

اختلاط در فرایندهای پلیمر شدن (I)

Mixing in Polymerization Processes (I)

شهریار سجادی، سبیده دُرّه

مرکز تحقیقات و توسعه علوم و تکنولوژی مواد پلیمری

واژه‌های کلیدی:

اختلاط، پلیمر شدن، برش، جریان، همزن

چکیده

هر سیستم اختلاط، برای رسیدن به یک یا چند هدف خاص، نظیر حرکت سیال، انتقال گرما، پراکندگی مایع - مایع، تعلیق جامدات و غیره طراحی می‌شود که هر یک از این اهداف به وسیله کاربرد یک نوع اختلاط خاص قابل دستیابی است. شناسایی انواع اختلاط و تعیین مکانیسم کنترل کننده، نقش اساسی در طراحی فرایندهای پلیمر شدن دارد. روشن ساختن میزان نیاز یک فرایند اختلاط به شدت برش و جریان، گام اول در طراحی سیستمهای اختلاط، به ویژه در فرایندهای پلیمر شدن است. در حالی که فرایندهای پلیمر شدن همگن جرمی و محلول به جریان حساس اند، پلیمر شدن ناهمگن تعلیقی به برش حساسیت نشان می‌دهد. پس از آن، نوع و ابعاد همزنی که قادر به ایجاد جریان و برش مطلوب باشد و انتخاب سیستم موج گیر مناسب در کنار تجزیه و تحلیل رفتار سیال اختلاط، مقدمات اولیه را برای ارزیابی و طراحی سیستمهای اختلاط فراهم می‌آورد.

معمولاً در کاربردهای متنوع صنعتی، ترکیبی از چند گروه در نظر گرفته می‌شوند. به عنوان نمونه، در یک فرایند ممکن است که تعلیق جامدات به همراه واکنش شیمیایی یا انتقال گرما مورد توجه باشند. بنابراین ابتدا باید مشخص کرد که کدام یک از گروهها اثر بحرانی و کنترل کننده دارد و آن‌گاه طراحی سیستم اختلاط را بر مبنای آن انجام داد.

جدول ۱ - انواع گروههای اختلاط و عوامل تعیین کننده در هر کدام.

ردیف	گروه	عناوین اختلاط در هر گروه	شاخص اول	شاخص دوم
۱	مایع - جامد	- تعلیق - انحلال	ج ب	- ج
۲	مایع - گاز	- پراکندگی - جذب	ب ب	ج ج
۳	مایع - مایع (امتزاج ناپذیر)	- پراکندگی (شامل امولسیون) - استخراچ	ب ب	ج ج
۴	مایعات (امتزاج پذیر)	- امتزاج (انحلال) - واکنش	ج ج	- ب
۵	حرکت سیال	- پمپاژ - انتقال گرما	ج ج	- -

ب = برش و ج = جریان است.

در هر یک از فرایندهای پلیمر شدن نیز یک یا چند هدف (جدول ۱) دنبال می‌شود. اگرچه عمل اختلاط در هر دو مرحله آماده سازی و پلیمر شدن فرایندهای یاد شده رخ می‌دهد، ولی مرحله دوم از اهمیت بیشتری برخوردار است [5]. اختلاط در مرحله آماده سازی بسته به نوع فرایند پلیمر شدن شامل انواع امتزاج (همگن ساختن)، امولسیون کردن، پراکنده

اختلاط در فرایندهای پلیمر شدن

فرایندهای پلیمر شدن یکی از زمینه‌هایی است که در آن احاطه بر جنبه‌های گوناگون اختلاط برای یک طراحی بهینه ضروری است. تقریباً تمام زمینه‌های متفاوت علم اختلاط نظیر تعلیق جامد در مایع، پراکنده ساختن مایع در مایع، پراکنده ساختن گاز در مایع، امتزاج، واکنش شیمیایی و انتقال گرما در طراحی فرایندهای پلیمر شدن، در نظر گرفته می‌شوند. از این رو، شناسایی مستقل هر کدام از این زمینه‌ها، به ارزیابی و بررسی نقش اختلاط در فرایندهای پلیمر شدن کمک خواهد کرد.

شاید اولین تقسیم‌بندی جامع اختلاط به وسیله پارکر انجام گرفته باشد [1]. گیتس اختلاط را به انواع امتزاج، واکنش شیمیایی، انتقال گرما، انتقال جرم و چندفازی تقسیم کرد [2]. این تقسیم‌بندی به شکل انواع امتزاج، انتقال گرما، انتقال جرم، تعلیق جامدات، پراکندگی مایعات و پراکندگی گازها نیز ارائه شده است [3]. الدشو اختلاط در مایعات را به طرز مفیدی به پنج گروه کاربردی تقسیم کرد که هر گروه دارای یک جنبه فیزیکی و یک جنبه شیمیایی است [4]. این تقسیم‌بندی در ستون اول جدول ۱ نشان داده شده است.

Key Words: agitation, polymerization, shear, flow, agitator

ساختن و انتقال گرما می‌شود که در مقایسه با سیستمهای اختلاط مربوط به پلیمر شدن بسیار کم‌اهمیت‌تر یا حداکثر مشابه آنها می‌باشد. مهمترین مشخصه طراحی سیستمهای اختلاط در مرحله آماده‌سازی، زمان امتزاج برای سیستمهای همگن و زمان پایداری برای سیستمهای ناهمگن است. در جدول ۲ انواع اختلاط در مراحل آماده‌سازی و پلیمر شدن فرایندهای پلیمر شدن نشان داده شده است که همگی به صورت واحد در این مقاله مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

در پلیمر شدن همگن جرمی و محلول، سه نوع اختلاط امتزاج، واکنش و انتقال گرما نقش دارند. در حالی که در فرایند پلیمر شدن تعلیقی علاوه بر انتقال گرما، تعلیق پلیمرهای جامد و پراکندگی مایع - مایع نیز دارای اهمیت می‌باشند. در فرایند امولسیون، پراکندگی مایع - مایع و انتقال گرما و در درجه بعد انتقال جرم (واکنش) اهمیت پیدا می‌کنند. بنابراین، در هر یک از فرایندهای پلیمر شدن، ترکیبی متفاوت از انواع اختلاط دخالت دارد. علاوه بر این، فرایندهای پلیمر شدن در دامنه وسیعی از گرانشی انجام می‌گیرند. در فرایند تعلیقی، گرانشی مخلوط به‌طور عمده توسط فاز آب تعیین می‌شود. از این رو، گرانشی آن به‌ندرت به cp ۱۰۰ می‌رسد. در فرایند امولسیون بسته به درصد حجم فاز مونومر و ریز بودن دانه‌ها، دامنه گرانشی از ۵۰ تا cp ۵۰۰۰ مستقر است. در فرایندهای پلیمر شدن محلول، که نوع جرمی را نیز در برمی‌گیرد، دامنه

تغییرات گرانشی بسیار وسیع است. گرانشی در راکتورهای پلیمر شدن محلول در دامنه cp ۲۵۰۰۰ تا cp ۵۰۰۰۰۰ و جرمی در دامنه ۵۰۰۰۰۰ تا cp ۵۰۰۰۰۰۰۰ متغیر است. گرانشی این فرایندها به‌شدت تابعی از غلظت حلال و همچنین درصد تبدیل مطلوب است. در شکل ۱ انواع فرایندهای پلیمر شدن از نظر مقدار گرانشی و توان مصرفی مقایسه شده‌اند. نوع و ابعاد سیستم اختلاط در فرایندهای پلیمر شدن بسته به مقدار گرانشی و اهداف اختلاط تغییر می‌کند که قبل از پرداختن به آن مقدمه‌ای بر نظریه نوین اختلاط ضرورت دارد.

علم نوین اختلاط

تا قبل از دهه هفتاد، تصویر دقیقی از مکانیسم جریان در اختلاط و همچنین عوامل مؤثر بر آن در دست نبود، به‌طوری که علم اختلاط علمی کسلاً تجربی و فاقد جنبه‌های نظری معرفی می‌شد. ولی امروزه امکان ارزیابی سیستمهای اختلاط توسط روشهای علمی فراهم آمده است.

توانی که برای اختلاط سیالات توسط همزن اعمال می‌شود، مقداری جریان ($flow$) و مقداری بار سرعت ($velocity\ head$) ایجاد می‌کند [6]. تحلیل سیستمهای اختلاط بر پایه این دو شاخص استوار است. جریان و بار سرعت توسط تناسب زیر به یکدیگر مربوط می‌شوند:

$$P \sim \rho QH$$

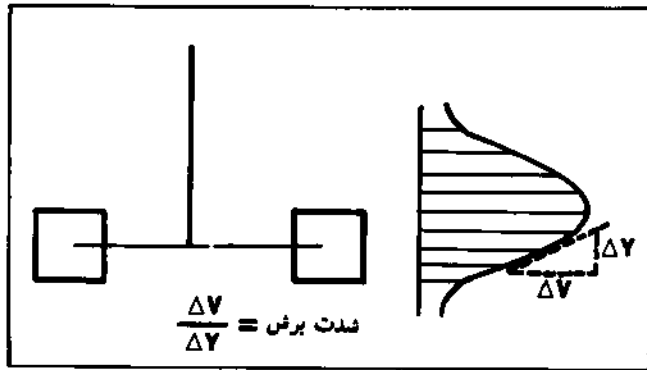
جدول ۲ - انواع اختلاط در فرایندهای چهارگانه پلیمر شدن و عوامل تعیین‌کننده.

شماره گروه اختلاط (از جدول ۱)	مرحله واکنش پلیمر شدن	شماره گروه اختلاط	مرحله آماده سازی	شاخص شاخص		انواع فرایندهای پلیمر شدن
				اول	دوم	
۵	- توزیع دمایی یکنواخت و انتقال گرمای مناسب	۴	- انحلال آغازگر و سایر افزودنیها در مونومر	-	ج	- جرمی
۴	- توزیع غلظت یکنواخت یا همگن کردن (در صورت وجود میرد)					
۵	- توزیع دمایی یکنواخت و انتقال گرمای مناسب	۴	- انحلال مونومر و سایر افزودنیها در حلال	-	ج	- محلول
۴	- همگن کردن (در صورت وجود میرد و یا افزایش تدریجی حلال)					
۳	- حفظ پراکندگی مونومر در آب	۴	- انحلال آغازگر و افزودنیها در مونومر	ج	ب	- تعلیقی
۱	- تعلیق ذرات پلیمر جامد به دست آمده	۳	- پراکنده‌سازی مونومر در آب			- امولسیون
۵	- توزیع یکنواخت دما	۳	- امولسیون کردن	ب	ج	
۳	- پراکندگی مونومر باقیمانده در آب					
۴	- حفظ سرعت واکنش از راه افزایش انتقال جرم					
۵	- توزیع یکنواخت دما					

ب = برش و ج = جریان است.

که در آن P توان، Q جریان، H بار سرعت و p جرم مخصوص است [6]. مقدار جریان تولیدی همان واحد جرم یا حجم در واحد زمان را داراست و انرژی حاصل از سرعت پروانه همزن، $\frac{V^2}{2g}$ نیز به عنوان بار سرعت قابل تفسیر است [7].

آن نیز می باشد [8]. بوئن (Bowen) با ارائه یک مجموعه از روابط این نظریه را که نسبت حداکثر شدت برش به مقدار متوسط آن با افزایش قطر همزن افزایش می یابد، مورد تردید قرار داده است. بر طبق نظریه وی، این نسبت برای یک سیستم اختلاط همواره ثابت است [9].



شکل ۲ - منحنی سرعت و تعریف شدت برش [8].

برای ارزیابی شدت برش در یک مخزن اختلاط حداقل به چهار نوع داده، یعنی حداکثر سرعت در پیرامون پروانه، متوسط تغییرات سرعت در اطراف پروانه، متوسط تغییرات سرعت در کل مخزن اختلاط و حداقل تغییرات در کل مخزن، نیاز است.

در سیستمهای اختلاط حساس به برش، به ویژه سیستمهای ناهمگن مایع - مایع در پلیمر شدنهای تعلیقی و امولسیون، دستیابی به داده های یاد شده نقش مهمی در تعیین دقیق اندازه متوسط دانهها و توزیع آنها دارد. در توزیع مواد شکنده، سرعت متوسط در پیرامون پروانه و کل مخزن اختلاط و حداکثر شدت برش نقش تعیین کننده دارد. در صورتی که ارتفاع مخزن به اندازه کافی زیاد باشد، حداکثر شدت برش تعیین کننده خواهد بود.

شاخص مهم دیگر در ارزیابی سیستمهای اختلاط، شدت جریان گردشی تولید شده در آنهاست. جریان ایجاد شده توسط یک همزن بستگی به نوع، اندازه و سرعت آن دارد. اگر هدف از اختلاط تنها ایجاد حرکت برای سیال است، جریان تولیدی می تواند بدون تغییر سرعت و به شکل تویی (plug) باشد. در این صورت توان مصرفی آن نیز بسیار کم است. دو نوع جریان در مخزن اختلاط به وجود می آید: یکی جریان رانش اولیه است که به طور مستقیم توسط پره های پروانه همزن ایجاد می شود و دیگری جریان کل است که علاوه بر جریان رانش پروانه، شامل جریان القایی (induced) یا همراه نیز می باشد که به وسیله اعمال برش و کشش بر مایع مجاور پروانه ایجاد می شود. جریان القایی با شکل سیستم اختلاط تغییر می کند. هر قدر نسبت قطر پروانه به قطر مخزن (D/T) بیشتر باشد، جریان القایی کمتر و جریان رانش به جریان کل نزدیکتر می شود. بر طبق تعریف، جریان رانش یک پروانه عبارت است از کل جریان تولید شده

نوع فرایند	گرانروی، cp	توان، ۱۰۰۰ گالن / اسپ بخار
جرمی	□	□
محلول	□	□
امولسیون	□	□
تعلیقی	□	□

شکل ۱ - دامنه گرانروی و توان مصرفی در فرایندهای چهار گانه پلیمر شدن.

در علم اختلاط بار سرعت پروانه متناسب با شدت برش یا آشفتگی شناخته می شود و به طور کلی بار سرعت بیشتر شدت برش زیادتری را نیز تولید می دهد. ولی هیچ گونه رابطه کمی بین این دو هنوز به دست نیامده است. تنها عاملی که باعث برخورد مؤثر ذرات در داخل مخزن اختلاط می شود، شدت برش است. لایه های مختلف سیال که سرعت متفاوتی دارند، به راحتی با یکدیگر مخلوط می شوند. بنابراین، فرایندهای اختلاط از عامل برش تفکیک ناپذیرند. در شکل ۲ منحنی سرعت برای یک پروانه توربینی شماعی نشان داده شده است که بر اساس آن می توان شدت برش را نیز محاسبه کرد.

شدت برش از پروانه همزن ناشی می شود و گرانروی، ویژه سیال است. ولی تنش برشی که برابر با حاصل ضرب آن دو است، از هر دو متأثر می گردد. متناسب با هر مقدار شدت برش، مقداری تنش برشی تولید می شود که تمایل به جدا کردن یا از هم گسیختن ذرات، قطره ها، حبابها و توده های لخته شده را دارد. توزیع قطره ها و حبابها در سیستمهای مایع - مایع و گاز - مایع به طور عمده متأثر از تنش برشی است [8].

با اندازه گیری سرعت رانش سیال (fluid discharge velocity) یک پروانه، می توان به اثر سرعت و اندازه پروانه بر شدت برش پی برد. در شکل ۳ توزیع سرعت متوسط سیال، در چهار سرعت متفاوت برای یک پروانه فرضی ارائه شده است.

متوسط شدت برش تنها تابعی از سرعت پروانه است، در حالی که حداکثر شدت برش (در اطراف پروانه) علاوه بر سرعت پروانه تابع قطر

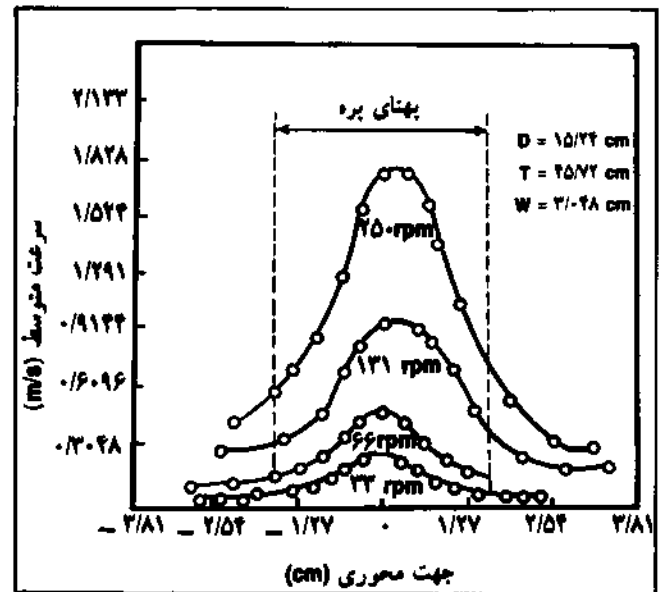
در ناحیه درهم ($N_{Re} > 10^4$) روابط زیر برای توان و جریان برقرار است:

$$P \sim N^3 D^5 \text{ و } Q \sim ND^3$$

که در این رابطه N سرعت چرخش پروانه و D قطر آن است. اگر این روابط ترکیب شوند، ظرفیت پمپاژ (جریان) توسط تناسب زیر به‌بسیار سرعت تولیدی در توان ثابت مرتبط می‌شود [8]:

$$\left(\frac{Q}{H}\right)_P \sim D^{4.5}$$

طبق این رابطه همزنهای بزرگ که در سرعت کم عمل می‌کنند، جریان زیاد و برش (بار سرعت) کم به‌وجود می‌آورند. در حالی که یک همزن کوچک که در سرعت بالا عمل می‌کند، برش بالا و جریان کم تولید می‌کند. در توان ثابت، افزایش جریان کلی با D/T به اندازه بزرگی افزایش جریان القایی پروانه نیست.



شکل ۳ - منحنی سرعت حاصل از چرخش یک توربین صفحه‌ای ۶ پره در مخزنی شامل آب در دورهای مختلف [10].

برای هر همزن یک مقدار بهینه D/T وجود دارد که به‌وسیله آن می‌توان به نتایج مورد نظر دست یافت. در واقع تحت شرایط D/T بهینه برای هر همزن، نسبت مناسبی برای برش و جریان در فرایند مورد نظر برقرار می‌شود. ولی، می‌توان حتی با همزنهایی با قطر گوناگون نیز به نتایج واحدی دست یافت، هر چند که توان مصرفی به‌طور حتم متفاوت خواهد بود.

برای ارزیابی یا طراحی سیستمهای اختلاط ابتدا باید میزان حساسیت آنها را به برش و جریان مشخص کرد. تقریباً ۸۰٪ کاربردهای اختلاط در سیستمهایی است که عامل کنترل کننده آن جریان یا ظرفیت پمپ کردن است. کاربردهایی نظیر امتزاج، تعلیق جامدات و تشدید انتقال گرما در این گروه جای می‌گیرند. ۲۰٪ بقیه کاربردهای اختلاط به‌موردی

اختصاص دارد که در آنها شدت برش تعیین کننده است که به‌رغم سهم ناچیز، از نقطه نظر کیفی اهمیتی بسیار دارد. بیشتر سیستمهای اختلاط در فرایندهای پلیمر شدن در چهارچوب اخیر طبقه‌بندی می‌شوند [8]. ولی عمده کاربردها ترکیبی از این دو را در برمی‌گیرند. در واقع هر فرایند اختلاط به‌مقدار بهینه‌ای از جریان و برش نیازمند است. حتی در فرایند پلیمر شدن تعلیقی که اختلاط به‌وسیله برش کنترل می‌شود، به‌مقدار مشخصی جریان برای عبور دادن قطرات پراکنده شده از ناحیه همزن نیاز است.

جدول ۱ عامل کنترل کننده اختلاط را برای گروههای اختلاط یاد شده و جدول ۲ شاخصهای کنترل کننده اختلاط را در انواع فرایندهای پلیمر شدن نشان می‌دهد. حال با توجه به روشن شدن اهداف و شاخصهای اختلاط، بررسی سیستمهای اختلاط آسان می‌شود.

سیستمهای اختلاط

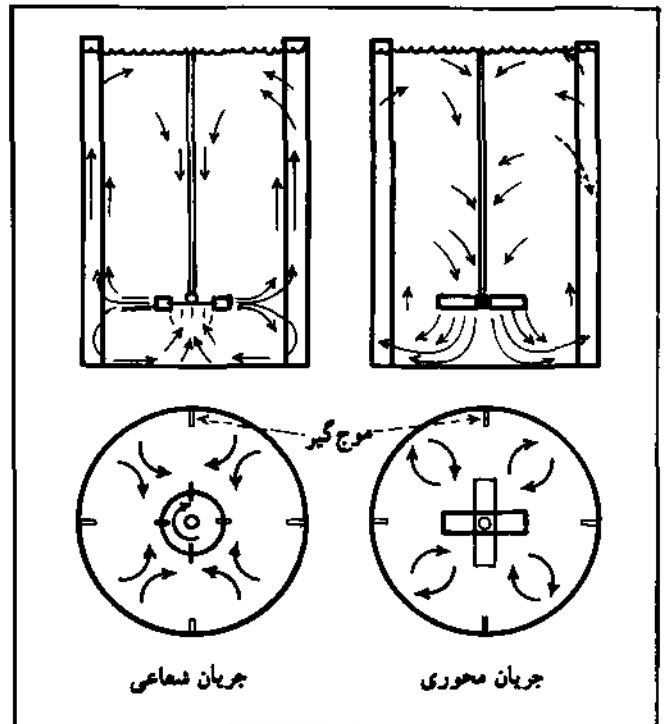
سیستمهای اختلاط را از جنبه‌های گوناگونی می‌توان بررسی کرد. سیال اختلاط و تجهیزات اختلاط دو جزء اصلی سیستمهای اختلاط را تشکیل می‌دهند. سیال اختلاط شامل انواع سیالها و مخلوطهای همگن و ناهمگن است. تجهیزات اختلاط نیز دربرگیرنده تمام مشخصه‌های عملیاتی و ابعادی انواع مخازن اختلاط، همزنها و موج‌گیرها می‌باشد.

- تجهیزات اختلاط

الف - همزنها: پروانه‌ها به دو گروه عمده جریان محوری و جریان شعاعی تقسیم می‌شوند. در نوع اول، جریان ایجاد شده به وسیله همزن موازی با محور پروانه است. در حالی که در نوع دوم، جریان به موازات شعاع ایجاد می‌شود. در پروانه‌های محوری، مواد تنها از راه یک حلقه و موازی با محور همزن انتقال می‌یابند. در حالی که پروانه‌های شعاعی، دو حلقه یکی بالاتر و یکی پایینتر از محل استقرار پروانه ایجاد می‌کنند. در نتیجه ظرفیت پمپ کردن در پروانه‌های شعاعی نسبت به محوری کمتر است [4]. به همین سبب برای سیستمهای اختلاط حساس به جریان، به‌طور عمده از پروانه‌های محوری استفاده می‌کنند. شکل ۴ الگوی جریان را برای دو پروانه توربینی شعاعی و محوری در یک سیستم اختلاط مجهز به موج‌گیر نشان می‌دهد.

پروانه‌های محوری شامل انواع ملخچها (*propellers*) و توربینهای مورب و مارپیچها (*helicals*) می‌باشند. پروانه‌های شعاعی، انواع توربینهای تخت، صفحه‌ای و تیغه منحنی و همچنین باروییها و لنگریها را در برمی‌گیرند. پروانه‌های ملخی نسبت به سایر پروانه‌های هم قطر در سرعت برابر، توان کمتری مصرف می‌کنند. بنابراین، در مقایسه با سایر پروانه‌ها، پروانه‌های ملخی برای رسیدن به یک توان و ظرفیت پمپ کردن مورد نظر باید در سرعتهای بالاتری عمل کنند. این پروانه‌ها برای سیالهایی با گرانروی کم مورد استفاده دارند.

توربینها در توان مشابه، برش بیشتر و جریان کمتری نسبت به پروانه‌های ملخی تولید می‌کنند. این همزنها به واسطه شدت برش بالا در سیستمهای ناهمگن به کار می‌روند [7].



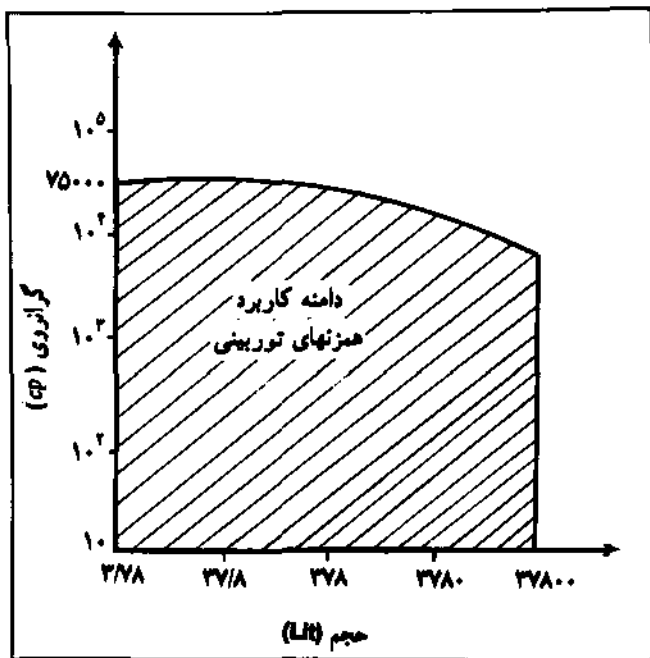
شکل ۴ - الگوی جریان ایجاد شده توسط همزنهای محوری و شعاعی [8].

علت عمومیت همزنهای توربینی در فرایندهای شیمیایی این است که تقریباً در اکثر موارد کارایی دارند و دامنه وسیعی از گرانشی را می‌پوشانند. علاوه بر این، قیمت این همزنها در مقایسه با سایر همزنها بسیار کمتر است که با افزایش ظرفیت راکتورها و در نتیجه همزنها، اختلاف قیمت قابل توجه می‌شود.

شکل ۵ کارایی هریک از انواع همزنهای توربینی را در دامنه وسیعی از گرانشی نشان می‌دهد. پروانه‌های توربینی بالاترین دامنه کاربرد را در میان انواع همزنها در اختیار دارند. همزنها از تنوع گسترده‌ای برخوردارند که شکل و عملکرد آنها در بیشتر متنها مربوط به اختلاف آمده است [6, 8, 11].

همزنهایی که با فاصله کمی از دیواره مخزن قرار می‌گیرند، مانند همزنهای لنگری و ماریجی، برای اختلاط سیالهای بسیار گرانشی به کار می‌روند که در آنها کنترل دما بسیار مهم است. چون پروانه‌های باز مانند توربینها و ملخها قادر به ایجاد حرکت مناسب در کل حجم راکتور، به ویژه دیواره آن، نیستند، برای این گونه کاربردها کارایی ندارند. با وجود این امکان کاربرد آنها، به ویژه نوع توربینی، در سیالهای با گرانشی پایینتر وجود دارد. با افزایش گرانشی، الگوی جریان یک پروانه توربینی محوری از شکل محوری به شعاعی گرایش پیدا می‌کند. در این شرایط،

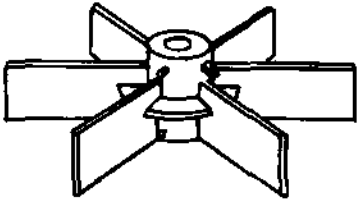
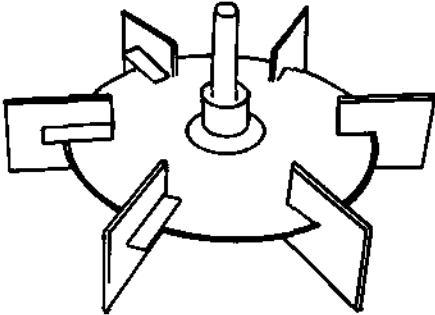
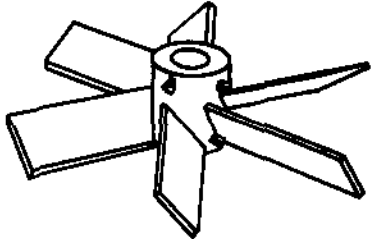

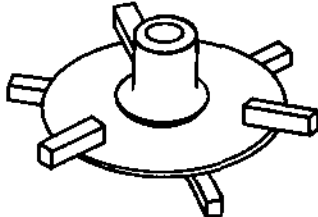
کل جریان گردش به شدت کاهش می‌یابد و از این رو، باید از همزنهای با فاصله نزدیک لنگری و حلقه‌ای استفاده کرد. این همزنها معمولاً $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{5}$ توان مصرفی پروانه‌های توربینی را برای ایجاد جریان گردش یکسان مصرف می‌کنند [13]. پروانه‌های شعاعی می‌توانند باز یا در مرکز خود شامل یک صفحه باشند. تیغه‌های آنها نیز می‌تواند تخت، محدب یا مقعر باشد. پروانه‌های شعاعی نوع باز (بدون صفحه) واقعاً در جهت شعاعی پمپ نمی‌کنند، بلکه بیشتر جریان را به سمت بالا و پایین هدایت می‌کنند. پروانه‌های صفحه‌ای تمایل بیشتری به رانش شعاعی سیال دارند. به همین دلیل نیز پروانه‌های صفحه‌ای توان بیشتری نسبت به پروانه‌های باز جذب می‌کنند. پروانه‌های شعاعی برای توزیع گاز در مایع که طی آن مانع از خروج حباب گاز از مرکز پروانه می‌شوند مناسبند. انواع و برخی از مهمترین ویژگیهای همزنهای توربینی در جدول ۳ آمده است.



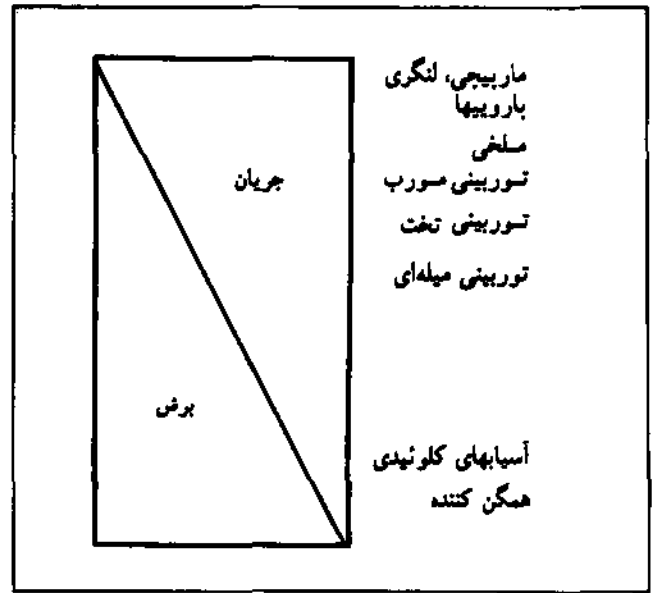
شکل ۵ - دامنه کاربرد همزنهای توربینی برحسب گرانشی و حجم مخزن اختلاف [9].

اگرچه جریان رانش (در مقابل جریان کل) یک پروانه محوری در کاربردهای حساس به جریان چندان اهمیت ندارد، این امر در مورد توربینهای شعاعی در کاربردهای حساس به برش صادق نیست. در مورد توربینهای شعاعی، جریان رانش پروانه تولید برش می‌کند و جریان گردش (کل) سیال را به نقطه برش باز می‌گرداند.

در حقیقت برش نسبتاً کمی در جریان خروجی از پروانه‌های محوری به وجود می‌آید. جریان خروجی از این پروانهها تقریباً در تمامی نقاط دارای سرعت ثابتی است. عملکرد توربینهای شعاعی کاملاً متفاوت است. هریک از تیغه‌های پروانه تولید یک جت (Jet) می‌کند. با حرکت

شکل	توضیحات	نام پروانه توربینی
	<p>- در این نوع توربینها بار سرعت ایجاد شده مستقل از مسیر گردش و شدت بلمب کردن است.</p> <p>- به واسطه شدت برش بالا این پروانه‌ها در سیستمهای ناهمگن گاز - مایع و مایع به کار می‌روند.</p> <p>- معمولترین نوع پروانه‌های توربینی است.</p> <p>- دارای جریان خروجی تقریباً شعاعی و مکش فوقانی و تحتانی است.</p> <p>- تا گرانرویهای متوسط کارایی مناسبی دارد.</p> <p>- توان مصرفی آن در رینولدز بالا مستقل از گرانروی است.</p>	تپغه تخت
	<p>- این توربین دارای یک صفحه و بره‌های تخت است و معمولاً به نام توربین راشتون (Rushon) نیز نامیده می‌شود.</p> <p>- عملکردی مشابه بانوع تخت دارد با این تفاوت که جریان تولیدی آن کاملاً شعاعی است.</p> <p>- به علت ممانعتی که برای عبور گازها از درون خود فراهم می‌کند، برای سیستمهای گاز - مایع مناسب است.</p> <p>- در بالاتر از گرانروی ۲۰ هزار سانتی پواز کارایی ندارد.</p> <p>- توان مصرفی آن نسبت به نوع توربینی تخت کمتر است.</p>	تپغه صفحه‌ای
	<p>- تپغه‌های توربین مسورب دارای زوایای ۹۰° - ۰° و معمولاً ۴۵° می‌باشند.</p> <p>- این نوع پروانه‌ها جریان محوری تولید می‌کنند و در مواردی مفیدند که موج گیرها غیر عملی باشد.</p> <p>- به طور عمده برای سیستمهای حساس به جریان نظیر امتزاج به کار می‌رود.</p> <p>- کارایی آن در تعلیق جامدات بسیار بالاست.</p> <p>- در گرانرویهای بالا در مقایسه با سایر توربینها ظرفیت بلمب کردن آن کمتر کاهش می‌یابد و از این رو مناسبتر است.</p>	تپغه مورب
	<p>- تپغه‌های این توربین انحنا دارد.</p> <p>- می‌تواند از نوع باز یا صفحه‌ای باشد.</p> <p>- نسبت به توربینهای تخت برش کمتری ایجاد کرده و توان کمتری نیز مصرف می‌کنند.</p> <p>- برای تعلیق مواد یا بلورهای شکننده بسیار مناسب است.</p>	تپغه منحنی (محدب یا مقعر)
	<p>- عرض و ارتفاع بره $\frac{1}{4}$ قطر همزن است و بالاترین برش را در میان انواع توربینها ایجاد می‌کند.</p> <p>- در سرعتهای بالا قابل استفاده است و برای سیستمهای مایع - مایع کارایی مناسبی دارد.</p>	میل‌های

پروانه، نیروی گریز از مرکز، سیال روپرووی تیغه را در مسیر شعاعی به حرکت وامی دارد. سیالی که از روپرووی تیغه رانده می شود، دارای سرعتی برابر با سرعت مماسی (Peripheral) پروانه است. اجزای سرعت شعاعی و مماسی، جریانی را به شکل جت توسط توربین به وجود می آورند [9]. شکل ۶ ارتباط بین برش و جریان را برای انواع همزنها نشان می دهد. در قسمت بالای شکل پروانههایی قرار دارند که مانند انواع باروییها جریان زیاد و برش کم تولید می کنند. این همزنها برای گرانروی زیاد و دوغابهای (slurry) غیر نیوتنی مناسبند. پروانههای توربینی به ویژه نوع میلهای که در پایین شکل قرار دارد، جریان کم و برش زیاد ایجاد می کنند.



شکل ۶ - میزان برش و جریان تولیدی انواع پروانهها [8].

نوع و عملکرد همزنهای مورد استفاده در انواع فرایندهای پلیمر شدن عبارتند از: جرمی: در فرایند پلیمر شدن جرمی به واسطه آنکه گرانروی محصول بسیار زیاد است، از پروانههایی با فاصله کم از سطوح دیواره (close-clearance)، مانند لنگریها یا ماریجیها استفاده می شود. گرانروی این نوع فرایندها بسته به وزن مولکولی و درصد تبدیل محصول از ۵۰,۰۰۰ cp متجاوز است. استفاده از پروانههای یاد شده موجب بکخواختی دما در مخزن می شود و احتمال به وجود آمدن نقاط داغ (hotspot) را از بین می برد. به واسطه استفاده از پروانههای نزدیک به دیواره راکتور، استفاده از وسایل انتقال گرمای داخلی مانند ماریجیها (coils) امکان پذیر نیست. از آنجا که پلیمر شدن جرمی بسیار گرماده است، سرعت انتقال حرارت از راکتور بسیار اهمیت دارد. پروانههای نزدیک به دیواره به واسطه تولید جریان بیشتر، انتقال گرمای بهتری را نسبت به نوع باز برای فرایند پلیمر شدن جرمی فراهم می کنند. پروانههای ماریجی حرکت محوری بیشتری

نسبت به همزنهای لنگری به وجود می آورند. این مسئله در شرایطی که ماده ای با گرانروی کم به راکتور پلیمر شدن جرمی اضافه می شود، اهمیت پیدا می کند. زیرا، امکان تشکیل یک فیلم روغنی با گرانروی کم در فصل مشترک سطح راکتور و پلیمر و در نتیجه چرخش تسوده پلیمری درون راکتور در مسیری شعاعی وجود دارد. افزایش مواد با گرانروی کم باید در نزدیکی محور پروانه صورت گیرد تا قبل از آنکه این مواد به سمت دیواره راکتور رانده شوند امکان اختلاط آن با توده پلیمری فراهم گردد.

امکان استفاده از همزنهای توربینی تا گرانروی ۷۵۰۰۰ cp در پلیمر شدن جرمی وجود دارد. هر چند که دامنه کاربرد مسوثر آنها تا ۱۰۰,۰۰۰ cp نیز گسترش می یابد [14]. در فراتر از این گرانروی و تا مرز ۱۰^۶ cp فقط از همزنهای ماریجی و لنگری استفاده می شود. سرعت چرخش این گونه همزنها پایین است، در نتیجه اختلاط در ناحیه آرام صورت می گیرد و مایع گرانرو در مسیری ماریجی به حرکت در می آید. استفاده از راکتورهای مجهز به همزن برای سیالهایی با گرانروی بالا عملی نیست و به جای آن از انواع راکتورهای دارای دو ماریجی (double screw) و سایر تجهیزاتی که نیروی برشی زیاد ایجاد می کنند، معمولی دارند، ولی در طراحی آنها تمهیدات لازم برای زمان اقامت طولانی و همچنین خارج ساختن بخارهای مونومر پیش بینی شده است. این دستگاهها برای پلیمر شدنهایی که گرمای زیادی به اکسترودرهای معمولی دارند، ولی در طراحی آنها تمهیدات لازم برای زمان اقامت طولانی و همچنین خارج ساختن بخارهای مونومر پیش بینی شده است. این دستگاهها برای پلیمر شدنهایی که گرمای زیادی آزاد می کنند کارایی ندارند، و از این رو بیشتر برای پلیمر شدن تراکمی که گرمای کمتری تولید می کنند قابل استفاده اند. این تجهیزات در حکم راکتورهای تویپی ایده آل عمل می کنند و به خوبی در فرایندهای پلیمر شدن پیوسته قابلیت کاربرد دارند. این دستگاهها تا گرانروی ۵,۰۰۰,۰۰۰ cp کارایی دارند [15].

محلول: در فرایند پلیمر شدن محلول هر دو نوع پروانههای با فاصله نزدیک و باز می توانند مورد استفاده قرار گیرند. گرانروی در این فرایند در مقایسه با نوع جرمی به واسطه وجود حلال در مخلوط و اکنتش بسیار کمتر است و به ندرت از ۵۰۰,۰۰۰ cp تجاوز می کند. نوع همزنهای مورد استفاده در فرایند پلیمر شدن محلول و دامنه کاربرد آنها بسیار شبیه به نوع جرمی است.

تعلیقی: در فرایند پلیمر شدن تعلیقی منحصراً از پروانههای توربینی تخت یا مورب استفاده می شود. همان گونه که اشاره شد نوع اول برای ایجاد برش در ابتدای مرحله پراکندگی مایع - مایع کارایی دارد. در حالی که نوع مورب، تعلیق مناسبتری را برای ذرات جامد پلیمر به وجود آورده، سرعت انتقال گرمای بیشتری را برای جذب گرمای واکنتش فراهم می کند. کاربرد پروانههای توربینی تخت در فرایند پلیمر شدن تعلیقی متداولتر است. ولی انتخاب همزن، نتیجه بهینه سازی دو عامل تعلیق و پراکندگی است.

امولسیون: در فرایند پلیمر شدن امولسیون که گرانروی آن در محدوده ۵۰ cp تا ۵۰۰۰ قرار دارد، به طور عمده از پروانههای توربینی با برش کم

استفاده می‌شود. همزن نقش به حداقل رسانیدن گرا دیان غلظت و دما در مخزن و توزیع آبی افزودنیها به تمام نواحی مخزن را عهده دار است. بنابراین، علاوه بر جریان باید برش مناسبی نیز ایجاد کند. برشی که به وسیله پروانه ایجاد می‌شود برای توزیع مناسب ذرات و سرعت بخشیدن به واکنش ضروری است. با وجود این تمام امولسیونها از نظر میزان نیاز به شدت برش با یکدیگر مشابه نیستند.

پروانه‌های باز در فرایند پلیمر شدن امولسیون به کار می‌روند که به طور عمده پروانه توربینی شعاعی و محوری و پروانه‌های ملخی (در راکتورهای کوچک) می‌باشند. توربینهای شعاعی با تیغه کم عرض برای مواردی که برش زیاد و جریان کم مورد نیاز است، به کار می‌روند. در مواردی که برش کمی مورد نیاز باشد، از همزنهای بزرگ و با سرعت کم استفاده می‌شود که امکان دلمه شدن امولسیون را از بین می‌برد.

بنابر آنچه که گذشت، مهمترین و معمولترین نوع پروانه‌ای که در فرایندهای پلیمر شدن به کار می‌رود، پروانه توربینی است [16]. از این رو، در مقاله حاضر به بررسی این نوع پروانه‌ها بسنده می‌شود.

بدمخزنها: اگر یک پروانه حول یک محور عمودی در یک مخزن استوانه‌ای بچرخد، مایع شروع به چرخش می‌کند. این جریان گردابی می‌تواند به سطح مایع برسد و باعث ورود هوا یا گاز به درون مایع گردد. این امر بسیار نامطلوب است. زیرا علاوه بر کاهش بازده اختلاط، تنش مکانیکی زیادی در محور پروانه و سایر اجزای آن ایجاد می‌کند و باعث فرسودگی همزن می‌شود. حتی اگر سطح گرداب به گونه‌ای باشد که هوا به درون مایع نفوذ نکند، باز هم جریان چرخشی ناشی کاهنده در بازده اختلاط دارد. در این شرایط اختلاط محوری وجود ندارد و هرگونه جامد موجود در مخلوط نه‌نشین می‌شود. در سیستمهای شامل سیالهای امتزاج‌ناپذیر نیز این پدیده به جدا شدن فازها منجر می‌گردد. از این رو، بیشتر مخزنهای استوانه‌ای برای اختلاط مناسب به موج‌گیر نیاز دارند.

نقش موج‌گیرها این است که بخشی از انرژی چرخشی را به حرکت محوری تبدیل می‌کند. ترکیب جریان محوری ایجاد شده با جریان شعاعی، اختلاط لازم را فراهم می‌آورد.

موج‌گیرهای دیواری عمودی معمولترین نوع موج‌گیرها می‌باشند. در مخزنهای کوچک با قطر کمتر از یک متر، سه موج‌گیر با فاصله مساوی کفایت می‌کند، در حالی که برای مخزنهای بزرگتر استفاده از چهار موج‌گیر با فاصله مساوی معمول است [7]. می‌توان از تعداد موج‌گیرهای کمتری نیز استفاده کرد مشروط بر اینکه کل سطح موج‌گیرها برابر با سطح 4 موج‌گیر استاندارد باشد [18]، ولی در مخزنهای بسیار بزرگ استفاده از تعداد بیشتری موج‌گیر ضروری است [17]. موج‌گیرهای استاندارد پهنا $\frac{T}{12}$ تا $\frac{T}{10}$ دارند [3]. موج‌گیرهای بهتر اگرچه اختلاط محوری بیشتری ایجاد می‌کنند، ممکن است باعث سرکوب جریان از راه کاهش جریان جرمی و حرکت چرخشی شوند. کاربرد تعداد کمتری موج‌گیر یا موج‌گیرهایی با پهناي کمتر، جریان گردابی بیشتری را در

سیستم اختلاط باقی می‌گذارد و در نتیجه توان کششی همزن را کاهش می‌دهد. بنابراین انرژی قابل انتقال به سیستم اختلاط نیز کاهش خواهد یافت. ضخامت موج‌گیرها نیز به عنوان یک قاعده عمومی باید مشابه ضخامت همزن باشد (ولی نه کمتر از $0.625cm$) [4]. برای جلوگیری از ایجاد فضای مرده، باید بین موج‌گیر و دیواره مخزن فاصله‌ای در نظر گرفت. این فاصله از $1/10$ تا $1/15$ پهناي موج‌گیر متغیر است. ولی، برای راکتورهای صنعتی حداقل $2.54cm$ و حداکثر $7.62cm$ گزارش شده است [18].

در مخزنهای چهارگوش هر کدام از گوشه‌ها در نقش یک موج‌گیر عمل می‌کند و از این رو به موج‌گیر نیازی نیست. قرار دادن پروانه در خارج از مرکز مخزن استوانه‌ای نیز جریان گردابی را از بین می‌برد [7]. برای مخزنهای با کف تخت فاصله انتهایی موج‌گیر از کف مخزن باید نصف پهناي موج‌گیر باشد. برای مخزنهای با کف مقعر معمولاً موج‌گیر تا آغاز انحناي کف مخزن خاتمه می‌یابد. با وجود این، قسمت انتهایی موج‌گیر باید از سطح محل قرار گرفتن پروانه توربینی پایینتر باشد. اگر پروانه توربینی در قسمت بسیار پایینی قرار گیرد، لازم است که موج‌گیرها نیز تا سطحی پایینتر از آن ادامه یابند [18]. موج‌گیرهایی که انتهای آنها تا کف مخزن ادامه نیابد، امکان چرخش سیال را در کف مخزن بدون ایجاد جریان گردابی در سطح سیال فراهم می‌آورد. جریان چرخشی در کف مخزن منجر به ته‌نشین شدن ذرات جامد شناور می‌گردد. برعکس هنگامی که موج‌گیر از کف مخزن تا پایینتر از سطح سیال ادامه یابد، مقداری حرکت چرخشی و گردابی در سطح آزاد سیال به وجود می‌آید. در این شرایط کفهای به وجود آمده یا مواد جامد یا مایع اضافه شده به سرعت به محل پروانه نزدیک و مخلوط می‌شوند [11].

جدول دیگری از شرایط استاندارد موج‌گیر در اینجا ارائه می‌شود (جدول 4). این شرایط استاندارد برای مخزنهایی کاملاً مجهز به موج‌گیر (fully baffled) با کف نسبتاً تخت می‌باشد.

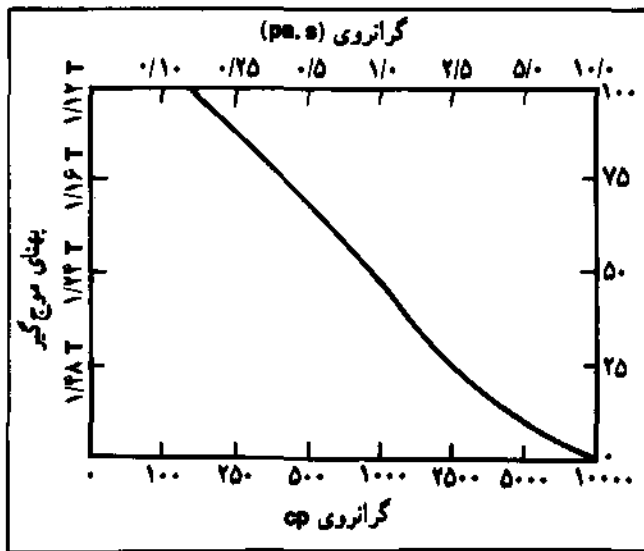
با افزایش گرانروی نیاز به موج‌گیر رفع می‌شود. زیرا نیروهای گرانروی موجود در مایع و بین مایع و مخزن دقیقاً همان اثری را دارند که

جدول 4 - شرایط استاندارد موج‌گیر بر حسب گرانروی [19].

گرانروی * (cp)	پهنای موج‌گیر	فاصله موج‌گیر از کف مخزن
< 500	T/12	T/2
500 - 5000	T/12	T/2
5000 - 10,000	T/8	حداقل 2/Acm
10,000 - 20,000	T/4	حداقل 6/30cm
> 20,000	بدون موج‌گیر	

* بر طبق منبع [19] حداکثر گرانروی مجاز برای استفاده از موج‌گیرها 20,000 cp است.

شوند. اغتشاش بیشتری ایجاد می‌کنند. در مخزن نهایی که مجهز به ماریجهای حرارتی می‌باشند، در صورتی که ماریجها آن قدر پهن باشند که بتوانند نقش هدایت جریان را به عهده بگیرند، موج گیرها ضرورت وجودی ندارد [8].



شکل ۷ - رابطه بین پهنای موج گیر و گراتروی [25].







موج گیرهای قابل حرکت نیز از جمله موج گیرهای ویژه اند. این نوع موج گیرها مناسب سیستمهای اختلاطی می‌باشند که برای سیالات با گراترویهای مختلف کاربرد دارند. زیرا می‌توان به هنگام اختلاط سیالات گراترو، این موج گیرها را خارج کرد [18]. استفاده از موج گیرهای متحرک که از قسمت فوقانی مخزن معلق می‌شوند، دامنه کاربرد سیستم اختلاط را گسترش می‌دهد. این نوع موج گیرها می‌توانند در ابتدای پلیمر شدن جرمی و محلول مورد استفاده قرار گیرند و سپس با افزایش گراتروی از مخلوط در حال واکنش خارج شوند. مزیت دیگر این گونه موج گیرها این است که با عبور دادن ماده‌ای سرد از درون آن، می‌توان از آن به عنوان وسیله انتقال گرما نیز استفاده کرد. در شکل ۹ یکی از راکتورهای نشان داده شده است که مجهز به موج گیر سرمایه‌اشی است و برای انواع پلیمر شدن‌ها از جمله امولسیون و تعلیقی به کار می‌رود [21].

یکی دیگر از موج گیرهای ویژه، موج گیر انگشتی (finger) است. استفاده از این نوع موج گیر در پلیمر شدن ناهمگن تعلیقی و امولسیون بسیار معمول است. دو نوع موج گیر انگشتی وجود دارد: یکی موج گیرهای منحرف کننده به سمت بالا (upward deflecting) و دیگری منحرف کننده به سمت پایین (downward deflecting). هر کدام از این موج گیرها کاربرد خاص خود را دارند. این موج گیرها می‌توانند دارای ۲ یا تعداد بیشتری زائده انگشتی باشند. برای امتزاج و اختلاطهای ساده مانند انتقال گرما و تعلیق جامدات، موج گیرهای منحرف کننده به سمت بالا به کار می‌رود که نزدیک به همزن قرار می‌گیرند. در مورد امولسیون، معمول است که یک

موج گیر در سیالهای با گراتروی کم پدید می‌آورد. بنابراین، برای پلیمر شدن جرمی و محلول که با پیشرفت واکنش گراتروی به سرعت افزایش می‌یابد و بخش عمده واکنش در ناحیه گراتروی زیاد رخ می‌دهد، موج گیر توصیه نمی‌شود [20]. با وجود این به علت سرعت چرخشی زیادی که در غیاب موج گیرها تولید می‌شود می‌توان از موج گیرهای کوچک استفاده کرد [8].

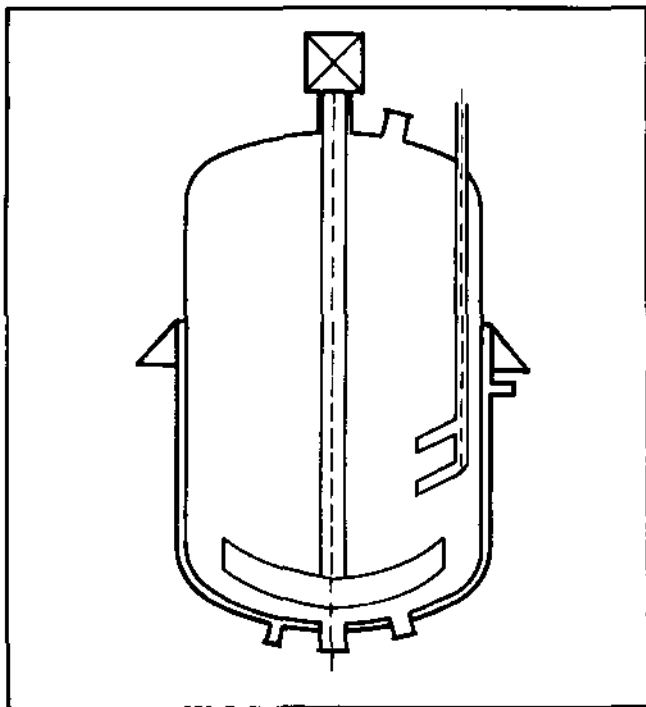
برای گراترویهای کم تا ۵۰۰۰ cp و حتی در صورت لزوم تا ۳۰۰۰۰ cp از موج گیرهای با پهنای استاندارد استفاده می‌شود. با این همه تجربه نشان داده است که پهنای موج گیرها باید از گراتروی ۵۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ cp به تدریج کاهش یابد و در گراترویهای بالاتر از ۱۲۰۰۰ cp در عمل باید از سیستم اختلاط حذف شود [18]. شکل ۷ رابطه دیگری بین پهنای موج گیر و گراتروی را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل برای گراترویهای بیش از ۱۰۰۰۰ cp استفاده از موج گیر ضرورتی ندارد. با افزایش گراتروی از ۵۰۰۰ cp، علاوه بر کاهش پهنای موج گیر باید فاصله بیشتری بین موج گیر و دیواره برقرار گردد. توصیه‌های عمومی بر اساس اطلاعات گزارش شده در شکل ۸ ترسیم شده است [14]. در این نمودار دامنه‌ای از گراتروی و حجم راکتور که در آن استفاده از موج گیرهای استاندارد توصیه شده، آمده است. بر طبق این نمودار استفاده از موج گیر برای مخزنهای اختلاط کوچکتر از ۳۷۸ لیتر و گراترویهای بیشتر از ۲۵۰۰ cp توصیه نمی‌شود. در مخزنهای بزرگتر از ۳۷۸ لیتر، حداکثر گراتروی مجاز برای استفاده از موج گیرهای استاندارد ۵۰۰۰ cp گزارش شده است. موج گیرهای ماریجی، در مجاورت همزنهای توربینی به طور مؤثری عمل می‌کنند. این موج گیرها به صورت ماریجی روی دیواره مخزن اختلاط نصب می‌شوند. شیب این موج گیرها قابل تنظیم است. این موج گیرها نه تنها مانع ایجاد جریان گردابی به وسیله پروانه‌های توربینی و شماعی می‌شوند، بلکه از راه برخورد سیال به آنها نیروی برشی نیز ایجاد می‌کنند. تعداد موج گیرهای ماریجی می‌تواند حداکثر برابر با تعداد تیغه‌های پروانه‌های توربینی باشد. شیب این موج گیرها می‌تواند به گونه‌ای تنظیم شود که برای تعلیق جامدات جریانی به سمت بالا و برای پراکنده ساختن سیستمهای گاز-مایع و مایع-مایع جریانی به سمت پایین ایجاد کند [7].

در مورد سیالات غیرنیوتنی شبه پلاستیک که معمولترین رفتار سیالات را در فرایندهای پلیمر شدن نشان می‌دهند، نصب موج گیرها با اندکی تفاوت صورت می‌گیرد. چون در این سیالات گراتروی در پیرامون پروانه کمتر از گراتروی در نقاط ساکن (نزدیک دیواره مخزن) است، بنابراین موج گیرها تمایل به سکون را در این نواحی افزایش می‌دهند و از این رو باید از پهنای آنها کاسته شود. در عین حال رعایت حداقل فاصله ۱/۲ پهنای موج گیر از دیواره ضروری است [8]. هر گونه مانعی که در محور چرخش پروانه منظور شود، مانند موج گیر عمل می‌کند. از جمله این موج گیرها می‌توان به ماریجهای حرارتی و گرماسنج اشاره کرد. هر قدر ماریجها نزدیکتر به دیواره نصب

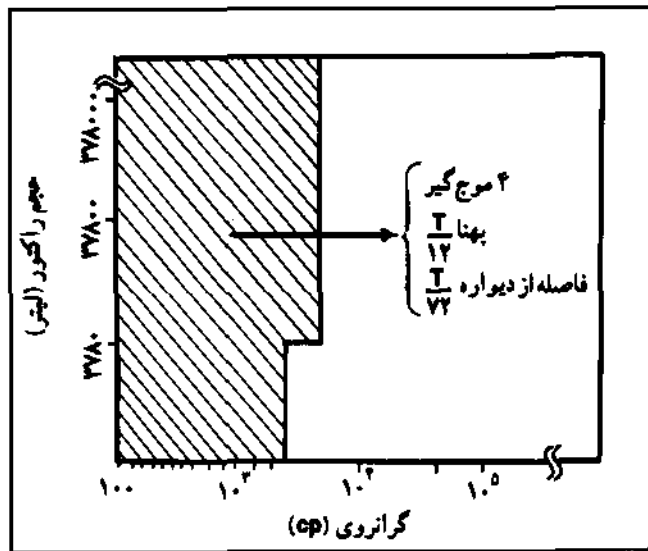
اختلاط	انتقال حرارت	کنترل کف
		
تعلیقی	امولسیون	جذب گازی
		

شکل ۱۰ - طراحی موج گیرهای انگشتی در انواع سیستمهای اختلاط [16].

مخزنهای اختلاط عموماً به شکل استوانه‌ای ساخته می‌شوند. در مخزنهای چهارگوش نیاز به موج گیر کمتر است و توان مصرفی این مخزنها به مراتب کمتر از مخزنهای استوانه‌ای بدون موج گیر است [20]. کف این مخزنها می‌تواند صاف یا مقعر باشد. هر چه از انحنا کف مخزن کاسته شود، سطح خارجی مخزن به ازای واحد حجم افزایش می‌یابد. از این رو، در سیستمهایی که به وسیله انتقال گرما کنترل می‌شوند این انحنا نباید زیاد باشد.



شکل ۱۱ - طراحی از یک راکتور پلیمر شدن تعلیقی مجهز به موج گیر انگشتی منحرف کننده به سمت پایین [24].

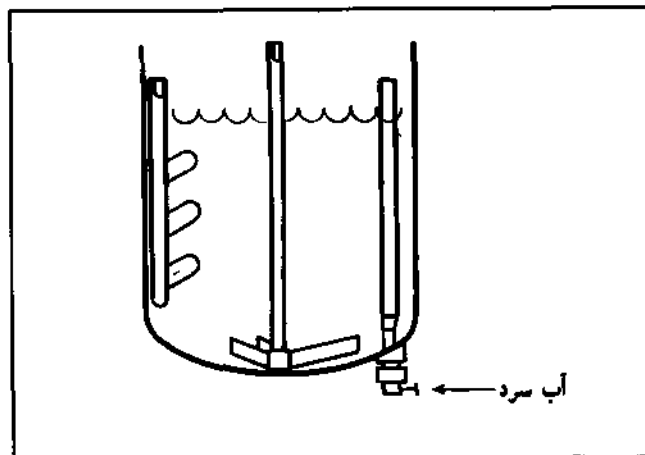


شکل ۸ - ناحیه کاربرد موج گیر بر حسب گرانروی و حجم راکتور.

موج گیر منحرف کننده به سمت پایین را در سطح تماس ابتدایی دو مایع قرار می‌دهند. این موج گیرها برای کاهش نوسانات سطح و کنترل کف نیز به کار می‌روند. شکل ۱۰ به طور اجمالی کاربرد این نوع موج گیرها را نشان می‌دهد.

چون پلیمر شدن تعلیقی در ابتدای کار مستلزم پراکنده ساختن دو فاز مایع در یکدیگر است، از این رو موج گیرهای انگشتی منحرف کننده به سمت پایین نیز برای پلیمر شدن تعلیقی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع موج گیرها، عموماً با پروانه‌های تیغه منحنی (pfaudler) به کار برده می‌شوند. شکل ۱۱ تصویری از یک راکتور مجهز به موج گیر انگشتی منحرف کننده به سمت پایین را نشان می‌دهد که برای پلیمر شدن تعلیقی کاربرد دارد.

یکی دیگر از ویژگیهای مخزنهای اختلاط شکل آنهاست.



شکل ۹ - کاربرد هادیچ سرمایشی در راکتورهای پلیمر شدن تعلیقی و امولسیون [21].

آماده شده بین ۰/۷۰ - ۰/۵۰ گزارش شده است. معمولاً برای توربینهای محوری این عدد بین ۰/۳۰ تا ۰/۲۵ است [21]. یک پروانه توربینی تخت با $\frac{D}{T}$ برابر ۰/۲ برای بسیاری از سیستمهای مایع - مایع و گاز - مایع کارایی دارد، در حالی که یک پروانه توربینی مورب با $\frac{D}{T}$ برابر ۰/۶۶ برای امتزاج سیالات گرانبه و غیر نیوتونی بسیار مناسب است [6]. ویر توصیه می کند که برای مخزنهایی با قطر ۹۱/۵ cm یا کمتر (مخزنهای با حجم کمتر از ۷۵۶ لیتر)، نسبت $\frac{D}{T}$ می تواند از $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{4}$ متغیر باشد. برای مخزنهایی با قطر بیشتر از ۹۱/۵ cm این نسبت از $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{4}$ تغییر می کند. برای هر دو ظرفیت، $\frac{D}{T}$ زیاد برای سیالات بسیار گرانبه توصیه شده است [7].

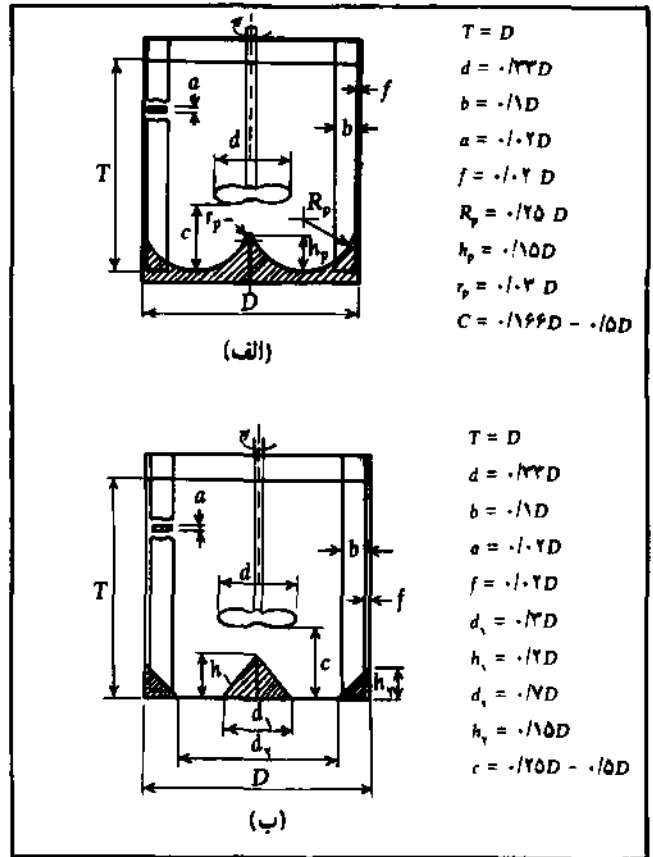
شکل ۱۳ نسبت $\frac{D}{T}$ مناسب که از منابع پراکنده ای جمع آوری شده است را برای انواع گروههای اختلاط نشان می دهد. با توجه به نوع اختلاط کنترل کننده در هر واکنش، و از جمله پلیمر شدن، می توان با استفاده از این شکل به یک تقریب اولیه برای $\frac{D}{T}$ دست یافت.

نوع سیستم	گروههای اختلاط	D/T	Z/T
ناهمگن	مایع - جامد؛ و انحلال	۰.۱۹-۰.۱۸-۰.۱۷-۰.۱۶-۰.۱۵-۰.۱۴-۰.۱۳-۰.۱۲-۰.۱۱	۰.۲-۰.۲۲-۰.۲۴-۰.۲۶-۰.۲۸-۰.۳
ناهمگن	مایع - گاز؛ الف پراکنده و جذب		
ناهمگن	مایع - مایع؛ پراکنده و استخراج		
همگن	مایعات؛ امتزاج الف و ب و واکنش		
همگن و ناهمگن	حرکت سیال؛ بمباز و انتقال گرما		

شکل ۱۳ - نسبت مناسب D/T و Z/T برای انواع گروههای اختلاط.

الف) Z/T محدودیتی ندارد، (ب) ناحیه D/T معادل با ۰/۲۴ به بالا و Z/T بین ۰/۱۵ تا ۱ مخصوص سیالات بسیار گرانبه است.

نسبت ارتفاع به قطر مخزن، $\frac{D}{T}$ نیز برای هر فرایند اختلاط خاص، باید طراحی گردد. در تمام فرایندهای پلیمر شدن به عنوان اولین تقریب نسبت $\frac{D}{T}$ برابر ۱/۵ و تعداد دو پروانه توصیه شده است [14]. در سیستمهای اختلاطی که به وسیله جریان کنترل می شوند، مانند امتزاج یا پلیمر شدن همگن، استفاده از مخزنهایی با قطر بزرگتر ($\frac{D}{T}$ کمتر) و در نتیجه قطر همزن بیشتر، جریان گردشی را افزایش می دهد. در پراکنده ساختن مایع - مایع برای آنکه پروانه بتواند بر نیروی وزن غلبه کند و فاز سبکتر را به کف مخزن بکشانند، ارتفاع مخزن را کوتاهتر اختیار می کنند. در تعلیق جامدات نیز برای غلبه بر سرعت ته نشینی مواد جامد و دستیابی به بهترین تعلیق، باید از ارتفاع مخزن کاست و به قطر آن افزود. در نتیجه



شکل ۱۲ - تصویرهایی (الف و ب) از کف مخزنهای اختلاط [22].

در مخزنهای کف صاف توان مصرفی نسبت به مخزنهای با کف مقعر بیشتر است. معمولاً برای سیستمهای همگن و حتی مایع - مایع از مخزنهایی با کف مقعر استفاده می شود. با وجود این در تعلیق جامدات برای جلوگیری از ایجاد فضای مرده و در نتیجه تعلیق مناسب جامدات، مخزنهایی مشابه شکل ۱۲ توصیه می شود. مخزن نوع الف این شکل علی رغم برتری بر نوع ب به علت مشکل ساخت کمتر مورد استقبال قرار گرفته است. گزارش شده است که نوع ب تا ۱۳۰ درصد کارایی تعلیق جامدات را افزایش می دهد [22, 23].

ج. ابعاد: ابعاد همزن نیز مشابه با نوع همزن تابع شرایط فرایند اختلاط مورد نظر است. هر چه ابعاد همزن بزرگتر باشد، جریان حاصل از آن نیز بیشتر می شود. اگر چه میزان برش نیز با افزایش قطر پروانه زیاد می شود، ولی نسبت برش به جریان با افزایش قطر، کاهش می یابد.

همزنهای لنگری و مارپیچی که در پلیمر شدنهای جرمی و محلول یا در امتزاج سیالات بسیار گرانبه به کار می روند، دارای $\frac{D}{T}$ برابر با ۰/۹۵ می باشند [3]. اگر در پلیمر شدن تعلیقی و امولسیون برش زیاد مورد نیاز باشد، مقدار $\frac{D}{T}$ به ۰/۲۵ تا ۰/۳۰ کاهش داده می شود. ولی در مقابل دور همزن افزایش داده می شود [8]. $\frac{D}{T}$ برای توربینهای یا تیغه‌های

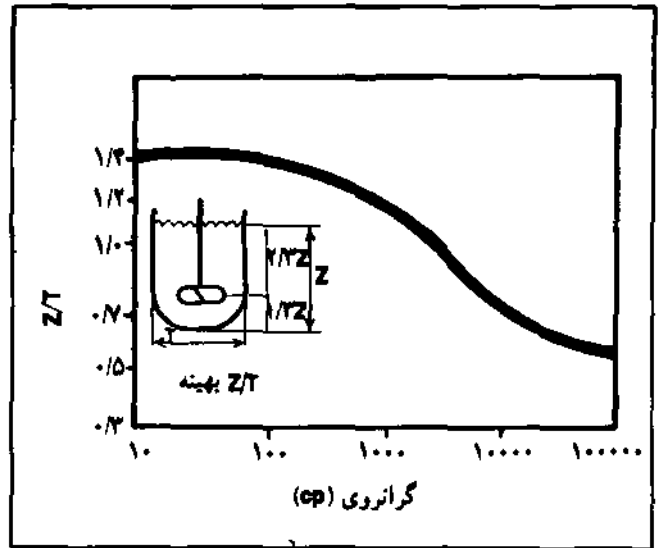
با افزایش قطر همزن می‌توان به جریان گردشی بیشتری برای تعلیق مواد جامد دست یافت.

افزایش قطر مخزن و قطر همزن علاوه بر شدت بخشیدن به جریان گردشی، ضریب انتقال گرما را نیز بهبود می‌بخشد. ولی این امر منجر به کاهش سطح انتقال گرما می‌شود. در پلیمر شدنهای جرمی و محلول که عامل کنترل کننده انتقال گرماست، بهینه‌سازی برای یافتن بهترین نسبت $\frac{D}{T}$ ضروری است. در شکل ۱۳ مقدار $\frac{D}{T}$ مناسب برای انواع گروههای اختلاط ارائه شده است. نسبت $\frac{D}{T}$ برحسب گرانشی برای تمام گروههای اختلاط (به جز گاز-مایع) در شکل ۱۴ آمده است. طبق این نمودار نسبت $\frac{D}{T}$ در گرانشیهای زیاد باید کاهش داده شود. با توجه به این نمودار مقدار $\frac{D}{T}$ بین ۱ تا ۱/۴ برای پلیمر شدن تعلیقی و امولسیون و بین ۰/۱۹ - ۰/۵ برای پلیمر شدن جرمی و محلول قابل اجراست [19]. شکل ۱۵ نسبت $\frac{D}{T}$ مناسب را برحسب گرانشی نشان می‌دهد. با افزایش گرانشی، نسبت $\frac{D}{T}$ نیز باید افزایش یابد. این نمودار تنها برای سیستمهای اختلاط کنترل شده به وسیله جریان، مانند استراج و انتقال گرما، دقت کافی دارد. برای سیستمهای اختلاط حساس به برش مقدار $\frac{D}{T}$ بهینه از مقدار ارائه شده در این نمودار کمتر است [19]. به طور کلی حداکثر نسبتی که برای پروانه‌های محوری اختیار می‌شود برابر با ۰/۶۸ است. نسبتهای بزرگتر برای سیالات غیر نیوتنی شبه پلاستیک به کار می‌روند.

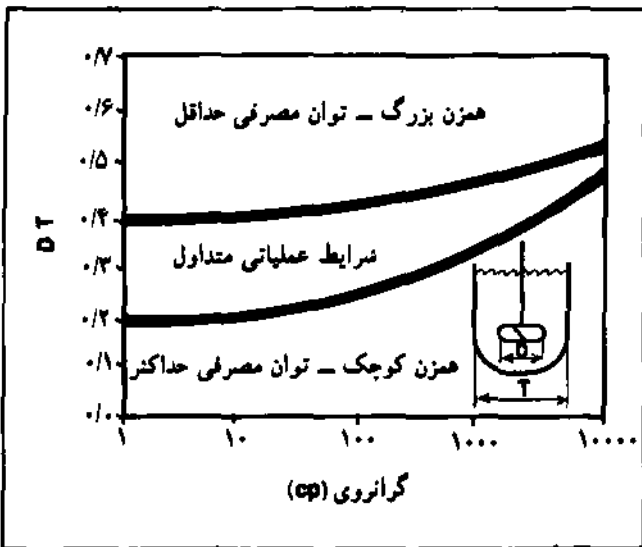
[25]. دو نوع رفتار عمومی برای سیالات غیر نیوتنی قابل تشخیصی است. سیالهایی که گرانشی آنها با شدت برش افزایش می‌یابد، انبساطی (*dilatant*) نام دارند. دوغابهای نشاسته چنین رفتاری را نشان می‌دهند. سیالهایی که گرانشی آنها با شدت برش کاهش یابد، شبه پلاستیک نامیده می‌شوند. بخش عمده‌ای از سیالات غیر نیوتنی رفتاری شبه پلاستیک ظاهر نشان می‌دهند. پلی‌استیرن و پلی‌استرها رفتاری مانند شبه پلاستیکها ظاهر می‌سازند [7]. پلیمرهای مذاب، محلولهای پلیمری و دوغابهای غلیظ نیز در چهارچوب سیالات شبه پلاستیک قرار می‌گیرند [26]. اکثر این مواد هنگامی که گرانشی آنها بر اساس شدت برش رسم شود، شبیه برابر با ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ دارند.

گروه دیگری از سیالات غیر نیوتنی، ویسکوالاستیکها می‌باشند. بسیاری از سیالات شبه پلاستیک، ویسکوالاستیک نیز هستند. خاصیت ویسکوالاستیسیته باعث ایجاد جریانی مخالف با تنش برشی می‌شود. به عبارت دیگر سیال در جهت عکس الگوی جریان به حرکت درمی‌آید. معمولاً این اثر در ظرفیتهای بزرگ محو می‌شود. ولی همواره باید در سیستمهای پلیمر شدن مورد ارزیابی قرار گیرد.

چون در مخازن اختلاط همواره شدت برش در نزدیکی پروانه بیشتر از سایر نقاط آن است، بنابراین گرانشی ظاهری سیالات شبه پلاستیک در این ناحیه کمتر از نقاط دور از پروانه است. بنابراین، در هر لحظه توزیع متفاوتی از گرانشی ظاهری در مخلوط در حال واکنش وجود دارد. برای ارزیابی دقیق اختلاط این سیالات، تعیین گرانشی در ناحیه پروانه و گرانشی ظاهری متوسط ضروری است.



شکل ۱۴ - تغییرات نسبت Z/T با گرانشی [19].



شکل ۱۵ - تغییرات نسبت D/T با گرانشی [19].

نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان داده شد که در ارزیابی هر سیستم اختلاط، ابتدا باید

کلارا کریور، رئیس و بنیانگذار (۱۹۵۸) آزمایشگاههای کمیر (Chemir) لیسانس شیمی خود را از دانشگاه ایالتی اوهاو در ۱۹۴۵ گرفت و درجه دکترای علوم افتخاری را در ۱۹۷۴ از دانشگاه فیسک (Fisk) دریافت کرد. نتیجه کار وی در آزمایشگاههای پژوهشی اسو، ۱۹۴۵-۱۹۴۹، چند اختراع ثبت شده در باره شناسایی خواص مخلوطهای هیدروکربنی پیچیده بود. وی یک آزمایشگاه زیر قرمز در انستیتوی بتل مموریال (Battele Memorial) در ۱۹۴۹ بنیان نهاد و به عنوان سرپرست گروه تا ۱۹۵۸ کار می کرد و رهبری کارهای طیف بینی طرحهای پژوهشی بتل را همزمان با کارهای پژوهشی اصلی هدایت می کرد که نتیجه آن انتشارات علمی در زمینه های روغنهای خشک کننده، آسفالتها، کاغذ و رزینها بود.

کار کریور در زمینه پوششهای آلی منجر به جایزه کاربید و کربن از بخش پوششهای آلی و شیمی پلاستیکهای ACS در سال ۱۹۵۵ برای وی به ارمغان آورد که در سال ۱۹۷۵ رئیس آن بخش شد. وی مبتکر برنامه انتشارات طیفی انجمن کبلنتر (Coblentz) بود و ویراستار ۵ کتاب از مجموعه های ویژه طیفهای IR است. کریور به عنوان مشاور ASTM برای برنامه انتشارات طیفهای IR ارزیابی شده کار می کرد که توسط اداره ملی استانداردها حمایت می شد، و نیز رئیس کمیته مشترک در زمینه داده های فیزیکی مولکولی و اتمی است. وی رئیس پیشین کمیته ASTM در طیف بینی مولکولی بود و در ۱۹۸۲ به هنگام دریافت جایزه مریت، که بالاترین جایزه افتخاری این سازمان است، عضو ASTM نامیده شد. وی عضو انستیتوی امریکایی شیمی دانان و یک شیمی دان حرفه ای مجرب است.

Polymer Characterization (1983)

Edited by Clara D. Craver

گروه و عوامل کنترل کننده اختلاط را تعیین کرد. آن گاه بر اساس این عوامل و همچنین ویژگیهای سیال اختلاط، نوع و شکل و ابعاد تقریبی همزن و مخزن اختلاط و سایر ملحقات آن را روشن ساخت. در مقاله آینده کاربرد این مفاهیم اولیه را در ارزیابی و طراحی انواع سیستمهای اختلاط همگن و ناهمگن (شامل فرایندهای پلیمر شدن) مورد بحث قرار خواهیم داد.



- [1] Parker, «Mixing», Chem. Eng. June [8], (1964).
- [2] Gates E., «Optimum Turbine», Chem. Eng. Dec. [8], (1975).
- [3] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. (1988).
- [4] Oldshue Y., «Mixing Fundamental and Equipments», Chem. Eng. June [13], (1983).
- [5] Comprehensive Polymer Science, Polymerization Reaction Eng., (1989).
- [6] Uhl. W., Gray. B., «Mixing Theory and Practice», (1966).
- [7] Weber P., «Selecting Turbine Agitators», Chem. Eng. Dec. [7], (1964).
- [8] Oldshue Y., «Fluid Mixing Technology», (1983).
- [9] Mcketta, «Encyclopedia of Chemical Processing and Design», (1987).
- [10] Oldshue Y., J. of Paint Technology 40,66, (1968).
- [11] Ludwig E., «Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants», (1984).
- [12] Hyman. D., «Advances in Chemical Engineering, Mixing and Agitation», Vol 3, (1962).
- [13] Oldshue. Y., «Fluid Mixing in 1989», Chem. Eng. Progress May (1989).
- [14] Hicks. W., Gates. E. «Fluid Agitation in Polymer Reactors» Chem. Eng. Progress, Aug [8], (1975).
- [15] Schlegel. F., «Polymer Plant Engineering», Chem. Eng. March [20], (1972).
- [16] Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, (1987).
- [17] McCabe, «Unit Operation», (1980).
- [18] Casto. V., «Practical Tips on Designing Turbine Mixers», Chem. Eng. Jan [10], (1972).
- [19] Garrison. M., «How to Design and Scale Mixing Pilot - Plants» Chem. Eng. Feb [7], (1983).
- [20] Papastefanos. N., «Effect of Vessel and Impeller Geometry on Impeller Power Number in Closed Vessels» Chem. Eng. Res. Design, Vol 67, March (1989).
- [21] Oldshue. Y., «Fluid Mixing Variables in Suspension and Emulsion Polymerization», Chem. Eng. Progress, May (1982).
- [22] Chudacek. W., «Does Your Tank Bottom Have the Right Shape?», Chem. Eng. Oct. [1], (1984).
- [23] Chudacek. W., «Solid Suspension Behaviour in Profiled Bottom and Flat Bottom Tanks», Chem. Eng. Science, Vol 40, No. 3, (1985).
- [24] Terwiesch. B., «Suspension - PVC in Large Reactors», Hydrocarbon Processing Nov. (1976).
- [25] Skelland. H. P., «Non - Newtonian Flow and Heat Transfer», (1967).
- [26] Dickey. S., «Fundamentals of Agitation», Chem. Eng. Feb [2] (1976).