بررسی تأثیر متقابل غلظت عامل فعال سطحي آنيوني و جزء منتقل‌شونده بر اندازه قطره‌ها در یک دستگاه میکسر-ستلر و ارائه مدل تجربي

پريسا ظاهري[١]، حسين ابوالقاسمي*[٢]، محمد قنادي مراغه[٣] و مريم ظاهري[١]

[١] دانشکده مهندسی شیمی- پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

[٢] دانشیار دانشکده مهندسی شیمی- پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

[٣] استاد - عضو هیئت علمی سازمان انرژی اتمی ایران

(تاریخ دریافت ٨٨/٧/٤ ، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده ٨٩/٤/٢٩ ، تاریخ تصویب ٨٩/٧/١٨)

چکیده

در بیشتر تجهیزات استخراج صنعتي، مقادیر کمی آلوده‌کننده‌هاي فعال سطحي که به طور اجتناب‌ناپذیر وجود دارد، مي‌توانند اثرات عمیقي بر رفتار قطره‌ها داشته باشند. بدین منظور آزمایش‌های متعددي براى بررسي اثر حضور عامل فعال سطحي آنيوني سديم دودسيل سولفات (SDS) بر اندازه قطره‌ها در شرایط هیدرودینامیکي مختلف و در حضور جزء منتقل‌شونده (استن) در یک دستگاه میکسر-ستلر افقي انجام شده است. آزمایش‌ها در غلظت‌هاي مختلف SDS به همراه یک غلظت ثابتي از استن و در هلدآپ‌ها و دورهاي مختلف همزن انجام شده است. نتایج نشان مي‌دهند که در حضور غلظت‌هاي پایین از SDS، اندازه قطره‌ها کاهش شدیدي از خود نشان مي‌دهند، ولي در غلظت‌هاي بالا با افزایش آن تغییر در اندازه قطره‌ها کمتر مي‌شود. همچنین براي غلظت‌هاي مختلف SDS، یک مدل تجربي براي میانگین اندازه قطره‌ها ارائه شده است.

واژه‌هاي کلیدي: میکسر-ستلر، اندازه قطره‌ها، عامل فعال سطحي، جزء منتقل‌شونده، مدل تجربي

مقدمه

مطالعه میانگین اندازه قطره‌ها و توزیع آن در دیسپرژن‌هاي مایع-مایع در ظروف همزده، موضوع تحقیقات بسیاري بوده است و روابط زیادي براي قطر میانگین ساتر در شرایط دینامیکي و هیدرودینامیکي مختلف ارائه شده است، ولي اکثر این روابط براي سیستم‌هاي مایع- مایع بدون حضور عوامل فعال سطحي هستند، در حالي که در بیشتر تجهیزات استخراج صنعتي، مقادیر کمی آلوده‌کننده‌هاي فعال سطحي که به طور اجتناب‌ناپذیر وجود دارند، مي‌توانند اثرات عمیقي روي رفتار قطره‌ها و پیش‌بیني میزان انتقال جرم داشته باشند[١]. بنابراین مطالعه رفتار قطره‌ها در این شرایط اهمیت بالایي دارد. هافر و رسنیک[١] اندازه قطره‌ها و هلدآپ فاز پراکنده را در حضور سورفکتانت‌ها و جزء منتقل‌شونده در سیستم‌هاي همزده مایع- مایع ناپیوسته مورد بررسي قرار دادند[٢]. تچلاکو و همکارانش[٢] نقش نوع و غلظت سورفکتانت‌ها را بر اندازه قطره‌ها در جریان‌هاي آشفته مطالعه کردند[٣]. لي و سونگ[٣] تأثیرات سورفکتانت‌ها را بر اندازه قطره‌ها در سیستم‌هاي مایع- مایع در ظروف همزن‌دار بررسي کرده‌اند. آنها دریافتند که توزیع اندازه قطره‌ها براي سیستم‌هاي آلوده باریک‌تر و بنابراین یکنواخت‌تر از آن براي سیستم‌هاي خالص است. آنها همچنین با اضافه کردن ضریب C_s به رابطه ارائه‌شده توسط هنگ و لي[٤]، رابطه زیر را براي میانگین اندازه قطره‌ها به دست آوردند:

$$D_{32}/D=0.05C_s(1+2.316\phi)(D/d_T)^{-0.75}Fr^{-0.13}We^{-0.6} \qquad (١)$$

در این رابطه مقدار C_s برابر با ٠/٦٣ بوده و مستقل از نوع سورفکتانت است[١].

اسکلند و جفري[٥] تأثیر جهت انتقال جرم و غلظت عامل فعال سطحي بر اندازه قطره‌ها در سیستم‌هاي مایع- مایع را بررسي کردند[٤].

براي مطالعه اندازه قطره‌ها براي کاربردهاي مختلف، انواع مختلفي از قطر میانگین تعریف شده است. از میان همه قطرهاي میانگین تعریف شده، قطر میانگین ساتر یا حجم-سطح، (D_{32})، کاربرد زیادی دارد. دلیل مهم بودن قطر میانگین ساتر این است که سطح واحد حجم یا جانبي

* نویسنده مسئول : تلفن : ٦٦٩٦٧٧٩١ , فاکس : ٦٦٩٥٧٧٨٤ , Email: hoab@ut.ac.ir

ويژه قطره‌ها (a) را به نرخ‌هاي انتقال انرژي، انتقال جرم و واكنش شيميايي مربوط مي‌كند. قطر ميانگين ساتر به اين ترتيب تعريف مي‌شود[٥]:

$$D_{32} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{k} n_i d_i^3}{\sum_{i=1}^{k} n_i d_i^2} \right] \qquad (٢)$$

در حالت كلي، ميانگين اندازه قطره‌ها با استفاده از عدد بدون بعد وبر در معادلات تجربي بيان مي‌شود. بيشتر معادلات ارائه‌شده از مفهوم آبشار انرژي توربولنسي براي پيش‌بيني ماكزيمم اندازه قطره با استفاده از تئوري هينزه-كولموگروف[٦] استفاده مي‌كنند. اين تئوري بيان مي‌كند كه در بازه سكون از طيف توربولنسي، فقط ادي‌هايی كه انرژي دارندو اندازه آنها كوچك‌تر از قطر قطره باشد، باعث شكست قطره‌ها مي‌شوند. مدل‌هاي مشابه، به كاهش ماكزيمم قطر قطره با تابعي تواني از ميانگين از بين رفتن انرژي توربولنسي با تواني معادل ٠/٤- و يا با يک روش مشابه با تابعي از سرعت همزن با تواني معادل ١/٢- منجر مي‌شوند. در حالت كلي نيز ميانگين قطر ساتر توزيع قطره‌ها از روشي مشابه پيروي مي‌كند. يک رابطه كلاسيک بين ميانگين اندازه قطره‌ها و عدد وبر همزن به اين ترتيب ارائه شده است[٦]:

$$D_{32} / D \propto We^{-0.6} \qquad (٣)$$

در اين معادله We عدد وبر، D قطر همزن، σ كشش بين سطحي و ρ_c دانسيته سيال فاز پيوسته است.

طبق تئوري بيان‌شده، معادلات مختلفي براي به دست آوردن انرژي ويسكوز ازبين‌رفته در فاز پراكنده در طول فرآيند شكست قطره به دست آمده است كه يكي از اين معادلات به اين ترتيب است[٧و٨]:

$$D_{32} / D \propto We^{-0.6} \left(1 + \alpha V_i \left(\frac{D_{32}}{D} \right)^{1/3} \right)^{0.6} \qquad (٤)$$

در اين معادله، V_i عدد ويسكوزيته، μ_d ويسكوزيته فاز پراكنده و α ثابت تناسب است.

اثر درصد حجمي دو فاز بر ميانگين اندازه قطره‌ها نيز بررسي شده‌اند كه نتايج به دست آمده اغلب به صورت يک تابع خطي با شيب مثبت و يا يک تابع تواني از هلدآپ ϕ به اين ترتيب ارائه شده است:

$$D_{32} / D = a(1 + b\phi)^n We^{-0.6} \qquad (٥)$$

در اين رابطه a، b و n اعداد ثابتي هستند[٦ و٨ تا١٠].بنابراين به راحتي مي‌توان گفت كه در دور همزن ثابت، با افزايش هلدآپ، قطره‌های بزرگ‌تري در محفظه اختلاط مشاهده مي‌شود. اين حالت، هم در مورد سيستم‌هايي با قابليت ائتلاف بالا و هم در مورد سيستم‌هايي با قابليت ائتلاف پايين صادق است. در مورد سيستم‌هايي با قابليت ائتلاف پايين، نتايج تئوري بيانگر رابطه خطي بين قطر ميانگين و هلدآپ است.

مدل‌هاي زيادي براي پيش‌بيني اندازه قطره‌ها در مخازن همزن‌دار ارائه شده است كه تعدادي از اين مدل‌ها در جدول (١) آورده شده است.

هدف از اين تحقيق، مطالعه اثر متقابل غلظت عامل فعال سطحي آنيوني و جزء منتقل‌شونده بر اندازه قطره‌ها در يک دستگاه ميكسر-ستلر افقي است. همچنين براي هر يک از غلظت‌هاي سديم دودسيل سولفات يک مدل رياضي ارائه شده است.

مشخصات ميكسر-ستلر مورد استفاده

ميكسر-ستلر مورد استفاده در آزمايش‌ها از نوع ميكسر-ستلر افقي بوده و تک مرحله‌اي است. همزن مورد استفاده از نوع دو پره ۴ تيغه‌اي با قطر ٢٢/٧٣ ميلي‌متر است كه به فاصله معيني از هم قرار گرفته‌اند. دور همزن به طور ديجيتالي قابل كنترل بوده و دبي پمپ‌ها به راحتي قابل تغيير هستند كه براي جريان‌ها به صورت هم‌جهت است. جنس همه مراحل از شيشه بوده و همه مراحل آزمايش به طور كامل قابل رؤيت هستند. شماي كلي ميكسر-ستلر مورد استفاده در شكل (١) و مشخصات آن در جدول (٢) ارائه شده است.

مواد شيميايي استفاده‌شده

سيستم شيميايي مورد استفاده، آب / تولوئن است كه از آب مقطر به عنوان فاز پيوسته و از تولوئن به عنوان فاز پراكنده استفاده شده است. سديم دودسيل سولفات به عنوان عامل فعال سطحي آنيوني حل‌شونده به فاز پيوسته و استن به عنوان جزء منتقل‌شونده به فاز پراكنده اضافه مي‌شود. مشخصات مواد شيميايي استفاده‌شده در جدول (٣) و (۴) آورده شده است.

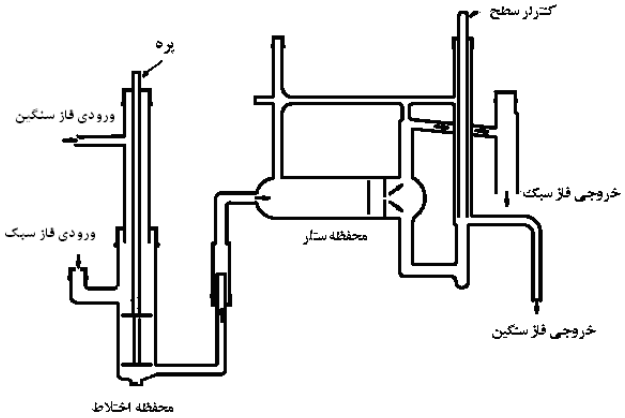
روش انجام آزمايش‌ها

قبل از انجام آزمایش‌ها، آب و تولوئن به طور کامل در یکدیگر اشباع می‌شوند تا از انتقال جرم بین آنها و اثر احتمالي آن بر نتایج جلوگیري شود. برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا همه مراحل را از فاز پیوسته پر کرده و سپس میکسر و پمپ مربوط به فاز پراکنده را روشن کرده و با کنترل کردن سطح فصل مشترک در ستلر، کل مراحل را پایدار می‌کنیم. منظور از پایدار کردن مراحل، در حقیقت کنترل و ثابت نگه داشتن مکان فصل مشترک دو فاز در ستلر است. بعد از رسیدن به حالت پایدار، براي اندازه‌گیري قطر قطره‌ها داخل میکسر، با استفاده از یک دوربین دیجیتالي سوني هشت مگا پیکسل مدل DSC-F828 با سرعت ۱/۲۰۰۰ ثانیه و با به کارگیري لنز ماکرو، عکس‌هاي زیادي از قطره‌ها در خروجي میکسر گرفته شده است. در پایان هر آزمایش، پمپ‌ها و میکسرها را به طور همزمان خاموش کرده و به کمک یک پمپ مکش، دو فاز از هر مرحله تخلیه شده و سپس نسبت حجم فاز پراکنده به حجم کل محاسبه می‌شود که بدین طریق میزان هلدآپ (ماندگي) در هر آزمایش به دست آمده است.

براي اندازه‌گیري کشش بین سطحي محلول‌ها، از یک دستگاه اندازه‌گیر کشش سطحي مدل (Krüss GmbH, Hamburg, Germany) استفاده شده است.

جدول ۱: روابط ارائه‌شده توسط بعضي از محققان براي قطر میانگین ساتر(D_{32})[۱و۱۱]

نوع پره	N(rps)	ϕ	روابط	محققان
چهار پره اي مورب با زاویه ۴۵ درجه	۱۰-۱۶	۰/۱-۰/۶		دسنویر و همکارانش(۲۰۰۳)
توربیني شش پره اي	-	۰/۰۲-۰/۲	$D_{32}/D=0.05C_s(1+2.316\phi)(D/d_T)^{-0.75}Fr^{-0.13}We^{-0.6}$	لي و سونگ(۱۹۸۵)
چهار یا دو پره ای مستقیم	۶-۲۵	۰/۰۶۱-۰/۱۶۶	$D_{32}=6\phi\left\{1+\left(\frac{c_1}{We\phi}\right)^2\right\}(c_2\phi^2+c_3\phi)$ $D_{32}/D=0.0336We^{-0.6}(1+13.76\phi)$ $D_{32}/D=0.0286We^{-0.6}(1+13.24\phi)$	کوادروس و باپتیسا (۲۰۰۳)



شکل ۱: شماي کلي میکسر-ستلر مورد استفاده

جدول۲: مشخصات ميكسر- ستلر مورد استفاده

مشخصه	نوع و مقدار
ظرفيت حجمي محفظه اختلاط	۲۰۰ ميلي ليتر
قطر همزن	۲۲/۷۳ ميلي‌متر
نوع همزن	دو پره ۴- تيغه اي
طول ته نشين كننده	۱۹/۵ سانتي‌متر
ظرفيت حجمي ته نشين كننده	۲۵۰ ميلي‌ليتر

جدول ۳: مشخصات مواد شيميايي مورد استفاده

ماده شيميايي	ويسكوزيته $(mPa.s)$	دانسيته (kg/m^3)	حالت	خلوص
آب مقطر	۰/۹۶	۹۹۶	مايع	۹۹%<
تولوئن	۰/۵۷	۸۷۰	مايع	۹۹%<
استن	۰/۳	۷۹۰	مايع	۹۹%<

جدول۴: مشخصات سورفكتانت مورد استفاده

ماده فعال سطحي	شكل ظاهري	حلاليت
سديم دودسيل سولفات	جامد(پودر سفيد رنگ)	محلول در فاز آبي

شرايط انجام آزمايش‌ها

براي بررسي اثر ماده فعال سطحي بر اندازه قطره‌ها، دو سري آزمايش انجام شده است. سري اول آزمايش‌ها بدون حضور ماده فعال سطحي و در حضور سه درصد وزني استن انجام شده است كه آزمايش‌ها در سه ماندگي و پنج دور همزن متفاوت انجام شده است. در سري دوم آزمايش‌ها، ماده فعال سطحي سديم دودسيل سولفات به فاز پيوسته اضافه شده است كه اين آزمايش‌ها در چهار غلظت مختلف از ماده فعال سطحي انجام شده كه براي هر غلظت، از شرايط هيدروديناميكي مشابه با سري اول آزمايش‌ها استفاده شده است.

محدوده عوامل آزمايش‌ها در جدول (۵) نشان داده شده است.

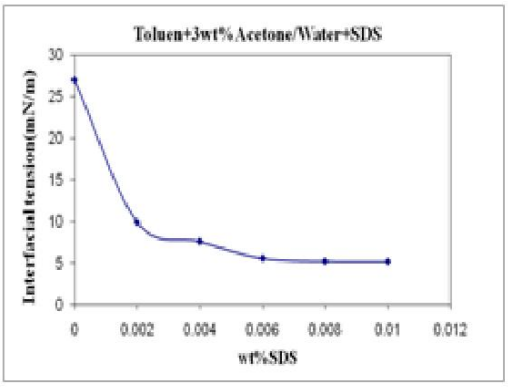
جدول۵: محدوده متغيرها براي انجام آزمايش‌ها

پارامتر	محدوده
ماندگي	۰/۳۲ – ۰/۲۷
دور همزن	۸۰۰ - ۶۰۰
غلظت جزء منتقل شونده (wt%)	۳
غلظت ماده فعال سطحي (wt%)	۰/۰۰۸ - ۰/۰

نتايج آزمايش‌ها

۱- اثر غلظت سديم دودسيل سولفات بر كشش بين سطحي تولوئن/آب در حضور سه درصد وزني استن

براي سيستم تولوئن / آب با غلظت‌هاي مختلف از سديم دودسيل سولفات و در حضور سه درصد وزني استن، كشش بين سطحي اندازه‌گيري شده است. شكل (۲) اثر غلظت سديم دودسيل سولفات بر كشش بين سطحي سيستم تولوئن/ آب را در حضور سه درصد وزني استن نشان مي‌دهد. همان طور كه از شكل قابل مشاهده است، با افزايش غلظت سديم دودسيل سولفات، كشش بين سطحي كاهش مي‌يابد، به طوري كه با افزايش غلظت سديم دودسيل سولفات از صفر تا ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۸ درصد وزني، كشش بين سطحي به ترتيب تا ۷۱، ۷۸، ۸۴ و۸۵ درصد كاهش مي‌يابد.

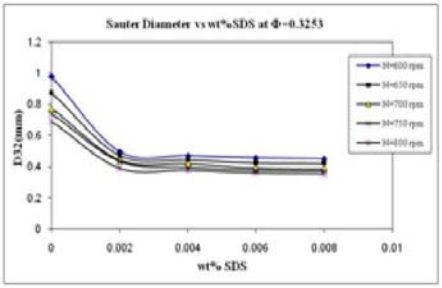


شكل۲: تأثير درصد وزني سديم دودسيل سولفات بر كشش بين سطحي تولوئن/آب در حضور سه درصد وزني استن در دماي۲۵°c

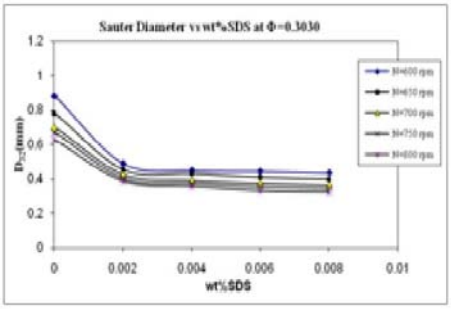
۲- اثر غلظت سديم دودسيل سولفات بر قطر ميانگين ساتر در حضور سه درصد وزني استن

شكل‌هاي (۳) تا (۵)، اثر غلظت سديم دودسيل سولفات در حضور سه درصد وزني استن را بر اندازه قطره‌ها در سه ماندگي مختلف براي پنج دور همزن مختلف نشان مي‌دهند. همان طور كه مشاهده مي‌شود، اندازه ميانگين قطره‌ها با افزايش غلظت سديم دودسيل سولفات كاهش مي‌يابد. يكي از عواملي كه اندازه قطره‌ها به آن وابسته است، كشش بين سطحي است. با كاهش كشش بين سطحي (شكل۲)، قطره‌هاي بزرگ‌تر به راحتي شكسته و به قطره‌هاي كوچك‌تر تبديل مي‌شوند كه نتيجه

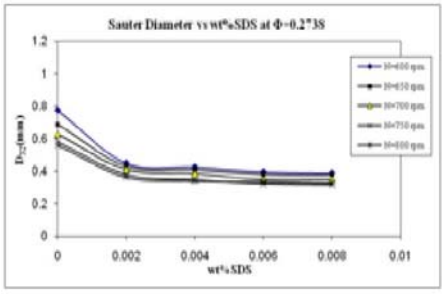
آن کوچک‌تر شدن قطر میانگین ساتر است. همان طور که از شکل‌ها نیز قابل مشاهده است، تغییرات قطر میانگین ساتر بر حسب درصد وزني سديم دودسيل سولفات دو ناحيه مجزا دارد که در ناحيه اول، قطر ساتر بر حسب درصد وزني سديم دودسيل سولفات به طور خطي تغيير مي‌کند که اين خط، خطي با شيب منفي و زياد است که نشان‌دهنده تغييرات شديد قطر ميانگين ساتر در درصدهاي پايين از ماده فعال سطحي است. در ناحيه دوم، قطر ميانگين ساتر با افزايش درصد وزني سديم دودسيل سولفات تا حدودي ثابت مي‌ماند که نشان‌دهنده تأثير کم ماده فعال سطحي بر قطر ميانگين ساتر در درصدهاي بالا از ماده فعال سطحي است.



شکل۳: تغییرات قطر میانگین ساتر بر حسب غلظت سدیم دودسیل سولفات در حضور سه درصد وزني استن و در**Φ=۰/ ۳۲۵۳**



شکل ۴: تغییرات قطر میانگین ساتر بر حسب غلظت سدیم دودسیل سولفات در حضور سه درصد وزني استن و در**Φ=۰/ ۳۰۳۰**



شکل ۵: تغییرات قطر میانگین ساتر بر حسب غلظت سدیم دودسیل سولفات در حضور سه درصد وزني استن و در**Φ=۰/ ۲۷۳۸**

جدول۶: ثوابت محاسبه شده براي معادله شش

ثوابت	بدون حضور SDS	با حضور wt ۰/۰۰۲ % SDS	با حضور wt ۰/۰۰۴ % SDS	با حضور wt۰/۰۰۶ % SDS	با حضور wt۰/۰۰۸ % SDS
a	۰/۰۲۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۶	۰/۰۲۲	۰/۰۲۱
b	۳/۵۵	۲/۸۴	۲/۶۱	۲/۹۱	۳/۰۶
c	۰/۷۴	۰/۳۶	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۴۴
d	۲/۹۸	۲/۲۹	۲/۳۳	۲/۵۵	۲/۶۰
e	-۰/۶۰۳	-۰/۳۸۸	-۰/۴۰۶	-۰/۵۳۲	-۰/۵۲۲
R^2	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷

مدل‌سازي اندازه قطره‌ها

مدل‌سازي اندازه قطره‌ها در دو حالت مختلف انجام شده است. در حالت اول مدل‌سازي اندازه قطره‌ها با نتايج آزمايشگاهي كه بدون حضور سديم دودسيل سولفات و در حضور سه درصد وزني استن به‌دست‌آمده، انجام شده است. در حالت دوم مدل‌سازي انداره قطره‌ها با نتايج آزمايشگاهي كه در حضور چهار غلظت مختلف سديم دودسيل سولفات و سه درصد وزني استن به‌دست‌آمده،انجام شده است.

براي مدل‌سازي اندازه قطره‌ها، از شكل كلي معادله زير استفاده كرده‌ايم:

$$\frac{D_{32}}{D_I} = a(1+b\phi^c)^d We^e \qquad (۶)$$

براي به دست آوردن ثوابت a، b، c، d و e معادله از روش حداقل مربع‌ها و نرم‌افزار مطلب استفاده شده است. نتايج به دست آمده براي حالت‌هاي مختلف مدل‌سازي در جدول(۶) نشان داده شده است. مطابق با جدول (۶) شكل مدل براي حالت‌هاي مختلف به اين ترتيب است:

براي سيستم تولوئن/ استن (۳ درصد وزنی)/ آب/ SDS (صفر درصد وزنی):

$$\frac{D_{32}}{D} = 0.025\ (1+3.55\phi^{0.74})^{2.98} We^{-0.603} \qquad (۷)$$

براي سيستم تولوئن/ استن (۳ درصد وزنی)/ آب/ SDS (۰/۰۰۲ درصد وزنی):

$$\frac{D_{32}}{D} = 0.012\ (1+2.84\phi^{0.36})^{2.29} We^{-0.388} \qquad (۸)$$

براي سيستم تولوئن/ استن (۳ درصد وزنی)/ آب/ SDS (۰/۰۰۴ درصد وزنی):

$$\frac{D_{32}}{D} = 0.016\ (1+2.61\phi^{0.41})^{2.33} We^{-0.406} \qquad (۹)$$

براي سيستم تولوئن/ استن (۳ درصد وزنی)/ آب/ SDS (۰/۰۰۶ درصد وزنی):

$$\frac{D_{32}}{D} = 0.022\ (1+2.91\phi^{0.39})^{2.55} We^{-0.532} \qquad (۱۰)$$

براي سيستم تولوئن/ استن (۳ درصد وزنی)/ آب/ SDS (۰/۰۰۸ درصد وزنی):

$$\frac{D_{32}}{D} = 0.021\ (1+3.06\phi^{0.44})^{2.60} We^{-0.522} \qquad (۱۱)$$

به طور كلي، از روابط به دست آمده مشاهده مي‌شود كه همه ضرايب تأثيرپذير از غلظت سديم دودسيل سولفات هستند. توان we براي غلظت‌هاي ۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۸ درصد وزني سديم دودسيل سولفات در محدوده ۰/۶- است، ولي براي غلظت‌هاي ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۴ درصد وزنی، انحراف كمي از تئوري هينزه- كولموگروف ديده مي‌شود.

براي بررسي درستي مدل‌هاي به دست آمده براي غلظت‌هاي مختلف از سديم دودسيل سولفات، مقدار متوسط خطاي نسبي مطلق ($AARD\%$) به كمک اين رابطه محاسبه شده و نتايج آن در جدول (۷) آورده شده است:

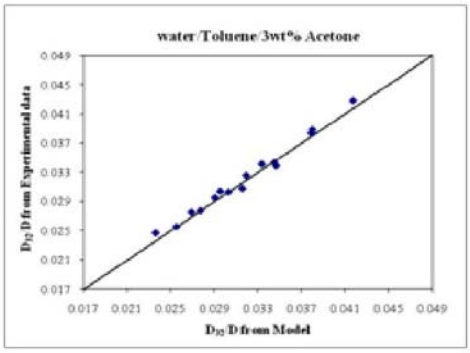
$$\%AARD = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{(\frac{D_{32}}{D})^i_{\exp} - (\frac{D_{32}}{D})^i_{model}}{(\frac{D_{32}}{D})^i_{\exp}}\right| \times 100 \qquad (۱۲)$$

جدول ۷: مقدار متوسط خطاي نسبي مطلق به دست آمده از مقايسه نتايج آزمايشگاهي با مدل‌هاي پيشنهاد شده

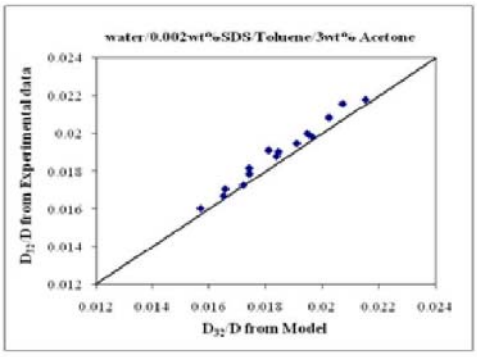
سيستم	$\%AARD$
با حضور ۳ درصد وزني استن و بدون سديم دودسيل سولفات	۱/۸
با حضور ۳ درصد وزني استن و ۰/۰۰۲ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	۲/۳۸
با حضور ۳ درصد وزني استن و ۰/۰۰۴ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	۳/۸۷
با حضور ۳ درصد وزني استن و ۰/۰۰۶ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	۲/۰۲
با حضور ۳ درصد وزني استن و ۰/۰۰۸ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	۲/۶۷

براي بررسي كيفيت برازش مدل ، نمودار تغييرات اندازه قطره‌هاي به دست آمده از مدل، بر حسب تغييرات اندازه قطره‌هاي به دست آمده از نتايج آزمايشگاهي در شكل‌هاي (۶) تا (۱۰) رسم شده است. همان طور كه از شكل‌ها نيز قابل مشاهده است، نقاط روي شكل به خط نيمساز به طور كامل نزديک هستند و نتايج به دست آمده از مدل، تطابق قابل قبولي با نتايج آزمايشگاهي را نشان مي‌دهند كه با توجه به مقدار $AARD\%$ نيز قابل پيش‌بيني بود.

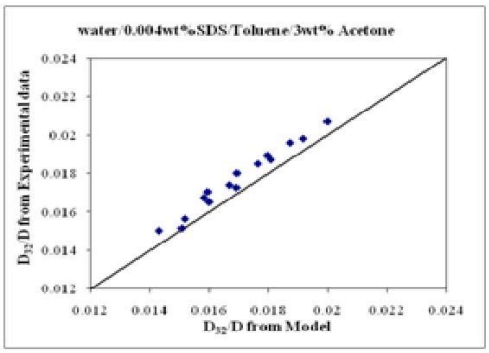
براي مقايسه مدل‌هاي پيشنهاد شده براي سيستم تولوئن/ استن/ آب/ سديم دودسيل سولفات با ساير مدل‌هاي ارائه‌شده توسط محققان، از آنجايي كه مدلي مناسب براي سيستم با حضور جزء منتقل‌شونده در مقالات يافت نشد، از دو مدل ارائه‌شده توسط دسنوير و مدل لي و سونگ استفاده مي‌كنيم. دسنوير براي تعيين قطر ميانگين ساتر، دو مدل ارائه كرده است كه مدل اول براي سيستم نيكل- كلرايد و مدل دوم براي سيستم اسيد كلريدريک ارائه شده است. در اين جا نخست مدل اول به دليل نزديک بودن خواص فيزيكي سيستم به كار رفته با اين سيستم، براي مقايسه در نظر گرفته شده است. نتايج حاصل از اين مقايسه در جدول(۸) آورده شده است.



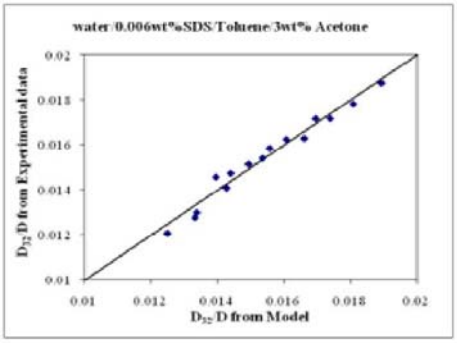
شكل ۶: تغييرات قطر ميانگين به دست آمده از نتايج آزمايشگاهي نسبت به قطر ميانگين به دست آمده از مدل براي سيستم آب/ تولوئن با ۳ درصد وزني استن



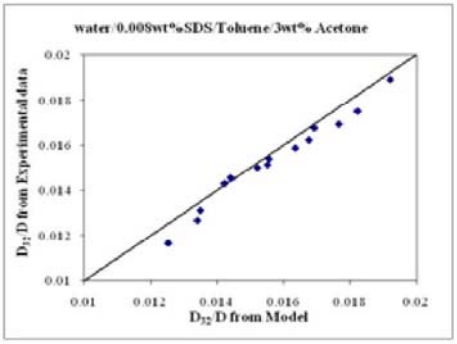
شكل ۷: تغييرات قطر ميانگين به دست آمده از نتايج آزمايشگاهي نسبت به قطر ميانگين به دست آمده از مدل براي سيستم آب/ تولوئن با ۳ درصد وزني استن و ۰/۰۰۲ درصد وزني سديم دودسيل سولفات



شكل ۸: تغييرات قطر ميانگين به دست آمده از نتايج آزمايشگاهي نسبت به قطر ميانگين به دست آمده از مدل براي سيستم آب/ تولوئن با ۳ درصد وزني استن و ۰/۰۰۴ درصد وزني سديم دودسيل سولفات



شكل ۹: تغييرات قطر ميانگين به دست آمده از نتايج آزمايشگاهي نسبت به قطر ميانگين به دست آمده از مدل براي سيستم آب/ تولوئن با ۳ درصد وزني استن و ۰/۰۰۶ درصد وزني سديم دودسيل سولفات



شكل ۱۰: تغييرات قطر ميانگين به دست آمده از نتايج آزمايشگاهي نسبت به قطر ميانگين به دست آمده از مدل براي سيستم آب/ تولوئن با ۳ درصد وزني استن و ۰/۰۰۸ درصد وزني سديم دودسيل سولفات

مدل‌هاي ارائه‌شده با مدل لـي و سـونگ نيـز مقايسـه شده‌اند كه نتايج در جدول(٩) ديده مي‌شود. بـا توجـه بـه نتايج به دست آمده مي‌توان گفت كه نتـايج آزمايشـگاهي تطابق خوبي با مـدل دسـنوير در مقايسـه بـا مـدل لـي و سونگ دارند كه دليل آن را مي‌توان نزديک بـودن شـرايط آزمايشگاهي دسـنوير از نظـر محـدوده هلـدآپ و خـواص فيزيكي سيستم به سيستم ما دانست و وجـود خطـاي بـه نسبت بالاى نتايج آزمايشگاهي با مدل لي و سـونگ را در كاربرد اين مدل براي هلدآپ هاي پايين دانست.

جدول٨: نتايج مقايسه مدل هاي ارائه شده با مدل دسنوير

سيستم	$\%AARD$
با حضور ٣ درصد وزني استن و بدون سديم دودسيل سولفات	٦/٨٣
با حضور ٣ درصد وزني استن و ٠/٠٠٢ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	٧/٠٨
با حضور ٣ درصد وزني استن و ٠/٠٠٤ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	١٣/٧٥
با حضور ٣ درصد وزني استن و ٠/٠٠٦ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	٢١/٢٥
با حضور ٣ درصد وزني استن و ٠/٠٠٨ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	٢٥/١٢

همچنين نوع همزن مورد استفاده براي آزمـايش‌هـاي دسنوير از نوع چهار پره‌اي مورب با زاويه ۴۵ درجه و براي آزمايش‌هاي لي و سونگ از نوع توربيني شش پره‌اي است كـه مـي‌توانـد دليـل ديگـري بـراي اخـتلاف بـين نتـايج آزمايشگاهي با اين دو مدل باشد.

جدول٩: نتايج مقايسه مدل هاي ارائه شده با مدل لي و سونگ

سيستم	$\%AARD$
با حضور ٣ درصد وزني استن و بدون سديم دودسيل سولفات	٩٥/٤٦
با حضور ٣ درصد وزني استن و ٠/٠٠٢ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	٩٥/٢٠
با حضور ٣ درصد وزني استن و ٠/٠٠٤ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	٩٢/٨٤
با حضور ٣ درصد وزني استن و ٠/٠٠٦ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	٩٣/٤٦
با حضور ٣ درصد وزني استن و ٠/٠٠٨ درصد وزني سديم دودسيل سولفات	٩١/٧٠

نتيجه‌گيري كلي

به طور كلي از آزمايش‌هاي انجام شده مي‌توان نتـايج زير را بيان كرد:

- افزايش غلظت عامل فعال سـطحي سـديم دودسـيل سولفات كشش بين سطحي تولوئن/ آب كاهش مي‌يابد، به طوري كه با افـزايش غلظـت آن از صـفر تـا ٠/٠٠٨ درصد وزني، كشـش بـين سـطحي سيسـتم حـدود ٨٠ درصد كاهش يافته است.
- با افزايش غلظت سديم دودسيل سـولفات ميـانگين اندازه قطره‌ها كاهش مي‌يابد كه دليل آن كاهش كشش بين سطحي است. به طور كلي با افزايش ٠/٠٠٨ درصد وزني سديم دودسيل سولفات در حضور سه درصد وزني استن، ميانگين اندازه قطره‌ها حدود ۴۸/۷ درصد كاهش مي‌يابد.
- براي حالت‌هاي مختلف آزمايش شـده(بـدون حضـور سديم دودسيل سولفات و در حضور غلظت‌هاي مختلف سديم دودسيل سولفات) مدل‌هاي مختلف ارائه شده كه به طور متوسط خطاي مدل كمتر از ۴درصد بوده است كه مي‌توان نتيجه گرفت كه اين مدل‌ها تطابق خوبي با نتايج آزمايشگاهي دارند.
- توان عدد وبر براي ۵ مدل ارائه‌شده براي غلظت‌هـاي ٠/٠٠٢ و ٠/٠٠۴ درصـد وزنـي بـه ترتيـب ٠/٣٠٨- و ٠/۴٠۶- است و براي غلظت‌هـاي ٠ ، ٠/٠٠۶ و ٠/٠٠٨ درصـــد وزنـــي،٠/۶٠٣- ، ٠/۵٢٢- و ٠/۵٣٢- اســـت. بنابراين مي‌توان نتيجه گرفـت كـه بـا افـزايش غلظـت سديم دودسيل سولفات تا ٠/٠٠۴ درصد وزني از تئوري هينزه-كولموگروف دور مـي‌شـويم و بـا افـزايش آن تـا ٠/٠٠۶ و ٠/٠٠٨ درصـد وزنـي انحـراف از ايـن تئـوري كمتر مي‌شود.
- ميانگين خطاي نسبي مطلق نتـايج آزمايشـگاهي در مقايسه با مدل دسنوير بـه طـور متوسـط ١۴/٨ درصـد است كه نشان‌دهنده تطابق به نسبت خوب مدل‌هاي به دست آمده با اين مدل است، ولـي مـدل لـي و سـونگ تطابق خوبي نداشـته و ايـن بـه دليـل متفـاوت بـودن شرايط كاري است. به طـور كلـي مشخصـات هندسـي تجهيزات، نـوع همـزن، خصوصـيات فيزيكـي سيسـتم، محدوده هلدآپ، دور همزن بـه كـار رفتـه و پيوسـته و ناپيوسته بودن سيستم، تأثير بسزايي در ميانگين اندازه قطره‌ها دارد.

فهرست علائم

D_{32}: قطر میانگین ساتر(mm)
D : قطر پره(mm)
d : قطر قطره(mm)
N : دور همزن (rpm)
we : عدد وبر $We = \frac{\rho_c N^2 D^3}{\sigma}$
Fr : عدد فرود
d_T : قطر تانک(mm)
ϕ : هلدآپ(ماندگی)
σ : کشش سطحی (mN/m)
ρ_c : دانسیته فاز پیوسته(kg/m^3)

C_s : ضریب غلظت عامل فعال سطحی در معادله (۱)
μ_d : ویسکوزیته فاز پراکنده(Pa.s)
α : ضریب تناسب
V_i : عدد ویسکوزیته $V_i = \frac{\mu_d ND}{\sigma}$
a : ضریب عددی
b : ضریب عددی
C_1 : ضریب عددی
C_2 : ضریب عددی
C_3 : ضریب عددی
n : ضریب عددی

مراجع

1- Lee, J. M. and Soong,Y. (1985). "Effects of surfactants on the liquid-liquid dispersion in agitated vessels." *Ind. Eng. Chem. Process Des. Deu*., Vol. 24 ,PP. 118-121.

2- Hoffer, M. S. and Resnick, W. (1979). "A study of agitated liquid-liquid dispersions." *Chem. Eng. Res. and Des.* Vol. 57, PP. 8-14.

3- Tcholakova, S., Denkov, N. D. and Danner, T. (2004). "Role of surfactant type and concentration for the mean drop size during emulsification in turbulent flow." *Langmuir*, Vol.20, No. 18, PP. 7444-7458.

4- Skelland, A.H.P. and Jeffrey, S. (1998). "Transient drop size in agitated liquid-liquid systems, as influenced by the direction of mass transfer and surfactant concentration." *Ind. Eng. Chem. Res*., Vol. 31, PP. 2556-2563.

5- Zhou, G. and Kresta, S.M.(1998). "Evolution of drop size distribution in liquid-liquid dispersions for various impellers." *Chem. Eng. Sci*., Vol. 53, No. 11, PP. 2099-2113.

6- Desnoyer, C., Masbernat, O. and Gourdon, C. (2003). "Experimental study of drop size distributions at high phase ratio in liquid–liquid dispersions." *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 58, PP. 1353 – 1363.

7- Calabrese, R. V., Chang, T. P. K., and Dang, P. T. (1986)." Drop breakup in turbulent stirred-tank contactors. "*AICHE*, Vol. 32, No .4, PP. 657–666.

8- Baldyga, J., Bourne, J. R., Pacek, A. W., Amanullah, A. and Nienow, A.W. (2001). "Effects of agitation on drop size in turbulent dispersions: Allowance for intermittency." *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 56, PP. 3377–3385.

9- Lagisetty, J. S. , Das, P. K., Kumar, R., and Ghandi, K. S. (1986)." Breakage of viscous and non-newtonian drops in stirred dispersions." *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 41, No. 1, PP. 65–72.

10- Doulah, M. S. (1975)." An effect of hold-up on drop sizes in liquid–liquid dispersions." *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, Vol. 14, No. 2, PP. 137–138.

11- Singh, K.K., Mahajani, S.M., Shenoy, K.T. and Ghosh, S.K. (2008). "Representative drop sizes and drop size distributions in A/O dispersions in continuous flow stirred tank." *Hydrometallurgy*, Vol. 90, PP. 121-136.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1- Hoffer and Resnick
2- Tcholakova
3- Lee and Soong
4- Hong and Lee
5- Skelland and Jeffrey
6- Hinze-Kolmogorov