بررسی تأثیر افزودن الکل و فعال کننده‌های سطحی بر روی هیدرودینامیک راکتور هوابالابر در شرایط سه فازی

سعید جابرزاده، علی حقیقی اصل
سمنان، دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، صندوق پستی ۳۵۱۳۱۱۹۱۱۱

سید جابر صفدری
تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده چرخه سوخت، صندوق پستی ۸۴۸۶ ـ ۱۱۳۶۵

عباس رشیدی*+
بابلسر، دانشگاه مازندران، دانشکده فنی و مهندسی، صندوق پستی ۴۷۴۱۵

چکیده: در این پژوهش اثر حضور اتانول و فعال کننده‌های سطحی آنیونی، کاتیونی و غیر یونی بر سرعت چرخش، زمان اختلاط و نگه‌داشت گاز در یک راکتور هوابالابر حلقه داخلی لوله‌ای هم مرکز در شرایط سه فازی(آب و الکل ـ هوا ـ ذره‌های PVC) بررسی شد. در این آزمایش‌ها اثر تغییر سرعت گاز، سطح مایع و درصد جامد مورد بررسی قرار گرفت. راکتور هوابالابر از جنس شیشه و به ترتیب با ارتفاع و قطر لوله داخلی و لوله خارجی ۱۷۳، ۵ و ۸ سانتی‌متر ساخته شد. در سامانه مایع ـ گاز ـ جامد با افزایش سرعت گاز، نگه‌داشت گاز در بالابر و سرعت مایع افزایش می‌یابد. نتیجه‌ها نشان داد که حضور الکل باعث کاهش کشش سطحی و افزایش نگه‌داشت گاز و کاهش سرعت مایع می‌شود، همچنین فعال کننده‌های سطحی غیر یونی بیشترین تأثیر را نسبت به فعال کننده‌های سطحی کاتیونی و آنیونی بر روی نگه‌داشت گاز دارند. در این مقاله رابطه‌هایی برای پیش‌بینی نگه‌داشت گاز و سرعت مایع و زمان اختلاط ارایه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: راکتور هوابالابر، پارامترهای هیدرودینامیکی، فعال کننده سطحی، الکل، سه فازی.

KEY WORDS: *Airlift reactor, Hydrodynamic parameter, Surfactant, Three phase.*

مقدمه

راکتورهای هوابالابر[1]، یک دسته شایان توجه از راکتورهای مناسب برای فرایندهای گوناگون زیستی می‌باشند و دارای برتری‌ها و کاربردهای روزافزون می‌باشند. این راکتورها توسط هوا (یا گاز) ورودی به فرایند هوادهی می‌شوند. با توجه به کاربردهای گوناگون این راکتورها و اهمیت شناسایی ویژگی‌های آنها، مطالعه‌های زیادی در مورد آنها صورت پذیرفته و هنوز ادامه دارد. راکتورهای هوابالابر شامل یک مخزن مایع هستند که به دو قسمت مرتبط تقسیم می‌شوند و اغلب به یکی از این دو قسمت از طریق

*عهده دار مکاتبات
+E-mail: rashidi@umz.ac.ir

(۱) Air lift

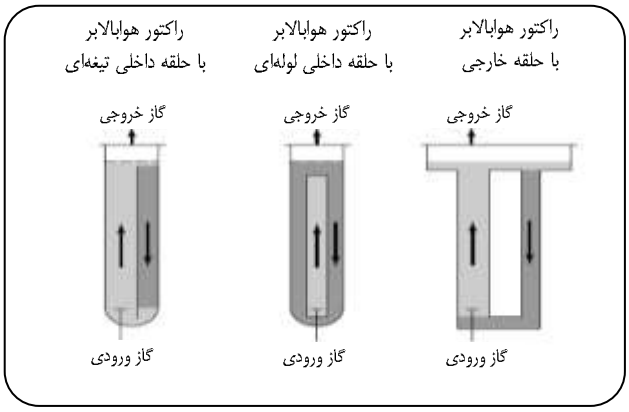
توزیع‌کننده گاز در پایین راکتور، گاز (یا هوا) فرستاده می‌شود، که به این قسمت بالابر و به قسمت دیگر ناودان گفته می‌شود. در نتیجه اختلاف نگه‌داشت گاز و در نتیجه اختلاف دانسیته توده سیال، چرخش مایع به سمت بالا در بالابر و به سمت پایین در ناودان صورت می‌گیرد. چرخش‌های القایی سیال به‌وسیله گاز در این راکتورها از جنبه‌های مهم شایان توجه برای طراحی و بررسی عملکرد آنهاست. مهمترین پارامترهای هیدرودینامیکی در این نوع راکتورها سرعت چرخش مایع و نگه‌داشت گاز هستند [۱۴].

راکتورهای هوابالابر اغلب به دو دسته داخلی و خارجی تقسیم می‌شوند. شکل ۱ انواع گوناگون راکتور هوابالابر را نشان می‌دهد. این نوع راکتورهای زیستی در صنعت در مواردی هم‌چون تخمیرهای هوازی، عملیات پساب‌ها ، زیست فناوری و عملیات‌هایی که به تنش پایینی نیاز دارند، استفاده می‌شوند [۳ ، ۲].

فعال‌کننده‌های سطحی زیستی و شیمیایی فراوانی در صنایع گوناگون غذایی، نفت و داروسازی به عنوان ماده امولسیون‌کننده و عامل خیس‌کننده به کار برده می‌شوند. *سینگ و همکاران* [۴] کاربردهای گوناگون فعال‌کننده‌های سطحی را گزارش کرده‌اند. فعال‌کننده‌های سطحی می‌توانند با تجمع بر سطح سیال‌های امتزاج‌ناپذیر کشش سطحی را کاهش دهند.

فعال کننده‌های سطحی بر روی سطح مشترک گاز ـ مایع جذب می‌شوند و بر روی سرعت بالا رفتن حباب گاز و در نتیجه نگه‌داشت گاز تأثیر می‌گذارند [۶ ، ۵]. همچنین فعال‌کننده‌های سطحی با تغییر کشش سطحی بر روی پایداری حباب و پویایی سطح تأثیر می‌گذارند [۷]. از آنجایی که با محلول‌های حاوی الکل در فرایند تولید سوخت‌های زیستی و فرایندهای تخمیر مواجه هستیم [۹ ، ۸]، فعال‌کننده‌های سطحی و الکل برای جلوگیری از انعقاد حباب در راکتور افزوده می‌شود [۱۰]. همچنین در برخی موردها الکل‌ها به عنوان یک منبع تولید کربن در فرایندهای زیستی می‌باشند [۱۱]. بنابراین بررسی تأثیر افزودن الکل بر روی پارامترهای هیدرودینامیکی نگه‌داشت گاز، زمان اختلاط و سرعت مایع برای راکتور زیستی هوا بالابر با حلقه داخلی لوله‌ای مورد نیاز می‌باشد.

از جمله پژوهش‌های انجام شده در زمینه بررسی اثر کشش سطحی و فعال‌کننده‌های سطحی در راکتور هوا بالابر می‌توان به پژوهش *مروجی و همکاران* [۱۲] اشاره کرد. آنها به بررسی تأثیر غلظت دو نوع فعال کننده سطحی یونی و غیر یونی در بازه‌ی ۵–۰ ppm بر روی نگه‌داشت گاز و ضریب انتقال جرم در یک راکتور هوا بالابر حلقه داخلی تیغه‌ای برای سامانه آب ـ هوا(دو فازی) پرداخته‌اند.



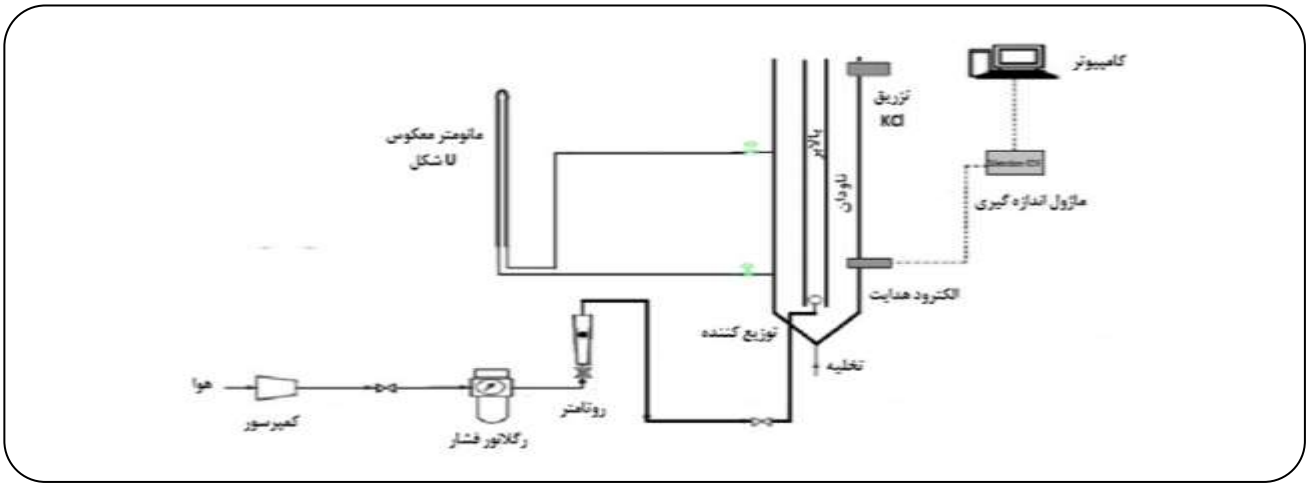
شکل ۱ـ انواع گوناگون راکتور هوابالابر.

آنها نتیجه گرفته‌اند که فعال کننده‌های سطحی بر روی نگه‌داشت گاز تأثیر زیادی دارند و فعال کننده سطحی غیریونی تأثیر بیشتری نسبت به یونی دارد.

پراساد و همکاران [۱۳] به بررسی تأثیر افزودن الکل (پروپانول) در یک راکتور هوا بالابر با حلقه خارجی در شرایط سه فازی (فاز جامد ذره‌های پلی‌استایرن با دانسیته ۱۰۸۴/۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب) بر روی نگه‌داشت گاز و سرعت چرخش مایع پرداخته‌اند. آنها رابطه‌هایی برای پیش‌بینی نگه‌داشت گاز و سرعت چرخش مایع در سامانه‌ی (آب و الکل ـ هوا ـ ذره‌های پلی‌استایرن) برای راکتور هوا بالابر با حلقه خارجی ارایه کرده‌اند. *ازهر و همکاران* [۱۴] به مقایسه اثر افزودن الکل‌های گوناگون (پروپانول، متانول و بوتانول) در بازه‌ی درصد حجمی ۰/۰۱ تا ۰/۱ بر نگه‌داشت گاز، سرعت چرخش مایع و ضریب انتقال جرم در یک راکتور هوا بالابر حلقه داخلی تیغه‌ای پرداخته‌اند. آنها با مقایسه اثر الکل‌های گوناگون دریافتند که با افزایش تعداد کربن زنجیره‌ی کربنی، نگه‌داشت گاز بیشتر خواهد شد. *ایوانا و همکاران* [۱۵] به بررسی اثر افزودن الکل‌های C_1 تا C_8 به راکتور هوا بالابر حلقه داخلی لوله‌ای تک نازله بر زمان چرخش، نگه‌داشت گاز و ضریب انتقال جرم پرداخته‌اند. همچنین آنها برای راکتور هوا بالابر تک‌نازله رابطه‌های تجربی برای نگه‌داشت گاز و سرعت چرخش ارایه نموده‌اند. *مهرنیا و همکاران* [۱] به مطالعه پارامترهای هیدرودینامیکی راکتور هوا بالابر با حلقه داخلی برای سامانه میکروامولسیون آب در نفت سفید، به عنوان محیط مدل فرایند گوگردزدایی زیستی برش‌های نفتی پرداخته‌اند و رابطه‌های تجربی برای پیش‌بینی سرعت چرخش مایع و زمان اختلاط برای این سامانه در راکتور هوا بالابر ارایه نموده‌اند، در این پژوهش به بررسی اثر کشش سطحی پرداخته نشده است.

جدول ۱ـ ویژگی‌های ظاهری محلول‌های دارای الکل مورد استفاده.

	μ(mPa.s)	ρ(g/cm^3)	σ(mN/m)
آب	۱٫۱	۰٫۹۹۸	۷۲
محلول۰٫۶٪ اتانول در آب	۰٫۹	۰٫۹۹۴	۶۰
محلول ۱٫۵ ٪ اتانول در آب	۰٫۹	۰٫۹۹۱	۴۸



شکل ۲ـ شمای راکتور و تجهیزات مورد استفاده.

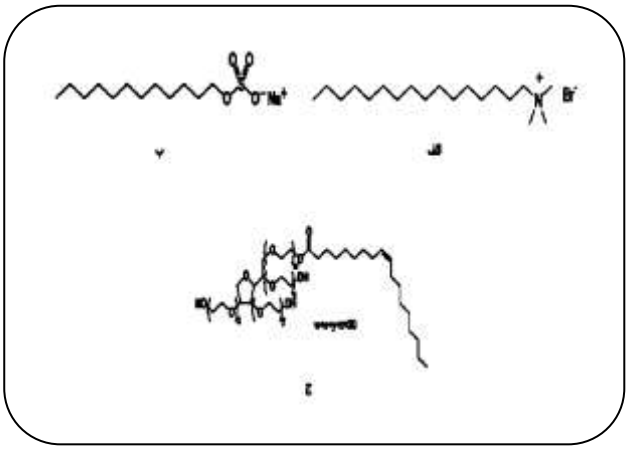
هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر افزودن الکل(اتانول) در یک راکتور هوا بالابر حلقه داخلی هم مرکز در شرایط سه فازی [مایع(مخلوط آب و الکل) ـ گاز ـ ذره‌های PVC با دانسیته ۱۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب] بر روی نگه‌داشت گاز و سرعت چرخش مایع می‌باشد. همچنین به بررسی تأثیر افزودن سه نوع فعال کننده سطحی کاتیونی، آنیونی و غیریونی بر روی نگه‌داشت گاز در این راکتور پرداخته شده است. در پایان رابطه‌های تجربی برای نگه‌داشت گاز و سرعت چرخش ارایه شده است.

بخش تجربی

مواد و سامانه آزمایشگاهی

راکتور هوا بالابر از جنس شیشه به دلیل شفافیت ساخته شد. قطر بالابر و راکتور به ترتیب ۰٫۰۵ و ۰٫۰۸ متر می‌باشد. ارتفاع راکتور ۱٫۷۳ متر می‌باشد و ارتفاع بالابر ۱٫۲۳ متر می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود یک توزیع‌کننده در ابتدای بالابر نصب شده است. توزیع‌کننده از نوع حلقوی و دارای ۸ منفذ با قطر ۲ میلی‌متر می‌باشد. با استفاده از روتامتر بازه‌ی سرعت گاز در بالابر مورد بررسی در این پژوهش بین ۰ و ۰٫۰۸۴۸۸ متر بر ثانیه تغییر پیدا کرد. از یک شیر یک طرفه برای جلوگیری از بازگشت مایع به روتامتر استفاده شد. از یک فشارسنج مانومتر معکوس برای اندازه‌گیری نگه‌داشت گاز استفاده شد. دستگاه هدایت‌سنج Metrohm-856 مقدارهای هدایت را در هر ۰٫۱ ثانیه گزارش می‌کرد.

تمامی آزمایش‌ها در فشار جو و دمای اتاق انجام شد و حجم مایع داخل راکتور در کلیه آزمایش‌ها ۸ لیتر بود. ویژگی‌های محلول‌های مورد استفاده در این بررسی در جدول ۱ گزارش شده‌اند. همچنین برای بررسی اثر فعال‌کننده‌های سطحی یونی و غیریونی بر نگه‌داشت گاز از فعال کننده‌های سطحی آنیونی (سدیم دو دسیل سولفات با فرمول شیمیایی $C_{۱۲}H_{۲۵}SO_۴Na$) کاتیونی (ستیل تری متیل آمونیوم برمید با فرمول شیمیایی $C_{۱۹}H_{۴۲}BrNa$) و غیر یونی (توئین ـ ۸۰ با فرمول شیمیایی $C_{۶۴}H_{۱۲۴}O_{۲۶}$) در غلظت یکسان (۵ ppm) با ساختارهایی که در شکل ۳ نشان داده شده‌اند، استفاده شد.



شکل ۳ـ ساختار فعال کننده‌های سطحی الف) کاتیونی، ستیل تری متیل آمونیوم بروماید CTAB ب) آنیونی، سدیم دودسیل سولفات (SDS) ج) غیر یونی، توئین ـ ۸۰.

روش اندازه گیری

نگه‌داشت گاز

درصدهای جامد مورد بررسی در این پژوهش ۰،۱،۲،۳ درصد حجمی می‌باشد. برای اندازه‌گیری نگه‌داشت گاز در راکتور هوابالابر در شرایط سه فاز (آب ـ هوا ـ جامد) از معادله‌ی زیر استفاده می‌شود [۱۳]:

$$\varepsilon_{gr}=\left[\frac{(\rho_s-\rho_l)\varphi_s+\rho_l(\Delta h/z)}{(\rho_s-\rho_l)\varphi_s+(\rho_l-\rho_g)}\right] \qquad (۱)$$

که در این معادله h میزان اختلاف فشار خوانده شده با مانومتر و z فاصله بین دو نقطه اتصال مانومتر به راکتور می‌باشد و φ_s درصد حجمی جامد می‌باشد.

سرعت چرخش مایع در بالابر

مولینا و همکارانش [۱۶] گزارش کرده‌اند که با فرض اینکه کل مایع راکتور در حال چرخش است و هیچ ناحیه‌ی مرده‌ای در راکتور وجود ندارد، با داشتن زمان چرخش و حجم مایع، با کمک معادله‌ی ۲ می‌توان سرعت چرخش مایع درون بالابر و ناودان را محاسبه نمود.

$$Q_L=U_{Lr}A_r=U_{Ld}A_d=\frac{V}{t_c} \qquad (۲)$$

$$U_{Lr}=\frac{V}{A_r t_c} \qquad (۳)$$

$$V_{Lr}=U_{Lr}*(1-\varepsilon_d) \qquad (۴)$$

زمان اختلاط

طبق تست ردیاب، زمان اختلاط مدت زمانی است که بعد از تزریق ردیاب، سیال درون راکتور به حالت همگنی برسد، *انکن و ویلند* [۱۷] زمان چرخش را زمانی بیان کردند که مقدار غلظت در آن زمان با مقدار آن در زمان بی‌نهایت(پایداری) کمتر از ۱٪ اختلاف داشته باشد.

$$t_m=t\left(\frac{C-C_\infty}{C_\infty}<0/01\right) \qquad (۵)$$

نتیجه‌ها و بحث

نگه‌داشت گاز

تأثیر فعال‌کننده‌های سطحی آنیونی(سدیم دو دسیل سولفات)، کاتیونی (ستیل تری متیل آمونیوم بروماید) و غیر یونی(توئین ـ ۸۰) بر روی نگه‌داشت گاز در غلظت یکسانی (۵ ppm) از فعال‌کننده‌های سطحی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، فعال کننده سطحی کاتیونی کمترین تأثیر را نسبت به فعال‌کننده‌های سطحی غیر یونی و آنیونی دارد. نتیجه‌های به‌دست آمده از بررسی فعال کننده‌های سطحی بر روی نگه‌داشت گاز با نتیجه‌های گزارش شده توسط *مروجی و همکاران* [۱۲] توافق مناسبی دارد.

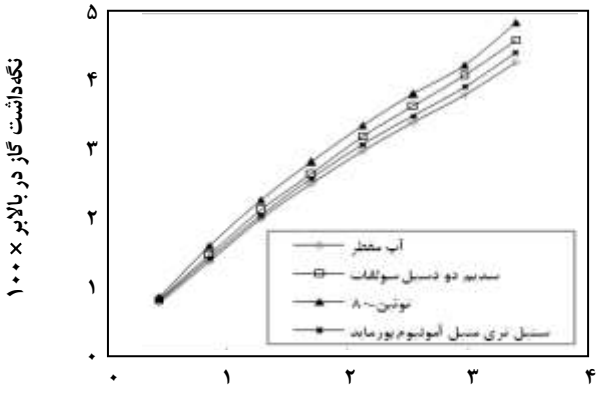
فعال کننده سطحی غیریونی بیشترین تأثیر را بر نگه‌داشت گاز دارد. معادله‌ای که بین نگه‌داشت‌ها دیده می‌شود به صورت زیر است:

$$\varepsilon_{Tween-80}>\varepsilon_{SDS}>\varepsilon_{CTAB}>\varepsilon_{Water}$$

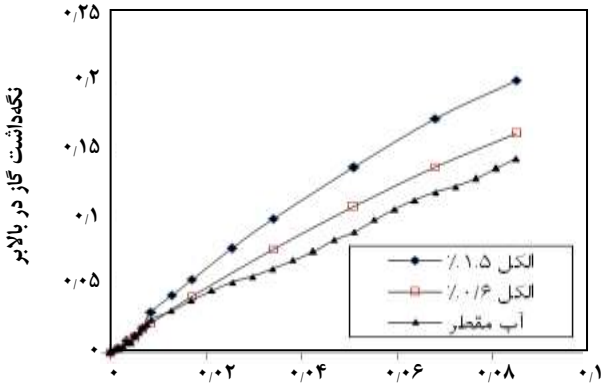
کاهش کشش سطحی در حضور الکل باعث می‌شود که اندازه‌ی متوسط حباب‌ها کمتر و در نتیجه سرعت بالا رفتن حباب‌ها کمتر شود. سرعت کمتر بالا رفتن حباب (اندازه کمتر حباب) موجب می‌شود که حباب‌ها به ناحیه ناودان وارد شوند.

در شکل ۵ نتیجه‌های نگه‌داشت گاز در بالابر با افزودن الکل نشان داده شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت نگه‌داشت در اثر افزودن الکل افزایش می‌یابد. در مقاله‌های گوناگون گزارش شده است که برای راکتورهای ستون حبابی [۱۸،۱۹]، راکتور هوا بالابر با حلقه خارجی [۲۰] و راکتور هوا بالابر با حلقه داخلی تیغه‌دار [۱۴] با افزایش غلظت الکل و طول شبکه‌ی زنجیره‌ی کربنی نگه‌داشت گاز بیشتر می‌شود.

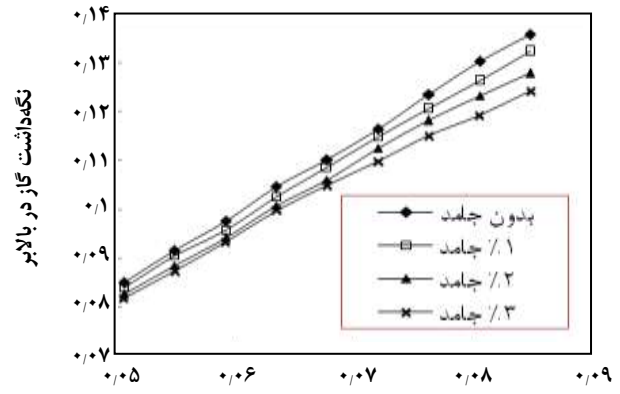
در شکل ۶ تأثیر افزودن جامد بر روی نگه‌داشت گاز نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۶ دیده می‌شود با افزایش میزان جامد در رژیم آشفته نگه‌داشت کاهش پیدا می‌کند. هنگامی که درصد فاز جامد افزایش می‌یابد به دلیل تجمع بالای



شکل ۴ـ تأثیر فعال کننده‌های سطحی یونی و غیر یونی بر روی نگه‌داشت گاز در بالابر.



شکل ۵ ـ تأثیر افزودن الکل بر روی نگه‌داشت گاز در بالابر.



شکل ۶ ـ نگه‌داشت گاز بر حسب سرعت گاز در درصدهای حجمی (۰،۱،۲،۳).

فاز جامد بر روی توزیع‌کننده، حباب‌ها یا به صورت حباب منفرد یا به صورت چسبیده به جامد به بالا حرکت می‌کنند، بنابراین نسبت به حالت بدون فاز جامد حباب‌های کمتری در راکتور بازچرخش پیدا می‌کنند در نتیجه نگه‌داشت گاز در راکتور با افزایش درصد جامد کاهش پیدا می‌کند. نتیجه‌های نگه‌داشت گاز به دست آمده با نتیجه‌های گزارش شده توسط *پراساد و همکاران* [۱۳] توافق دارند.

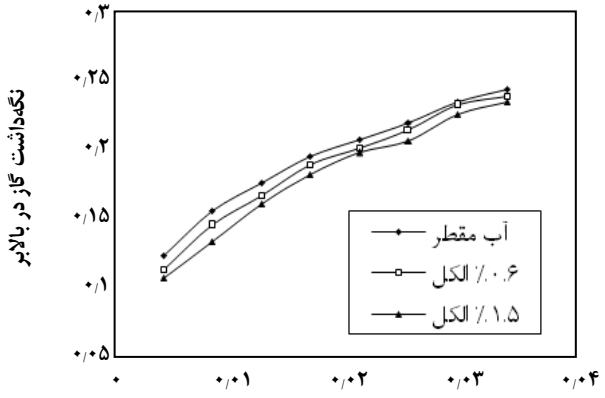
سرعت چرخش مایع

در شکل ۷ تأثیر افزودن الکل بر روی سرعت چرخش مایع نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۷ دیده می‌شود تأثیر افزودن الکل در شدت جریان‌های کم به نسبت زیاد می‌باشد و با افزایش سرعت گاز، این اثر کاهش پیدا می‌کند. علت آن را این‌گونه می‌توان بیان کرد که در سرعت‌های کم گاز، با افزودن الکل حباب‌های ریزتری ایجاد می‌شود و این حباب‌های ریز وارد ناودان و بازچرخش می‌شوند و نگه‌داشت ناودان بیشتر می‌شود و بنابراین نیروی محرکه‌ی جریان یعنی تفاوت نگه‌داشت بالابر و ناودان کاهش پیدا می‌کند و سرعت کاهش پیدا می‌کند. اما در سرعت‌های بالای گاز با افزایش الکل و ایجاد حباب‌های ریز به دلیل تراکم حباب‌ها در بالای راکتور، حباب بیشتری وارد ناحیه ناودان نمی‌شود و اثر الکل بسیار کم می‌شود. روند نتیجه‌های به دست آمده با نتیجه‌های گزارش شده توسط *پراساد و همکاران* [۱۳] یکسان می‌باشد.

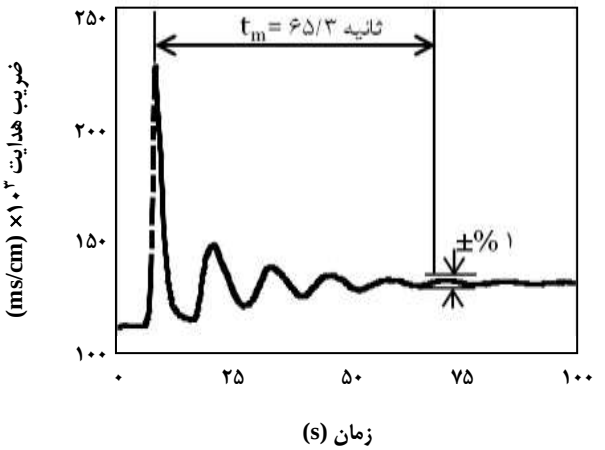
زمان اختلاط

برای محاسبه زمان اختلاط، مثال نمودار به دست آمده از دستگاه هدایت سنج بعد از تزریق ۵ سانتی متر مکعب KCl در ابتدای قسمت ناودانی در سرعت ۰/۰۲۱ m/s که در شکل ۸ آمده است را در نظر بگیرید. همان‌گونه که در شکل ۸ دیده می‌شود، مقدار زمان اختلاط در این سرعت گاز برابر ۶۵/۳ ثانیه است.

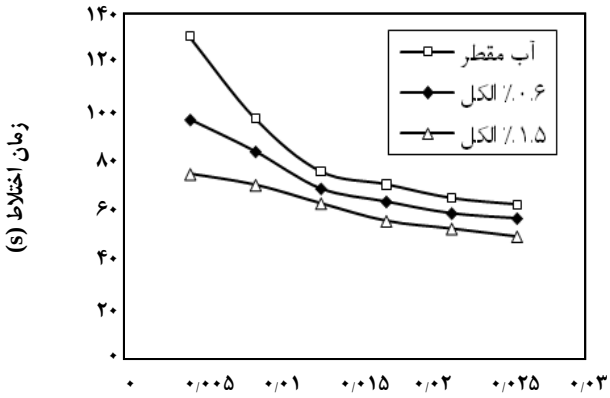
با اینکه افزودن الکل(اتانول) بر روی زمان چرخش و سرعت چرخش مایع تأثیر زیای ندارد اما بر روی زمان اختلاط تأثیر زیادی دارد. در شکل ۹ تأثیر افزودن الکل بر روی زمان اختلاط نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۹ دیده می‌شود با افزودن الکل زمان اختلاط کاهش پیدا می‌کند. با افزودن الکل و کاهش کشش سطحی، حباب‌های کوچکتری ایجاد می‌شود و زمان اقامت حباب‌ها در راکتور بیشتر شده و درنتیجه تماس دو فاز و اختلاط افزایش می‌یابد بنابراین زمان اختلاط(همگن شدن) کاهش پیدا می‌کند.



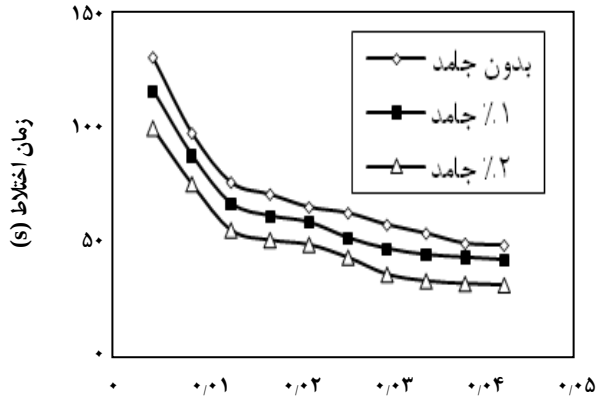
شکل ۷ـ تأثیر افزودن الکل بر روی سرعت چرخش مایع.



شکل ۸ ـ تغییر هدایت نسبت به زمان در سرعت u_g =۰/۰۲ m/s بعد از تزریق ۵ cc KCl.



شکل ۹ ـ تأثیر افزودن الکل(اتانول) بر روی زمان اختلاط.



شکل ۱۰ـ تأثیر افزودن جامد بر روی زمان اختلاط.

در شکل ۱۰ تأثیر افزودن جامد بر زمان اختلاط نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۰ دیده می‌شود با افزودن جامد زمان اختلاط کاهش پیدا می‌کند که در نتیجه افزایش برخوردهای دو فاز مایع و جامد و تلاطم می‌باشد.

مدل سازی

مدل ارایه شده توسط *پراساد و همکاران* [۱۳] برای پارامترهای هیدرودینامیکی راکتور هوا بالابر با حلقه خارجی در شرایط سه فازی به صورت مدل توانی بوده است. از این رو مدل زیر برای برازش داده‌های تجربی نگه‌داشت گاز در بالابر (ε_{gr})، سرعت مایع در بالابر(V_{lr}) و زمان اختلاط راکتور هوا بالابر با حلقه داخلی در حالت سه فازی پیشنهاد می‌شود:

$$y = a_0 U_{gr}^{a_1} \sigma_l^{a_2} \exp(\phi_s)^{a_3} \qquad (۶)$$

که در آن پارامتر وابسته، ε_{gr}، V_{lr} و یا $\log(t_m)$ می‌باشد. با استفاده از نرم افزار SPSS Statistics۱۹ مقدارهای تجربی بر معادله‌ی ۶ برازش شدند. مقدارهای ثابت‌های (a_0، a_1، a_2، a_3) برای معادله‌ی ۶ در جدول ۲ گزارش شده است. با توجه به مدل‌های ارایه شده [۱۳،۱۵،۲۱] برای نوع‌های دیگر از راکتور ایرلیفت نتیجه‌ها و مقدار خطاها مناسب می‌باشد.

از آنجایی که در این بررسی، پارامترهای گرانروی و دانسیته به تقریب ثابت فرض شده‌اند، پیشنهاد می‌شود برای ارایه رابطه کلی برای پارامترهای هیدرودینامیکی، تأثیر پارامترهای ویسکوزیته و دانسیته در حالت سه فازی مورد بررسی قرار گیرد، همچنین برای

جدول ۲ـ ثابت‌های به دست آمده برای معادله‌ی (۶) و خطاهای معادله‌ها.

پارامتر وابسته (y)	ثابت‌های به دست شده				R^2
	a_0	a_1	a_2	a_3	
ε_{gr}	۰٫۱۴۳	۰٫۸۳۹	−۰٫۷۶۵	−۱٫۲۹۵	۰٫۹۴۵
V_{lr}	۱۰٫۸۲۵	۰٫۴۳۴	۰٫۶۳۱	−۱۶٫۹۷۲	۰٫۸۳۵
$Log(t_m)$	۱٫۸۸۸	−۰٫۹۸	۰٫۱۶	−۴٫۱۵۴	۰٫۷۹۶

ارایه رابطه مناسب‌تر، می‌بایست برای هر پارامتر هیدرودینامیکی در رژیم‌های مختلف روابطی ارایه نمود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی تاثیر افزودن فعال‌کننده‌های سطحی یونی و غیر یونی بر روی پارامتر نگه‌داشت گاز در یک راکتور هوا بالابر حلقه داخلی لوله‌ای هم مرکز پرداخته شد. نتیجه‌ها نشان داد که فعال کننده‌های سطحی غیر یونی بیشترین تاثیر را نسبت به فعال کننده‌های سطحی یونی بر روی نگه‌داشت فاز گاز دارد که رابطه آنها به صورت زیر است:

$\varepsilon_{\text{آب مقطر}} > \varepsilon_{\text{کاتیونی}} > \varepsilon_{\text{آنیونی}} > \varepsilon_{\text{غیر یونی}}$

همچنین به بررسی افزودن الکل یا کاهش کشش سطحی بر روی پارامترهای هیدرودینامیکی(نگه‌داشت گاز در بالابر، سرعت چرخش مایع در بالابر و زمان اختلاط) پرداخته شد. نتیجه‌ها نشان دادند که کاهش کشش سطحی در اثر افزودن الکل به فاز مایع(آب) باعث افزایش نگه‌داشت گاز در بالابر و کاهش سرعت چرخش در بالابر و کاهش زمان اختلاط می‌شود. افزودن الکل یا کاهش کشش سطحی موجب ایجاد بیشتر حباب‌های ریز و افزایش زمان اقامت حباب در راکتور می‌شود که در نتیجه‌ی آن نگه‌داشت گاز در راکتور افزایش و سرعت چرخش مایع کاهش پیدا می‌کند و به دلیل برخوردهای بیشتر فازها زمان اختلاط کاهش پیدا می‌کند.

در پایان معادله‌های تجربی برای پارامترهای هیدرودینامیکی مورد بررسی با کمک نرم افزار SPSS ۱۹ برای راکتور هوابالابر حلقه داخلی لوله‌ای ارایه شدند. توافق به نسبت خوبی بین معادله‌های ارایه شده و نتیجه‌های آزمایشگاهی به دست آمد. رابطه‌های به دست آمده به صورت زیر می‌باشند:

$$\varepsilon_{gr} = 0/143 u_{gr}^{0/839} \sigma_l^{-0/765} \exp(\varphi_s)^{-1/295}$$

$$V_{lr} = 10/825 u_{gr}^{0/434} \sigma_l^{0/631} \exp(\varphi_s)^{-16/972}$$

$$\log(t_m) = 1.888 u_{gr}^{-0/98} \sigma_l^{0/16} \exp(\varphi_s)^{-4/154}$$

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۵

مراجع

[۱] مهرنیا، محمدرضا؛ توفیقی، جعفر؛ بنکدارپور، بابک؛ اکبرنژاد، محمد مهدی، مطالعه هیدرودینامیک در راکتورهای ایرلیفت حاوی میکروامولسیون آب در نفت، *فنی ومهندسی مدرس*، **۱۸**: ۹ تا ۱۶ (۱۳۸۳).

[2] Merchuk J., Siegel M.H., Airlift Reactors in Chemical and Biological Technology, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **41**:105-120 (1988).

[3] Peterson E., Margaritis A., Hydrodynamic and Mass Transfer Characteristics of Three-Phase Gas-Lift Bioreactor Systems, *Critical Reviews in Biotechnol Journal*, **21**:233-249 (2001).

[4] Singh A., Van Hamme J.D., Ward O.P., Surfactants in Microbiology and Biotechnology: Part 2. Application Aspects, *Biotechnology Advances Journal*, **25**:99-121(2007).

[5] Tzounakos A., Karamanev D.G., Margaritis A., Bergougnou M.A., Effect of Surfactants on the Free Rise of Single Gas Bubbles in Non-Newtonian Pseudoplastic Liquids, *Industrial and Engineering Chemistry Research*,**43**:5790-5795 (2004).

[6] Alves S.S., Orvalho S.P.,Vasconcelos J.M.T., Effect of Bubble Contamination on Rise Velocity and Mass Transfer, *Chemical Engineering Science*, **60**:1-9 (2005).

[7] Vazquez G., Antorrena G., Navaza J.M., Influence of Surfactant Concentration and Chain Length on the Absorption of CO_2 by Aqueous Surfactant Solutions in the Presence and Absence of Induced Marangoni Effect, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **39**:1088-1094 (2000).

[8] Fang X., Shen Y., Zhao J., Bao X., Qu Y., Status and Prospect of Lignocellulosic Bioethanol Production in China, *Bioresource Technology*. Bd., **101**(13): 4814-4819 (2010).

[9] Mabee W.E., Saddler J.N., Bioethanol from Lignocellulosics: Status and Perspectives in Canada, *Bioresource Technology*, **101**(13): 4806-4816 (2010).

[10] Moraveji M.K., Sajjadi B., Davarnejad R., Sharafoddin S., Influence of Buthanol Addition on Mass Transfer and Bubble Diameter in a Split-Cylinderical Airlift Reactor, *Indian Journal of Chemical Technology*, **18**:227-283 (2011).

[11] Isaka K., Sumino T., Tsuneda S., Novel Nitritation Process Using Heat-Shocked Nitrifying Bacteria Entrapped in Gel Carrier, *Process Biochemistry*, **43**:265-270 (2008).

[12] Moraveji M.K., Morovati Pasand M., Davarnejad R., Chisti Y., Effects of Surfactants on Hydrodynamic and Mass Transfer in a Split-Cylinder Airlift Reactor, *The Canadian journal of Chemical Engineering*, **90**:93-99 (2012).

[13] Sivasubramaniana V., Naveen Prasad B.S., Effects of Superficial Gas Velocity and Fluid Property on the Hydrodynamic Performance of An Airlift Column with Alcohol Solution, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, **1**(1):245-253 (2009).

[14] Azher N.E., Gourich B., Soulami M., Bouzidi A., Barkaoui M., Ziyad M., Influence of Alcohol Addition on Gas Hold-Up, Liquid Circulation Velocity and Mass Transfer Coefficient in a Split-Rectangular Airlift Bioreactor, *Biochemical Engineering Journal*, **23**:161–167 (2005).

[15] Sijacki I., Colovic R., Tokic M., Kojic P., Simple Correlations for Bubble Columns and Draft Tube Airlift Reactors With Dilute Alcohol Solutions, *Acta Periodica Technologica*, 40:1-220 (2009).

[16] Molina E., Contreras A., Chisti Y., Gas Holdup, Liquid Circulation and Mixing Behavior of Viscous Newtonian Media in A Split-Cylinder Airlift Bioreactor, *Food and Bioproducts Processing*, **77**:27-32 (1999).

[17] Onken U., Weiland P., Hydrodynamics and Mass Transfer in An Airlift Loop Fermenter, *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, **10**:31-40 (1980).

[18] Kelkar B.G., Godbole S.P., Honath M.F., Shah Y.T., Carr N.L., Deckwer W.D., Effect of Addition of Alcohol on Gas Holdup and Backmixing in Bubble Column, *American Institute of Chemical Engineers Journal*, **29**:361–369 (1983).

[19] Weiland P., Influence of Draft Tube Diameter on Operation of Airlift Loop Reactors, *German Chemical Engineering*, **7**:374–385 (1984).

[20] Kennard M., Janekeh M., Two- and Three-Phase Mixing in a Concentric Draft Tube Gaslift Fermentor, *Biotechnology and Bioengineering*, **38**:1261–1270 (1991).

[21] Albijanic B., Havran V., Petrovic D.j., Duric M., Tekic M.N., Hydrodynamics and Mass Transfer in a Draft Tube Airlift Reactor With Dilute Alcohol Solutions, *American Institute of Chemical Engineers*, **53**:267-273 (2007).