

# تأثیر اندازه قطره آب در شکل گیری انعقاد یا شکست تعلیق آب در روغن آفتابگردان تحت میدان الکتریکی در دو سامانه انعقاد قطره - قطره و انعقاد قطره - سطح

مرتضی حسینی\*

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

**چکیده:** این مطالعه آزمایشگاهی در زمینه تأثیر اندازه قطره‌ها در رفتار انعقاد قطره‌های آب در روغن آفتابگردان تحت میدان الکتریکی غیر یکنواخت DEP (دی-الکتروفورز) با دو جریان اره‌ای (Ramp) و مربعی (square) در دو سامانه انعقاد قطره - قطره و انعقاد قطره - سطح می‌باشد. در این آزمایش از یک استوانه از جنس پلکسی (Perspex) با یک ژاکت مسی تشکیل شده بود استفاده شده است. به الکتروود داخل استوانه که از جنس قلع بوده است یک ولتاژ بالا اعمال می‌شد و الکتروود دوم که ژاکت مسی بوده است به زمین وصل شده بود با پرتاب قطره‌های آب، قطره‌ها در هنگام عبور از فاز روغن و برقراری جریان الکتریکی چگونگی انعقاد و رفتار قطره‌های به وجود آمده توسط دوربین پرسرعت عکس و فیلم گرفته می‌شد دیده شد که به طور کلی برای هر دو سامانه دو نوع انعقاد رخ می‌دهد: الف) - انعقاد کامل ب) - انعقاد ناقص. همه آزمایش‌ها در فرکانس ۶۰ هرتز و ولتاژ ۲۰۰۰ ولت صورت گرفت. قطر قطره‌ها هم بین ۲۰۰ و ۶۵۰ میکرومتر با استفاده از تصویرهای به دست آمده از (Photron Fastcam Viewer) PFV و به وسیله نرم افزار image-pro اندازه‌گیری شدند.

**واژه‌های کلیدی:** میدان الکتریکی؛ تعلیق؛ انعقاد قطره - قطره؛ انعقاد قطره - سطح؛ اندازه قطره.

**KEYWORDS:** Electric Field, Drop-drop coalescence; Electro coalescence; Emulsion; Demulsification.

## مقدمه

ساخت تعلیق آب در روغن در صنایع غذایی و ثبات تعلیق در صنایع دارویی از سوی دیگر موضوع بسیار مهم می‌باشند. به هر حال مطالعه رفتار انعقاد قطره‌ها و یا بررسی پایداری تعلیق‌ها تحت میدان الکتریکی امری بسیار ضروری می‌باشند. در زمان استخراج نفت خام از چاه‌های نفت به خاطر شرایط ترمودینامیکی و فیزیکی مقداری آب به عنوان فاز پراکنده درون نفت خام به صورت تعلیق انتقال می‌یابد که باید جداسازی شود. بنابراین شناخت در رفتار انعقاد قطره‌ها در فاز پراکنده تحت میدان الکتریکی

میدان الکتریکی یکی از فرایندهایی است که به طور گسترده در فرایندهای جداسازی در صنایع به ویژه در صنعت نفت و پتروشیمی، صنایع غذایی و دارویی استفاده فراوان دارد [۱]. روش میدان الکتریکی غیر یکنواخت (دی الکتروفورز DEP) یکی از روش‌های مناسب برای شکست تعلیق‌های ناخواسته می‌باشد. تشکیل تعلیق در بسیاری صنایع شیمیایی دلخواه یا ناخواسته است [۲]. بنابراین پدیده تشکیل تعلیق آب در نفت خام در صنعت نفت و با تشکیل تعلیق به صورت پساب‌های روغنی از یک سو و

\*عهده دار مکاتبات

+E-mail: m.hosseini@nit.ac.ir

### هدف کار حاضر

هدف از این کار پژوهشی بررسی تاثیر سایز ذره‌ها در رفتار انعقاد ذره‌ها در دو سامانه انعقاد قطره - قطره و انعقاد قطره - سطح تحت میدان الکتریکی غیر یکنواخت می‌باشد و این‌که آیا قطره‌های ریزتر در شرایط الکتریکی یکسان نسبت به قطره‌های درشت‌تر رفتار متفاوتی دارند یا نه؟ به طور کلی نوع انعقادی که ممکن است رخ دهد باید در این جا بررسی شوند: الف - انعقاد کامل ب - انعقاد ناقص.

وقتی دو قطره آب به یکدیگر نزدیک می‌شوند یک فیلم از فاز روغن بین آن‌ها تشکیل می‌شود که باعث تلاقی دو قطره می‌شود. پس از این مرحله باید شاهد انعقاد کامل یا ناقص باشیم که اندازه ذره‌ها می‌تواند یکی از عامل‌های مهم در این امر باشد [۷].

### بخش تجربی

دستگاه میدان الکتریکی غیر یکنواخت شامل یک استوانه از جنس پلکسی<sup>(۱)</sup> با یک ژاکت مسی<sup>(۲)</sup> بوده است. قطر و ارتفاع استوانه پلکسی به ترتیب ۲ و ۳۴ سانتیمتر و قطر و ارتفاع ژاکت مسی به ترتیب ۲/۲ و ۳۱ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

در جلو و پشت ژاکت مسی یک سوراخ کوچک به قطر ۱،۹ سانتیمتر ایجاد شده بود تا از درون آن پدیده انعقاد توسط دوربین ویژه قابل عکس و فیلمبرداری باشد. در داخل محفظه‌ی استوانه‌ای، الکتروود مرکزی از جنس قلع استفاده شده است که ولتاژ بالا به این الکتروود وصل می‌شد. ژاکت مسی هم به عنوان الکتروود دوم به زمین وصل شده بود. نمایش شمایی از سامانه‌های مورد استفاده برای آزمایش‌های مربوطه در شکل ۱ نشان داده شده است.

دو سامانه انعقاد قطره - قطره<sup>(۳)</sup> و انعقاد قطره - سطح<sup>(۴)</sup> مورد آزمایش قرار گرفت.

برای سامانه انعقاد قطره - قطره (ابتدا استوانه توسط روغن آفتابگردان به طور کامل پر می‌شد. در بالای این سیلندر یک سوراخ بسیار کوچک ایجاد شده بود که می‌شد توسط یک سرنگ قطره‌های آب را به درون روغن پرتاب نمود. با پرتاب دو قطره آب دیونیزه از قسمت فوقانی استوانه و برقراری ولتاژ رفتار انعقاد بررسی می‌شد. برای سامانه انعقاد قطره - سطح، یک سوم قسمت تحتانی استوانه از آب دیونیزه پر شده و در قسمت بالایی استوانه از روغن آفتابگردان پر شده بود. این بار با پرتاب قطره‌های آب،

در اثر مجموعه پارامترهای مهم ضرورت این پژوهش را توجیه می‌نماید. این روزها فناوری‌های زیادی برای جداسازی تعلیق آب و روغن وجود دارد. مانند افزودن تعلیق شکن شیمیایی، وزنی یا گریز از مرکز، عملیات گرمایی. میدان الکتریکی به طور گسترده در مواد شیمیایی، نفت و صنایع بیوشیمیایی استفاده می‌شود [۴، ۳]. در یک میدان الکتریکی غیر یکنواخت ذره‌ها صرف نظر از نوع باری که دارند نیرویی را تجربه می‌کنند که باعث می‌شود آن‌ها به ناحیه با میدان الکتریکی بالا (مرکز استوانه شکل ۱) و ناحیه با میدان الکتریکی ضعیف تر (در نزدیکی دیوار استوانه شکل ۱) حرکت کنند. روش میدان الکتریکی به دلیل اقتصادی بودن این روش به ویژه به دلیل جنبه‌های زیست محیطی بسیار مناسب برای شکستن تعلیق‌ها می‌باشد [۵]. بنابراین روش میدان الکتریکی می‌تواند برای بررسی رفتار قطره‌هایی که به صورت تعلیق در آمده‌اند مورد استفاده قرار بگیرند.

### مکانیسم میدان الکتریکی غیر یکنواخت بر انعقاد قطره - سطح و انعقاد قطره - قطره

وقتی یک قطره آب در یک میدان الکتریکی غیر یکنواخت قرار می‌گیرد. نیرویی به این قطره اعمال می‌شود. که به این نیرو، نیروی دی الکتروفورز گفته می‌شود ( $F_{dep}$ ). با توجه به معادله (۱) اندازه نیروی DEP برای ظرف استوانه‌ای از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود [۵]:

$$F_{dep} = \frac{\pi d^2 \epsilon_c (\delta_d - \delta_c) E^2}{2(\delta_d + 2\delta_c) R \ln^2(D_j/D_c)} \quad (1)$$

بر اساس معادله (۱) مقدار  $F_{dep}$  بستگی به پارامترهای زیر دارد. نسبت قطر ژاکت مسی (DJ) به قطر (DC) استوانه حامل تعلیق (شکل ۱). معادله (۱) نشان می‌دهد که نیروی DEP وقتی که نسبت داده شده در بالا افزایش یابد ضعیف تر خواهد شد. بنابراین یک میدان الکتریکی قوی مورد نیاز است [۶، ۵].

ثابت دی الکتربک چیزی که در فاز پیوسته به نوع تعلیق بستگی دارد.

قطره‌های با قطر کوچک‌تر به نیروی DEP کم‌تری نیاز دارند. زمانی که فاصله (R) بین مرکز قطره آب و الکتروود مرکزی افزایش یافته است، اثر شدت میدان الکتریکی از الکتروود مرکزی به قطره‌های دورتر، کاسته می‌شود.

(۱) Perspex Cylinder

(۲) Copper jacket

(۳) Drop-drop coalescence

(۴) Drop-interface coalescence

جدول ۱- خواص مایع استفاده شده (آب یون زدایی شده) را نشان می دهد [۲].

ثابت دی الکتریکی	چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )	گرانروی (mPa s)	هدایت الکتریکی ( $\mu\text{S/m}$ )	مایع
۸۰	۱۰۰۰	۱	۵,۵	آب یون زدایی شده
۵,۰	۹۳۲	۴۷,۵	$7.73 \times 10^{-5}$	روغن آفتابگردان

دو نوع موج در این کار مورد استفاده قرار گرفته بود (اره‌ای<sup>(۵)</sup> و مربعی<sup>(۶)</sup>)، همه آزمایش‌ها در  $23^\circ\text{C}$  انجام شد. در آزمایش‌های انجام شده روغن آفتاب گردان از فروشگاه موریسون انگلیس تهیه شده بود. قطر قطره‌های آب در بازه‌ی بین ۲۰۰ و ۶۵۰ میکرومتر بود که با استفاده از تصویرهای به دست آمده از Photron Fastcam Viewer به وسیله نرم افزار image-pro اندازه گیری شد. از یک لامپ هالوژن سرد (Veritas , Constellation 60, 6650 K) برای ایجاد روشنایی مناسب برای گرفتن عکس و فیلم‌های با کیفیت استفاده شد. از آب یون زدایی به عنوان فاز پراکنده استفاده شد.

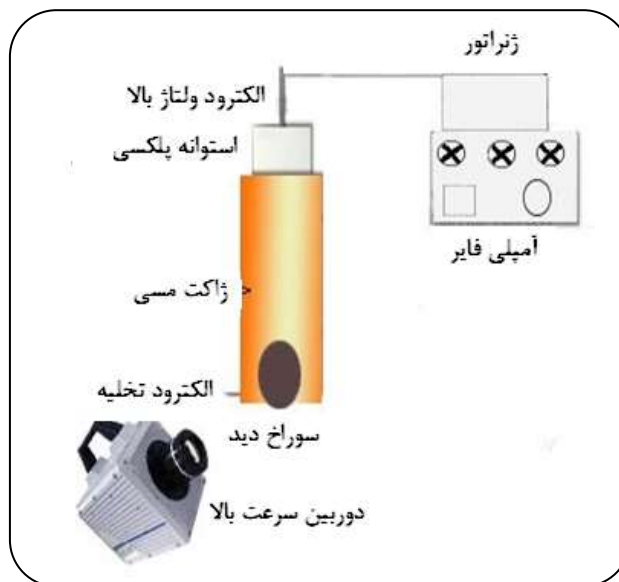
### نتیجه‌ها و بحث

#### بررسی تأثیر اندازه قطره‌ها در رفتار انعقاد تحت میدان الکتریکی (انعقاد کامل یا ناقص)

در این پژوهش از دو نوع جریان الکتریکی اره‌ای و مربعی در شرایط یکسان نسبت به هم (ولتاژ یکسان، فرکانس یکسان ولی قطره‌ها با اندازه‌های گوناگون) استفاده شده است که سرانجام نتیجه‌های زیر به دست آمده است:

دو پدیده غالب در همه انعقادها وجود دارند: پمپ کردن قطره در فاز توده ای (با توجه به کشش بین سطحی) که باعث انعقاد کامل می‌شود و دیگر فرایند تخلیه فشار از درون قطره (قطره هل داده می‌شوند به فاز پیوسته) که باعث انعقاد ناقص می‌شود.

در شکل ۲ تأثیر اندازه قطره را نشان می‌دهد که قطره کوچک‌تر (۳۰۰ میکرومتر) یک انعقاد کامل را ایجاد می‌کند بدون آن‌که ذره‌ها و قطره‌های ریزتر از آن جدا شوند. ولی قطره درشت‌تر (۵۰۰ میکرومتر) ایجاد انعقاد ناقص می‌کند. در این حالت قطره‌های آب به شدت به فاز پیوسته فشار وارد می‌کنند و منجر به افزایش طول زیاد قطره‌ها شده که سرانجام قطره‌های ریزتر ثانویه تولید می‌شوند که در امر جداسازی یکی از مشکل‌های بسیار مهم می‌باشد. در این آزمایش از یک جریان اره‌ای در فرکانس ۶۰ هرتز و ۲۰۰۰ وات در سامانه تلاقی قطره - سطح استفاده شده است.

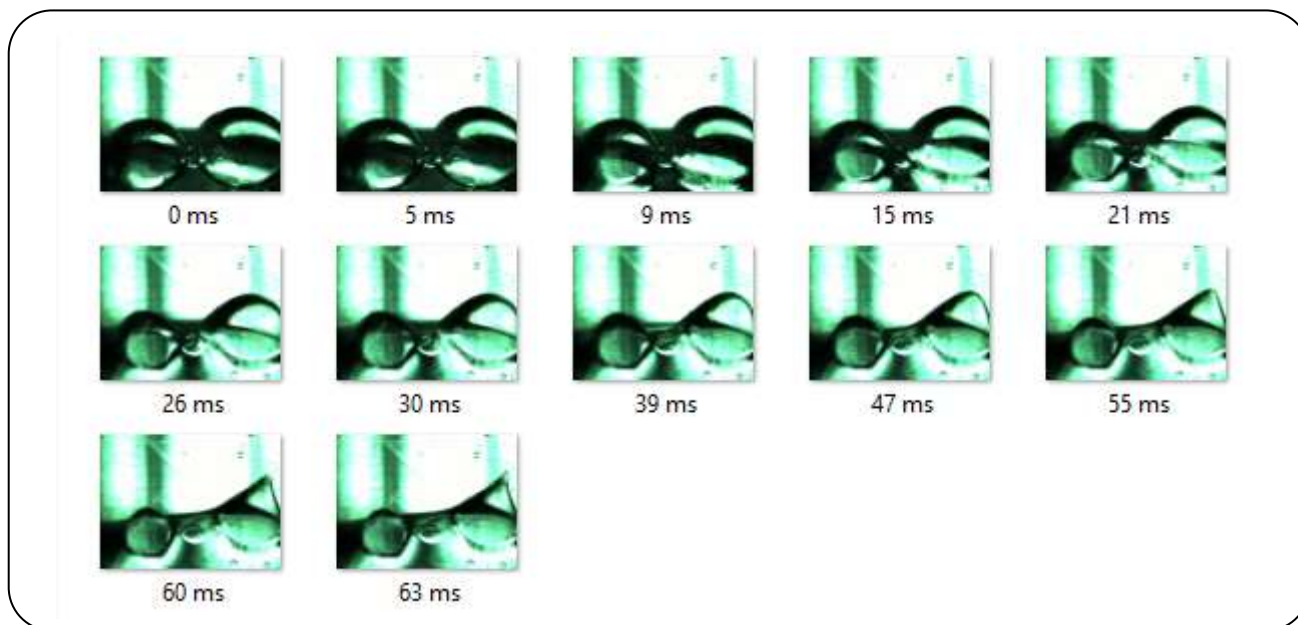


شکل ۱- نمایشگر کلی از یک محفظه استوانه‌ای تحت میدان الکتریکی غیر یکنواخت جهت شکست امولسیون و یا تلاقی قطره‌ها به هم می‌باشد.

قطره‌ها بعد از عبور از فاز روغن به سطح فاز آبی در قسمت زیرین استوانه برخورد می‌کردند که در همین لحظه جریان الکتریکی برقرار می‌شد. برای دیدن پدیده انعقاد، دور بین درست روبروی سوراخی که در ژاکت مسی ایجاد شده بود متمرکز شده بود. برای هردو سامانه روند انعقاد پس از پرتاب قطره‌ها به محض رسیدن قطره‌ها در قسمتی که توسط دوربین قابل دیدن بود جریان الکتریکی برقرار می‌شد و هم‌زمان توسط دوربین عکس و فیلم از اتفاقاتی که می‌افتاد گرفته می‌شد. برای ایجاد ولتاژ بالا از یک امپلی فایر (TREK20/20C) استفاده شده است. دوربین ویدیویی دیجیتال با سرعت بالا (PHOTO FASTCAMS A5) با یک لنز میکرو (NAVITAR12-ZOOM LENS) مجهز شده بود. این دوربین قادر بود در هر ثانیه ۲۰۰۰۰ عکس دیجیتال گرفته و هم‌زمان فیلم برداری نماید که مستندات آن در فایل‌های ویدیویی جداگانه نزد نشریه موجود می‌باشند. اندازه قطره‌های آب در بازه‌ی ۲۰۰ و ۶۵۰ میکرومتر اندازه‌گیری شده است.

(۱) Pamp

(۲) Square



شکل ۲- نمایشگر انعقاد ۲ قطره آب با اندازه های مختلف (۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومتر) با جریان اره ای (ramp) در فرکانس ۶۰ هرتز و ۲۰۰۰ وات در سیستم تلاقی قطره - سطح (drop-interface coalescence) می باشد.

شکل ۵ نمایانگر یک انعقاد ناقص با اندازه های گوناگون (۳۵۰ و ۵۹۵ میکرومتر) با جریان مربعی در فرکانس ۶۰ هرتز و ۲۰۰۰ وات در سامانه تلاقی قطره - قطره می باشد. در اینجا دو قطره نسبتاً درشت بعد از تلاقی ایجاد یک قطره درشت کرده که در مقایسه با آزمایش شکل ۴، قطره تولید شده درشت می باشد. همین امر به علت فشار زیاد و کش آمدن زیاد قطره، باعث پمپ کردن مداوم درون قطره شده که سرانجام باعث جدا شدن قطره های بسیار ریز ثانویه شده است که جداسازی آن ها بسیار مشکل می باشد که در علم جداسازی این نوع انعقاد یک انعقاد ناخواسته نامیده می شود [۸].

در ضمن برای همه شکل ها که آزمایش انعقاد در دو سامانه انعقاد قطره - قطره و انعقاد قطره - سطح انجام شده است.

### نتیجه گیری

دو پدیده غالب در همه انعقادها وجود دارند:

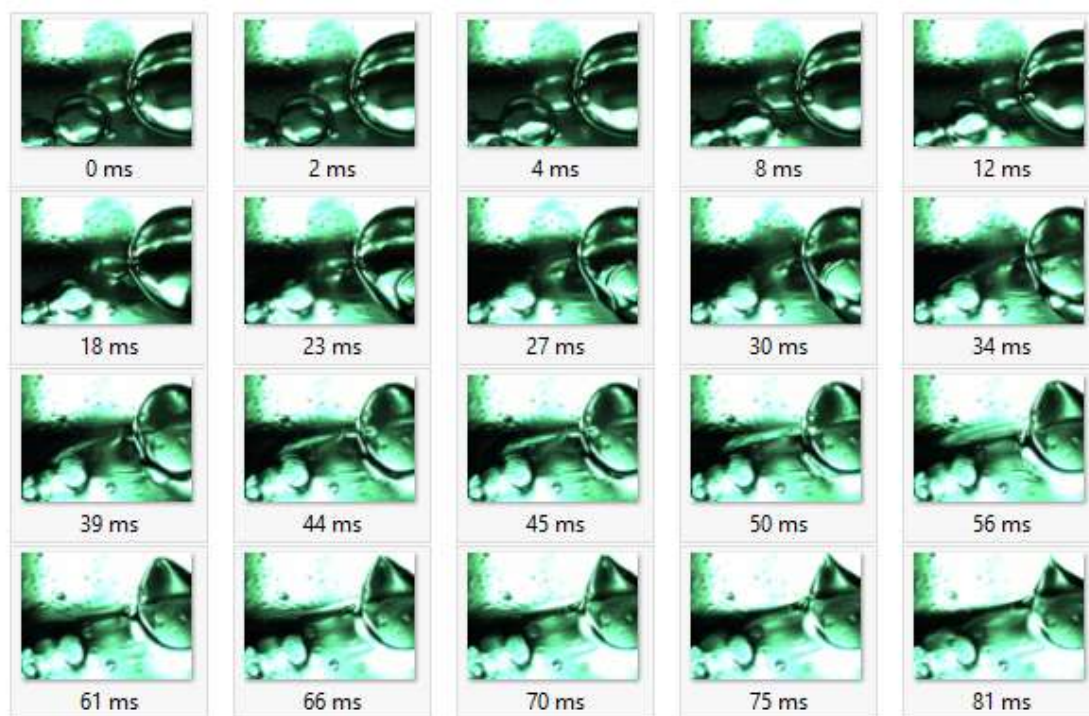
- ۱- پمپ کردن قطره در فاز توده ای (با توجه به کشش بین سطحی)
- ۲- فرایند تخلیه فشار از درون قطره (قطره هل داده می شوند به فاز پیوسته) که منجر به افزایش اندازه قطره ها می شود. فرایند تخلیه و پمپ کردن به طور مداوم در رقابت با یکدیگرند.

در شکل ۳ شاهد انعقاد کامل توسط دو قطره ی ریزتر در اندازه های ۲۰۰ و ۲۶۰ میکرومتر و همچنین شاهد یک انعقاد ناقص توسط قطره ی درشت تر در اندازه ۶۵۰ میکرومتر می باشیم. این انعقادها در سامانه انعقاد قطره - سطح صورت گرفته است.

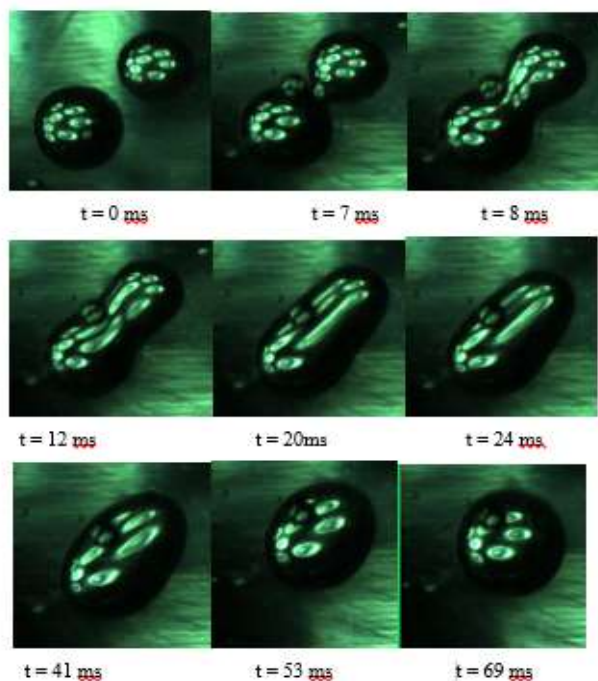
توصیف این پدیده یعنی انعقاد ناقص بدین صورت است که فرایند تخلیه فشار از درون قطره یک پدیده غالب در مقابل پدیده پمپ کردن می باشد (قطره هل داده می شوند به فاز پیوسته) و منجر به افزایش اندازه قطره ها می شود. فرایند تخلیه و پمپ کردن به طور مداوم در رقابت با یکدیگرند. اگر فرایند پمپ کردن (با توجه به کشش بین سطحی، قطره به فاز توده ای فشار داده می شود) سریع تر از فرایند تخلیه باشد منجر به انعقاد کامل می شود و برعکس به انعقاد ناقص منجر خواهد شد (تخلیه تندتر باشد).

شکل ۴ یک انعقاد کامل را در سامانه قطره - قطره نشان می دهد. همان گونه که در شکل می بینیم دو قطره به نسبت کوچک (۲۴۵ میکرو متر) می باشد که به خاطر ریز بودن قطره ها فشار کمتری از طرف آن ها به همدیگر وارد می شود که در نتیجه موجب یک انعقاد کامل می شود. در این آزمایش از یک جریان مربعی در فرکانس ۶۰ هرتز و ۲۰۰۰ وات در سامانه تلاقی قطره - قطره استفاده شده است.





شکل ۳- نمایشگر انعقاد ۳ قطره آب با سطح مشترک آب - روغن با اندازه‌های گوناگون (۲۰۰، ۲۶۰ و ۶۵۰ میکرومتر) با جریان مربعی در فرکانس ۶۰ هرتز و ۲۰۰۰ وات در سامانه تلاقی قطره - سطح می‌باشد.



شکل ۴- در این شکل انعقاد کامل ۲ قطره آب با اندازه‌های به تقریب یکسان (۲۴۵ میکرومتر) با جریان مربعی در فرکانس ۶۰ هرتز و ۲۰۰۰ وات در سامانه تلاقی قطره - قطره نمایش داده می‌شود.

اگر فرایند پمپ کردن (با توجه به کشش بین سطحی، قطره به فاز توده‌ای فشار داده می‌شود) سریعتر از فرایند تخلیه باشد منجر به انعقاد کامل می‌شود و برعکس به انعقاد ناقص منجر خواهد شد (تخلیه تندتر باشد).

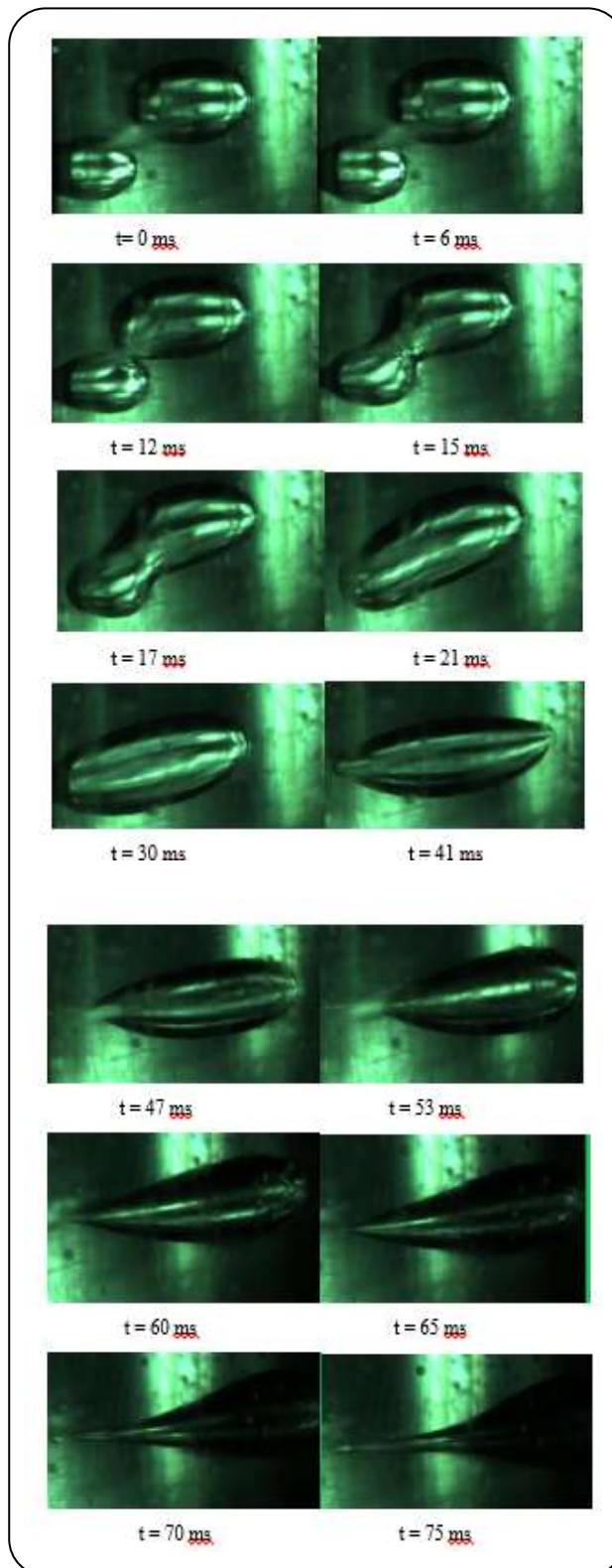
اندازه ذره فاز پراکنده یکی از عامل‌های مهم در یک انعقاد کامل یا ناقص می‌باشد. اندازه ذره در پایداری یک تعلیق مهم می‌باشد و این امر در نانو تعلیق‌ها که تعلیق بسیار پایدار می‌باشند قابل دیدن می‌باشد [۹]. شاهوی و همکاران در ساخت تعلیق روغن گل میخک تاثیر اندازه قطره‌های فاز پراکنده را در پایداری و شکست تعلیق بررسی کردند که هرچه اندازه ذره‌های ریزتر باشد به پایداری تعلیق افزوده می‌شود [۱۰]. در زمینه پایداری تعلیق هرچه کشش بین سطحی کمتر باشد تعلیق پایدارتر است [۱۱]. ولی در امر انعقاد کشش بین سطحی عامل انعقاد و شکست تعلیق می‌باشد. در امر شکست تعلیق تحت میدان الکتریکی هرچه قدر مقدار ولتاژ بیشتر شود مقدار میدان الکتریکی هم بیشتر می‌شود. میدان الکتریکی بالاتر تأثیر بیشتری روی قطره‌ها فاز پراکنده دارند و هرچه قدر ذره‌ها به الکتروود مرکزی دورتر باشند طبق معادله (۱) نیروی میدان الکتریکی کمتری به آن‌ها وارد می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده است وقتی شدت میدان الکتریکی بالاتر رود تغییر شکل قطره هم شدیدتر می‌شود [۱۲]. در این پژوهش از یک ولتاژ ثابت ۲۰۰۰ ولت استفاده شده تا تاثیر اندازه قطره بیشتر نمایان شود.

### قدردانی

نویسنده می‌خواهد از این فرصت استفاده کند تا از شماری از افرادی که در دانشگاه لیدس انگلیس برای پیشرفت این کار پژوهشی کمک کرده‌اند تشکر کند. به‌ویژه تشکر ویژه از پروفیسور قدیری استاد دانشگاه لیدس به‌خاطر فراهم کردن امکانات آزمایشگاهی و کمک گرفتن از ایده‌های بسیار ارزشمند ایشان. همچنین تشکر می‌شود از کمک‌های بی دریغ آقای دکتر علی حسن پور و خیلی از افرادی دیگر که نام بردن همه آن‌ها مقدور نمی‌باشد. در ضمن تشکر ویژه دارد از دانشگاه نوشیروانی بابل که تأمین مالی این فرصت مطالعاتی را پذیرفته است.

### فهرست نمادها

E شدت میدان الکتریکی، V/mm  
 ε<sub>d</sub> ثابت دی الکتریک در فاز پراکنده، C<sup>۲</sup>/N.m<sup>۲</sup>



شکل ۵ - نمایشگر انعقاد ناقص ۲ قطره آب با اندازه‌های گوناگون (۳۵۰ و ۵۹۵ میکرومتر) با جریان مربعی در فرکانس ۶۰ هرتز و ۲۰۰۰ وات در سامانه تلاقی قطره - قطره می‌باشد.

Dc	قطراستوانه مرکزی دارای تعلیق، mm	$\epsilon_c$	ثابت دی الکتریک در فاز پیوسته، $C^2/N.m^2$
Dj	قطر ژاکت مسی	d	قطر قطره، mm
t	زمان بر حسب میلی ثانیه، ms	$\pi$	عدد پی، ۳/۱۴
		$\delta d$	هدایت الکتریکی در فاز پراکنده، s/m
		$\delta c$	هدایت الکتریکی در فاز پیوسته، s/m
	تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۴	R	فاصله از مرکز یک قطره تا مرکز یک الکتروود، mm

## مراجع

- [1] Zhang L., He L., Ghadiri M. and Hassanpour A., [Effect of Surfactants on the Deformation and Break-up of an Aqueous Drop in Oils under High Electric Field Strengths](#), *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **125**: 38-47 (2015).
- [2] Hosseini M., [Coalescence Behaviour of Water Droplets in Water-Oil Interface under Pulsatile Electric Fields](#), *Chinese j. of Chem. Engineering*, **24**(1): 1147-1153 (2016).
- [3] Guo C., He L., [Coalescence Behaviour of Two Large Water-Drops in Viscous Oil under a DC Electric Field](#), *Journal of Electrostatics*, **72**(1): 470-476 (2014).
- [4] Hajimohammadi R., Hosseini M., Amani H., Najafpour G.D., [Production of Saponin Biosurfactant from Glycyrrhiza Glabra as an Agent for Upgrading Heavy Crude Oil](#), *Journal of Surfactants and Detergents*, **19**(8): 1251-1261 (2016).
- [5] Hosseini M., Shahavi M.H., [Electrostatic Enhancement of Coalescence of Oil Droplets \(in Nanometer Scale\) in Water Emulsion](#), *Chinese Journal of Chemical Engineering*, **20**(4): 654-658 (2012).
- [6] Alinezhad K., Hosseini M., Mowagharnegad K., Salehi M., [Experimental and Modeling Approach to Separation of Water in Crude Oil Emulsion under Non-Uniform Electrical Field](#), *Korean j. Chem. Eng.*, **27**(1): 198-205 (2010).
- [7] Mohammadi M., Shahhosseini S., Bayat M., [Electrocoalescence of Binary Water Droplets Falling in Oil: Experimental Study](#), *Chemical Engineering Research and Design*, **92**(3): 2694-2704 (2014).
- [8] Mousavichoubeh M., Ghadiri M., Shariaty-Niassarb M., [Electro-Coalescence of an Aqueous Droplet at an Oil-Water Interface](#), *Chemical Engineering and Processing*, **50**(4): 338-344 (2011).
- [9] Shahavi M.H., Hosseini M., Jahanshahi M., Meyer R.L., Najafpour G., [Clove Oil Nanoemulsion as an Effective Antibacterial Agent: Taguchi Optimization Method](#), *Desalination and Water Treatment*, **57**(4): 18379-18390 (2016).
- [10] Shahavi M.H., Hosseini M., Jahanshahi M., Meyer R.L., Najafpour G., [Evaluation of Critical Parameters for Preparation of Stable Clove Oil Nanoemulsion](#), *Arabian Journal of Chemistry*, in press (2016).

- [11] Mohammadzadeh Milani J., [Physicochemical and Emulsifying Properties of Barijeh \(Ferula gumosa\) Gum](#), *Iran. J. Chem. Chem. Eng. (IJCCE)*, **26**(3): 81-88 (2007).
- [12] Gong H., Peng Y., Yang Z., Shang H., Zhang X., [Stable Deformation of Droplets Surface Subjected to a High-Voltage Electric Field in Oil](#), *Colloids and Surface A: Physicochem. And eng. Aspects*, **468**: 315-321 (2015).