اختلاط آشوبناک سیالات بسیار لزج به کمک نوع جدیدی از مخلوط‌کُن پیوسته

سید مصطفی حسینعلی‌پور*، پیام رحیم مشائی، امیر توحیدی

تهران، دانشگاه علم وصنعت، دانشکده مکانیک، مرکز تحقیقاتی CAE و آزمایشگاه CFD

پیام‌نگار: **alipour@iust.ac.ir**

چکیده

در این مقاله به طراحی، ساخت و آزمون نوع جدیدی از میکسر پیوسته برای اختلاط سیالات با لزجت بالا پرداخته شده است. دستیابی به محصول همگن در اختلاط دو سیال لزج و یا توزیع یکنواخت پودرهای جامد در سیال لزج یکی از مشکلات عمده‌ای است که صنایع پتروشیمی با آن روبرو می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان در نفوذپذیری کم این سیالات دانست که ناشی از وجود ماکرومولکول‌ها می‌باشد. در دو دهه اخیر استفاده از میکسرهای آشوبناک برای این منظور مورد توجه جدی قرار گرفته است. در مطالعه حاضر نوع جدیدی از میکسر پیوسته برای اختلاط سیالات لزج خمیری و شبه‌خمیری مورد بررسی قرار گرفته است که با آشوبناک کردن جریان امکان اختلاط مناسب را در دورهای پایین فراهم می‌آورد. مشاهدات آزمایشگاهی نشان می‌دهند که با افزایش دور روتور شاخص اختلاط بهبود پیدا می‌کند و سطح بیشتری از مقطع عرضی سیال کاری توسط سیال ثانویه پوشیده می‌شود.

کلمات کلیدی: طراحی و ساخت، میکسر، سیالات لزج، جابجایی آشوبناک

۱- مقدمه

طرح ایده‌های جدید برای ساخت میکسرهایی که با صرف انرژی کم بتوانند در مدت کوتاهی اختلاط همگنی ایجاد نمایند، همواره مورد توجه محققین بوده است. برای سیالات با لزجت کم مانند آب، نفت، هوا و سیالاتی اینچنین، مغشوش کردن جریان به عنوان یکی از گزینه‌های مؤثر اختلاط سال‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. مغشوش کردن جریان برای سیالات با لزجت بالا امکان‌پذیر نیست و یا نیاز به صرف انرژی بالایی دارد. از طرف دیگر بخش عمده‌ای از سیالاتی که در صنایع پتروشیمی کاربرد دارند دارای لزجت بالا می‌باشند. یکی از راهکارهایی که در دو دهه اخیر برای اختلاط سیالات با لزجت بالا توسعه پیدا کرده است جابجایی آشوبناک می‌باشد. جابجایی آشوبناک به این معناست که ذرات سیال منطبق بر خط جریان نمی‌باشند[۱]. جریان آشوبناک از دو طریق می‌تواند ایجاد شود. یک راه این است که شرایط مرزی جریان را متغیر با زمان نمایش دهد و راه دوم این است که در جریان‌های سه بعدی به کمک هندسه خاص، جریان آشوبناک به وجود آورد. مثال‌هایی از اینکه چگونه می‌توان جریان آشوبناک ایجاد کرد، در ادبیات فن وجود دارد[۸-۲]. عارف[1] [۲] در سال ۱۹۸۴ برای اولین بار یک میکسررا با دو همزن به صورت گردابه‌های نقطه‌ای در یک سیال بدون لزجت مدل نمود و نشان داد که با غیردائمی شدن جریان،

1. Aref

www.

جریان آشوبناک ایجاد می‌گردد. تحقیق رودریگو[1] و همکاران [۳] به جریان درون میکسر دو استوانه‌ای غیر هم مرکز می‌پردازد. هندسه آن‌ها شامل دو استوانه بود که خلاف جهت همدیگر می‌چرخیدند. استوانه بیرونی با سرعت ثابت می‌چرخید درحالی که سرعت چرخش استوانه درونی بطور سینوسی با زمان تغییر می‌کرد. آن‌ها پروفیل دمای خروجی از میکسر را مورد تحلیل قرار دادند و پراکندگی دمایی سیال را در خروجی میکسر برای مقادیر مختلف سرعت‌های چرخشی استوانه بیرونی و درونی محاسبه کردند. برومندزاده[۴] اختلاط آشوبناک را در یک اکسترودر تزریق پلاستیک مورد مطالعه قرار داد و نشان داد که اکسترودرها با هندسه نامتقارن، جریان آشوبناک به وجود می‌آورند و این امر سبب بهبود محصول نهایی در فرایند تزریق پلاستیک می‌شود. متکالف[2] و لستر[3] [۵] اختلاط و انتقال حرارت سیالات با لزجت بالا را در نوع جدیدی از میکسر پیوسته آشوبناک مورد مطالعه قرار دادند. آنها گزارش دادند که این نوع میکسر تأثیر خوبی در اختلاط همگن مواد بسیار لزج با افت فشاری برابر با مقدار موجود در لوله‌های معمولی ایجاد می‌کند. میکسر پیشنهادی آنها دارای پارامترهای کنترلی قابل توجهی برای تنظیم جابجایی آشوبناک بود.

در کار حاضر یک میکسر آشوبناک دور پایین، برای اختلاط سیالات با لزجت بالا در کاربردهای صنایع شیمیایی طراحی و ساخته شده است. آشوبناک بودن این میکسر توسط شکرپور و حسینعلی‌پور[۱۰و۹] به کمک شبیه سازی عددی اثبات شده است. برای انجام آزمون‌ها ازمحلول ۶٪ کربوکسی متیل سلولوز[4] (CMC) به عنوان سیال کاری استفاده گردید که سیالی بسیار لزج و غیرنیوتنی محسوب می‌شود[5]. با توجه به نرخ برشی های متغیر لزجت آن بین ۱۰ Pa.s تا ۱۰۰۰۰ Pa.s متغیر می‌باشد که با توجه به شبیه سازی های انجام شده مقدار متوسط ۱۰۰ Pa.s برای محاسبه عدد رینولدز و طراحی لحاظ شده است.

۲- طراحی و ساخت

اولین گام در طراحی میکسر الزامات طراحی بود. برای این منظور دبی سیال (kg/min) (۲/۳-۰/۳) و افت فشارحداکثر نیز با اعمال ضریب اطمینان ۶ بار درنظر گرفته شد. دور روتور میکسر نیز rpm(۳۵-۵) پیشنهاد گردید. به کمک الزامات طراحی نوع موتور میکسر، پمپ و نیروهای وارده بر تکیه‌گاه ها تعیین گردید. با بدست‌آوردن نیروهای وارده بر روتور میکسر و تکیه‌گاه‌ها، نوع یاتاقان‌ها مشخص گردید. اطلاعات بیشتر در مورد انتخاب اجزاء در مرجع [۱۱] آورده شده است. برای روتور میکسر، مارپیچی با گام ۱۲۰ mm و قطر ۵۰ mm (با طول کلی ۱۲۰۰mm) طراحی گردید که به کمک دستگاه کپی تراش ساخته شد. شماتیکی از این روتور در شکل (۱) نشان داده شده است. این روتور دارای ۱۰mm خروج از مرکز نسبت به شفت مرکزی می‌باشد که امکان ایجاد جریان آشوبناک را به وجود می‌آورد. برای استاتور یا پوسته خارجی میکسر از لوله‌های با قطر داخلی ۸۰mm استفاده شد. بنابراین فاصله هوایی بین روتور و استاتور mm (۱۵-۵) متغیر بود که با چرخش روتور فاصله هوایی هر مکان بین این دو عدد در نوسان می‌باشد. به منظور تمیز کردن دستگاه، استاتور دو تکه ساخته شد که بر روی هم مونتاژ می‌شدند. نحوه استقرار روتور در داخل استاتور و ثابت کردن آن‌ها توسط تکیه گاه‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است. به منظور کنترل دور روتور میکسر، کدی با زبان برنامه‌نویسی دلفی نوشته شده است که سیگنال‌های دیجیتال را به کارت مبدل دیجیتال به آنالوگ می‌فرستد. سیگنال‌های آنالوگ خروجی از این کارت که V (۱۰-۰) می‌باشند به اینورتور (مبدل) ارسال می‌شوند. اینورتور متناظر با ولتاژ دریافتی، فرکانس معادل را به موتور ارسال می‌کند. این برنامه قابلیت ارسال پروتکل‌های سرعت ثابت و پله‌ای را به موتور را دارد.

۳- کالیبراسیون

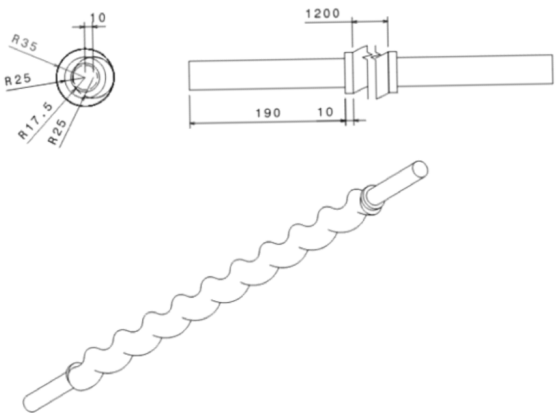
عواملی که می‌توانند بر دبی میکسر تاثیر بگذارند سرعت مونوپمپ[6] و سرعت روتور میکسر می‌باشند. ابتدا به منظور بررسی سرعت مونوپمپ بر دبی، در دورهای مختلف روتور، سرعت مونوپمپ تغییر داده شد و مشخص گردید که سرعت چرخش مونوپمپ تأثیر چندانی بر دبی خروجی از میکسر ندارد. این امر به دلیل مقاومت فشاری زیادی است که سیال بسیار لزج در میکسر با آن مواجه می‌شود. در این حالت عملاً مونوپمپ به عنوان یک تغذیه‌کننده

1. Rodrigo
2. Metcalfe
3. Lester
4. Carboxymethyl Cellulose
۵. لزجت آن به حدی است که می‌توان با شی برنده آن را برید.
6. Mono pump

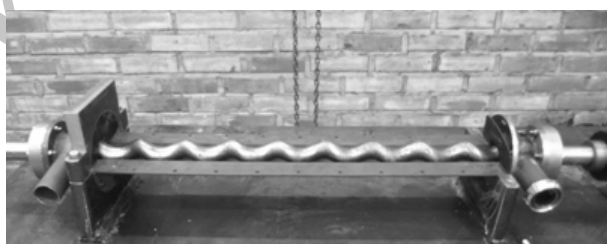
Archive of SID

www.SID.ir

میکسر عمل می‌کند که وظیفه آن دادن سرعت اولیه به سیال به منظور ورود به میکسر می‌باشد. مارپیچی بودن روتور این امکان را فراهم می‌سازد که سیال در حین چرخش به طرف جلو هُل داده شود. به منظور تاثیر سرعت روتور بر سرعت جریان خروجی میکسر، برای دورهای مختلف چرخش روتور در دور ثابت مونوپمپ (۲۵rpm)، شدت جریان‌ها اندازه‌گیری شده‌اند که در شکل (۳) نشان داده شده است.

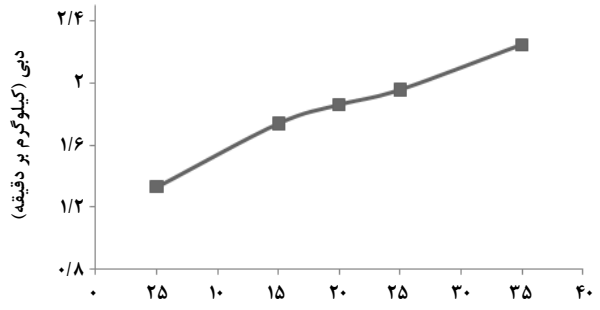


شکل ۱- طرح اجمالی روتور استفاده شده در میکسر به منظور ایجاد جریان آشوبناک (اندازه‌ها به میلیمتر هستند)



شکل ۲- نحوهٔ استقرار روتور در استاتور و ثابت نگه داشتن کل مجموعه

همانطور که در شکل (۳) دیده می‌شود با افزایش سرعت دورانی روتور شدت جریان خروجی از میکسر نیز افزایش می‌یابد. دلیل این امر این است که با چرخش بیشتر روتور، نیروی رانش افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با توجه به شبه‌پلاستیک بودن سیال، با افزایش سرعت دورانی روتور نرخ کرنش افزایش می‌یابد و سیال رقیق‌تر می‌شود. از این رو مقاومت فشاری برای حرکت سیال کمتر می‌گردد. با توجه به مشاهدات انجام شده، سرعت چرخش مونوپمپ تقریباً بر شدت جریان خروجی میکسر بی‌تأثیر است که ناشی از غلظت بسیار زیاد CMC مورد استفاده می‌باشد. این امر درمقاله به طور خلاصه و در مرجع [۱۰] به طور کامل توضیح داده شده است. دو عدد رینولدز براساس شدت جریان و سرعت چرخشی روتور تعریف می‌شود. محدودهٔ عدد رینولدز براساس سرعت جریان $۱۰^{-۳} \times ۱/۸$ - ۰/۹ و بر اساس سرعت دورانی روتور ۰/۰۱۲-۰/۰۰۱۸ می‌باشد. ملاحظه می‌شود که اعداد رینولدز بدست آمده بسیار کوچک می‌باشند. این امر بیانگر این حقیقت است که جریان استوکس (خزشی) است.



شکل ۳- تاثیر سرعت دورانی روتور بر شدت جریان میکسر

۴- مقدمات آزمایش و نحوهٔ گرفتن آزمون‌ها

اولین قدم در انجام آزمون‌ها ساختن محلول CMC می‌باشد. ایجاد چنین محلولی در مقیاس کوچک کار زیاد مشکلی نیست، ولی تهیه ۲۰ کیلوگرم محلول CMC کار نسبتا مشکلی خواهد بود. برای این منظور هر بار مقدار ۳۰۰ گرم آب در داخل میکسر اولیه اضافه می‌شود و متناظر با آن ۱۸ گرم پودر CMC در آن حل می‌گردد و این کار تا رسیدن وزن محلول به حدود ۲۰ کیلوگرم ادامه می‌یابد. بعد از تشکیل محلول، ذرات کلوئیدی در آن کاملاً مشهود بود. برای از بین رفتن این ذرات نیاز به ۱۰-۸ ساعت زمان بود تا آب به آنها نفوذ نماید و نهایتا در آب حل شوند. محلول CMC که به این روش تهیه می‌شد وارد تغذیه کننده مونوپمپ می‌گردید و با اعمال فشار بر روی آن شرایط برای ایجاد یک جریان تقریبا پیوسته در میکسر فراهم می‌گشت.

محل تزریق سیال ثانویه که دارای رنگ مشکی بود در میانه میکسر بود. به منظور ایجاد سطوحی که بتوان پخش شدن ذرات رنگی را

Archive of SID

www.

دید، لوله پولیکا به طول تقریبی ۴۵ سانتی متـر در انتهـای میکـسر قرار داده شد (شکل (۴)).

شکل ۴- استقرار لوله پولیکا در انتهای میکسر جهت نمونه‌برداری

سیال کاری آماده‌شده در سیستم غیر پیوسته وارد مونوپمپ و سپس وارد میکسر می‌شد. بعد از اینکه سیال به انتهای میکـسر رسـید و از پیوسته بودن جریان اطمینان حاصل می‌شد تزریق صورت می‌گرفت. لازم بود تا در محل تزریق، بیشترین فاصـله روتـور و دیـواره بـالایی استاتور وجود داشته باشد. برای این منظور شاخصی بـر روی روتـور تعبیه شد تا موقعیت روتور مشخص گـردد. در حـالتی کـه شـاخص تنظیم می‌شد میکسر متوقف می‌گشت؛ پیچ دهانـه تزریـق برداشـته می‌شد و ۲/۸ cc رنگ سیاه به داخل میکسر تزریق مـی‌شـد. سـپس بلافاصله پیچ دهانه تزریق بسته ودستگاه با دور مورد نظر شروع بـه کار می‌کرد. بعد از اینکه مقدار سیالی که در جلوی محل تزریق بـود از لوله پولیکا خارج می‌گشت[1] دستگاه متوقف می‌شد و لولـه پولیکـا برای نمونه برداری از انتهای میکسر جدا می‌گشت.

به ازای هر ۲ cm حرکت سیال درون پولیکا به جلو بـه کمـک یـک پیستون مناسـب، یـک بـرش از سـیال انجـام و از سـطح نمونـه در شرایطی مناسب (شکل (۵)) عکس‌برداری می‌شد.

شماتیک کلی میکسر و دستگاه آزمون در شکل (۶) نشان داده شده است.

۱. این مقدار سیال با توجه به شدت جریان‌های متفاوت، متناظر با زمان مشخصی می‌باشد که به راحتی با داشتن قطر لوله پولیکا، دبی سیال و حجم جلوی محل تزریق (حجم سیالی که در آن اختلاط صورت نگرفته است) برای هر شدت جریان قابل محاسبه است. جزئیات بیشتر در مرجع [۱۰] ذکر شده است.

شکل ۵- نحوهٔ استقرار دوربین و نورپرداز

۵- پردازش تصویر و معیار ارزیابی کمی اختلاط

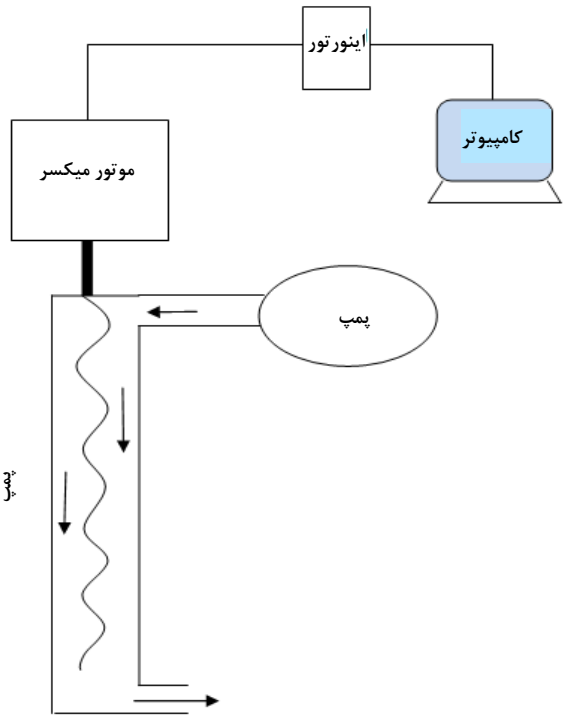
در این مطالعه با استفاده از ترکیب کامپیوتر، دوربین دیجیتال ویـک کد پردازشگر، رنگ سطوح بریده شده از سیال خروجی اندازه‌گیری و آنالیز شده است. عکس‌های گرفته شده با استفاده از نرم افـزار Xara ویرایش شدند. عکسی که از این طریق ایجـاد مـی‌شـد بـه محـیط نرم‌افزار مطلب انتقال داده می‌شد. اندازه هر عکس به طـور متوسـط ۸۰۰×۸۰۰ پیکسل بود. این بدان معنا است کـه هـر پیکـسل دارای سطح ۰/۰۰۴۹ mm^2 می‌باشد که با توجه به اندازه نمونه (دایره ای با قطر ۵/۶ cm) دقت خوبی محـسوب مـی‌شـود. بـه منظـور پـردازش تصویر، عکس‌های گرفته شده در محیط مطلب به محیط خاکستری انتقال داده شد. دراین حالت عدد صفر به معنای رنگ سیاه مطلـق و عدد یک به معنای رنگ سفید مطلق مـی‌باشـد. بنـابراین عـدد ۰/۵ رنگ خاکستری می‌باشد که ۵۰٪ درصد آن سـیاه و ۵۰٪ درصـد آن سفید است.

با مشخص شدن تعداد پیکسل‌های سیاه و سفید می‌توان معیـاری را پیدا کرد که شاخص اختلاط و به نوعی نفوذ سیال تزریـق شـده بـه سیال زمینه را کمّی نماید. برای ایـن منظـور چگـالی سـطح رنگـی شده[2] (DCS) به عنوان معیـاری بـرای کمـی کـردن اخـتلاط مـورد استفاده قرار گرفت که بصورت درصد تعداد پیکسل های سیاه به کل پیکسل ها تعریف می‌شود (رابطه (۱)).

$$DCS = \frac{Number\ of\ \ Black\ Pixel}{Total\ \ Pixel} \qquad (۱)$$

2. Density of Colored Surface

www.SID.ir



شکل ۶- شرح اجمالی دستگاه آزمایشگاهی برای آزمون

۶- نتایج و بحث

به طور کلی عوامل مؤثر زیر می‌تواند بر اختلاط تاثیر داشته باشد:

۱- فاصله گام روتور

۲- فاصله هوایی روتور و استاتور

۳- پروتکل‌های مختلف حرکت روتور

۴- دور روتور (شدت جریان)

با توجه به هزینه و زمان بر بودن بررسی تمام موارد فوق الذکر، در تحقیق حاصل تنها به بررسی تاثیر شدت جریان پرداخته شده است. با توجه به اینکه شدت جریان حاصله توسط سرعت دورانی میکسر کنترل می‌شود، آزمون‌هایی در سه دور ۵، ۲۰ و ۳۵ دور بر دقیقه انجام و نتایج مربوطه ثبت و تحلیل شدند.

به منظور یکسان کردن کمیت زمانی مربوط به نمونه برداری‌های انجام شده در آزمون‌ها از زمان بی بعد شده استفاده گردید که به کمک رابطه (۲) محاسبه می‌گردد:

$$T^* = \frac{m\Delta t}{T_0} \qquad (۲)$$

که در رابطه فوق :

T^*، زمان بی بعد برای نمونه برداری‌های انجام شده،

m، شماره نمونه گرفته شده، ($m = ۱, ۲, \ldots, ۱۵$)،

Δt، زمانی که جریان در شدت جریان مشخص ۲cm در لوله پولیکا حرکت می‌کند،

T_0، زمانی که جریان با دبی مورد مشخص ۳۰ cm در لوله پولیکا حرکت می‌نماید.

پارامترهای Δt و T_0 متناظر با هر شدت جریان با توجه به قطر لوله نمونه برداری (برای بدست آوردن مساحت سطح مقطع)، محاسبه شده و در جدول (۱) فهرست شده است.

جدول ۱- پارامترهای مربوط به محاسبه زمان بی بعد شده

دور(rpm)	$\Delta t(s)$	$T_0(s)$
۵	۲/۴	۳۲/۱
۲۰	۱/۷	۲۵/۵
۳۵	۱/۴۳	۲۱/۴

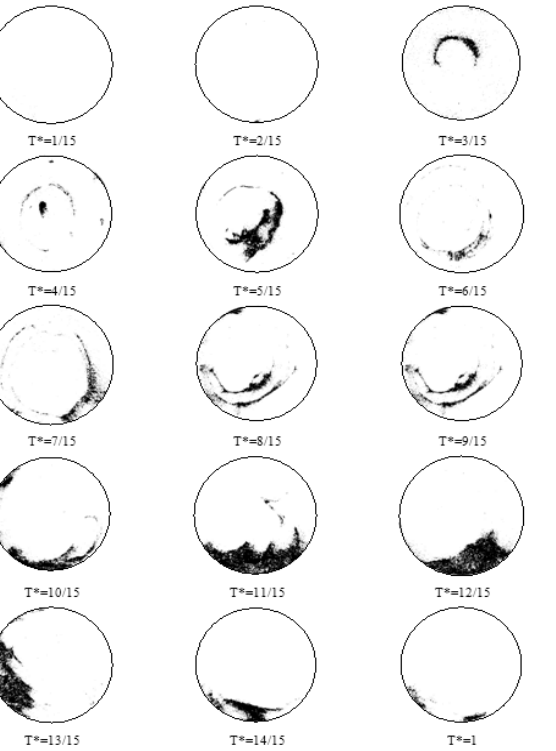
شکل (۷) تصویر پردازش شده نمونه‌های مربوط به دور ۵ rpm را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیدا است برای دور۵ rpm عملاً اختلاطی انجام نمی‌پذیرد و سیال رنگی بعد از ایجاد یک حلقه کمرنگ به گوشه‌ی می‌رود و هرگز نمی تواند خود را به مرکز جریان برساند. دلیل این امر را می‌توان در عدم نفوذ پذیری و نبود حرکت عرضی سیال ثانویه در CMC دانست. سیال تزریق شده بیشتر تمایل دارد به مسیر مستقیم خود ادامه دهد و چرخش لازم را انجام نمی‌دهد. شکل (۸) ادامه سیال خروجی از دستگاه را برای دور ۵ rpm نشان می‌دهد. همانطور که در شکل پیداست سیال تزریق شده حرکت عرضی محسوسی انجام نمی‌دهد و در نتیجه تاشدگی در المان‌های سیال تزریق شده به وجود نمی‌آید. نتیجه این امر دور نشدن ذرات نسبت به هم در عرض جریان می‌باشد.این مشاهدات بیانگر جریان غیر آشوبناک در دورهای پایین میکسر می‌باشد.

تصویر پردازش شده مربوط به دور ۲۰ rpm در شکل (۹) نشان داده شده است. برای دور۲۰ rpm وضعیت اختلاط بهتر می‌شود به طوری که در نمونه چهارم تکه‌هایی از سیال تزریق شده مشاهده می‌شود و

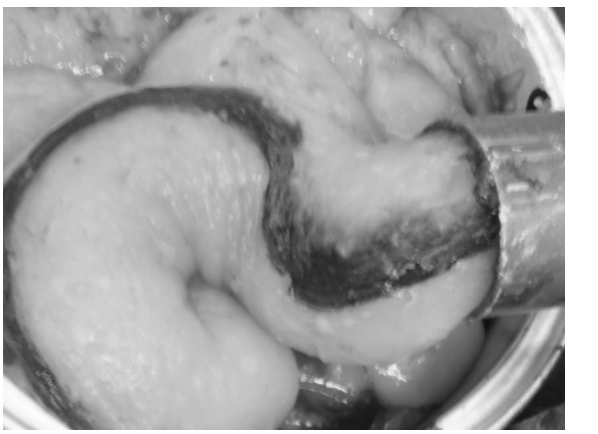
Archive of SID

www.

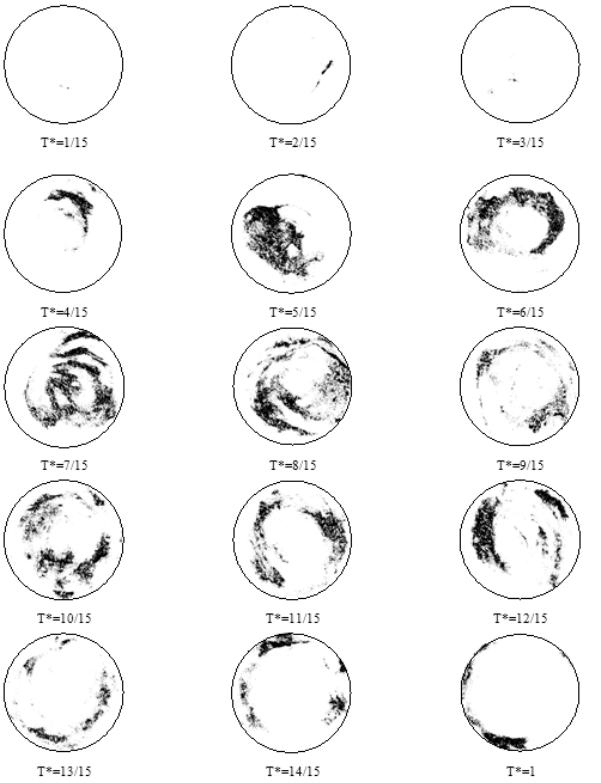
بتدریج این پخش شدگی زیاد شده و در نمونه‌های بیشتری خـود را نشان می‌دهد. در این حالت مقداری از سیال تزریق شـده مـی‌توانـد خود را به مرکز جریان برساند. همانطور که از نمونه‌هـا پیداسـت در نمونه‌های آخر به دلیل کم شدن غلظت سیال تزریق شده، لکه‌هـای رنگی به سمت دیواره‌ها حرکت می‌کنند. این امر در مورد سایر دورها نیز دیده می‌شود. احتمالا دلیل این امر سیاه شـدن دیـواره میکـسر است که منجر به رنگی شدن ذرات کنار خود می‌شود.



شکل ۷- عکس‌های پردازش شده نمونه‌ها در دور ۵rpm میکسر



شکل ۸- عدم اختلاط مناسب در دورهای پایین



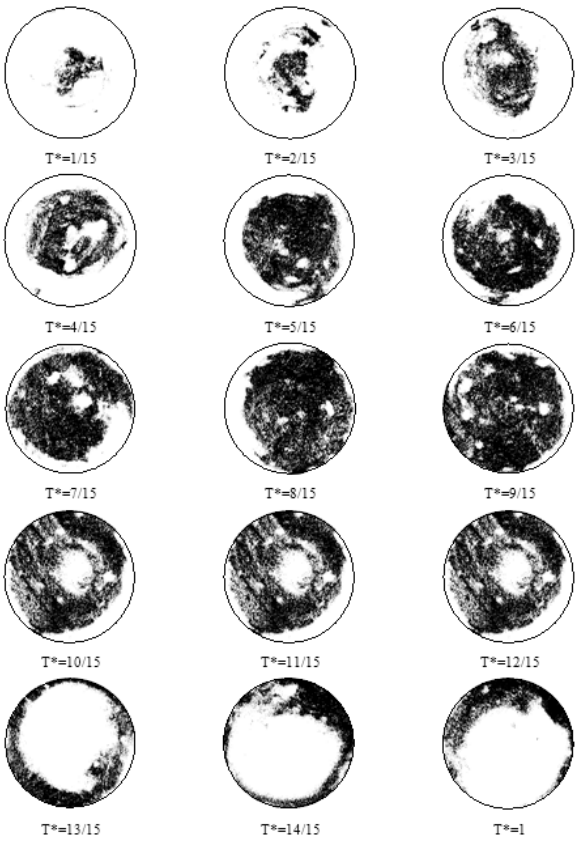
شکل ۹- عکس‌های پردازش شده نمونه‌ها در دور ۲۰rpm میکسر

تصویر پردازش شده مربـوط بـه دور ۳۵ rpm در شـکل (۱۰) نـشان داده شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که در دور ۳۵rpm بهترین اختلاط رخ می‌دهد. در این دور سیال تزریق شده به سرعت به مرکز جریان می‌رسد و این پخش شدگی برای نمونه‌های بیشتری ادامه می‌یابد. این امر ناشی از کشیدگی و تاشدگی مداوم المان‌هـای سیال تزریق شده بوده و منجر به پخش شدگی عرضـی المـان‌هـای سیال می‌شود. همانطور که در شکل (۱۰) مـشخص مـی‌باشـد ایـن پخش شدگی در نمونه نهم به حـداکثر مقـدار خـود رسـیده اسـت. سپس به دلیل کاهش غلظت سیال تزریق شـده از شـدت لکـه‌هـای سیاه کاسته می‌شود. آنچه در نمونه‌های آخر جلـب توجـه مـی‌کنـد ایجاد نواحی رنگی در تمام نقاط نزدیک دیواره است. این امر ناشی از تماس سیال تزریـق شـده در تمـام پیرامـون داخلـی دیـواره اسـت (برخلاف دور پایین که تنها یک سمت سیاه رنگ می‌شـود). در ایـن دور ذرات سیال در راستای عرضی جریان از هم فاصله می‌گیرند کـه بیانگر حساسیت ذرات به شرایط اولیه است. این ویژگی شرط لازم و کافی برای آشوبناک بودن جریان می‌باشد.

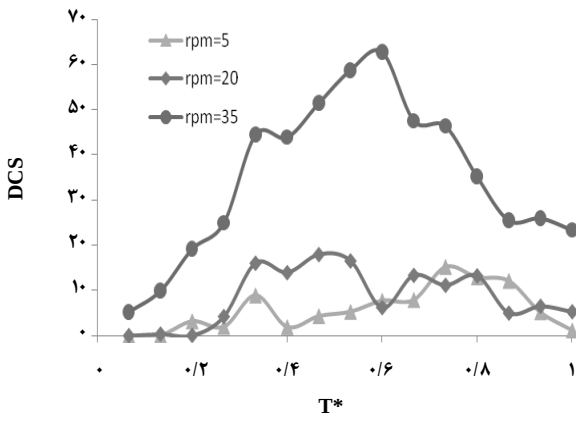
Archive of

www.SID.ir

به منظور کمی کردن اختلاط از شاخص اختلاط DCS استفاده شده است. نمودار شاخص اختلاط برحسب زمان بی بعد شده در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۰- عکس‌های پردازش شده نمونه‌ها در دور ۳۵rpm میکسر



شکل ۱۱- شاخص اختلاط بر حسب زمان بی بعد شده

همانطور که در شکل مشخص است بهترین شاخص اختلاط برای دور ۳۵rpm و بدترین شاخص اختلاط برای دور ۵ rpm می‌باشد. میانگین شاخص اختلاط برای دورهای ۵ rpm، ۲۰ و ۳۵ به ترتیب ۶/۸، ۸/۷ و ۳۵ می‌باشد. اختلاط در دور۲۰rpm حدود ۵۰٪ از اختلاط در دور ۵rpm بهتر می‌باشد. در حالی که شاخص اختلاط در دور۳۵rpm حدود ۴ برابر اختلاط در دور ۲۰rpm است. این امر بیانگر این است که افزایش دور به شدت باعث بهبود اختلاط می‌شود.

نکته قابل ملاحظه در شکل (۱۳) وجود شیب شدید در نمونه‌های ابتدایی برای دور ۳۵ rpm می‌باشد. این امر بیانگر این است که لکه سیال تزریق شده به سرعت خود را به تمام عرض جریان می‌رساند.

یکی از نکاتی که در آزمون آزمایشگاهی مورد توجه می‌باشد تکرار پذیر بودن نتایج حاصله است. سوالی که درمورد مطالعه حاضر مطرح می‌شود این است که آیا آزمون‌ها باید قابلیت تکرار پذیر بودن را داشته باشند؟ اگر پاسخ منفی است چگونه می‌توان به نتایج استناد نمود؟

پاسخ این پرسش را باید در مفهوم پدیده آشوب جستجو کرد. حساسیت به شرایط اولیه یکی از نشانه‌های جریان آشوبناک می‌باشد[۱۲]. عوامل اجتناب ناپذیری که می‌تواند بر نتایج آزمون‌ها تأثیر بگذارد عبارتند از:

۱. متفاوت بودن محل قرار گیری شاخص در آزمون‌ها (حتی ۱ درجه).

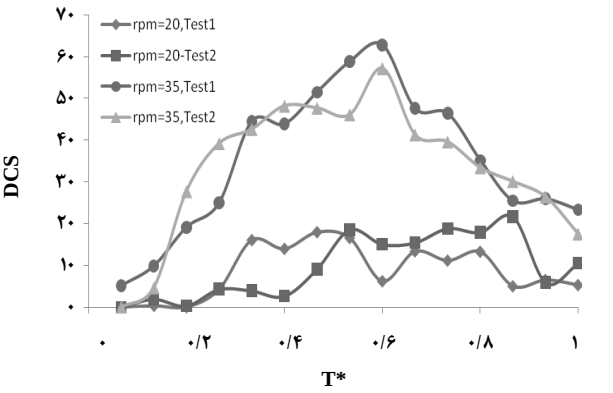
۲. یکسان نبودن شدت جریان‌ها در آزمون‌ها (به دلیل عدم فشار یکسان بر تغذیه کننده مونوپمپ).

این خطاهای آزمایشگاهی را می‌توان کاهش داد ولی نمی توان به صفر رساند. لذا همواره نتایج بدست آمده تکرار پذیر نمی‌باشند. اما این انتظار وجود دارد که میانگین نتایج حاصل چندان فرقی با هم نداشته باشند و الگوی جریان نیز به طور محسوس عوض نشود. به بیان دیگر از نظر آماری با عوض شدن شرایط اولیه به مقدار کم، تغییر محسوسی در نتایج کلان حاصل نشود.

در این مطالعه سعی شد تا حتی الامکان آزمون‌ها در شرایط مشابه هم انجام شوند نتایج حاصل آزمون‌های تکرار برای دورهای ۲۰ rpm و ۳۵ در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

Archive

www.



شکل ۱۲- بررسی تکرار پذیری آزمون‌ها برای دورهای۲۰rpmو۳۵

برای دور rpm ۲۰، آزمون‌ها دارای میانگین شاخص اختلاط ۸/۷ و ۹/۸ هستند که حدود ۱۲٪ تفاوت رانشان می‌دهد.درمورد دور rpm ۳۵ نیز آزمون‌ها دارای میانگین شاخص اختلاط ۳۵ و ۳۳/۴۴ می‌باشند که حدود ۴/۴٪ تفاوت دارند. عدم تکرار پذیری آزمون‌ها در شکل (۱۲) به وضوح قابل تشخیص است.

۷- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

در مطالعه حاضر به طراحی وساخت میکسر آشوبناک دور پایین برای اختلاط سیالات با لزجت بالا پرداخته شده است که در صنایع شیمیایی کاربرد فراوانی دارند. مزیت میکسر ساخته شده نسبت به نمونه‌های مشابه کاهش قابل توجه مصرف انرژی می‌باشد. این امر به دلیل کارکرد دستگاه در دور های پایین تر نسبت به نمونه‌های مشابه می‌باشد. به عنوان مثال برای تولید خمیرهای لزج دستگاه‌های مشابه با دور بیش از rpm ۱۰۰ کار می‌کنند، در حالی که دستگاه حاضر با کارکرد در rpm ۳۵ اختلاط مناسب را فراهم می‌کند. آزمون‌های انجام شده نشان می‌دهد که افزایش دور تاثیر مثبتی بر عملکرد دستگاه دارد و در دورهای بالاتر از rpm۳۰ می‌توان مطمئن شد که اختلاط خوبی در میکسر صورت می‌پذیرد. در دورهای پایین، اختلاط بسیار ضعیفی مشاهده می‌شود که ناشی از عدم حرکت عرضی جریان می‌باشد و در این حالت تنها المان‌های سیال کشیده می‌شود و تاشدگی اتفاق نمی افتد. مشاهدات در دورهای بالا نشان می‌دهد که ذرات سیال رنگی تزریق شده خود را بیشتر به مرکز جریان می‌رساندکه نشانگر حرکت عرضی سیال می‌باشد. در این حالت کشیدگی المان‌های سیال با تاشدگی همراه می‌باشد که از علائم جابجایی آشوبناک در میکسر است. بررسی عوامل مؤثر دیگر بر اختلاط مانند پارامترهای هندسی و پروتکل‌های مختلف حرکت روتور در حال مطالعه می‌باشد.

مراجع

[1] Palomares, B. G., Guerrero, A. H., Romero-Méndez, F., Tolentino, F. O. "An experimental analysis of the flow pattern in heat exchangers with an egg carton configuration (parallel, convergent and divergent cases)", International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 30, 158–171 (2009).

[2] Aref, H. "Stirring by Chaotic Advection", Journal of Fluid Mechanics, V. 143, 1-21(1984).

[3] Lefevre, A., Mota, J. P. B., Rodrigo, A. J. S. Saatdjian, E. "Chaotic Advection and Heat Transfer Enhancement in Stokes Flows", International Journal of Heat and Fluid Flow, V. 24, 310-321(2003).

[۴] برومندزاده، مجید. "تحلیل اختلاط سیال غیرنیوتنی درون اکسترودر تزریق پلاستیک با استفاده از تئوری آشوب"، پروژه کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران،(۱۳۸۳).

[5] Metcalfe, G., Lester, D. "Mixing and Heat Transfer of Highly Viscous Food Products with a Continuous Chaotic Duct Flow", Journal of Food Engineering, V.95, 21–29(2009).

[6] Hwu, T. "Chaotic Stirring in a New Type of Mixer With Rotating Rigid Blades", European Journal of Mechanics, V.27, 239–250(2008).

[7] Mizuno, Y., Funakoshi, M. "Chaotic Mixing Due to a Spatially Periodic Three-Dimensional Flow, Fluid Dynamics Research, V.31, 129–149(2002).

[8] Takahashi, K., Motoda M. "Chaotic Mixing Created by Object Inserted in a Vessel", Chemical Engineering Research and Design, V.87, 386–390(2009).

[۹] شکرپور مهناز، "ارائه و شبیه سازی یک میکسر جدید برای خمیر نان به عنوان یک سیال غیرنیوتنی به کمک تئوری آشوب"، پروژه کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران،(۱۳۸۹).

[۱۰] رحیم مشائی پیام، "طراحی و ساخت میکسر آشوبناک برای سیال غیرنیوتنی"، پروژه کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، (۱۳۹۰).

[11] Hosseinalipour, S. M., Tohidi, A., Shokrpour, M., Nori, N. M., "Introduction of a chaotic dough mixer, part A: mathematical modeling and numerical simulation", Journal of Mechanical Science and Technology, V.27(5),1329-1339(2013).

[12] Hilborn, R., "Chaos and Nonlinear Dynamics ;an Introduction for Scientists and Engineers", Cambridge University Press, (2001).

Archive of SID

www.SID.ir