توزیع کننده‌های تکی و توزیع کننده‌های چند گانه می‌باشد.

دیتاهای بکار رفته در شبیه سازی و شرایط

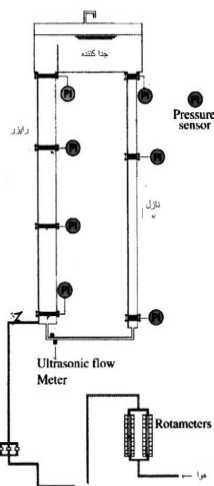
عمل:

ما از یک راکتور شیشه‌ای حلقه خارجی مطابق شکل استفاده کردیم که طبق مدل تعریف شده دارای طول $3/5$ متر با ارتفاع $3/5$ و قطر $0/23$ متر و یک پایین آورنده با قطر $0/15$ متر و از یک جدا کننده با ارتفاع $0/9$ متر و قطر $1/2$ متر استفاده شده است و توزیع کننده‌های بکار رفته به ترتیب توزیع کننده‌های تکی با قطر 30 میلی‌متر و توزیع کننده چندورودی ۱ (با 12 سوراخ 2 میلی‌متری) و توزیع کننده چند ورودی ۲ (با 2 میلی‌متر دارای روزنه) می‌باشد متنوع بوده و بوسیله یک روماتر کنترل می‌شوند.

سرعت گاز تزریقی بین $5-11$ cm/s می‌باشد

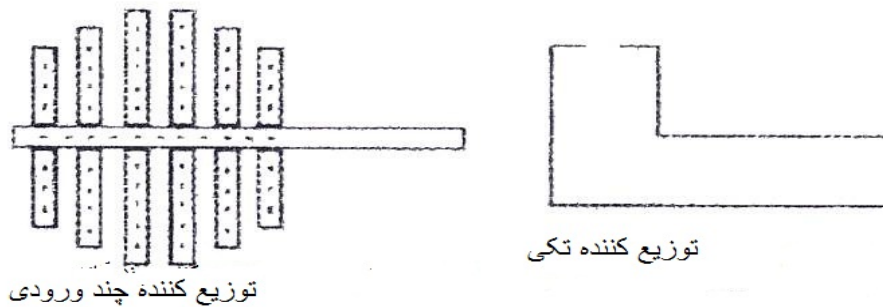
اطلاعات پارامتری هیدرودینامیکی:

معادله ماندگی گاز در رایزر و معادله فشار در رایزر و گردش مایع در رایزر می‌باشد که برای سرعت‌های پایین از معادله رژیم همگن و در سرعت‌های بالا از معادله رژیم ناهمگن برای توزیع کننده‌های چند ورودی استفاده می‌شود. ولی برای تک ورودی به دلیل ورودی یکنواخت تابع رژیم ناهمگن می‌باشد. (طبق آنالیزهای موجود) (۱)



شکل (۱) شماتیک راکتور هوایی حلقه بیرونی

انواع توزیع کننده‌ها:



شکل ۲.

تعریف مدل:

Δp اختلاف فشار در دو نقطه را نشان می‌دهد. Δh ارتفاع معین از رایزر را بیان می‌کند.

مقدار میانگین ماندگی گاز از رابطه مقدار میانگین در مدل با استفاده از معادله $\varepsilon = l - \frac{\Delta p}{p_L g \Delta h}$ بدست می‌آید که

اصطکاک و انحراف از مسیر انبساط و انقباض‌های موجود ایجاد می‌شود. که با رعایت این مسائل استفاده از فشارسنج‌های مختلف در ارتفاع‌های رایزر و افت فشار موجود در لوله پایین آورنده بدست می‌آیند معادله فشار کف رایزر از تعادل گشتاوری و گرادیانات فشار که در مدل معلوم است با یک فشار جاذبه و اصطکاک پروفایل فشار بصورت زیر می‌باشد. (۱)

مدل شبیه سازی:

در راکتورهای هوایی میزان ماندگی گاز و سرعت گاز در واقع سرعت مایع را برآورد می‌کنند این نشان دهنده این است که شرایط هیدرودینامیکی ذکر شده مستقل از هم نیست. شبیه‌سازی هیدرودینامیکی معمولاً بر اساس بالانس بین نیروهای محرک و نیروهای مقاوم است. نیروی محرک توسط فشار هیدرواستاتیک اعمال می‌شود و نیروی مقاوم برابر است با مقدار افت فشار در اطراف جریان که توسط

$$\frac{dp}{dz} = P_L g (1 - \varepsilon_{GR}) + \frac{2 f_{PL} U_L^2 Q_L^2}{D} + P_L U_L^2 \frac{d}{dz} \left(\frac{1}{1 - \varepsilon_{GR}} \right) \quad (1)$$

برای مقدار ماندگی ۲ رژیم‌های تعریف شده: ۱- رژیم همگن که برای سرعت پایین و توزیع کننده‌های چند ورودی استفاده می‌شود معادله همگن در پایین آمده است.

در معادله بالا فاکتور اصطکاک فاز واحد و اصطکاک دو فاز موجود می‌باشد که می‌توان از مقادیر مشخص باتوجه به همبستگی داده‌ها برداشت کرد. (۱)

$$V_{GL} = \frac{U_G}{\varepsilon_G} - \frac{U_L}{1 - \varepsilon_G} = u_{B\infty} (1 - \varepsilon_G)^{n-1} \quad (2)$$

$$\frac{U_G}{\varepsilon_G} = C_0(U_G + U_L) + C_1 \quad (3)$$

زمانیکه C_0 پارامتر بکارگیری است هر قدر پروفایل‌های سرعت صاف‌تر باشد C_0 به آن نزدیک‌تر خواهد بود و C_1 یک ثابت است که سرعت گاز مرتبط در مخلوط را نشان می‌دهد. با داشتن سرعت این مایع و سرعت محلی گاز در معادله ۳ و ۲ می‌تواند حل شود با شروع از تانک گاز تا به کف رایزر جهت به دست آوردن فشار و پروفایل ماندگی گاز در رایزر. (۱)

سرعت واقعی لغزش $U_g L$ کمتر از سرعت بالا رفتن حرارتی $U_{B\infty}$ با فاکتور $(1 - \varepsilon_G)^{n-1}$ میباشد و n با خصوصیات حباب که از عملکرد سرعت گاز است. و امکانات و اجزاء فیزیکی و شیمیایی سیستم و تزریق کننده گاز مرتبط خواهد بود. سرعت بالای گاز در رژیم هموژن نمی‌تواند به دست آید، این مسیر جریان مشخص شده است به عنوان رژیم هیتروژن (ناهمگن) مشخص شده است با پروفایل رادیال علامت زده شده ماندگی گاز و معدل گیری اجزا ضروری است. و مدل فلاکس انحرافی زوبر مورد استفاده قرار گرفته که مرتبط کند ماندگی گاز را به سرعت‌های گاز مایع.

معادله افت فشار در لوله پایین آورنده:

$$\Delta P_{FD} = K_{PL} Q_L^2 \quad (4)$$

$$P_{dist} = P_L g H_R (1 - \varepsilon_{GD}) - K_{PL} Q_L^2 - \frac{1}{2} p L u^2 L_{dist} \quad (5)$$

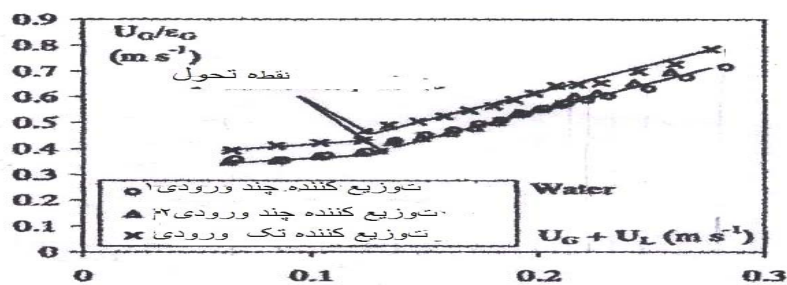
معادله فشار توزیع کننده:

$$\varepsilon_{GD} = \alpha \varepsilon_{GR} + \beta_0 \quad (۶)$$

شناسایی رژیم:

۱- آنالیز فلاکس:

که با ارتباط سرعت مایع و سرعت گاز به ماندگی گاز طبق نمودار بیان کننده تحول یا همان انحراف می‌باشد که این نقطه مشخص کننده تغییر رژیم هموژن به هیتروژن می‌باشد. که البته برای توزیع کننده تکی جواب نمی‌دهد.



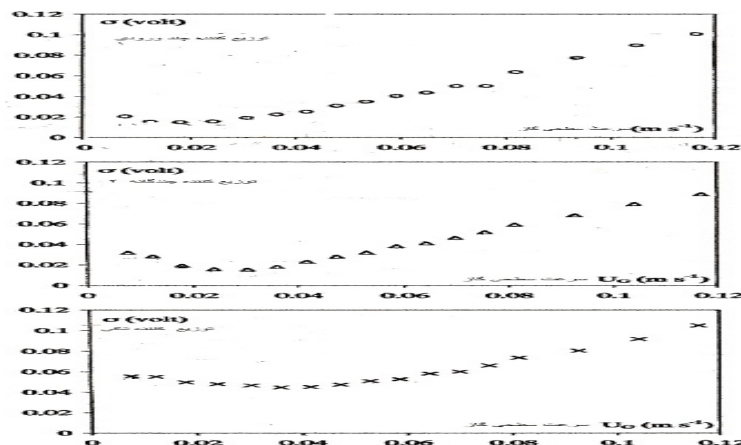
نمودار (۱) آنالیز فلاکس نشانگر نقطه تحول (انتقال) (۱،۶)

می‌شود، با نازل چند اورفینسی نزدیک در رژیم هموژن تقریباً ثابت می‌باشد و از نقطه‌ای که شروع رژیم ناهمگن می‌باشد. و با نازل چندگانه جابجایی اتفاق می‌افتد افزایش می‌یابد به سرعت بالای گاز تا تزریق کننده مشخص و

۲- آنالیزهای آماری:

نشان دهنده انحرافات استاندارد ν از نوسان فشار در مقابل خط منحنی UG را صفر می‌کند. انتقال در بین رژیم‌ها بوسیله یک تغییر در اسلوب منحنی (انحراف ν) مشخص

مرتبط است با حداقل در منحنی در رژیم کاملاً درست شده و در رژیم ناهمگن مقادیر بین نازلها با ورودی چند گانه مشابه هستند/ (۱)

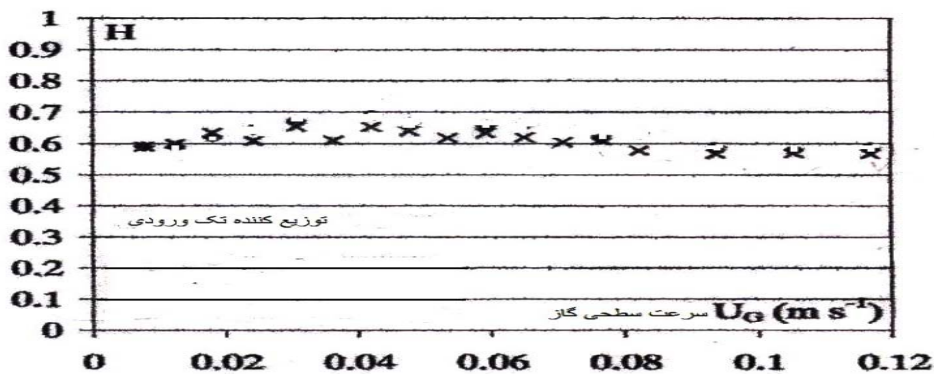


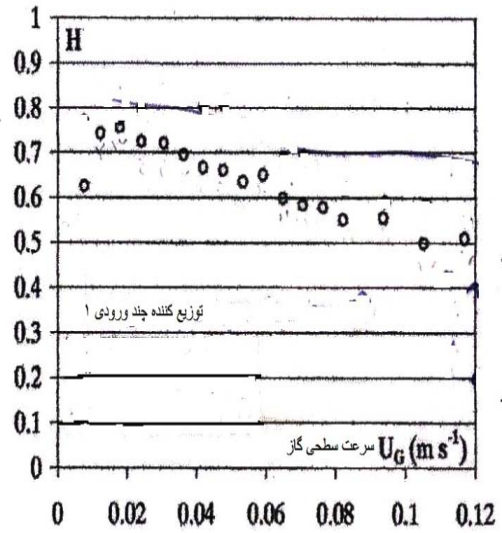
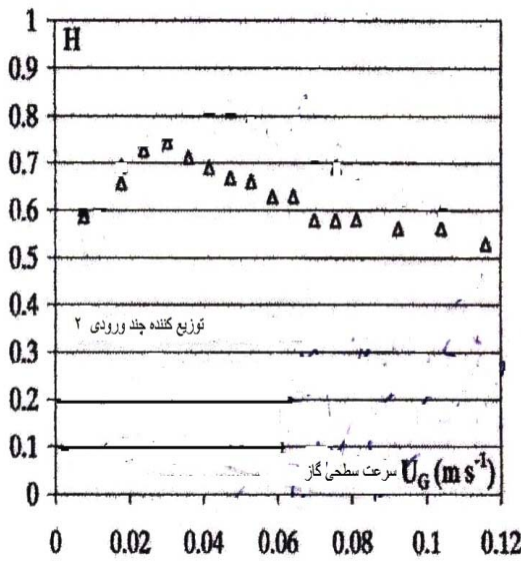
نمودار (۲) آنالیز آماری نشان دهنده انحرافات استاندارد σ از نوسانات فشار

واحد و مقدار حداکثر در منحنی منحنی تشریح شده بالا جریان همگن حالت مقاومت را نشان می دهد. در حالیکه جریانهای ناهمگن با نازل های چند گانه تولید سیگنال سفید می کند و مقدار H به بالاترین نقطه یعنی ۰.۸-۰.۸۵ میرسد در حالیکه با نازل تک هرگز مقدار H از ۰.۷ بالاتر نمی رود این بدین معنی است که میزان جریان اندک گاز و خصوصیات جریان با نازل تک کمتر از نازل چند گانه مقاومت دارد. (۱،۵)

آنالیز سایشی:

آنالیزهای هیرست بکار گرفته شده است در سری های زمان سیگنال فشار در رایزر یا بالا برنده هوا با جداکننده های متفاوت در آب و بوتانول مشخص شده H انجام شده است با حداکثر طول زمان در روی ۱۰۰۰۰ نقطه و آن نشان داده شده است که استفاده از نقاط بیشتر روی نتایج به طور مناسب اثر می گذارد و نقطه انتقال با حداکثر در منحنی موقعیت مشخص شده است و در بین این حداکثرها یک موافقت است با نتایج آنالیزهای آماری با نازل اورفیس



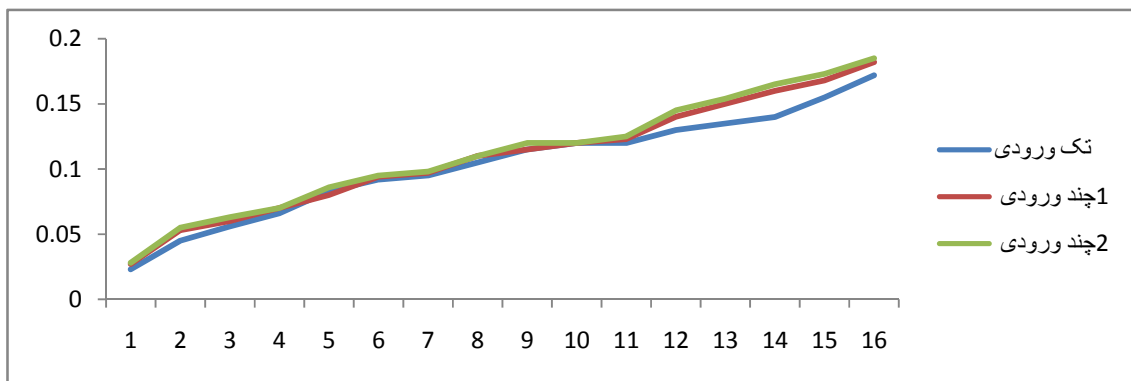


نمودار (۳) آنالیز سایشی (۱،۵)

همچنین نشان دهنده این که چگونه سرعت چرخش مایع U_L دنبال می‌کند همان شرایط مشابه راکه U_G دنبال کرده است. در توزیع کننده تکي مقدار ماندگي گاز پايين تر از توزیع کننده‌های چندگانه می‌باشد، البته با سرعت‌های ورودی یکسان که در مورد توزیع کننده‌های چندگانه هرچه مقدار روزنه‌ها بیشتر باشد ماندگي گاز زيادي نسبت به سرعت گاز یکسان خواهیم داشت.

اطلاعات بدست آمده هیدرودینامیکی:

نمودار شکل زیر نشان دهنده ϵ_G و u_g از طریق توزیع کننده‌های متفاوت گاز در محلول آب و $cmc = 0.5\%$ به دست آمده است، در راکتورهای هوایی اثر تزریق کننده گاز نسبت به ستون‌های کلاسیک حباب تشکیل شده است و ما همچنین توجه کردیم که تفاوت در ϵ_G بین توزیع کننده‌ها و در واسطه‌ی غیر بهم پیوستن است، تجربیات



سرعت سطحی گاز (Cm/s)

نمودار (۵) نشان دهنده ϵ_G و u_g از طریق توزیع کننده‌های متفاوت گاز در آب و بوتانول

مقایسه بین مدل و اطلاعات بدست آمده:

مبادله پائین و مبادله بالا برای توزیع کننده تکی، موقعیت این نقطه برای سیستم‌های مختلف در جدول زیر آورده شده است.

در زمان آنالیز کردن نتایج شناسایی رژیم و تکنیک‌های بکار رفته ممکن است نقطه جابجائی را مشخص نمود هموژن و نا همگن برای توزیع کننده‌های چند ورودی و

جدول (۱) مقدار عددی سرعت سطحی گاز در نقطه انحراف برای محلول آب و ۰.۵٪ cmc:

توزیع کننده	تک ورودی	چند ورودی ۱	چند ورودی ۲
نوع رژیم	فعل وانفال بالا/پائین	همگن /نا همگن	همگن /ناهمگن
سرعت انتقال	۰.۳۶	۰.۳۲۳	۰.۲۵۸

3-7-2

شناسایی رژیم ماندگی گاز برای آب

رژیم	روش
هموژن	توزیع کننده چند ورودی ۱
هیتروژن	$U_G/\varepsilon_G - U_L(1 - \varepsilon_G) = 0.26(1 - \varepsilon_G)^{0.93}$
	$U_G/\varepsilon_G = 1.18(U_G + U_L) + 0.15$
هموژن	توزیع کننده چند ورودی ۲
هیتروژن	$U_G/\varepsilon_G - U_L/(1 - \varepsilon_G) = 0.32(1 - \varepsilon_G)^{1.02}$
	$U_G/\varepsilon_G = 1.18(U_G + U_L) + 0.16$
هیتروژن	توزیع کننده ورودی
	$U_G/\varepsilon_G = 1.3(U_G + U_L) + 0.18$

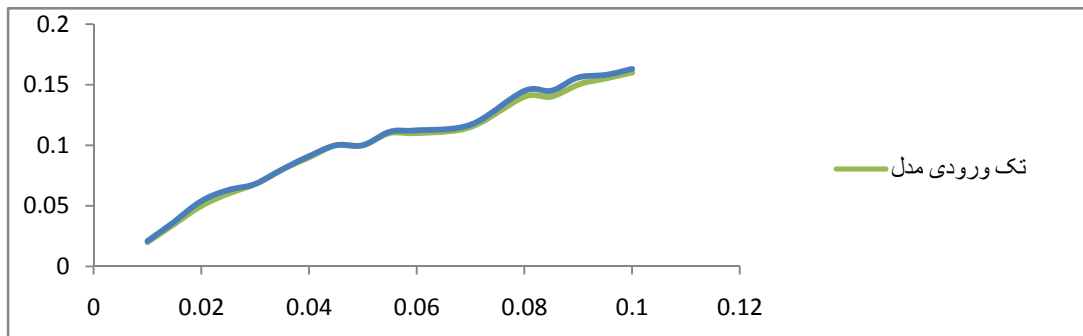
جدول (۲) شناسایی رژیم برای محلول آب و ۰.۵٪ cmc

این دو مورد مرتبط است به خصوصیات حباب که نتیجه کارکرد رژیم تزریق کننده گاز است و یک موافقت جواب که بین مدل و اطلاعات تجربی وجود دارد در

مدل مورد مقایسه قرار گرفته با اطلاعات بدست آمده از مدیوم محلول مورد نظر و ماندگی گاز در مدل مرتبط است به رژیم هیدرومکانیک و تزریق کننده گاز و تفاوت در بین

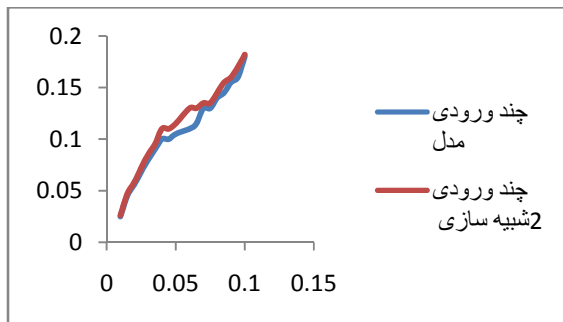
انجام شده بین مدل و اطلاعات شبیه سازی در نمودارهای زیر ارائه شده است.

حدود ۵ درصد اشتباه در میزان سرعت مایع است و ۴.۵ درصد در میزان کل ماندگی گاز و انحراف محوری ماندگی گاز با مدل مورد بررسی قرار گرفته است و مقایسه

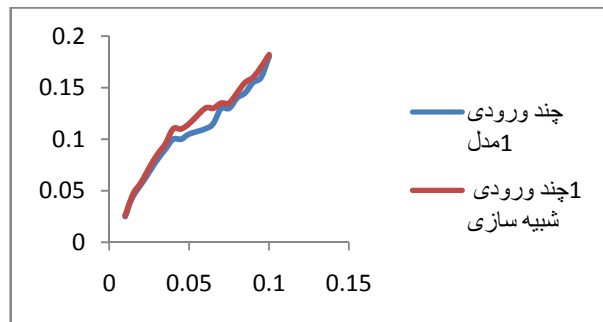


سرعت سطحی گاز (Cm/s)

نمودار (۶) مقایسه بین توزیع کننده تکی مدل و اطلاعات بدست آمده از شبیه سازی هیدرودینامیکی



سرعت سطحی گاز (Cm/s)



سرعت سطحی گاز (Cm/s)

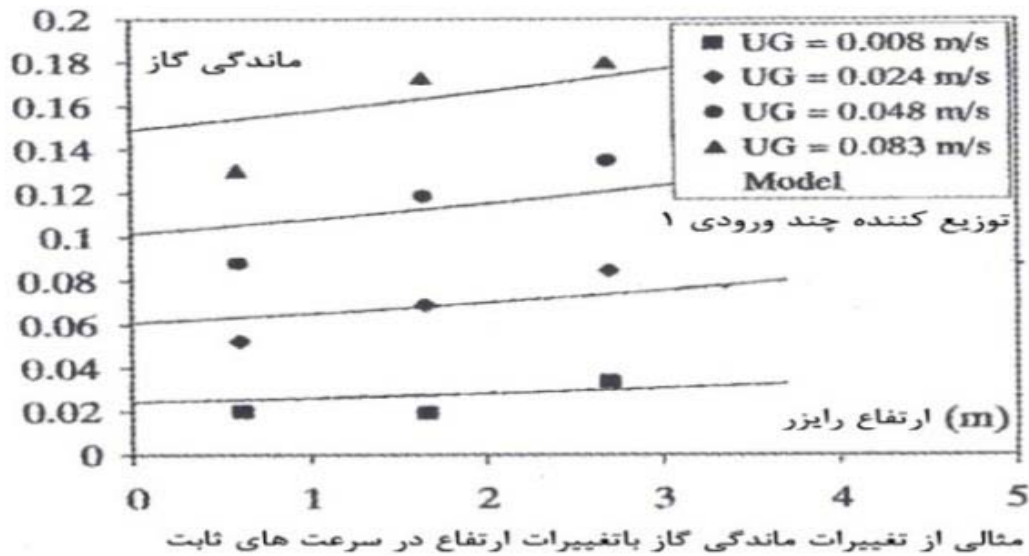
نمودار (۷) نمودارهای مقایسه بین توزیع کننده چند گانه مدل و اطلاعات بدست آمده از شبیه سازی هیدرودینامیکی

کنیم و در سه نقطه مختلف فشارسنجی نماییم که این یکی از بهینه کارهایی است که می توان بر روی این راکتور انجام داده و بازده را بهتر کرد نسبت به مدل هایی که قبل از این مدل موجود بوده است که ما در قسمت های مختلف رایزر در ارتفاع های مختلف مقدار ماندگی را داشته باشیم. تکنیک های مختلف آنالیز و استفاده از تغییرات فشار به

کنترل کردن فشار:

با کنترل فشار در نقاط مختلف و جلوگیری از نوسانات حداالامکان برای داشت حفظ گاز مناسب با توجه به سرعت گاز موجود چنانچه با توجه به نمودارهای موجود ما می-توانیم کمترین خطا را در این روش پیدا کنیم یعنی به طور بارز کل راکتور را به سه یا چهار قسمت مختلف تقسیم

منظور استخراج کردن اطلاعات درباره نظام‌های جریان و انتقالات نظام بکار گرفته شده است. نمودار (۸)



راهنمای تاسیسات راکتور تجهیز شده با نوع توزیع کننده گاز مختلف چند ورودی و تک ورودی مقایسه کردیم با استفاده از آنالیزهای موجود در مدل اصلی به نتایج مطلوب رسیدیم.

شبهه سازی ما از یک مدل هیدرودینامیک مقدار ماندگی گاز و گردش مایع سرعت پیشگیری در راکتورهای بالا برنده هوا را توسعه داده است. و اطلاعات بدست آمده از شبهه سازی با اطلاعات جمع آوری شده تجربی روی یک

منابع :

- References
- [1] Camarasa, E., Carvalho, E, et al., "A hydrodynamic model for oxidation air-lift reactors": *Chemical Engineering Science*. 56. (2001), pp 493-502
- [2] J.C. MERCHUK, E, et al., "BIOREACTORS, AIR-LIFT REACTORS": pp ۳۵۰-۳۲۰.
- [3] J.C. Merchuk, N. Ladwa, A. Cameron, M. Bulmer, and A. Pickett, *AIChE J.* 40, 1105-1117 (1994).
- [4] W.R. Kessler, M.K. Popovic, C.W. Robinson, *Can. J. Chem.Eng.* 71, 195-202 (1993).
- [5]. J.Y. Oldshue, *Fluid Mixing Technology*, McGraw-Hill, NewYork, 1983.
- [6]. J.C. Merchuk, *Adv. Biochem. Eng.* 44, 65-95 (1991)
- [7]. R.J. Weetman and J.Y. Oldshue, *Power, Flow and Shear Characteristics of Mixing Impellers, Proceedings of the 6th European Conference on Mixing*, Cranfield, 1988, p p. 43-53
- [8]. H. Markl, R. Bronnenmeier, B. Wittek, *Int. Chem. Eng.* 31, 185-197 (1991).
- [9]. JD.a.P. Wase, Y.R., *J. Gen. Microbiol.* 131, 725 – 731 (1985).
- [10] Vial, C., Camarasa, E., Poncin, S., Wild, G., Midoux, N., & Bouillard, J. (2000). Study of hydrodynamic behaviour in bubble columns and external loop airlift reactors through analysis of pressure fluctuations. *Chemical Engineering Science* pp, 2957-2973