

توزیع زمان ماند (RTD) فاز مایع در کنتاکتور جدید گاز- مایع

موسی جعفری ، جعفر صادق سلطان محمدزاده

دانشکده مهندسی شیمی - دانشگاه صنعتی سهند

Email : soltan@sut.ac.ir

چکیده

آزمایشات توزیع زمان ماند (RTD) فاز مایع به عنوان یک پارامتر هیدرودینامیکی در کنتاکتور جدید گاز- مایع که جهت تصفیه قاضلاب با ازن طراحی و ساخته شده است ، صورت گرفته است . یک دستگاه هدایت سنج الکتریکی نیز به عنوان دستگاه شناساگر (detector) جهت انجام آزمایشات طراحی و ساخته شده است. از مدل دو پارامتری راکتور اختلاط کامل (CSTR) با حجم مرده (dead zone) و جریان کنارگذر (bypass) جهت مدل کردن رفتار اختلاطی کنتاکتور استفاده شده است آزمایشات نشان می دهد که در دبی های پایین مایع قسمتی از حجم کنتاکتور را فضای مرده تشکیل می دهد در حالی که در دبی های بالا سهم جریان کنارگذر قابل توجه است. سرعت های مختلف همزن نیز تنها در مدت زمان رسیدن منحنی های توزیع زمان ماند (RTD) به نقطه ماکزیمم موثرند و تاثیر قابل توجهی در این منحنی ها ندارند.

واژه های کلیدی : توزیع زمان ماند ؛ کنتاکتور گاز- مایع ؛ مدل کردن راکتور

مقدمه

مثالهای زیادی از عملیات تماس گاز مایع در صنایع یافت میشود که اغلب شامل ترکیب یا جذب گاز در مایع احتمالا همراه با واکنش شیمیایی ، شستشو یا مرطوب سازی جریان گاز ، دفع گاز از مایع ، تقطیر در اشکال مختلف آن و غیره می باشد. [۱]

از مهمترین کنتاکتورهای گاز-مایع کنتاکتورهای اختلاط مکانیکی (Mechanical Agitated Contactors) هستند که دارای یک یا چند پره (Impeller) هستند که با استفاده از یک الکتروموتور در داخل مخزن می چرخند و شدت انتقال جرم مورد نیاز بین فاز گاز و مایع را تامین می کنند. طراحی کنتاکتورهای اختلاط مکانیکی نیاز به در نظر گرفتن شدت انتقال جرم و حرارت و اختلاط مناسب گاز و مایع می باشد. یک طراح باید مصرف توان، ماندگی گاز،

زمان اختلاط و غیره را در طراحی خود مدنظر داشته باشد. این فاکتورها وابسته به متغیرهای بسیاری چون ویسکوزیته ، دانسیته و ضریب هدایت گرمایی مایع ، ثابتهای سرعت واکنش شیمیایی ، سرعت همزن، شدت جریان گاز و مایع، حجم مایع ، نوع و قطر پره و شکل هندسی تجهیزات می باشد [۱،۲]

همزن های خود القا (Self Inducing) یک نوع از همزن های اختلاط مکانیکی می باشند که کاربرد قابل ملاحظه ای در صنایع دارد اساس کار این همزنها ایجاد منطقه فشار پایین در قسمت پایین پره ها در مقایسه با فضای بالایی مایع و مکش گاز از طریق یک لوله هم محور با شفت می باشد بنابراین قسمتی از توان شفت برای مکش گاز مصرف می شود اغلب این نوع همزنها دارای چندین پره می باشند. پره مورد استفاده در این نوع کنتاکتورها از نوع پروانه ای یا تیغه شیب دار

یک ساختار سازمان یافته به این موضوع با تعریف توابع توزیع ارائه داد. [۷] اطلاعات کاملتر در مورد مفهوم و توابع RTD در مراجع مختلف موجود است [۸-۱۱]

طراحی و ساخت دستگاهها و آزمایشات

کنتاکتور ساخته شده به شکل استوانه می باشد و بدنه جانبی آن از جنس پلی متیل متااکریلات (PMMA) با قطر داخلی و خارجی بترتیب ۱۹ و ۲۰ سانتیمتر و ارتفاع ۷۰ سانتیمتر می باشد از آنجا که PMMA شفاف می باشد و در مقابل تنشهای مکانیکی و حرارتی مقاومت خوبی دارد جنس بدنه جهت رؤیت رژیم جریان و انجام آزمایشات مربوطه از این جنس انتخاب شده است. دو سرپوش از جنس تفلون با قطر خارجی ۳۰ سانتیمتر جهت مسدود کردن دو انتهای استوانه مورد استفاده قرار گرفته است. هر کدام از این سرپوش ها از دو قسمت مجزا تشکیل شده است که قطر داخلی آنها برابر با قطر خارجی استوانه با پروفیل خاص تراش داده شده است.

دو پره تیغه- شیب دار (Pitched Blade) ۴۵ درجه با قطر ۷ سانتیمتر و عرض تیغه ۹ میلیمتر به فاصله ۷ سانتیمتر از هم روی شفت نصب شده اند. یک لوله پیش اختلاط (Draft Tube) از جنس PMMA به قطر داخلی ۱۰ سانتیمتر و ارتفاع ۱۴ سانتیمتر در ارتفاع ۱۲ سانتیمتر از ته کنتاکتور نصب شده است که پره ها در داخل آن قرار می گیرند. چهار بافل به عرض ۵ میلیمتر و ارتفاع ۱۴ سانتیمتر نیز در قسمت داخلی لوله پیش اختلاط نصب شده اند سیستم محرکه پره ها یک الکتروموتور DC ۲۴ ولت و ۴۰۰۰ rpm است که به واسطه یک ترانسفورماتور به برق شهری وصل می شود. از یک کنترلر سرعت نیز جهت تغییر سرعت چرخش پره ها از صفر تا ۴۰۰۰ rpm استفاده شده است. برای اندازه گیری سرعت چرخش پره ها از یک دور سنج (Tachometer) استفاده شده است که می تواند به دو صورت تماسی و نوری سرعت چرخش را در واحد rpm نشان دهد. همچنین از یک فلومتر گازی نیز جهت اندازه گیری دبی گاز ورودی استفاده شده است.

می باشد که چرخش همزن در یک سرعت مطلوب باعث مکش گاز و پخش آن در داخل مایع می شود. این گاز هم می تواند گاز فضای بالای سطح مایع باشد که قسمتی از آن گاز واکنش نداده است و هم می تواند گاز تازه ای باشد که بوسیله یک لوله هم محور با شفت که آنرا احاطه کرده است و به منبع گاز متصل است وارد فاز مایع شود. [۳، ۴].

این کنتاکتور جدید گاز القا (Gas Induced) که طراحی و ساخته شده است ابتدا در سال ۱۹۹۶ توسط Hsu و Huang معرفی شد که به عنوان راکتور تصفیه قاضلاب با ازن استفاده می شود [۵] در واکنشهای گاز- مایعی که در یک کنتاکتور صورت می گیرد هنگامی که تبدیل یک بار گذر واکنش کم باشد و یا گاز مصرفی با ارزش و گران باشد (همانند ازن) بازگرداندن گاز واکنش نداده و استفاده مجدد آن امری اجتناب ناپذیر می نماید این مسئله معمولاً با بکارگیری مخازن سری یا استفاده از یک کمپرسور حل می شود اما هر دو راه حل مستلزم صرف هزینه های اضافی است [۶] این کنتاکتور با مکش خودکار گاز واکنش نداده راه حل سوم و اقتصادی تری را برای این مسئله ارائه نموده است همچنین استفاده از این کنتاکتور نیاز به بکارگیری پخش کننده گاز (Sparger) که مشکلاتی نظیر گرفتگی بوسیله ذرات جامد را در بر دارد منتفی می سازد.

رژیم اختلاطی اجزا در داخل هر راکتور یکی از مهمترین پارامترهای هیدرودینامیکی آن محسوب می شود یکی از بهترین راههای تعیین رژیم اختلاط انجام آزمایشات توزیع زمان ماند (RTD) می باشد و با نتایج حاصله آن می توان تا حد زیادی مشخص کرد که آیا رژیم جریان به یکی از حالت های ایده آل جریان قالبی (Plug) یا اختلاط کامل (Mixed) نزدیک است یا اصولاً انحرافات قابل ملاحظه ای از این دو حالت ایده آل دارد. ایده استفاده از RTD در آنالیز عملکرد راکتورهای شیمیایی ابتدا توسط مک مولین (MacMullin) و وبر (weber) طی مقاله ای در سال ۱۹۳۵ ارائه شد اگر چه این مفهوم بطور گسترده بعد از دهه ۱۹۵۰ بکار گرفته شد زمانی که دانکورتز (P.V. Danckwerts)

سیستم را در قبال این تحریک مطالعه می نمایند. تجزیه و تحلیل این عکس العمل یا پاسخ اطلاعات لازم را در مورد سیستم به دست می دهد در آزمایشات RTD عامل محرک ماده ردیاب (tracer) افزوده شده به سیال ورودی به ظرف است در حالی که پاسخ یا عکس العمل سیستم تغییرات غلظت در خروجی در فاصله زمانی ثبت شده است که طی آن ردیاب از سیستم خارج می گردد [۸]

در این آزمایشات از محلول ۴ مولار KCl به عنوان ماده ردیاب و از دستگاه هدایت سنج الکتریکی به عنوان دستگاه شناساگر (Detector) استفاده شده است. ماده ردیاب در عرض کمتر از ۳، ثانیه به ورودی مایع تزریق می شود تا فرض ضربانی (Pulse) بودن تزریق مورد قبول باشد سنسوری که در خروجی مایع تعبیه شده است تغییرات غلظت نمک را حس کرده و به دستگاه هدایت سنج منتقل می کند و از طریق این دستگاه داده ها به رایانه انتقال می یابد.

نتایج و بحث

همان طور که اشاره شد از یک دستگاه هدایت سنج الکتریکی بعنوان شناساگر استفاده شده است خروجی این دستگاه به صورت ولتاژ جریان عبوری بین دو صفحه فلزی سنسور می باشد که با استفاده از رابطه کالیبراسیون سنسور مربوطه مقادیر ولتاژ به غلظت $C(t)$ تبدیل می شود تابع $E(t)$ که از آن بعنوان تابع RTD نیز یاد می شود بدین شکل تعریف می شود:

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt} \quad (1)$$

استفاده از تابع RTD بدون بعد $E(\theta)$ علاوه بر اینکه محاسبات را آسانتر می کند مقایسه RTD سیستمهای مختلف را در یک شکل ممکن می سازد تابع RTD بدون بعد $E(\theta)$ و زمان بدون بعد θ به صورت روابط (۲) و (۳) تعریف می شود.

$$E(\theta) = \tau E(t) \quad (2)$$

$$\theta = t / \tau \quad (3)$$

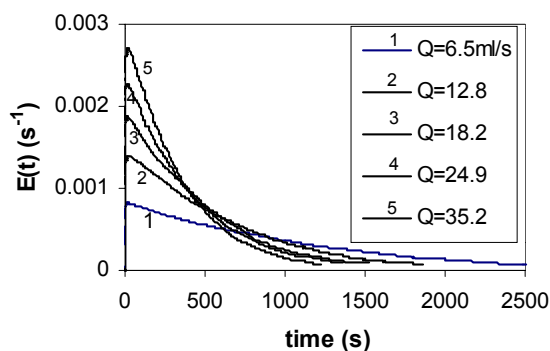
برای انجام یک تست RTD نیاز به یک دستگاه شناساگر (Detector) داریم تا تغییرات غلظت مواد خروجی از راکتور را ثبت کند که اگر ماده ردیاب مصرفی ما یک محلول الکترولیت باشد این دستگاه می تواند یک هدایت سنج الکتریکی باشد چرا که میزان محلول در جریان خروجی راکتور ارتباط مستقیمی با هدایت الکتریکی محلول خروجی دارد که با استفاده از یک سنسور که در خروجی راکتور تعبیه شده است تغییرات میزان هدایت الکتریکی محلول حس شده و به دستگاه منتقل می شود.

این دستگاه داده های Analog دریافتی از سنسور را به داده های Digital قابل فهم برای رایانه تبدیل می کند و همزمان با انجام آزمایش داده ها از سنسور به دستگاه و سپس از طریق port پرینتر به رایانه انتقال می یابد و با استفاده از نرم افزار نوشته شده عملاً می توان همزمان با انجام آزمایش منحنی RTD یا هر منحنی مربوط به تغییرات غلظت را در مانیتور رایانه مشاهده نمود. محدوده بالایی و پایینی غلظتی که دستگاه می تواند اندازه گیری کند بوسیله دو پیچ قابل تنظیم است. در حقیقت محدوده غلظت با توجه به غلظت ماده ردیاب مصرفی و همچنین حجم راکتور می تواند متغیر باشد که به سادگی در دستگاه قابل تنظیم است.

سرعت بالای داده دهی از مهمترین مزایای دستگاه می باشد. این دستگاه عملاً می تواند ۲۰۰ داده را در هر ثانیه گزارش کند که سرعت بسیار بالایی محسوب می شود سرعت داده دهی دلخواه را می توان به عنوان یکی از پارامترهای ورودی نرم افزار مربوطه وارد کرد. دیگر مزیت مهم دستگاه real time بودن آن است به گونه ای که همزمان با انجام آزمایش منحنی مربوطه را نیز می توان مشاهده کرد. این خاصیت دستگاه نیاز به نمونه گیری در فواصل زمانی مشخص را که اغلب با خطای قابل توجهی همراه است منتفی می سازد.

روش تحریک - پاسخ که به میزان وسیعی در علوم مختلف به کار می رود اساس آزمایشات RTD می باشد در این روش اخلاص کوچکی در سیستم به وجود آورده و عکس العمل

افزایش می‌باید در نتیجه مدت زمان بیشتری جهت کاهش و نهایتاً به نزدیک صفر رسیدن منحنی مورد نیاز است لازم بذکر است که دنباله منحنی‌ها وقتی غلظت به 0.003 غلظت ماکزیمم رسیده است قطع شده است این زمان تقریباً معادل 8 برابر زمان پر شدن می‌باشد.



شکل ۲- منحنی‌های RTD در دبی‌های مختلف مایع در سرعت 1100 rpm و در بازه زمانی کامل

مدل کردن کنتاکتور با استفاده از منحنی‌های RTD

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده شد منحنی‌های RTD تابع شدت جریان مایع نیز می‌باشد در حقیقت محل و حتی شکل نازل خروجی آب بر روی منحنی‌های RTD اثرات قابل ملاحظه‌ای دارد از آنجا که تنظیم دبی آب با استفاده از شیرهای خروجی و ورودی آب صورت گرفته است با باز و بسته شدن این شیرها در حقیقت شکل نازل خروجی و ورودی آب تغییر می‌کند. شکل (۳) منحنی RTD بدون بعد را برای دبی‌های $6/5$ و $35/2$ ml/s نشان می‌دهد همچنین منحنی RTD یک راکتور اختلاط کامل نیز برای مقایسه رسم شده است منحنی‌های مشابهی نیز برای دبی‌های دیگر بدست می‌آید. همان‌طور که از شکل (۳) قابل پیش‌بینی است عملکرد کنتاکتور مورد آزمایش مشابه راکتور اختلاط کامل است. مقدار زمان ماند متوسط محاسبه شده برای دبی‌های پایین کمتر از زمان پر شدن τ می‌باشد این مسئله برای دبی $12/8$ و تا حدودی $18/2$ ml/s نیز صادق است اما در دبی‌های بالاتر یعنی $24/9$ و $35/2$ ml/s مقدار محاسبه شده

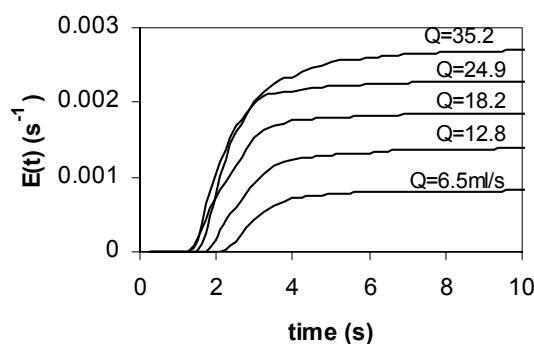
در این روابط τ زمان پر شدن یا زمان فضایی سیستم (Space time) نامیده می‌شود که برابر با حجم مورد استفاده سیستم تقسیم بر دبی مایع ورودی می‌باشد. [۸،۹]

زمان ماند متوسط نیز به شکل رابطه (۴) تعریف می‌شود

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} tE(t)dt \quad (4)$$

تأثیر دبی مایع بر RTD

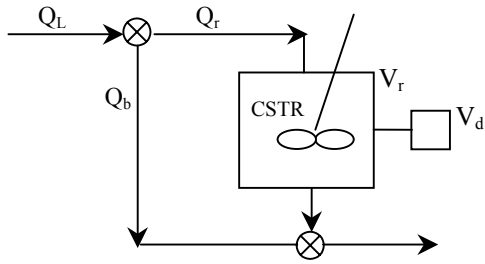
از آنجا که سرعت بهینه چرخش پره‌ها با توجه به مکش گاز 1100 rpm می‌باشد آزمایشات این قسمت در این سرعت انجام گرفته است حجم مورد استفاده کنتاکتور در همه آزمایشات 9 لیتر می‌باشد از آنجا که سرعت همزن در تمامی آزمایشات برابر است لذا انتظار می‌رود که زمان رسیدن به نقطه اوج منحنی‌های غلظت و مقدار غلظت در آن نقطه تقریباً باهم برابر باشند در واقع آزمایشات نیز این مسئله را نسبتاً تایید می‌کنند. شکل (۱) منحنی‌های RTD در دبی‌های مختلف مایع را در ده ثانیه اول نشان می‌دهد در واقع به علت این که انتگرال مخرج در رابطه (۱) با افزایش دبی کاهش می‌یابد مقادیر ماکزیمم منحنی‌های RTD نیز با افزایش دبی افزایش خواهد یافت اما زمان رسیدن منحنی‌ها به نقطه ماکزیمم تابعیت چندانی از دبی مایع ندارد.



شکل ۱- منحنی‌های RTD در دبی‌های مختلف

مایع در سرعت 1100 rpm و در 10 ثانیه اول

شکل (۲) نیز منحنی‌های RTD را در بازه زمانی کامل نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش دبی مایع منحنی RTD پهن‌تر می‌شود در واقع این مسئله از آنجا ناشی می‌شود که با کاهش دبی مایع مقدار زمان ماند متوسط



شکل ۴ - مدل CSTR با حجم مرده و جریان کنارگذر

پارامترهای سیستم را به صورت روابط (۵) و (۶) تعریف

می‌کنیم

$$\alpha = V_d / V \quad (5)$$

$$\beta = Q_b / Q_L \quad (6)$$

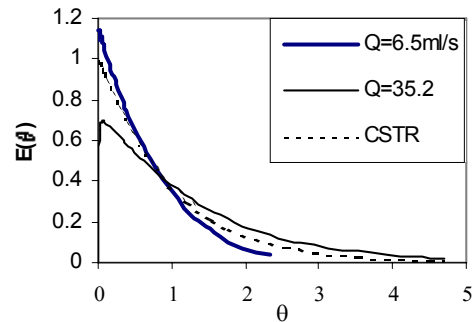
α کسری از حجم کنتاکتور می‌باشد که فضای مرده را تشکیل می‌دهد و β کسری از جریان ورودی مایع است که به صورت جریان کنارگذر کنتاکتور را ترک می‌کند. در حقیقت از داده های RTD جهت محاسبه پارامترهای α و β استفاده خواهد شد تابع RTD در این مدل به شکل رابطه (۷) می‌باشد که با بکارگیری پارامترهای α و β به صورت رابطه (۸) درمی‌آید.

$$E(\theta) = \left(\frac{Q_r}{Q_L}\right)^2 \left(\frac{V}{V_r}\right) \exp\left(-\frac{Q_r}{Q_L} \times \frac{V}{V_r} \theta\right) \quad (7)$$

$$E(\theta) = \frac{(1-\beta)^2}{(1-\alpha)} \exp\left(-\frac{1-\beta}{1-\alpha} \theta\right) \quad (8)$$

باید توجه داشت که مقادیر α و β بین صفر و یک است. محاسبات بعدی نشان می‌دهد که هر دو پارامتر بطور همزمان دارای مقادیر غیر صفر نیستند در حقیقت مدل را می‌توان بصورت دو مدل تک پارامتری مجزا در نظر گرفت که با توجه به منحنی، یکی از مدلها با مقادیر RTD سازگار خواهد بود. در دبی‌های پایین مقادیر جریان کنارگذر صفر است ولی حجم قابل توجهی از کنتاکتور را فضای مرده تشکیل می‌دهد بطوریکه در دبی ۶/۵ ml/s بیش از ۱۶٪ حجم کنتاکتور را حجم مرده تشکیل می‌دهد این مقدار با افزایش دبی مایع کمتر می‌شود بطوریکه در دبی ۱۲/۸ ml/s مقدار آن به ۵٪ و در دبی ۱۸/۲ cc/s به صفر می‌رسد در این دبی عملکرد

بیشتر از τ است از این نتیجه در مدل کردن کنتاکتور استفاده خواهد شد.



شکل ۳ - منحنی $E(\theta)$ کنتاکتور و CSTR در

دبی‌های آب ۶/۵ و ۳۵/۲ ml/s و سرعت ۱۱۰۰ rpm

جدول (۱) مقادیر \bar{t} و τ را در دبی‌های مختلف نشان می‌دهد

جدول ۱ - مقادیر \bar{t} و τ در دبی‌های مختلف مایع

| Q_L (ml/s) | ۶/۵ | ۱۲/۸ | ۱۸/۲ | ۲۴/۹ | ۳۵/۲ |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| τ (s) | ۱۳۹۳ | ۷۰۳ | ۴۹۴ | ۳۶۱ | ۲۵۵ |
| \bar{t} | ۸۸۰ | ۵۹۷ | ۴۷۳ | ۴۰۶ | ۳۳۱ |

همان‌طور که از جدول (۱) مشخص است حدوداً در دبی

۲۰ ml/s مقادیر \bar{t} و τ با هم برابر می‌شوند

تحقیقات نشان می‌دهد که وقتی رژیم اختلاطی یک مخزن نزدیک به CSTR باشد کوچک بودن زمان ماند متوسط از زمان پر شدن بیانگر وجود حجم مرده در مخزن است [۱۲] همچنین در حالتی که زمان ماند متوسط بزرگتر از زمان پر شدن است می‌توان انتظار داشت که قسمتی از جریان ورودی به صورت جریان کنارگذر یا گذر فرعی (bypass) مخزن را به سرعت ترک می‌کند از این دو مطلب در مدل سازی کنتاکتور استفاده خواهد شد.

از آنجا که عملکرد کنتاکتور به CSTR بسیار نزدیک است و تنها انحرافات از عملکرد این نوع راکتور ایده‌آل دارد مدل دو پارامتری راکتور CSTR با انحرافات گذر فرعی و حجم مرده برای مدل کردن کنتاکتور در نظر گرفته می‌شود.

شکل (۴) مدل مفروض را نشان می‌دهد.

جدول ۲ - مقادیر پارامترهای مدل در دبی‌های مختلف مایع

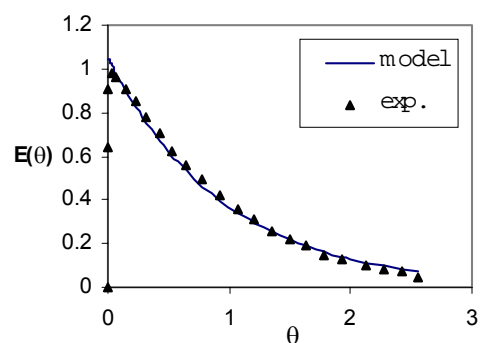
| Q_L (cc/s) | ۶/۵ | ۱۲/۸ | ۱۸/۲ | ۲۴/۹ | ۳۵/۲ |
|--------------|------|------|------|------|------|
| α | ۰/۱۶ | ۰/۰۵ | ۰ | ۰ | ۰ |
| β | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۰۵ | ۰/۱ |

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان این‌گونه استنباط کرد که در دبی‌های پایین فضاهای مرده‌ای در گوشه‌های ته کنتاکتور تشکیل می‌شود البته این مسئله به ارتفاع لوله پیش اختلاط از ته کنتاکتور نیز برمی‌گردد و با انتخاب ارتفاع بهینه می‌توان این فضاهای مرده را حذف نمود با افزایش دبی مقادیر این فضاها کاسته می‌شود. وجود جریان کنار گذر در دبی‌های بالا نیز به هندسه کنتاکتور برمی‌گردد شیر خروجی آب در قسمت مرکزی ته کنتاکتور و در زیر لوله پیش اختلاط قرار دارد و با توجه به اینکه لوله پیش اختلاط با ایجاد دو جریان محوری مایع باعث می‌شود که تقریباً تمامی مایع در حال گردش از داخل آن و رو به پایین حرکت کند در دبی‌های بالا این حرکت رو به پایین و در جهت شیر خروجی باعث می‌شود که جزء قابل توجهی از جریان مایع به صورت جریان کنار گذر کنتاکتور را ترک کند البته در دبی‌های میانی مقادیر هر دو انحراف کم می‌شود و می‌توان کنتاکتور را با تقریب خوبی یک راکتور اختلاط کامل در نظر گرفت این فرض خطای قابل ملاحظه‌ای را به محاسبات سینتیکی وارد نخواهد کرد.

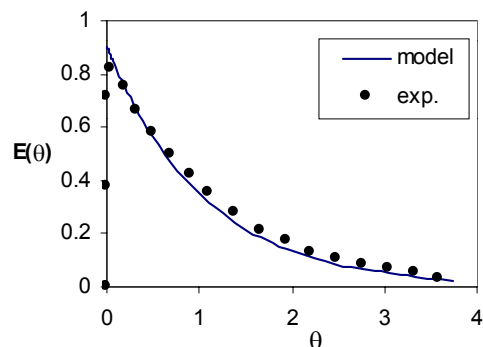
تأثیر سرعت چرخش پره‌ها بر منحنی RTD

برای بررسی تأثیر سرعت چرخش پره‌ها بر RTD آزمایشاتی در سه سرعت ۴۰۰ و ۸۰۰ و ۱۲۰۰ rpm و در دبی مایع ثابت ۳۰ ml/s صورت گرفته است تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که در سرعت‌های مختلف چرخش پره‌ها محتوی کنتاکتور بعد از گذشت مدت زمانی که از آن به عنوان زمان اختلاط یاد می‌شود به یکنواختی نسبی می‌رسد و بعد از آن فاز مایع به شکل یکنواخت باقی می‌ماند. در واقع تنها اثری را که از تغییر سرعت چرخش پره‌ها می‌توان انتظار داشت زمان رسیدن

کنتاکتور کاملاً مشابه با یک CSTR است و منحنی RTD حاصله کاملاً منطبق بر منحنی RTD یک CSTR می‌باشد. با افزایش دبی از ۱۸/۲ ml/s شاهد افزایش پارامتر β یعنی میزان جریان کنار گذر سیستم هستیم این مقدار در دبی‌های ۲۴/۹ و ۳۵/۲ ml/s به ترتیب به ۰/۵ و ۰/۱۰ می‌رسد با به کارگیری مدل مفروض در دبی‌های مختلف تطابق خوبی بین مدل و داده‌های آزمایشگاهی مشاهده می‌شود. این امر برای نمونه در اشکال (۵) و (۶) به ترتیب برای دبی‌های ۱۲/۸ و ۲۴/۹ ml/s نشان داده شده است.

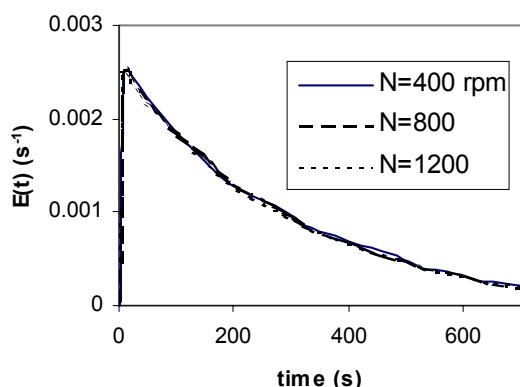


شکل ۵ - منحنی RTD مدل و داده‌های آزمایشگاهی در دبی ۱۲/۸ ml/s و سرعت ۱۱۰۰ rpm



شکل ۶ - منحنی RTD مدل و داده‌های آزمایشگاهی در دبی ۲۴/۹ ml/s و سرعت ۱۱۰۰ rpm

جدول (۲) مقادیر پارامترهای محاسبه شده مدل را در دبی‌های مختلف مایع نشان می‌دهد



شکل ۸- منحنی‌های RTD در سرعت‌های مختلف و دبی مایع ۳۰ ml/s در بازه زمانی کامل

نتیجه‌گیری

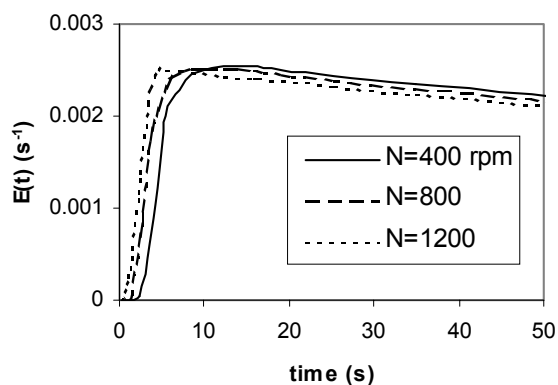
آزمایشات صورت گرفته نشان می‌دهد که با تقریب خوبی می‌توان این کنتاکتور را یک راکتور اختلاط کامل (CSTR) در نظر گرفت هرچند که در دبی‌های پایین مایع قسمتی از حجم آن را فضای مرده تشکیل می‌دهد و در دبی‌های بالا قسمتی از جریان ورودی مایع به صورت جریان کنارگذر به سرعت کنتاکتور را ترک می‌کند اما در عمل بیشتر با دبی‌های متوسط مایع سروکار خواهیم داشت که فرض اختلاط کامل در این دبی‌ها با خطای بسیار کمی همراه است. همچنین از آنجا که محدوده سرعت چرخش پره‌ها در این کنتاکتور بالاست سرعت‌های مختلف همزن تاثیر قابل ملاحظه‌ای در عملکرد اختلاطی آن ندارد.

مراجع

1. Harnby N. , Edwards M.F. , Nienow A.W. , Mixing in the process industries, Butterworth Heinemann , London , 1997
2. Treybal R.E. , Mass transfer operation , McGraw-Hill , New York , 3rd Ed., 1990
3. Patil S.S. , Joshi J.B. , “Stability of Gas-Inducing type impellers”, The Canadian J. of Chem. Eng. , Vol. 77, 1999
4. Ludwig E.E. , Applied process design for chemical and petrochemical plants , Gulf publishing company , Louisiana , 1984
5. Hsu Y.C. , Huang C.J. , “Characteristics of a new Gas-Induced reactor”, AIChE J. , Vol. 42 , No. 11 , P3146 , 1996

منحنی RTD به نقطه ماکزیمم است که در سرعت‌های بالا منحنی سریعتر به نقطه اوج خود خواهد رسید. نتایج آزمایشات این قسمت نیز این مطلب را تایید می‌کند. در شکل (۷) منحنی‌های RTD در سه سرعت ۴۰۰ و ۸۰۰ و ۱۲۰۰ rpm در ۵۰ ثانیه اول آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود منحنی‌های RTD در سه سرعت ۴۰۰ و ۸۰۰ و ۱۲۰۰ rpm به ترتیب در زمان‌های ۹ و ۶ و ۴ ثانیه به نقطه ماکزیمم خود رسیده‌اند در واقع وقتی در فاصله زمانی بازتر منحنی‌های RTD در نظر گرفته شود سه منحنی مذکور از هم متمایز نخواهند بود این مسئله به خوبی در شکل (۸) که منحنی‌های RTD را در فاصله زمانی صفر تا ۷۰۰ ثانیه نشان می‌دهد قابل مشاهده است.

از نتایج این قسمت می‌توان اینگونه استنتاج نمود که تغییر سرعت چرخش پره‌ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی منحنی‌های RTD و رژیم اختلاطی کنتاکتور ندارد و تنها در زمان رسیدن منحنی‌ها به نقطه اوجشان می‌تواند موثر باشد. با استفاده از مدل مذکور منحنی‌های RTD در هر سه سرعت با یک CSTR همراه با ۷٪ جریان کنارگذر ($\beta=0.07$) مدل می‌شود.



شکل ۷- منحنی‌های RTD در سرعت‌های مختلف و دبی مایع ۳۰ ml/s در ۵۰ ثانیه اول

6. Hsu Y.C. , Huang C.J. , “Ozone transfer with optimal design of a new Gas-Induced reactor”, AIChE J. , Vol. 43 , No. 9 , P2336 , 1997
7. Dankwerts P.V. , ” continous flow systems . Distribution of residence time “, chemical Engineering Science ,Vol. 2, P1, 1953
8. Levenspiel O.,Chemical Reaction Engineering , John Wiley & sons ,NewYork,3rd Ed.,1999
9. Fogler H.S., Elements of chemical Reaction Engineering ,Prentice Hall , NJ , 2nd Ed., 1992
10. Nauman E.B. ,Chemical Reactor Design , John Wiley & sons ,NewYork,1987
11. Smith J.M., Chemical Engineering Kineties, New york , Mc Graw-Hill , 3rd Ed., 1981
12. Maalej S. , Benadda B. ,”Experimental study on a co-current gas-liquid down flow contactor”, Chem. Eng. Technol.,Vol. 22 , 1999