

بررسی اثر ویسکوزیته در عملیات واحد صنعتی
جذب گاز و تاثیر برخی متغیرهای پارامتریک
متاثر از آشفته‌گی فیلم مایع

● علی اکبر جمالی - عضو هیأت علمی دانشگاه امام حسین (ع)



انتقال جرم، اشمیمت، جریان مغشوش

مقدمه

پدیده جذب یکی از روش‌های متداول تفکیک مواد و یافتن محصولات مناسب در واحدهای صنعتی است. تغییر غلظت اجزای موجود در محلول‌ها با حفظ ماهیت شیمیایی آن‌ها در سایه فرایند عملیات انتقال جرم است. بدست آوردن محلول‌های جدید و یا جداسازی چند نوع گاز متفاوت در هم آمیخته توسط جذب در سیالات ناشی از اعمال پدیده انتقال جرم دو فاز گاز و مایع در اثر تماس میان دو فاز به وسیله فیلم مایع گاه‌ها به دو صورت آرام و متلاطم عملی می‌شود. تفاوت این دو در نحوه جذب گاز است. در فیلم آرام پدیده جذب از طریق نفوذ ملکولی دو فاز صورت می‌گیرد. در فیلم مایع آشفته به دلیل وجود جریان چرخشی از تأثیرگذاری ضریب انتقال جرم استفاده می‌شود. جدای از رژیم‌های مزبور، هرچه ویسکوزیته سیال کمتر باشد؛ ضریب انتقال جرم بزرگتر بوده در نتیجه انتقال جرم زیادتر می‌شود و شدت جذب بیشتر خواهد بود و بالعکس بالا بودن لزجت دینامیکی و یا سینماتیکی سیال، ضریب انتقال جرم کمتر و بالتبع عمل جذب کمتر است. همچنین شدت جذب در در جریان مغشوش بیشتر از جریان آرام است [۱].

در فرایند جذب گاز جرم از فاز گاز به درون یک فاز مایع منتقل می‌شود و هدف از آن تفکیک یک یا چند جزء از موادی است که در فاز گاز وجود دارد. در پدیده جذب، جهت انتقال جرم از فاز گاز به فاز مایع است. دور بودن غلظت از غلظت تعادل (گرادیان غلظت) برای حالتی که تعادل بین دو فاز برقرار می‌شود؛ غلظت جزء حل شده در هر فاز با یکدیگر مساوی نمی‌باشد؛ بلکه پتانسیل شیمیایی آن جزء در هر فاز با هم برابر است. در کارخانجات نوشابه‌سازی، فیلم شربت را در تماس با گاز CO₂ قرار گرفته و با جذب گاز توسط شربت نوشابه حاصل می‌شود. نمونه مهم دیگر در این زمینه جذب گازهای آلوده‌کننده محیط زیست در کارخانجات، صنایع فرآیندی، سامانه‌های غیرسوز و زباله‌سوز توسط مایع مناسب در دودکش آن‌هاست.

در فرایند جذب گاز، جرم از فاز گاز به درون یک فاز مایع منتقل می‌شود و هدف از آن تفکیک یک یا چند جزء از موادی است که در فاز گاز وجود دارد. در پدیده جذب، جهت انتقال جرم از فاز گاز به فاز مایع است. بررسی متغیرهای پارامتریک جریان مایع و گاز با رژیم‌های مختلف از لایه‌ای تا مغشوش و مطالعه وضعیت‌های صاف یا موجی بودن جریان به ویژه در سطح مشترک فازها و تاثیرات غلظت و اثرات لزجتی موضوع جالب و قابل توجهی در مهندسی است. مطالعه حاضر لزوم توجه بیشتر به فاکتورهای مؤثر در پدیده جذب و چگونگی رفتار سیال ناشی از مجاورت هر دو فاز را برمی‌تاباند. در اینجا در فیلم آرام، پدیده جذب از طریق نفوذ ملکولی دو فاز صورت می‌گیرد. در فیلم مایع آشفته به دلیل وجود جریان چرخشی از تأثیرگذاری ضریب انتقال جرم استفاده می‌شود. به بهانه عملیات واحد صنعتی شیرین‌سازی گازهای ترش و نیاز به استفاده از برج‌های جذب در آن، ضمن اقامه فرضیاتی برای مسأله، معادلات حاکم نگاشته شده و متناسب با آن مبانی نظری و نتایج مربوط به پدیده جذب گاز توسط فیلم مایع هم‌زمان با ارائه اثرات ویسکوزیته مطلق سیال بیان می‌گردد. این بررسی نشان می‌دهد؛ جدای از رژیم‌های مزبور، هرچه ویسکوزیته سیال کمتر باشد؛ ضریب انتقال جرم بزرگ‌تر بوده در نتیجه انتقال جرم زیادتر می‌شود و شدت جذب بیشتر خواهد بود. در مقاله حاضر ابتدا با رویکرد نظری عامل ویسکوزیته و جنبه‌های متقابل تأثیر آن روی عمل جذب بررسی شده و سپس یافته‌های نظری با نتایج تجربی مقایسه شده و ارائه شده‌اند.

کلمات کلیدی:

برج، جریان حلقوی، فیلم مایع، پدیده جذب، ضریب

می شوند. از آنجا که معادلات حالت PFGC, PR, SPK, قادر نیستند که مقدار آب اشباع گازهای ترش را با دقت قابل قبولی محاسبه کنند؛ از این رو با اصلاح یکی از معادلات حالت [۶] این نقیصه رفع گردید. بدنبال این هدف با انجام تغییراتی در معادله حالت PFGC، یک مدل ترمودینامیکی به دست آمده که به کمک آن مقدار آب اشباع گازهای ترش (گازهای حاوی CO_2 , H_2O با غلظت بالا) را با دقت خوبی قابل محاسبه باشد.

در هر صورت اقامه فرضیاتی ساده شونده که بتواند تحلیل ها را آسان و عملیاتی تر کند؛ مفید و ضروری است. در اینجا، تصور گذر جریان سیال مایعی به شکل فیلم نازک جاری از جداره داخلی یک لوله عمودی تحت اثر شتاب ثقل خود، تبیین گر فیزیک مسأله است. جریان گاز همسو با مایع در منطقه مرکزی لوله برقرار می شود. هردو سیال با همدیگر تشکیل جریان حلقوی می دهند. هر دو جریان مایع و گاز در حالت کلی می توانند به شکل آرام و مغشوش حرکت نمایند و سطح مشترک این دو فاز شکلی صاف و موجی دارند. بنابراین مقرر است اثر اغتشاشات و امواج در جریان مد نظر قرار گیرند. به منظور تحلیل این جریان خاص، بررسی پدیده جذب گاز توسط فیلم مایع مزبور و ملاحظه تأثیر اغتشاشات و امواج بر این پدیده مورد توجه است. بدین جهت، تنظیم معادلات انتقال مومتم و جرم با حضور اغتشاشات و وجود امواج و متعاقب آن تحلیل همزمان و عمیق تر آن با اهمیت است. در مقاله حاضر ابتدا با رویکرد نظری عامل ویسکوزیته و جنبه های تأثیر آن بر روی جذب گاز بررسی شده و سپس یافته های نظری با نتایج تجربی مقایسه می شود.

بررسی تئوری

حرکات اغتشاشی و جریان های مغشوش سیال به دلیل وجود حرکات نامنظم نرات، قطعات و لخته های کوچک و بزرگ سیال، ادی ها و یا پدیده های چرخان های است که رژیم فعلی سیال را از رژیم آرام متمایز می نماید. حرکات چرخانه ها علاوه بر تغییرات در جهات مختلف فضا در زمان های مختلف نیز نامنظم است که اختلالاتی در کمیت سرعت سیال به وجود می آید. حرکات چرخانه ها موجب می گردد که در قالب جابجایی مومتم با احراز شرایط جدید انرژی، مواد موجود در سیال از نقطه ای به نقطه دیگر انتقال یابد. با توجه به این نکته می توان بر اساس نظریه پراتنل، روابطی برای انتقال جرم در حرکت درهم به دست آورد. اگر اختلاف غلظت جزء A بین دو نقطه از سیال درهم در داخل کانال ΔC_a باشد، کمیت گرادیان غلظت بین این دو موقعیت معادل $-\frac{dc}{dz} = -\Delta C_a / L$ خواهد بود و از طرفی شار جزء A به علت تبادل چرخانه ها برابر با $U'_a \Delta C_a$ می باشد. بنابراین می توان رابطه ای بین شار و گرادیان غلظت از طریق تعریف ضریبی به نام ضریب نفوذ چرخان های جرم به صورت زیر برقرار کرد:

$$\varepsilon_D = b_1 U'_a \Delta C_a / \Delta C_a / L = J_{a, \text{net}} / -\Delta C_a / dz$$

که در این معادله، $J_{a, \text{net}}$ شار انتقال جرم، ΔC_a غلظت جزء A بین دو نقطه، b_1 مقدار ثابت و L طول برج جدار مرطوب می باشد. معادله دیفرانسیلی برای پراکندگی در حالت

هدف اصلی در استفاده از دستگاه های انتقال جرم بین گاز و مایع ایجاد تماس نزدیک بین دو فاز است تا اجزای لازم بتوانند بین دو فاز انتقال یابند. در نمونه های کاربردی در راستای آنالیز و تحلیل عملکرد دستگاه ها و تجهیزات عملیات واحد صنعتی از جمله برج های جذب به ویژه در هدف های شیرین سازی فیزیکی و شیمیایی گازهای ترش اصولاً در دو مسیر مطالعه و بازشناسی رژیم جریان با اهمیت است. طرح بررسی جریان لایه ای و جریان های مغشوش با جابجایی آزاد در لوله های افقی و عمودی و نیز ربط خواص ذرات سیستم در اقامه بقایی های جرم، مومتم و انرژی عناوینی می باشند که دایره تحقیقات در این زمینه را پوشش داده و کامل تر می کند. یک نمونه از این پژوهش ها، شبیه سازی کامپیوتری برج جذب کربن دی اکسید توسط کربنات پتاسیم داغ همراه با دی اتانول آمین به عنوان افزایش دهنده سرعت جذب می باشد. در فرایند جذب دی اکسید کربن از محلول کربنات پتاسیم داغ همراه با دی اتانول آمین به عنوان جاذب و به عنوان یک تسریع کننده جذب (Promoter) در محلول بهره گرفته شده است [۲]. در تحلیل شرایط از روابط تعادلی بخار-مایع مربوط به محلول پتاسیم کربنات بدون آمین استفاده می شود. برای توصیف پدیده انتقال جرم توأم با واکنش شیمیایی از تئوری تجدید سطح دانکورس بهره گرفته و با حل این مدل توسط روش های حل عددی، برای اطمینان از صحت مدل؛ یافته های حاصل با نتایج واحد صنعتی موجود در مجتمع پتروشیمی شیراز مقایسه شده اند که توافق نسبتاً خوبی با داده های صنعتی داشته است. بعد از اطمینان از صحت مدل تأثیر بعضی از متغیرها روی میزان جذب دی اکسید کربن نیز بررسی شده است. در ادامه برای ارائه یک شاهد عملی مطالعات اولیه جهت بررسی و انتخاب فرآیند مناسب پالایش گاز و اطلاعات لازم برای طراحی بنیادی واحد شیرین سازی گاز انجام گردیده است [۳]. در این تحقیق با توجه به شرایط عملیاتی و به لحاظ اقتصادی و برخی ملاحظات دیگر، فرآیند شیرین سازی با حلال دی اتانول آمین انتخاب شده است. تعیین شرایط بهینه عملیاتی از قبیل میزان آمین در گردش، درصد وزنی آمین، دمای آمین تازه ورودی به برج، فشار برج جذب، تعداد سینی های لازم تئوری نیز مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی دیگر رسیدن به استاندارد مطلوب گاز خروجی با صرف کمترین مقدار انرژی و حلال مصرفی در واحد بوده است. شیرین کردن تک مرحله ای کاتالیستی گاز ترش در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت نیز موضوع حاشیه ای دیگری است که به آن پرداخت شده است. در این روش، جداسازی H_2S از جریان گاز طبیعی و عمل شیرین کردن توسط کاتالیست در یک مرحله انجام می گیرد. [۴]. بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی آناتول آمین مورد استفاده، بررسی خواص و شرایط گاز ترش، بررسی در مورد پدیده های مانند تخریب حرارتی و شیمیایی آمین در عمل شیرین سازی گاز مواردی بوده اند که در طرح تحقیقاتی کاهش عیار آمین در تماس با گازهای ترش مدنظر بوده اند. با این نگاه، تهیه و تنظیم روابط معادلات جهت نوشتن یک برنامه رایان های برای طراحی واحد شیرین نمودن گازهای ترش که شامل H_2S , CO_2 می باشد؛ نیز دارای کاربرد ویژه می یابد که در این زمینه پژوهش عرضه شده [۵] قابل طرح است. در این واحدها گازهای اسیدی به کمک محلول های آمین از قبیل MEA, DEA, DGA و غیره جذب شیمیایی

کامل جریان دو بعدی را می توان به صورت زیر نوشت:

$$U \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} \left((D + \varepsilon_D) \frac{\partial c}{\partial y} \right)$$

معادله حرکت محوری را نادیده می انگارد و فرض می شود که القای پراکندگی

وجود ندارد. شرایط مرزی نیز به صورت زیر بیان می شود:

$$Y=0, C=C_s \\ Y=d, \frac{\partial c}{\partial y} = 0$$

اولین شرط بیان می کند که در حقیقت تغلیظ در سطح گاز مایع ثابت باقی می ماند و شرط دوم گوشتزد می کند که هیچ حرکتی در طول مرز ماده رخ نمی دهد. پروفایل های تغلیظ بطور مناسبی با پایین رفتن حالت کامل می شوند. اگر ضریب تبدیل جرم به صورت $NA=KL(C_s-C_b)$ تعریف شود؛ این حقیقت بصورت زیر بیان می شود:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{C_s - C}{C_s - C_b} \right\} = 0$$

با جانشین کردن معادلات در معادله دیفرانسیل مربوط به پراکندگی در حالت کامل جریان دو بعدی و بیان تغلیظ حاصل می شود که:

$$\frac{d}{dy} \left\{ (D + \varepsilon_D) \frac{d\varepsilon}{dy} \right\} + \frac{K_L \mu c}{q} = 0$$

با دوبار انتگرال گیری از معادله بالا شرایط مرزی تعیین می گردد و نتیجه بدست آمده (\bar{C}) ، می تواند با حاصل غلظت حداکثر جایگزین شود و مجدداً به صورت زیر مرتب شود:

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1}{q^2} \int_0^d U(y) \int_0^d \frac{1}{D + \varepsilon_D(w)} \times \int_0^d U(v) \bar{C}(v) dv dw dy$$

تغییر در نظم و ترتیب انتگرال برای دومین و سومین انتگرال در معادله بالا نتیجه بی بدیلی را می دهد که عبارت زیر تعریف سودمندی برای تشریح غلظت و سرعت و نفوذ در حال دوران است:

$$\frac{1}{K_L} = \int_0^d \frac{dw}{D + D + \varepsilon_D(w)} \\ - \frac{1}{q} \int_0^d \frac{1}{D + (w)} \varepsilon_n \times \int_0^d U(y) dy dw \\ - \frac{1}{q^2} \int_0^d \frac{1}{D + \varepsilon_D(w)} \int_0^d U(y) \times \int_0^d U(v) \bar{C}(v) dv dw dy$$

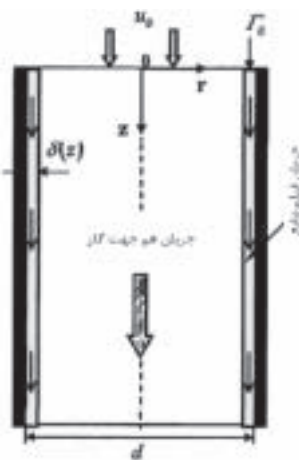
مادامی که این معادلات شناخته نشوند؛ انتگرال ها به طور دقیق قابل تجزیه و تحلیل نیستند، به هر حال از این معادله می توان برای دستیابی به یک توزیع قابل دسترسی و نزدیک به واقع برای نفوذهای کوچک در مایعات بهره جست. با اعمال حد از ضریب نفوذ ملکولی (کوچک) و اطمینان از برقراری شرایط در نزدیکی سطح، می توان ملاحظه کرد که در سطح D (بسیار کوچک)، کمیت ε_D به صفر نزدیک می شود، بنابراین به نظر می رسد که تنها با در اختیار داشتن اولین مقدار بدست آمده برای گسترش نفوذ دورانی، برابری $\varepsilon_D = ay^n$ حاصل می آید. در این معادله انتظار داریم؛ شیب رابطه تابعی از رینولدز بوده و n به وسیله آزمایش قابل دستیابی باشد.

همچنین به لحاظ رشد محدود این نفوذهای کوچک، اولین مقدار بدست آمده برای معادله ای که بیانگر تعریف عمومی برای تشریح غلظت و سرعت و نفوذ در حال دوران است، کمیتی یافت شود و توزیع نزدیک به واقع برای ضریب انتقال جرم بدست آید:

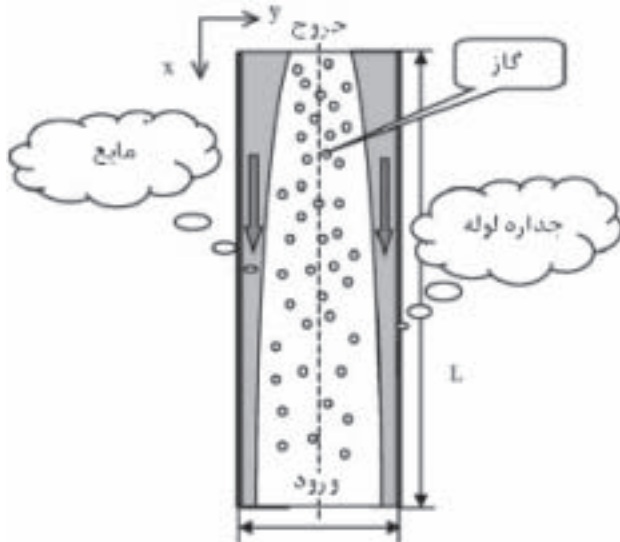
$$\frac{1}{K_L} = \int_0^d \frac{1}{D + ay^n} dy$$

بعد از انتگرال گیری، رابطه $K_L = \frac{n}{\pi} a^{1/n} D^{(n-1)/n} \sin(\frac{\pi}{n})$ بدست می آید. طبیعت معادله؛ نشان می دهد که دسترسی به رشد تغییرات K و D باعث تعیین n می شود. در اینجا a تابعی از رینولدز است. عبارتی که قبلاً برای ضریب انتقال جرم بدست آمد را می توان از مدل چرخشی دورانی در قالب $K_L = \alpha Re^{\beta} D^{\alpha}$ خلاصه کرد که در آن α ، β و برای تعیین اطلاعات آزمایشگاهی مقادیر ثابتی هستند و γ با $\gamma = 1 - (1/n)$ عبارت بیان می شود.

آزمایشاتی که بر روی اثرات لزجت مایع و برش دو رویه روی ضریب انتقال جرم مایع برای فیلم های ریزان متلاطم انجام شده است بیان می کنند، کمیت عدد رینولدز بستگی به ضریب انتقال جرمی دارد که آن نیز به ویسکوزیته وابسته است. انتقال از لایه موجی به جریان مغشوش در رینولدزهای ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ روی می دهد با جریان همسوی گاز یک افزایش خطی قابل توجه در ضریب انتقال ایجاد شده و در حالی که در جریان غیر هم جهت گاز این ضریب بطور مشهودی متفاوت است.



شکل ۱ - نمودار شماتیک سیستم فیزیکی با نمایش جریان هم جهت گاز



شکل ۲ - نمودار شماتیک سیستم فیزیکی با نمایش جریان ناهمسوی گاز و مایع

در زیر بررسی می شود:

Oishi, Cami [۱]. Cor را در آب در دمای ۸/۵ درجه سانتیگراد تا ۵۰ درجه سانتیگراد در یک ستون جدار خیس بلند جذب کرده اند. رینولدز در محدوده ۵۵ تا ۱۱۰۰۰ بود. در ناحیه جریان مغشوش، داده ها به صورت زیر به هم مرتبط بودند:

$$K_L \propto \sqrt{D} Re^{0.7}, Re = \frac{4\Gamma}{\rho v}$$

آن ها با اطلاعاتشان دریافتند که کشش سطحی هیچ اثری روی K_L ندارد. اما کشش سطحی آب ۹ درصد در بازه دمایی تغییر می کند به طوری که نتایج زیاد قابل اعتماد نیستند. Oishi, Cami، آزمایشاتی را با جریان غیر هم جهت گاز نیز انجام داده اند. اما پراکنده در داده های آن ها مانع نتیجه گیری مفید شده است. ایمرت و یگفورد [۲]. اکسیژن و دی اکسید کربن را در آب در ستون های بلند و کوتاه جذب کرده اند. رینولدز مایع در آزمایشات آن ها بیشتر در ناحیه لایه ای موجی بوده است و مقادیر K_L چندین برابر بزرگتر از مقادیر پیش بینی شده توسط تئوری لایه ای است. بازه کوتاه داده ها در جریان متلاطم، مانع تعیین وابستگی عدد رینولدز می شود و انتقال به ناحیه مغشوش را در $Re = 1200$ نشان می دهد. آن ها اختلاف در K_L را برای دو عمل جذب و دفع نیز بررسی نموده اند اما نتایج میسوی را منتشر نکردند.

دیویس و وارنر [۳]. اثر همواری سطح روی ضرایب انتقال جرم قسمت مایع را



بیشترین میزان استفاده از لوله ها و یا صفحات مرطوب کننده در فیلم های ریزان مایع که در تجهیزاتی چون کندانسورها و تمیزکننده های گازی و سایر دستگاه های صنعتی کاربرد وسیعی دارند؛

در این مورد میزان دفع هوا یا مقدار گازی که باید به خارج کندانسور هدایت شود؛ معین و بررسی می شود.

در چنین وسایلی ضریب انتقال جرم مربوط به جذب گاز در فیلم متلاطم که آزادانه در حال ریزش است؛ می تواند به طور منطقی با توجه به پارامترهای وابسته $K_L = f(\Gamma, g, v, D, \rho, \sigma)$ دست کاری شود و به صورت بدون بعد به شرح ذیل است:

$$J = \frac{K_L}{(gv)^{1/2}}; \quad Re = \frac{4\Gamma}{\rho v}; \quad Sc = \frac{\nu}{D}; \quad C_s = v \left(\frac{\rho g^3}{\sigma^3} \right)^{1/4}$$

Γ ، دبی جرمی بر واحد عرض بوده و نیز برای مقاصد مهندسی به ناگزیر رابطه ای کاربردی و عملی بین گروه ها نیاز است که به فرم زیر تغییر می یابد:

$$K_L / (gv)^{1/2} = f(Re, Sc, C_s)$$

ارتباط بدون بعد گرمای اتصال و ضریب انتقال جرم معمولاً با استفاده از اطلاعات تجربی و تحلیل های تئوریک عناصر مناسب تر وضوح می یابد. متأسفانه تئوری مربوطه به مسأله مورد بحث ما در مراحل بسیار ابتدایی قرار دارد و این به دلیل ماهیت پیچیده مکانیک سیال است که در یک تعادل بین سطح آزاد موج دار و یک جریان متلاطم بوجود می آید و تئوری موجود نیز کمک اندکی به پیشبرد معادله مناسب مربوط به موضوع مورد بحث می کند. شاید تنها پیش بینی مفید، رابطه $K_L \propto \sqrt{D}$ باشد که هم به واسطه مدل های تجدید سطح و هم تنها نفوذ دورانی $\varepsilon \propto g^2$ می باشد.

بررسی تجربی

به لحاظ عدم دسترسی به یک راهنما و یا الگوی تکمیلی، داشتن یک منبع اطلاعات قابل درک آزمایشگاهی برای توجیه یک رابطه در دسترس عمومی برای K_L مورد نیاز است. در اصل هر یک از فاکتورهای مستقل در معادله باید بر حسب نیاز متنوع باشد. به هر حال به طور منطقی توجیه جاذبه طبیعی و دانسیته ها فضای مناسبی است که شرایط را کاملاً قابل مقایسه با دیگر خصوصیات مایع می نماید. بنابراین پارامترهای v و P و D و اهمیت جلوه می کند. مدل های نظری متعددی برای پیشگویی جذب گاز در فیلم مایع ریزان مغشوش منتشر شده است. در منبع اسکروین [۱]، یک بررسی خوب بر روی کارهای قبل از ۱۹۶۹ صورت گرفته است. مسأله اصلی بروز مشکلات ناشی از پیچیدگی حرکت مخلوط متلاطم در مایع نزدیک فصل مشترک گاز یا مایع و ماهیت پخش بالای این فصل مشترک است. اغلب این مدل ها پیش بینی می کنند که ضریب انتقال جرم بستگی به توان یک دوم پخش ملکولی دارند. اما کمتر وابستگی به رینولدز و خواص مایع را پیش بینی می نمایند. در راستای ناکارآمدی شیوه های نظری، نیاز به داده های آزمایشی مناسب در یک بازه وسیع از پارامترها جدی تر می شود. اما اطلاعات برای فیلم های ریزان نسبتاً پراکنده اند. کارهای تجربی قبلی



برای دی اکسید کربن، هیدروژن و هلیوم که در اثر جریان آب روی صفحه شیب دار جذب می شود بررسی کرده اند و تناسب $K_L \propto D^{0.52}$ را دریافتند. لاموریل و ساندا [۴]، گازهای O_2 و CO_2 را توسط آب ۲۵ درجه جاری از دیواره خارجی ستون عمودی دراز جذب کردند. عدد رینولدز از ۱۳۰۰ تا ۸۳۰۰ بوده است که اطلاعات آن ها به صورت $K_L \propto D^{0.517} Re^{0.817}$ به هم مرتبط بودند.

در بررسی اثرات ویسکوزیته روی K_L ، در این قسمت شایسته است ابتدا به بررسی و شرح آزمایش جذب گاز CO_2 در فیلم های ریزان متلاطم آب و مخلوط های مختلف اتیلن گلیکول با آب پرداخته و از قبل نتایج آزمایش، هدف مورد نظر بازنگری گردد.

این مایعات دارای کشش سطحی بالا هستند برای جذب از فاز گاز ثابت هفت مایع استفاده می شوند. آب شهری در سه دمای مختلف، آب مقطر و سه نسبت مخلوط شده آن با اتیلن گلیکول که یک بازه وسیع از لزجت سینماتیک را پوشش می دهد. در هر حالت بازه رینولدز مایع از ناحیه لایه ای موجی، گسترش می یابد تا انتقال میان لایه موجی به جریان متلاطم را نشان دهد. برای جریان همسوی گاز و جذب آن توسط آب شهری و دو مخلوط آب و اتیلن گلیکول استفاده می شود. در حالی که برای جریان گاز غیر هم جهت فقط آب شیر استفاده می شود. اعداد اشمیت فاز مایع یک پروفیل غلظت بسیار شیب دار در مجاورت فصل مشترک دارند بنابراین تغییر در مکانیک سیال در مجاورت فصل مشترک به خاطر نیروی برشی در رویه است که اثر زیادی روی K_L بر جای می گذارد. اطلاعات ارائه شده در اینجا در طراحی دستگاه فرایند مستقیماً استفاده می شوند به علاوه یک فضای گسترده ای برای ارزیابی تحلیل های تئوری انتقال در مجاورت فصل مشترک های سیال ارائه می شود.

دستگاه های آزمایش و روش ها

نمونه ای از دستگاه آزمایش در شکل یک نمایش داده شده است. این سیستم شامل دو حلقه اصلی است. حلقه جریان مایع و حلقه جریان گاز اجزا حلقه مایع عبارتند از پمپ گردشی، روتامتر، فیلتر فعال کربن، ستون جذب، گیرنده مایع، برج دفع و شیرهای مختلف، اتصالات و لوله های رابط. همه اجزا از فولاد زنگ نزن بوده و ساختار شیشه ای دارند. حلقه مایع بسته برای تمام مایعات به جز آب شهری استفاده می شوند. در هر حالت آب به داخل برج کشیده می شود و بعد از جریان در حلقه از طریق پمپ وارد سینک می شود. اجزا حلقه گاز عبارتند از: دمنده گاز، جدا کننده غبار، دبی سنج گاز و فیلتر کربنی که به وسیله لوله های مسی و فولادی به صورت گالوانیزه به هم وصل شده اند.

فیلم مایع در دیواره داخلی یک لوله شیشه ای عمودی به طول ۱۷۹۸م و قطر داخلی ۲/۰۵م شکل می گیرد. برای بدست آوردن یک ضخامت فیلم یکنواخت حول محیط و برای مینیم کردن اثرات ورودی در جریان مایع و گاز یک توزیع کننده شکاف دار به دقت ماشین کاری و نصب شده است. عرض شکاف نزدیک به ضخامت فیلم در رینولدزهای بالا ۱/۱mm می باشد.

برج دفع از دو ستون جدار خیس تشکیل شده است و به وسیله یک پمپ خلأ در

فشار مطلق ۵cmHg نگه داشته می شود و در آن CO_2 و O_2 جذب شده و بخار H_2O وارد می شود.

غلظت خروجی آبی که برج را ترک می کند؛ یعنی غلظت ورودی ستون تست حدود $0.015 - 0.008 \text{ gmol/L}$ است که بسیار بالاتر از مقدار هم ارز این فشار در دمای اتاق است. با قرار دادن برج در بالاترین ارتفاع ممکن مشکلات ناشی آلودگی برطرف می شود. فیلتر مربوطه با پرکردن یک فلاسک با دهانه میله ۱-۱ ساخته می شود که دارای پیلت فعال با کربن است. روتامتر هم با آب شهری و در مخلوط آب - اتیلن گلیکول نیز کالیبره می شود و با فرمول تصحیح چگالی سازگار است.

X, T	غلظت مایع Kg/m^3	غلظت گاز Nm^3/H^2	K_L	عدد اشمیت S_c	عدد رینولدز Re	K_L در $20^\circ C$ آب مقطر $(m^3/m^2 \cdot s)$
آب مقطر آب - اتیلن گلیکول						
۲۵°C	۹۹۷	۷۲	۰.۰۳۴۴	۱۹۸۹	۲۵۲	۲۱۰۳
۱۵°C	۹۹۷	۷۵	۰.۰۳۰۲	۱۳۰۰	۸۲۲	۲۱۴۰
۵°C	۹۹۷	۸۱	۰.۰۲۷۹	۱۱۸۸	۱۵۲	۲۱۹۵
۰°C	۹۹۷	۸۷	۰.۰۲۷۰	۱۰۷۵	۲۷۰۰	۲۱۶۶
مخلوط آب در دماهای مختلف						
۲۰°C	۹۹۷	۸۱/۶	۰.۰۲۴۰	۱۳۹۱	۲۴۶	۱۵۳
۲۵°C	۹۹۷	۷۲	۰.۰۳۴۴	۱۹۸۹	۲۵۸	۲۱۰۳
۲۴°C	۹۹۹	۷۲/۵	۰.۰۲۷۲	۱۱۷۱	۸۱۳	۲۱۶۱

جدول ۱- خواص فاز مایع

آماده سازی سیستم و مایعات

برای راهی سیستم از آلودگی و رفع ناشی نیاز به سیر مرحله ای است. ضمن اطمینان از تمیز بودن تمام اجزا قبل از سوار کردن کامل آن، کربن فعال شده در فیلتر مایع به مدت دو روز در آب شهری و آب مقطر فرو برده شده تا به یون های اصلی اش جدا شود.

ترکیبات تولید شده اصلی تا حد اطمینان کاهش داده می شود که اثری روی فرایند تیتراسیون مورد استفاده برای اندازه گیری غلظت CO_2 نداشته باشد. اتیلن

خروجی ستون هستند. در معادله بالا فرض می شود که K_L مستقل از Z و δ یکنواخت است در یک فیلم ریزان متلاطم پروفیل غلظت نمونه ها در یک فاصله کوتاه از ورودی توسعه می یابد؛ به طوری که در اینجا K_L در طول قسمت تست صرف نظر می شود و فرض دوم، واقعی نیست و بنابراین K_L محاسبه شده از معادله قبل یک ضریب ظاهری است که حاوی اثر ناحیه انتقال افزایش یافته می باشد. ضخامت متوسط فیلم δ از معادله بروتنز حساب می شود:

$$\delta = 0.0672 \left(\frac{v^2}{g} \right)^{1/3} Re^{2/3}$$

$C_i = P_{CO_2} / H$ غلظت دورویه دی اکسیدکربن از قانون هنری به صورت است که در آن P_{CO_2} برابر با مقدار جریان گاز حجمی است. ثابت قانون هنری از نتایج اندازه گیری های قابلیت حل حساب می شود. دو فرض موجود است:

- ۱- به دلیل نرخ نسبتاً پایین انتقال جرم از مقاومت دورویه صرف نظر می شود.
- ۲- به دلیل پیچیدگی پدیده انتقال فاز بخار و امکان چگالش H_2O در CO_2 ، از مقاومت فاز گاز صرف نظر می شود.

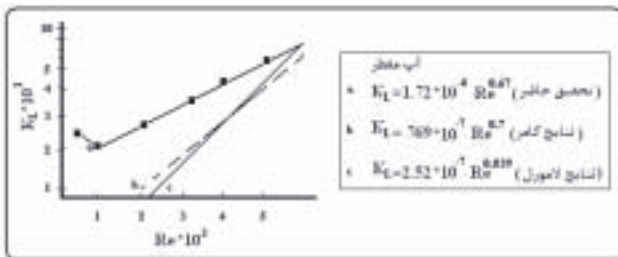
بر اساس دومین فرض، رینولدز مایع به صورت $Re_L = 4\Gamma / \mu v$ تعریف می شود و سرعت ظاهری گاز v_g بر اساس مساحت سطح مقطع ستون حساب می شود. تنش برشی دو رویه از معادله زیر حساب می شود:

$$\tau_i = \frac{R - \delta}{2} \left(\frac{dp}{d\tau} + \rho_g v \right)$$

مقدار درون پراکنش در تقسیم اختلاف سطح آب در مانومتر دیفرانسیلی براساس فاصله میان دو لوله پیتوت ۱۵۰ cm بدست می آید. در هنگام استفاده از δ در معادله بالا از باریک شدگی و ضخیم شدن ناشی از درگ گاز، صرف نظر می شود. حال با توجه به مطالب به بررسی نتایج حاصل از آزمایش نکات ارزشمندی را ارائه می نماید.

نتایج جذب از یک گاز ساکن

مقایسه ضریب انتقال جرم با برش دورویه صفر Re_L بدست آمده برای آب مقطر در دمای ۲۵ درجه در شکل ۲ نمایش داده شده است:



شکل ۲- مقایسه تطبیقی روند تغییرات K_L و Re در بررسی حاضر و نتایج تجربی سایر محققان (برای آب مقطر در ۲۵ درجه سانتیگراد)

مقادیر Re_L بالاتر از مقادیر بدست آمده به وسیله لامورل، ساندرال و غیره می باشد. تنها تفاوت در این است که چون آزمایشات در بالاترین عدد رینولدز صورت گرفته است؛ بنابراین وابستگی توان رینولدز برابر ۰/۶۷ می باشد که

گلیکول از درجه عامل مجدد خلوص ۹۸ درصد در مول است و با آب مقطر مخلوط می شود تا مخلوط های آب و اتیلن گلیکول به دست آید. چگالی، لزجت، کشش سطحی و قابلیت حل CO_2 و ضریب پخش مولکولی CO_2 باروش chung اندازه گیری شده و در جدول یک آمده است که مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر هایدوک قابل مقایسه اند.

جذب از یک گاز ساکن

مایعات آزمایش، آب شهری در ۲۵، ۱۴ و ۴۰ درجه مخلوط های آب و اتیلن گلیکول با کسر مولی گلیکول ۰/۲، ۰/۱۲، ۰/۵۲۲، ۰/۸ است. بعد از تست نشتی و تخلیه، سیستم سه بار با CO_2 در تماس می شود. بعد از ۲۰ دقیقه، با به کار انداختن سیستم، گازهای خارجی در مایع به بیرون هدایت می شوند و هر هوایی که در دستگاه تست باقی مانده باشد به وسیله وارد کردن CO_2 تخلیه می شود. منبع CO_2 با مایع تست و با یک حباب قبل از وارد کردن به ستون اشباع می شود. فشار در سمت تست در ۱۰ cm H₂O نگه داشته می شود که بالای فشار محیط است. دمای مایع در ۲۰ درجه مقدار مطلوب نگه داشته می شود. در تست با آب شهری در ۱۴ درجه و ۴۰ درجه ستون در برابر حرارت عایق می شود تا شرایط ایزوترمال حفظ شود.

جذب از جریان های گازی هم جهت و غیر هم جهت

در جریان همسوی گاز و مایع، تست توسط دو مخلوط آب و اتیلن گلیکول و نیز آب شهری در ۲۵ درجه صورت می گیرد. با جریان گاز غیر هم جهت، فقط آب شهری ۲۵ درجه استفاده می شود. حلقه جریان گاز با CO_2 از هوا خالی می شود. گاز نمونه تست می شود و تیتراسیون نشان می دهد که کسر مولی CO_2 در حلقه جریان گاز بدون بار آب ۹۹-۹۸ درصد است. در هنگام کار، حلقه جریان گاز در بالای فشار جو نگه داشته می شود تا نشتی هوا صورت نگیرد. افت فشار در ستون تست با استفاده از مانومترهای شیب دار عمودی اندازه گیری می شود. فشار در قسمت تست برای محاسبه غلظت دورویه CO_2 با کم کردن نصف افت فشار از فشار ورودی ستون بدست می آید. دبی مایع ثابت می ماند تا عدد رینولدز مطلوب بدست آید و دبی گاز مرحله به مرحله زیاد می شود تا دیگری اجرا شود. دبی گاز در آزمایشات جریان با آرایش همسو متناسب با ظرفیت ماکزیمم دمنده زیاد می شود، درحالیکه در آزمایشات غیر هم جهت دبی گاز بوسیله ستون تست محدود می شود. ستون با قطر بزرگتر جهت بدست آوردن داده های جریان مخالف در سرعت های بالاتر مورد نیاز است.

روش های محاسبه ضریب انتقال جرم

ضریب انتقال جرم از روی اطلاعات آزمایشی اندازه گیری شده و پارامترهای سیستم با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$K_L = \frac{\Gamma R}{\rho L (R - \delta)} \ln \left(\frac{C_i - C_{m-1}}{C_i - C_{out}} \right)$$

که در آن C_i غلظت دو وجهی CO_2 و C_{in} و C_{out} غلظت های حجمی در ورودی و

محرك متداول است که متناسب با تعريف K_L در هر دو ناحیه به کار می رود.

$$K_L = NA(C_1 - C_2)$$

این تعريف برای شرایط ناحیه متلاطمی که در آن صرفاً توزیع غلظت شیب دار بوده و مقدار C در لبه لایه مرزی غلظت نزدیک به C_b می باشد صادق است و نمایش اعتباری آن مناسب بنظر می رسد. نتایج به دست آمده برای آن، آب شیر در دماهای ۴۰، ۲۵، ۱۴ می باشد. همچنین مراجعه به جدول ۱ نشان می دهد که چگالی و کشش سطحی این مایعات چندان متفاوت نیست. مانند حالت کار با مخلوط های اتیلن گلیکول و ابستگی اثرگذاری رینولدز با لزجت زیاد می شود. کامی و اوشی آب را در دماهای مختلف تست کردند اما پراکتدگی در اطلاعات آن ها طوری است که ابستگی توانی رینولدز قابل تشخیص نیست.

در بررسی ابستگی توان یک دوم برای نسبت K_L در ضریب نفوذ مولکولی، داده ها در قالب K_L / \sqrt{D} قابل رسم می باشد. اما برای روابطی که در آن گروه بدون بعد موجود است؛ این حالت مطلوب تر است. مسأله جذب گاز در فیلم ریزان متلاطم رابطه زیر را به صورت یک مجموعه کامل از حاصل ضرب های بدون بعد نشان می دهد:

$$K_L / (gv)^{1/3}, Re, v(gp^3 / \sigma^3)^{1/4}, Sc$$

در اینجا حاصل عمل ضرب یک گروه با تابعیت خاص فیزیکی را نوید می دهد که عدد مویبگی شناوری نامیده می شود. در حاشیه بررسی ابستگی n توان عدد

پایین تر از ۰/۸۳۹ در لامورل و ساندال و کمی کمتر از ۰/۷ در Oishi است که دلایل پراکتدگی می تواند ناشی از آلودگی آب، اختلاف در هندسه، خطا در اندازه گیری دبی مایع باشد. مقدار K_L وقتی بدست آمده که آب، بدون فیلتر زغالی (Charcoal) به کار گرفته شود و بعد از بدست آوردن مقدار بالای K_L در نمونه آزمایشی با آب شهری اهمیت حذف کامل آلودگی نمایان تر می شود. نتایج بدست آمده برای سه مخلوط آب اتیلن گلیکول نشان داده شده است. می توان دید که ابستگی تأثیرگذاری عدد رینولدز با غلظت اتیلن گلیکول زیاد می شود. بررسی مقادیر خواص در جدول ۱ نشان می دهد که فقط لزجت با غلظت تغیر می کند. به طوری که نمایان می شود ابستگی عدد رینولدز به شدت به لزجت بستگی دارد. این نتیجه به وسیله نتایج به دست آمده از آب شهری تأیید می شود.

رینولدز ماکزیمم برای مایعی با بالاترین

لزجت ($x=0/2$) در ظرفیت

روتامتر محدود به ۴۰۰۰

است. رینولدز برای انتقال

از جریان لایه ای موجی به

جریان معشوش می تواند

نشان داده شود. واضح

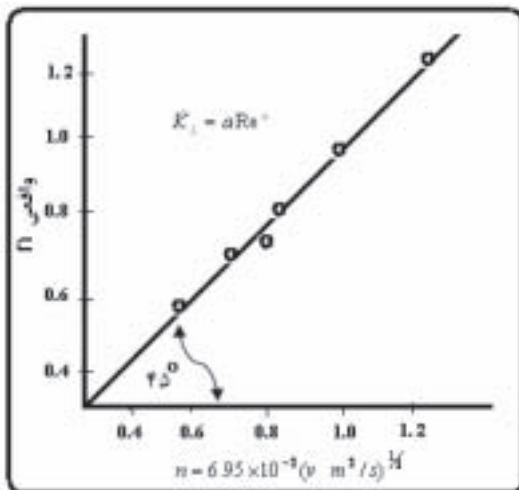
است که K_L در ناحیه

لایه ای موجی ثابت است.

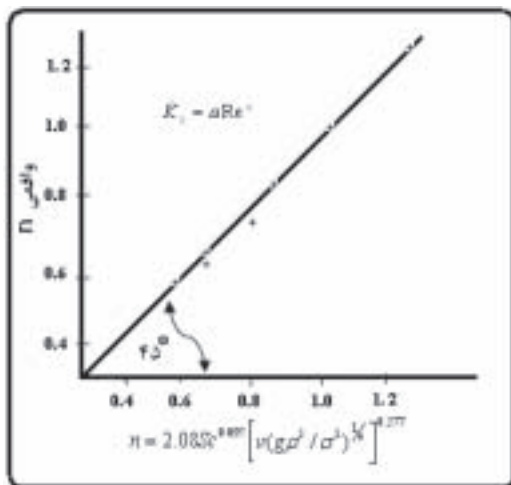
این موضوع به لحاظ

رابطه نیروی





شکل ۵- رابطه تجربی n، توان عدد رینولدز در برابر گروه‌های بدون بعد برای هفت مایع مختلف

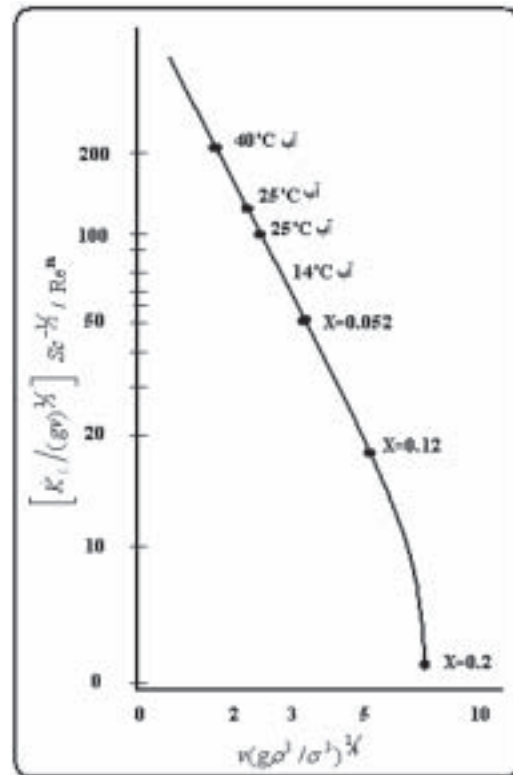


شکل ۶- رابطه تجربی n، توان عدد رینولدز در برابر لزجت سینماتیکی برای هفت مایع مختلف روابط ارائه شده در این قسمت با فرض ثابت بودن تنش برشی در ناحیه جریان کوئت و همچنین ناچیز بودن انتقال جرم و گرادیان فشار بدست آمده‌اند. در صورت عدم برقراری شرط مذکور راه حلی بر مبنای مقدار تنش برشی متوسط در لایه مرزی توسط اسپالدینگ مطابق مرجع [۱۱] ارائه گردیده است. ضمناً آن‌جا که تأثیرات دما می‌تواند در تغییرات ویسکوزیته مطلق فاز گاز به ویژه فیلم مایع بسیار موثر باشد. بنابراین تأثیرات نرخ گرمابخشی به جداره استوانه نباید از نظر پنهان بماند. شکل ۷ و ۸ نمایانگر نرخ تغییرات و وابستگی ضریب انتقال حرارت در طول لوله متأثر از فلاکس حرارتی محسوس و گرمای نهان در فصل مشترک دو سیال مورد توجه محققان است. بدیهی است بدلیل جاذبه ملکولی، افزایش دما باعث کاهش گرانیوی در فاز مایع است. لیکن این افزایش نرخ گرمابخشی به لحاظ تبادل و انتقال ممنوم فوق العاده در بستر فاز گاز، موجب کاهش بیش از پیش سیالیت و نتیجتاً افزایش لزجت دینامیکی است. به همین دلیل است که در بررسی پدیده جذب مناسب تر آن است که تغییرات و تأثیرات هر دو ضریب انتقال حرارت و انتقال جرم توأم در نظر قرار گیرد.

و Re وابستگی توان یک دوم D رابطه زیر استخراج می‌شود:

$$K_L / (g\nu)^{1/2} = Re^a Sc^{-1/2} f \left[v(g\rho^3 / \sigma^3)^{1/4} \right]$$

و تابعیت f، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- رابطه تجربی KL، بر اساس تابعیت‌های پارامتری بدون بعد برای هفت مایع مختلف

دو رابطه برای n عبارتند از:

$$n = 6.95 \times 10^{-2} (v \text{ m}^2 / s)^{1/2}$$

$$n = 2.08 Sc^{0.888} \left[v(g\rho^3 / \sigma^3)^{1/4} \right]^{0.277}$$

در شکل ۵، n موجود در رابطه به عنوان نمای واقعی برای عدد رینولدز منعکس شده است. در شکل ۶، به صورت تابعی از لزجت سینماتیکی و متأثر از گروه‌های بدون بعد $v(g\rho^3 / \sigma^3)^{1/4}$ مطرح است. هر دو نمای واقعی برای عدد رینولدز برای کاربردهای مهندسی مناسب‌اند. رابطه با عدد Sc یا گروه بدون بعد $v(g\rho^3 / \sigma^3)^{1/4}$ متفاوت هستند. مقادیر a و n در یک تناسب به فرم $(K_L / D)(v^2 / g)^{1/4} = b Re^a Sc^{-1/2}$ ، $K_L = a Re^n$ قابل بهره‌برداری است.

برای جریان مغشوش $11 / 63 < Re$ مقادیر پارامترهای بی‌بعد به صورت زیر معرفی می‌گردد [V]:

$$S = \left[\frac{k}{L \nu (Er S^{0.1})} \right]^2 S = \frac{S}{\sigma_r [1 + P S^{0.1}]}$$

$$P = E \left[\frac{\sigma}{\sigma_r} - 1 \right] \left[\frac{\sigma_r}{\sigma} \right]^{0.23}$$

H و P تابعی از عدد پرانتل آرام و متلاطم می‌باشد.

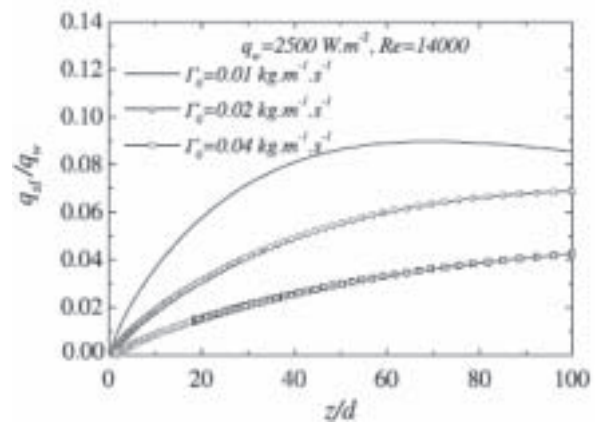
همسو پرداخته شده و معادلات حاکم دینامیکی و توربولانسی ارائه شده و در مراحل بعدی تحلیل جریان دو فاز درون یک لوله در نقش بستری برای انجام عملیات واحد صنعتی جذب صورت گرفته است. معادلات حاکم و نتایج تحلیل از دو نگاه اویلری و لاگرانژی ارائه شده است و در تحلیل مزبور آرام بودن جریان، توربولانسی و تحلیل پراکندگی، از مدل مفهومی مناسبی استفاده شده است. هر چند تحلیل جریان فوق الذکر از دیدگاه اویلری در سیستمهای متفاوت صنعتی دارای مزایای فراوانی می باشد؛ اما تحلیل های صورت گرفته نشان می دهد که در برخی شرایط مانند غیر همگن بودن و یا اعمال نوسانات شدید جریان، معادلات بکار گرفته شده ممکن است در روش های عددی، جوابهای غیر واقعی از خود نشان دهد و این درحالی است که در مجموع بررسی رفتار سیال با اعمال فرضیات طرح شده از دیدگاه لاگرانژی در مسأله فوق نتایج بهتری از خود نشان دهد. در مسیر بررسی رژیم جریان سیالات در قالب دو فاز در لوله های عمودی، بر پایه معادلات اخیر در کلی ترین حالت استقرار فضائی یک استوانه برج گونه معادلات جریان حرکت دو فاز قابل تعمیم است.

تشکر و قدردانی

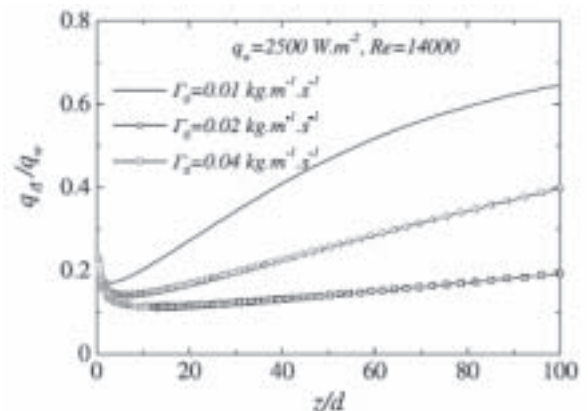
بدینوسیله لازم می داند که از همکاری آقایان مهندس حمید امامی و مهندس سید ابوالقاسم حسینی نژاد، محقق ارشد مرکز تحقیقات روغن نباتی جهان که در به ثمر رسیدن نتایج این تحقیق نقش مؤثری داشته اند؛ کمال تشکر و قدردانی به عمل آید.

مراجع

- جمالی - علی اکبر، جمع آوری گازهای ترش از محصولات نفتی، گزارش تحقیقی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، بخش مهندسی شیمی، پیشنهاد طرح و گزارش علمی به شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۶۶.
- زندى كشكولى - علی، شبیه سازی کامپیوتری برج جذب کربن دی اکسید توسط کربنات پتاسیم داغ همراه با دی اتانول آمین به عنوان افزایشده سرعت جذب، پایان نامه (کارشناسی ارشد) دانشگاه شیراز، ۱۳۸۱.
- چاکری - حسن، بختیاری-افشین، وطنی- علی، بررسی تأثیر پارامترهای مختلف عملیاتی بر عملکرد برج جذب واحد شیرین سازی گاز مسجد سلیمان، مهندسی شیمی ایران، دوره ۱، شماره ۲، مردادماه ۱۳۸۱.
- مشفقیان- محمود، طراحی واحد شیرین نمودن گازهای ترش بوسیله آمین ها به کمک برنامه کامپیوتری، طرح تحقیقاتی، دانشگاه شیراز، معاونت پژوهشی ۱۳۶۳.
- مشفقیان- محمود، بدست آوردن معادله حالتی که به کمک آن بتوان مقدار بخار آب اشباع گازهای ترشی را محاسبه نمود، طرح تحقیقاتی، دانشگاه شیراز، معاونت پژوهشی، ۱۳۶۶.
- جمالی - علی اکبر، پدیده جذب گاز توسط فیلم مایع با تکیه بر کاربردهای عملیاتی آن در صنعت نفت و گاز، نشریه نفت و انرژی، شماره اول، آذرماه، ۱۳۸۴.
- Carpenter, E.F and Colburn, A.P. 2003, film condensation, MG-Hill
- Rohsenow w.m., Webber J.H and Ling A.T, 1956., Effect of vapor on laminar and turbulence film condensation., Trans. ASME. 78, pp 1637-1643
- Rodi w., 1980. Turbulence Models and their applications in hydraulics and state of the art review.
- Lamourelle A.P. and Sandall c.o. 1972, Gas absorption into turbulent Liquid, Chem. Eng. Sci, 27, 1035.
- Spalding D.B., 1975, GENMIX- A General program for two-Dimensional Parabolic Phenomena, Mech. Eng. Dep.
- J.B. Smith, J.S. Hsieh, 1999, Improvements on falling film black liquor evaporator: final technical report, US Department of Energy Report, Sub Contract #85XRS681C, September.
- R.H. Hedrick, J.S. Kent, 1992, Crystallizing sodium salts from black liquor, TAPPI J. 75 (12) 107-111.
- G.W. Schmidl, W.J. Frederick, 1999, Controlling soluble scale deposition in black liquor evaporators and high solids concentrators, Internal Report, IPST.



شکل ۷ - نمایش ضریب انتقال حرارت در طول لوله متأثر از فلاکس حرارتی محسوس در فصل مشترک دو فاز



شکل ۸ - نمایش ضریب انتقال حرارت در طول لوله متأثر از شار نهان گرمایی در فصل مشترک دو سیال

بحث و نتیجه گیری

بدست آوردن محلول های جدید و یا جداسازی چند نوع گاز متفاوت در هم آمیخته توسط جذب در سیالات ناشی از اعمال پدیده انتقال جرم دو فاز گاز و مایع در اثر تماس میان دو فاز به وسیله فیلم مایع بعضاً به دو صورت آرام و متلاطم عملی می شود. تفاوت این دو در نحوه جذب گاز است. در فیلم آرام پدیده جذب از طریق نفوذ ملکولی دو فاز صورت می گیرد. در فیلم مایع آشفته به دلیل وجود جریان چرخشی از تأثیرگذاری ضریب انتقال جرم استفاده می شود. جدای از رژیم های مزبور، هر چه ویسکوزیته سیال کمتر باشد؛ ضریب انتقال جرم بزرگتر بوده در نتیجه انتقال جرم زیادتر می شود و شدت جذب بیشتر خواهد بود و بالعکس بالا بودن لزجت دینامیکی و یا سینماتیکی سیال، ضریب انتقال جرم کمتر و بالتبع عمل جذب کمتر است. با توجه به اهمیت جریان های چندفازی در فرآیندهای صنعتی در این نوشتار به بررسی و تحلیل جریان دو فاز پرداخته شده است و بنابه فرض جریان مورد بررسی در این تحلیل چگونگی جذب توسط هر دو فاز در نظر گرفته شده است. در این کار نخست به بررسی چگونگی تحلیل جریان های دو فاز