

در این تحقیق، اثر عوامل مختلف مانند حضور ماده حل شونده و سورفکتانت در مخلوط مایع- مایع در شرایط هیدرودینامیکی مختلف بر اندازه قطرات در یک دستگاه میکسر- ستلر<sup>۱</sup> مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش ها در غلظت ها و شرایط هیدرودینامیکی مختلف انجام شده است. نتایج آزمایش ها نشان می دهد که اندازه قطرات، با افزایش غلظت ماده حل شونده<sup>۲</sup> کم می شود. مشابه با ماده حل شونده، اندازه قطرات با افزایش غلظت سورفکتانت<sup>۳</sup> کم می شود ولی در در غلظت های بسیار پایین، این کاهش بسیار شدید است و در غلظت های بالا دارای سرعت کاهشی کمتری است و تقریباً مقدار ثابتی است. برای سه حالت مختلف (بدون حضور ماده حل شونده و سورفکتانت، با حضور ماده حل شونده و بدون سورفکتانت، با حضور سورفکتانت و بدون ماده حل شونده) سه مدل، به دست آمده است که مدل های به دست آمده تطابق بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارند و مدل های به دست آمده با تئوری هینزه-کولموگروف<sup>۴</sup> سازگارند.

**: استخراج مایع- مایع، میکسر- ستلر، اندازه قطره، سورفکتانت، مدل سازی**

روی این پدیده دارد. وجود یک امولسیون ساز یا عامل فعال سطحی، همچنین در ائتلاف قطرات نیز، موثر است [۳].

با ثابت نگهداشتن شرایط هیدرودینامیکی، قطر میانگین قطرات، عموماً به کشش بین سطحی بستگی دارد. برای مطالعه بررسی اثر کشش بین سطحی بر توزیع اندازه قطرات، از عوامل فعال کننده سطحی و ماده حل شونده برای تغییر اندازه کشش بین سطحی استفاده می شود که اثر حضور فعال کننده های سطحی و ماده حل شونده به صورت تغییر در میزان کشش بین سطحی نمایان می شود. همچنین وجود آن در درون فاز قطره، از میزان جریان های چرخشی و دورانی داخل آن می کاهد که خود منجر به پایداری بیشتر و افزایش زمان پیوند قطره می شود [۴].

در شکل (۱)، نمای کلی از مولکول یک ماده فعال سطحی، ارئه شده است. مطالعات زیادی بر روی اثر حضور سورفکتانت بر اندازه قطرات انجام شده است. نتایج آزمایشگاهی و بررسی های تئوری نشان می دهد که در غلظت های بالای سورفکتانت، اندازه قطرات به غلظت سورفکتانت بستگی ندارد و بیشتر به نوع سورفکتانت

پایه فرآیندهای استخراج مایع- مایع، بر اساس تماس یا اختلاط دو فاز خوراک و حلال است و در انتها دو فاز از یکدیگر جدا می شوند. میکسر- ستلر تک مرحله ای، کوچکترین دستگاه استخراج غیر هم جهت پیوسته ای است که می توان با آن کار کرد. در تمام این تجهیزات با یک سری قطرات، سر و کار داریم که انتقال جرم، از فصل مشترک دو فاز قطره و پیوسته صورت می گیرد. در نتیجه، محاسبه سطح تماس انتقال جرم (و یا به عبارت دیگر دانستن اندازه قطرات)، بسیار حائز اهمیت است. اندازه قطرات نه تنها سطح تماس انتقال جرم را تعیین می کند، بلکه نوع مکانیسم حاکم بر انتقال جرم را نیز مشخص می نماید [۱-۲].

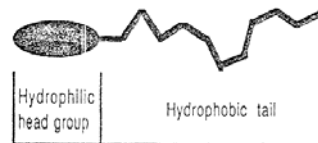
دیسپرژن، مخلوطی است که از هم زدن و یا به عبارت دیگر، از اختلاط مایعات غیر قابل امتزاج یا نسبتاً قابل امتزاج به وجود می آید. دیسپرژن ها یک امولسیون موقت اند و قطرات تشکیل شده در آنها نسبتاً بزرگ هستند. قطرات فاز پراکنده، معمولاً هم اندازه نیستند. همچنین ویسکوزیته بالا برای یکی از مایعات، تمایل آن مایع را برای تشکیل فاز پیوسته، بیشتر می کند. وجود یک امولسیون ساز یا عامل فعال سطحی، تاثیر زیادی بر

استفاده شده وابسته است. بر خلاف غلظت های بالای سورفکتانت، در غلظت های پایین، کاهش بسیار شدیدی در اندازه قطرات مشاهده می شود [۵-۶].

برای مطالعه اندازه قطرات، برای کاربردهای مختلف، انواع مختلفی از قطر میانگین، تعریف شده است. از میان همه قطر های میانگین تعریف شده، قطر میانگین ساتر<sup>۵</sup> یا حجم-سطح ( $D_{32}$ )، پر کاربردترین آن ها است. دلیل مهم بودن قطر میانگین ساتر این است که سطح واحد حجم یا جانبی ویژه قطره ها ( $a$ )، را به نرخ های انتقال انرژی، انتقال جرم و واکنش شیمیایی، مربوط می کند [۷-۸]. تعریف قطر ساتر به صورت زیر است:

$$D_{32} = \frac{\sum N_i D_i^3}{\sum N_i D_i^2} \quad (1)$$

مطالعات زیادی بر روی اثر شرایط هیدرودینامیکی بر روی اندازه قطرات انجام شده است که همه این مطالعات بر پایه تئوری هینزه-کولموگروف استوار است. بر طبق این تئوری، ماکزیمم قطرات پایدار در امولسیون ها با توان  $0.4-$  به میانگین از بین رفتن انرژی در محفظه اختلاط و یا با توان  $1/2-$  به سرعت همزن، وابسته است. بر طبق نتایج تجربی، قطر میانگین ساتر نیز از این تئوری تبعیت کرده و با توان  $0.6-$  به عدد وبر<sup>۶</sup> وابسته است:



$$\frac{D_{32}}{D_I} \propto We_I^{-0.6} \quad (2)$$

که در این معادله  $We_I = \frac{\rho_c N^2 D_I^3}{\sigma}$ ،  $D_I$  قطر همزن،  $\sigma$  کشش بین سطحی و  $\rho_c$  چگالی فاز پیوسته است [۹-۱۱].

اثر هلدآپ نیز بر اندازه قطرات، مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج، نشان می دهند که اندازه قطرات به صورت خطی به هلدآپ، وابسته است:

$$\frac{D_{32}}{D_I} = C_1(1 + C_2\phi)We_I^{-0.6} \quad (3)$$

که در این معادله  $C_1$  و  $C_2$  اعدادی ثابت بوده و  $\phi$  هلدآپ به حساب می آید. [۱۲-۱۳].

مدل های زیادی برای پیش بینی اندازه قطرات در مخازن همزن دار، ارائه شده است که اغلب این مدل ها برای سیستم هایی با کشش بین سطحی پایین ارائه شده است که در زیر، به چند نمونه اشاره می شود:

۱. کولالوگلو و همکاران مدل زیر را برای مخازن همزن دار ارائه کرده است [۱۴]:

$$\frac{D_{32}}{D_I} = 0.081(1 + 4.47\phi)We_I^{-0.6} \quad (4)$$

۲. ماسبرنات و همکاران مدل زیر را برای امولسیون نیکل کلراید-تری بوتیل فسفات به دست آورده است [۱۰]:

$$\frac{D_{32}}{D_I} = 0.28(1 + 0.92\phi)We_I^{-0.6} \quad (5)$$

برای سیستم هایی با کشش بین سطحی بالا گادفری و همکاران، مدل زیر را پیشنهاد کرده اند [۱۴]:

$$\frac{D_{32}}{D_I} = 0.053(1 + 55.125\phi^{0.825})We_I^{-0.6} \quad (6)$$

در این مقاله، اندازه قطرات در شرایط مختلف هیدرودینامیکی، مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر انجام آزمایش ها در شرایط هیدرودینامیکی مختلف، اندازه قطرات در حضور و عدم حضور ماده حل شونده و سورفکتانت به دست آمده است. و سپس به کمک نتایج آزمایشگاهی به دست آمده، مدل های نیمه تجربی ارائه شده است.

میکسر ستلر مورد استفاده در آزمایش ها از نوع میکسر ستلر افقی بوده و تک مرحله ای است که ساخت شرکت فیشر<sup>۷</sup> آلمان است. همزن مورد استفاده از نوع حلزونی بوده و جنس آن از تفلون است. دور همزن به صورت دیجیتالی قابل کنترل بوده و دبی پمپ ها به راحتی قابل تغییر است. جریان ها به صورت هم جهت<sup>۸</sup> هستند. جنس تمام مراحل به غیر از همزن، از شیشه بوده و کلیه مراحل آزمایش کاملاً قابل رویت اند.

شمای کلی میکسر-ستلر مورد استفاده در شکل (۱) و مشخصات آن، در جدول (۱) ارائه شده است.

اشباع می شوند تا از انتقال جرم بین آنها در طول انجام آزمایش ها و اثر احتمالی آن بر نتایج، جلوگیری شود. آزمایش ها با پمپ کردن فاز پیوسته به داخل دستگاه آغاز می شود. بعد از پر شدن دستگاه، پمپ کردن فاز پراکنده نیز آغاز می شود تا تاثرات ترشوندگی سطح، به حداقل رسیده و شرایط، برای کل آزمایش ها یکسان باشد. بعد از اتمام هر آزمایش، بلافاصله، دستگاه خاموش شده و مخلوط داخل آن، با استفاده از یک پمپ خلا، تخلیه می شود. مخلوط به دست آمده به یک ظرف مدرج منتقل می شود که در آن حجم فاز پراکنده و فاز پیوسته، اندازه گیری می شود و در انتها، ماندگی با استفاده از معادله زیر محاسبه هستند:

$$\phi = \frac{V_o}{V_o + V_w} \quad (7)$$

که در این معادله  $\phi$  هلدآپ،  $V_o$  حجم فاز پراکنده و  $V_w$  حجم فاز پیوسته هستند.

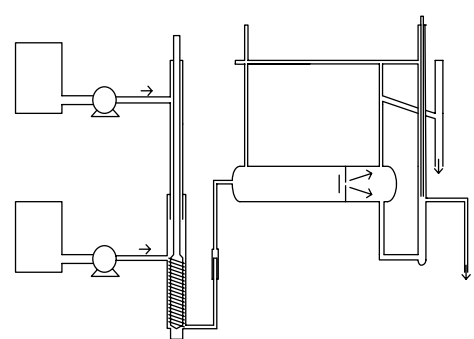
برای اندازه گیری قطرات در مخلوط های مایع-مایع روش های متعددی وجود دارد که عبارتند از عکس برداری، شکست نور، لیزر گرانولومتری و ... در این تحقیق، برای اندازه گیری اندازه قطرات، از یک دوربین دیجیتالی ۸ مگاپیکسلی که از محصولات شرکت سونی<sup>۱۳</sup> است، استفاده شده است. این روش، دارای محدودیت-هایی است که منجر به خطا می شوند؛ مانند: خطای اندازه گیری، تغییر شکل قطرات، ائتلاف و شکست قطرات. برای کم کردن خطا باید هنگام اندازه گیری قطرات، دقت بیشتری داشته باشیم. در این روش، عکس های متعددی از خروجی میکسر گرفته شده است که نمونه ای از آنها در شکل (۳) نشان داده شده است. برای به دست آوردن اندازه [قطر] قطرات از نرم افزار اتوکد<sup>۱۴</sup> استفاده شده است.



مشخصه	نوع و مقدار
ظرفیت حجمی محفظه اختلاط	۱۸۰ میلی لیتر
قطر همزن	۴ سانتی متر
نوع همزن	حلزونی
طول ته نشین کننده	۱۹/۵ سانتی متر
ظرفیت حجمی ته نشین کننده	۲۵۰ میلی لیتر
حداکثر بازده هر مرحله	۱۰۰
نوع پمپ ها	دوزینگ پمپ با دبی قابل تنظیم

برای انجام آزمایش ها، از آب مقطر به عنوان فاز پیوسته و از تولوئن<sup>۹</sup> به عنوان فاز پراکنده استفاده شده است. علاوه بر این مواد، از استن<sup>۱۱</sup> به عنوان ماده حل شونده در فاز پراکنده، و از سدیم دودسیل سولفات<sup>۱۱</sup> به عنوان سورفکتانت در فاز پیوسته، استفاده شده است. کلیه مواد استفاده شده از محصولات شرکت مرک<sup>۱۲</sup> آلمان هستند. مشخصات مواد شیمیایی استفاده شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

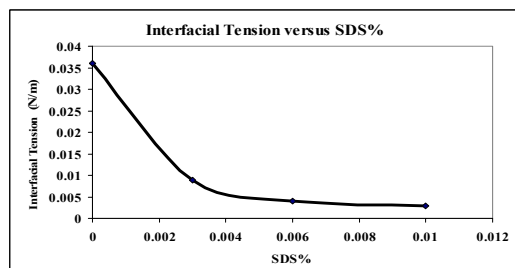
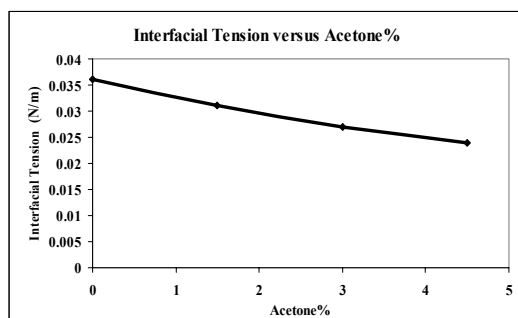
ماده شیمیایی	ویسکوزیته (mPa.s)	دانسیته (kg/m <sup>3</sup> )	خلوص (%)	حالت
آب	۰/۹۶	۹۹۶	>۹۹	مایع
تولوئن	۰/۵۷	۸۷۰	>۹۹	مایع
استن	۰/۳	۷۹۰	>۹۹	مایع
سدیم دودسیل سولفات	-	-	>۹۹	جامد



قبل از انجام آزمایش ها آب و تولوئن کاملاً در یکدیگر

بین سطحی، تغییرات چندانی نداشته و تقریباً مقدار ثابتی به خود می گیرد.

پارامتر	محدوده
ماندگی	۰/۳-۰/۵۴
دور همزن	۹۰۰-۱۱۰۰
غلظت ماده حل شونده (Wt/.)	۰-۴/۵
غلظت سدیم دودسیل سولفات (Wt/.)	۰-۰/۰۱



شکل (۶) اثر حضور استن را بر اندازه قطرات در سه ماندگی مختلف، برای سه دور همزن مختلف نشان می دهد. همان طوری که از قبل هم قابل پیش بینی بود، اندازه قطرات، با افزایش غلظت استن کاهش می یابد. یکی از پارامترهایی که اندازه قطرات به آن وابسته است، کشش بین سطحی است. با کاهش کشش بین سطحی، قطرات بزرگتر به راحتی شکسته و به قطرات کوچکتر تبدیل می شوند که نتیجه آن، کوچکتر شدن قطر میانگین ساتر است. با توجه به نتیجه آزمایش های بخش قبل، هنگامی

برای بررسی اثر ماده حل شونده و سدیم دودسیل سولفات بر اندازه قطرات، سه سری آزمایش، انجام شده است. سری اول آزمایش ها بدون حضور استن و سدیم دودسیل سولفات انجام شده است که ۹ آزمایش از سری آزمایش ها را تشکیل می دهد. آزمایش ها در سه ماندگی و سه دور همزن متفاوت انجام شده است. در سری دوم آزمایش ها، ماده حل شونده به فاز پراکنده اضافه شده است که این آزمایش ها در سه غلظت مختلف از ماده حل شونده انجام شده است و برای هر غلظت، از شرایط هیدرودینامیکی مشابه با سری اول آزمایش ها، استفاده شده است. این سری از آزمایش ها شامل ۲۷ آزمایش است. در آخرین سری از آزمایش ها، سدیم دودسیل سولفات، به فاز پیوسته اضافه میشود. در این سری از آزمایش ها نیز از سه غلظت سدیم دودسیل سولفات و شرایط هیدرودینامیکی مشابه با دو سری قبلی، استفاده شده است که در مجموع، ۶۳ آزمایش انجام شده است. محدوده پارامترهای آزمایش ها در جدول (۳) نشان داده شده است.

شکل های (۴) و (۵) اثر غلظت استن و غلظت سدیم دودسیل سولفات را بر کشش بین سطحی در مخلوط مایع-مایع نشان می دهند. همان طوری که از شکل ها قابل مشاهده است با افزایش غلظت استن و غلظت سدیم دودسیل سولفات، کشش بین سطحی، کم می شود. با افزودن سدیم دودسیل سولفات به سیستم شیمیایی، کاهش بسیار شدیدی در کشش بین سطحی مشاهده می شود که این کاهش، به علت حضور سدیم دودسیل سولفات، بسیار شدیدتر از حضور استن است. هنگامی که استن و سدیم دودسیل سولفات به سیستم شیمیایی اضافه می شوند، تنش سطحی برای مخلوط مایع-مایع افزایش می یابد که این افزایش، برای سدیم دودسیل سولفات بسیار قابل ملاحظه است زیرا باعث کاهش بسیار بیشتر کشش بین سطحی می شود. برای سدیم دودسیل سولفات در غلظت های پایین، کاهش کشش بین سطحی بسیار شدید است حال آنکه در غلظت های بالاتر، کشش

شونده ها بعد از شستشو و مواد مورد استفاده برای روغن کاری تجهیزات. این آزمایش ها نشان می دهد که برای از بین بردن تأثیر شدید سورفکتانت ها باید در شست و شوی دستگاه ها دقت شود؛ چون حضور بسیار کم سورفکتانت، باعث تغییرات بسیار شدید در پارامترهای انتقال جرم می شود و در غلظت های بالا، تأثیر چندانی بر این پارامترها ندارد.

در شکل های (۱۰-۵)، نقاط مربوط به غلظت های صفر درصد وزنی، حالت سوم آزمایش ها است که در این حالت، با افزایش ماندگی اندازه قطرات، افزایش و با افزایش دور همزن، اندازه قطرات کاهش می یابد.

مدل سازی اندازه قطرات در سه حالت مختلف انجام شده است. در حالت اول، مدل سازی اندازه قطرات با نتایج آزمایشگاهی که بدون حضور استن و سدیم دودسیل سولفات به دست آمده، انجام شده است. در حالت دوم، مدل سازی اندازه قطرات با نتایج آزمایشگاهی که در حضور استن و در حالت سوم با نتایجی که در حضور سدیم دودسیل سولفات به دست آمده، انجام شده است. برای مدل سازی اندازه قطرات، از شکل کلی معادله (۷) استفاده می کنیم؛ که به صورت زیر است:

$$\frac{D_{32}}{D_I} = a(1 + b\phi)We_I^c \quad (۸)$$

برای به دست آوردن پارامترهای ثابت معادله، از روش حداقل مربعات و نرم افزار اویوس<sup>۱۵</sup> استفاده شده است. نتایج به دست آمده برای سه حالت مختلف مدل سازی، در جدول (۴) نشان داده شده است. مطابق با جدول (۴)، شکل مدل، برای حالت اول به صورت زیر است:

$$\frac{D_{32}}{D_I} = 0.62(1 + 1.85\phi)We_I^{-0.554} \quad (۹)$$

و برای حالت دوم:

$$\frac{D_{32}}{D_I} = 0.72(1 + 1.5\phi)We_I^{-0.564} \quad (۱۰)$$

و برای حالت سوم:

$$\frac{D_{32}}{D_I} = 0.48(1 + 1.65\phi)We_I^{-0.504} \quad (۱۱)$$

برای بررسی کیفیت برازش مدل، در ابتدا برای هر سه مدل، نمودار تغییرات اندازه قطرات به دست آمده از مدل

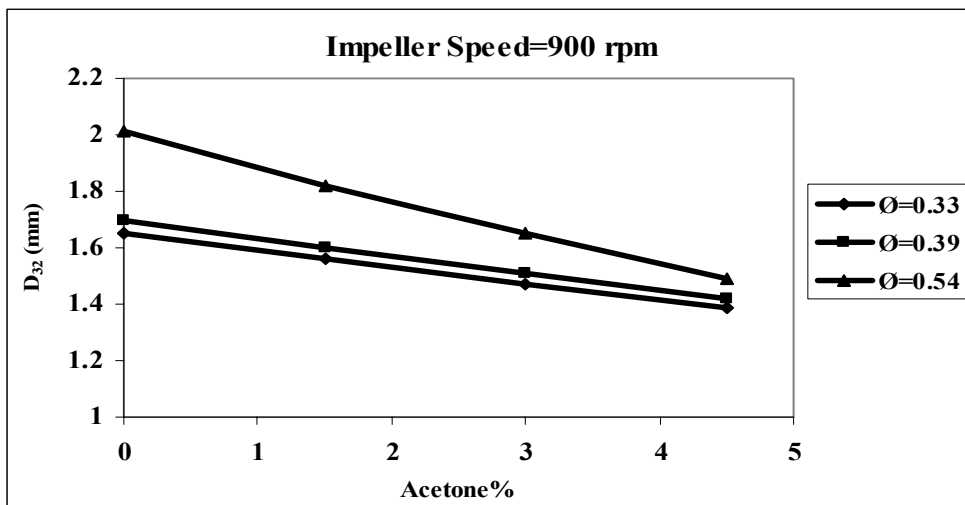
که استن به مخلوط مایع- مایع اضافه می شود کشش بین سطحی کم می شود و با توجه به مطالب گفته شده، اندازه قطرات کوچک تر می شود.

شکل (۷) اثر حضور سدیم دودسیل سولفات را بر اندازه قطرات در سه ماندگی مختلف برای سه دور همزن مختلف، نشان می دهد. همان طوری که از قبل هم قابل پیش بینی بود، اندازه قطرات با افزایش غلظت سدیم دودسیل سولفات، کاهش می یابد. دلیل کاهش اندازه قطرات با افزایش غلظت سدیم دودسیل سولفات همانند حالت قبل (آزمایش های مربوط به استن)، کاهش کشش بین سطحی است. همانطوری که از شکل ها نیز قابل مشاهده است، منحنی اندازه قطرات بر حسب غلظت سدیم دودسیل سولفات، دارای دو ناحیه کاملاً مجزا است. در ناحیه اول که شامل غلظت های بسیار پایین تر از سدیم دودسیل سولفات است، کاهش بسیار شدیدی در اندازه قطرات مشاهده می شود که این تغییرات اندازه قطرات، با غلظت سدیم دودسیل سولفات به صورت خطی با شیب زیاد است. ناحیه دوم مربوط به غلظت های بالای سدیم دودسیل سولفات می باشد که تغییرات اندازه قطرات در این ناحیه با افزایش غلظت سدیم دودسیل سولفات، بسیار کم بوده و اندازه قطرات در این ناحیه را می توان تقریباً ثابت در نظر گرفت. با توجه به نتیجه آزمایش های بخش قبل، مشابه این شکل ها برای تغییرات کشش بین سطحی بر حسب غلظت سدیم دودسیل سولفات نیز، مشاهده می شود. در ناحیه غلظت های ۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۳ درصد وزنی از سدیم دودسیل سولفات، یک ناحیه بحرانی مشاهده می شود که در آن، اندازه قطرات به یک مقدار مینیمم رسیده و سپس به مقدار بسیار کمی افزایش پیدا می کند که در نهایت، تغییرات آن بسیار کم می شود. نتایج مشابهی به وسیله دنکوف و همکاران، گزارش شده است.

با مقایسه آزمایش های مربوط به استن و سدیم دودسیل سولفات، مشاهده می شود که تغییرات اندازه قطرات در حضور سدیم دودسیل سولفات، به خصوص در غلظت های پایین، بسیار شدیدتر است. استن در این آزمایش ها به عنوان ماده حل شونده به کار رفته است و ماده حل شونده در سیستم های استخراج، همیشه موجود است ولی سورفکتانت ها به عنوان یک آلودگی در سیستم های استخراج محسوب می شوند؛ مانند مواد باقی مانده از

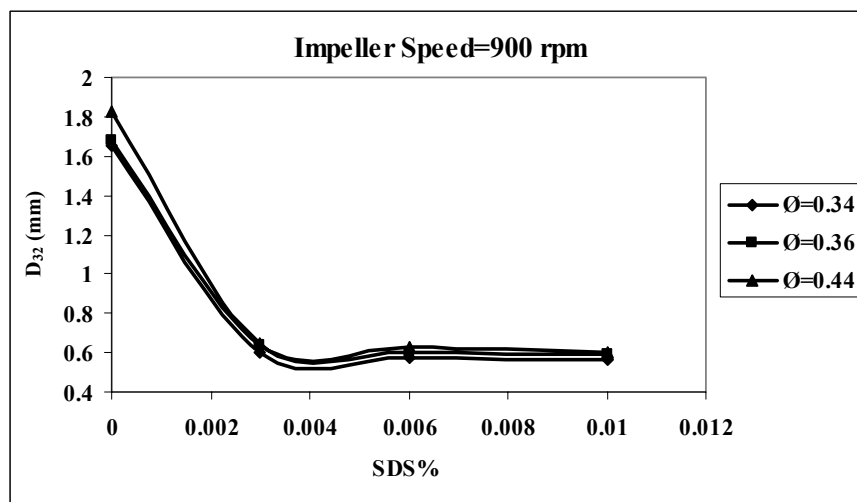
نقاط بر روی شکل، به خط نیمساز کاملاً نزدیک هستند و نتایج به دست آمده از مدل ها، تطابق قابل قبولی با نتایج آزمایشگاهی دارند.

بر حسب تغییرات اندازه قطرات به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی، در شکل های (۸)، (۹) و (۱۰) رسم شده است. همان طوری که از شکل ها نیز قابل مشاهده است



( / )

:



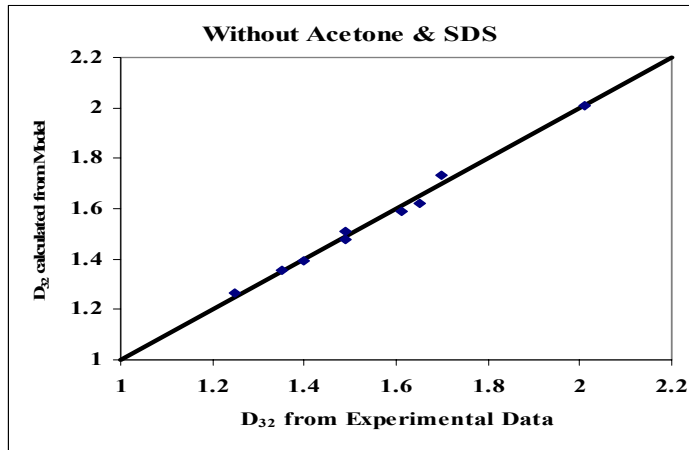
( / )

:

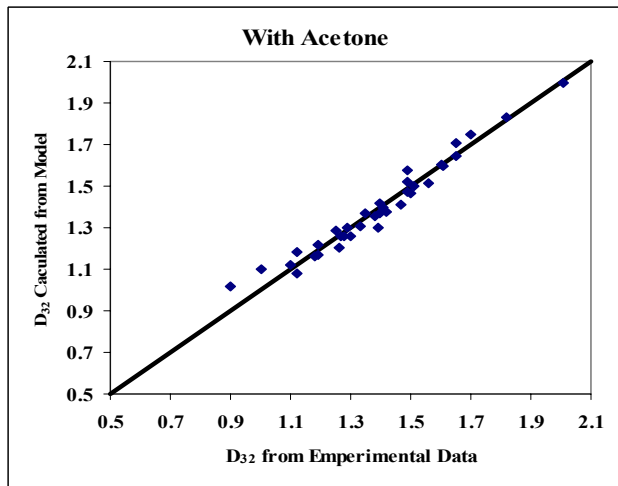
(.)

:

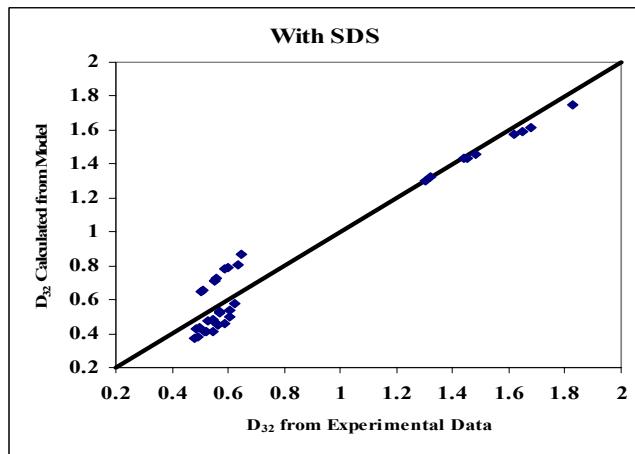
a	/	/	/
b	/	/	/
c	- /	- /	- /
R <sup>2</sup>	/	/	/
AARD%	/	/	/



:



:



:

علاوه بر رسم نمودارها، برای بررسی دقت مدل، برای هر سه مدل، مقدار میانگین خطای نسبی مطلق از رابطه زیر، به دست آمده است:

$$\%AARD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{(D_{32})_{exp} - (D_{32})_{model}}{(D_{32})_{exp}} \right| \times 100 \quad (12)$$

در این معادله، N تعداد آزمایش ها،  $(D_{32})_{exp}$  قطر میانگین ساتر به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی و  $(D_{32})_{model}$  قطر میانگین ساتر به دست آمده از مدل ها می باشد. مقادیر به دست آمده برای حالات مختلف در جدول (۴) ارائه شده است.

همان طوری که در جدول (۴) دیده می شود مقدار میانگین خطای نسبی مطلق برای حالات مختلف، کوچک و قابل قبول بوده و مدل های به دست آمده، انحراف بسیار کمی از نتایج آزمایشگاهی دارند.

همان طوری که از جدول (۴) قابل مشاهده است توان عدد وبر برای حالات مختلف به ترتیب برابر  $-0/554$ ،  $-0/564$  و  $-0/504$  است. که این اعداد، نشان می دهند که توان های به دست آمده، انحراف بسیار کمی از تئوری هینزه-کولموگروف دارند که برای حالت اول و دوم، بسیار کم است. نتایج مشابهی به وسیله ماسبرنات و همکاران گزارش شده است [۱۱].

برای بررسی صحت نتایج آزمایشگاهی، نتایج آزمایشگاهی در حالت اول (بدون حضور استن و سدیم دودسیل سولفات) با نتایج حاصل از مدل گادفری و همکاران، مقایسه شده (معادله ۶) که نتایج به دست آمده در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج حاصل از مقایسه، نشان می دهد که نتایج آزمایشگاهی، با نتایج حاصل از مدل گادفری تطابق قابل قبولی دارد و مقدار میانگین خطای نسبی مطلق، در حدود  $5/6\%$  است. مقایسه مقدار میانگین خطای نسبی مطلق معادله (۹) و مدل گادفری، نشان دهنده بهبود مدل و کاهش مقدار میانگین خطای نسبی مطلق به میزان  $81\%$  است. همچنین، مدل به دست آمده در این تحقیق، ساده تر بوده و استفاده از آن آسان تر است. برای مقایسه نتایج آزمایشگاهی به دست آمده در حالات دوم و سوم (با حضور استن و با حضور سدیم دودسیل سولفات) هیچ مدل و یا نتایج آزمایشگاهی مشابه در مراجع، یافت نشد.

معادله	AARD%
کولولوگلو (معادله ۴)	غیر قابل قبول
ماسبرنات (معادله ۵)	غیر قابل قبول
گادفری (معادله ۶)	۵/۶
معادله (۸)	۱/۰۶

به طور کلی، نتایج زیر از آزمایش های انجام شده به دست آمده است:

- با افزایش غلظت استن از ۰ تا  $4/5$  درصد وزنی، کشش بین سطحی حدودا به میزان ۳۳ درصد، کاهش یافته است.
- در غلظت های پایین سدیم دودسیل سولفات، کاهش بسیار شدیدی در کشش بین سطحی مشاهده می شود ولی در غلظت های بالا، کشش بین سطحی تقریبا مقدار ثابتی دارد و تغییر چندانی نمی کند. با افزایش غلظت سدیم دودسیل سولفات از ۰ تا  $0/1$  درصد وزنی، کشش بین سطحی حدودا به میزان ۹۲ درصد کاهش یافته است.
- با افزایش غلظت استن، اندازه قطرات کم می شود که دلیل آن، کاهش کشش بین سطحی با افزایش غلظت استن است. کاهش کشش بین سطحی باعث شکست قطرات بزرگ تر و تولید قطرات کوچک تر می شود که در نهایت، باعث کاهش قطر میانگین ساتر می شود. بطور کلی، با افزایش غلظت استن از ۰ تا  $4/5$  درصد وزنی، اندازه قطرات حدودا ۲۰ درصد، کاهش یافته است.
- با افزایش غلظت سدیم دودسیل سولفات نیز، اندازه قطرات، کاهش پیدا کرده است؛ ولی شکل منحنی، دارای دو بخش مجزا است که در بخش اول که ناحیه غلظت های بسیار کم سدیم دودسیل سولفات را شامل می شود، اندازه قطرات، کاهش بسیار شدیدی نشان می دهد. در ناحیه دوم که ناحیه غلظت های بالاست، اندازه قطرات، تغییرات بسیار کم و مقدار تقریبا ثابتی دارد. در غلظت های بالا، هم ائتلاف قطرات و هم شکست قطرات، افزایش می یابد که این عمل باعث کاهش قطر میانگین ساتر می شود. با افزایش غلظت سدیم دودسیل سولفات از ۰ تا  $0/1$



- مقایسه نتایج آزمایشگاهی به دست آمده در حالت اول (بدون حضور استن و سدیم دودسیل سولفات) با مدل گادفری، نشان می دهد که نتایج به دست آمده از مدل گادفری، انحراف بسیار کمی دارند و مقدار میانگین خطای نسبی مطلق در حدود ۵/۶ درصد است در حالی که خطای میانگین نسبی مطلق مدل ارائه شده در این مقاله، در حدود ۱/۰۶ درصد می باشد که می توان گفت میزان خطا ۸۱٪ خطا کمتر شده است. برای مقایسه سایر حالات، هیچ مدل و یا نتایج آزمایشگاهی مشابه در مراجع دیده نشد؛ بنابراین، این کار تحقیقاتی می تواند الگوی تحقیقات سایر محققین، در آینده باشد.
- درصد وزنی، اندازه قطرات حدوداً ۶۵ درصد کاهش یافته است .
- برای سه حالت آزمایش شده (بدون حضور استن و سدیم دودسیل سولفات، با حضور استن و بدون سدیم دودسیل سولفات و با حضور سدیم دودسیل سولفات و بدون استن)، سه مدل مختلف، ارائه شده است. مقدار میانگین خطای نسبی مطلق به ترتیب برابر ۱/۰۶، ۲/۸۱ و ۱۵/۹۷ درصد است که نشان دهنده تطابق خوب و قابل قبول مدل ها با نتایج تجربی است.
- توان عدد وبر برای سه مدل ارائه شده به ترتیب برابر ۰/۵۵۴، -۰/۵۶۴ و -۰/۵۰۴ است که نشان دهنده انحراف بسیار کم از تئوری هینزه-کولموگروف است [۱۱].

- 1 - Laddha, G.S. and Degalecsan, T.E. (1967). *Transport Phenomena in liquid Extraction*, Forth Edition, Grow Hill,
- 2 - Godfrey, J. C., and Slater, M. J (1994). "Liquid-liquid extraction equipment". New York: Wiley.
- 3 - Treybal, R.E. (1963). *Liquid Extraction*, Mc Grow Hill, New York.
- 4 - Tcholakova, S., Denkov, N. D., Sidzhakova, D., Ivanov, I. B. and Campbell, B. (2003). "Interrelation between drop size and protein adsorption at various emulsification conditions." *Langmuir*, 19, 5640.
- 5 - Sechremeli, D., Stampouli, A. and Stamatoudis, M. (2006). "Comparison of mean drop sizes and drop size distributions in agitated liquid-liquid dispersions produced by disk and open type impellers." *Chemical Engineering Journal*, Vol 117, pp.117-122.
- 6 - Tcholakova, S., D. Denkov, N. and Danner, T. (2004). "Role of surfactant type and concentration for the mean drop size during emulsification in turbulent flow." *Langmuir*, Vol 20, pp.7444-7458.
- 7 - Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., van Boekel, M. A. J. S. (1999). "Dairy technology." Marcel Decker.
- 8 - Huminl, L. (2000). "Science and engineering of droplets fundamentals and applications." William Andrew Publishing/Noyes.
- 9 - Ribeiro, M.M.M., Goncalves, C., Regueiras, P.F., Guimaraes M.M.L. and Cruz Pinto, J.J.C. (2006). "Measurements of toluene-water dispersions hold-up using a non-invasive ultrasonic technique." *Chemical Engineering Journal*, Vol 118, pp.47-54.
- 10 - Desnoyer, C., Masbernat, O., Gourdon, C. (2003). "Experimental study of drop size distributions at high phase ratio in liquid-liquid dispersions." *Chemical Engineering Science*, Vol 58, pp.1353 - 1363.
- 11 - Angle, Ch. W., Dabros, T., A. Hamza, H. (2006). "Predicting sizes of toluene-diluted heavy oil emulsions in turbulent flow: Part1-Application of two adsorption kinetic models for  $\sigma^E$  in two size predictive models." *Chemical Engineering Science*, Vol 61, pp.7309 - 7324,

- 
- 12 - Hinze, J. O. (1955). "Fundamentals of the hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes." *A.I.Ch.E. Journal*, Vol 3, pp.289–295.
  - 13 - Lagisetty, J. S., Das, P. K., Kumar, R. and Ghandi, K. S. (1986). "Breakage of viscous and non-newtonian drops in stirred dispersions." *Chemical Engineering Science*, Vol 41, pp.65–72.
  - 14 - Kumar, A. and Hartland, S. (1999). "Correlation for prediction of mass transfer coefficients in single drop systems and liquid-liquid extraction columns." *Trans.IchemE*, Vol 77, Part A.

- 1 - Mixer-Settler
  - 2 - Solute
  - 3 - Surfactant
  - 4 - Hinze-Kolmogorov
  - 5 - Sauter (volume-surface) Mean Diameter (SMD)
  - 6 - Weber Number
  - 7 - Fischer
  - 8 - Co Current
  - 9 - Toluene
  - 10 - Acetone
  - 11 - Sodium Dodecyl Sulfate
  - 12 - Merck Company
  - 13 - Sony Company
  - 14 - Autocad Software
  - 15 - Eviews
-