



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده : مهندسی عمران و معماری
پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک
نانو- میکرو حباب هوا

رضا مظفیری نائینی

استاد راهنما :
دکتر سید فضل الله ساغروانی

ماه و سال انتشار :

بهمن ماه-۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده: مهندسی عمران و معماری

گروه: عمران

بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک

نانو- میکرو حباب هوا

دانشجو: رضامظفیری نائینی

استاد راهنما:

دکتر سید فضل الله ساغروانی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار:

بهمن ماه - ۱۳۹۲



دانشگاه سندھ

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره: ۹۲ / ۱۴۸
تاریخ: ۱۰، ۱۲، ۱۴۰۱
ویرایش:

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای رضا مظلومی رشته عمران گرایش سازه های هیدرولیک تحت عنوان: بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک نانو و میکرو حباب هوا که در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۱۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه): عالی امتیاز ۱۹/۱۳ دفاع مجدد مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸) ۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴) ۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر سعید فضل اسحاقی	استاد یار	
۲- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی گلی	استاد یار	
۳- استاد منتحن	امیر عباس عابدینی	استاد یار	
۴- استاد منتحن	دکتر محسن نزاری	استاد یار	

رئیس دانشکده: دکتر احمد احمدی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و مورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ ونفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر سید فضل الله ساغروانی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمات راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند.

و از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر احمدی فر که از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند.

تقدیم به

پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

تعهد نامه

اینجانب رضا مظفری نائینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران – سازه های هیدرولیکی دانشکده مهندسی عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک نانو- میکرو حباب هوا" تحت راهنمایی دکتر سید فضل الله ساغروانی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد

چکیده:

در این پایان نامه به امکان بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک نانو- میکرو حباب هوا پرداخته شده است. برای تحلیل جریان و چگونگی حرکت ذرات هوا از پردازش تصویر استفاده شده است. ساختار دستگاه‌های ساخت نانو - میکرو حباب مورد بررسی قرار گرفته و سپس نحوه تولید نانو - میکرو حباب‌ها به روش کاویتاسیون هیدرودینامیکی تشریح شده است. در این پژوهش برای تعیین قطر ذرات به کمک روش پراش نور دینامیکی، از دستگاه Nano Particle Size Analyzer و برای بررسی پایداری حبابها با زمان از پتانسیل زتا متر در بازه زمانی تا یک ماه از لحظه تولید استفاده شد. مقدار متوسط ضریب همبستگی چند گانه برای ذرات تا نمونه ۶ روزه برابر ۰,۴۸۳ بدست آمد که براساس استاندارد ایزو ۲۲۴۱۲ سال ۲۰۰۸ جهت صحت نتایج اندازه گیری ها با روش تفرق نور دینامیکی، تا ۰,۷ قابل قبول است. با تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیائی از قبیل کدورت، اکسیژن محلول، رسانایی، pH، و دما مشخص شد که با افزایش سیکل های گردش نانو سیال از دستگاه مولد، کدورت و اکسیژن محلول ابتدا افزایش یافته و بعد از گذر از مرحله فوق اشباع، از میزان آنها کاسته می شود. پس از انجام آزمایشات شناسائی نانوسیال مدل‌های لازم برای ایجاد الگوهای استاندارد جریان تهیه شد. تصویربرداری از جریان، با دو روش استفاده از دوربین 3CCD با همراه لنز میکرو و روش استفاده از میکروسکوپ پلاریزه نوری و دوربین CCD، بسته به شرایط و اندازه نمونه‌ها، استفاده گردید. فیلم‌ها به کمک نرم افزار Edius با فیلترهای مختلف بازسازی شد تا در پردازش دیجیتال وضوح بیشتری داشته باشد. در مرحله بعد تصاویر به نرم افزار MatLab منتقل و با استفاده از برنامه نوشته شده در این محیط، پردازش تصویر انجام شد. این برنامه قادر است تا تحلیل حرکت نانو- میکرو حباب‌ها را در فریم‌های مجزا انجام دهد. بر اساس نتایج حاصل هر چند میکرو حباب‌ها دارای سرعتی برابر سرعت جریان هستند، اما نانو حباب‌ها به دلیل فرآیند ناشی از حرکت براونی، کمکی به برداشت الگوی جریان نمی‌کنند.

کلمات کلیدی: هیدرودینامیک؛ پردازش دیجیتال تصاویر؛ نانو-میکرو حباب؛ نانو سیال؛ الگوی جریان لایه‌ای.

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- ضرورت انجام تحقیق ۳
- ۳-۱- اهداف پایان نامه ۳

فصل دوم : مروری بر تحقیقات گذشته و مبانی تحقیق

- ۱-۲- مقدمه ۵
- ۱-۱-۱- کلیاتی درباره نانو - میکرو حباب ها ۶
- ۲-۲- اثر اندازه حباب ها در بهبود تصویر برداری از جریان ۷
- ۳-۲- خلاصه ای از انواع روش های تولید نانو- میکرو حباب ها ۷
- ۴-۲- انواع روش های کاویتاسیون در تولید حباب ۹
- ۵-۲- اصول کاویتاسیون هیدرودینامیکی ۱۱
- ۶-۲- تحقیقات انجام شده در سالهای اخیر ۱۶
- ۷-۲- تئوری های اندازه گیری ابعاد ۱۸
- ۲-۷-۱- روشهای مختلف اندازه گیری ابعادی نانو - میکرو حبابها ۱۹
- ۲-۷-۲- روش های اندازه گیری ابعاد با تکنیک تفرق اشعه لیزری ۲۱
- ۳-۷-۲- روش های اندازه گیری ابعاد با تکنیک پراش نور دینامیکی ۲۳
- ۸-۲- تئوری تصویر برداری از نانو - میکرو حباب ها ۲۴
- ۹-۲- تئوری پتانسیل سطحی از نانو - میکرو حباب ها ۲۶

فصل سوم : روش های تولید و اندازه گیری میکرو- نانو حباب

- ۳-۱- مقدمه ۳۲
- ۳-۲- چگونگی تولید نانو - میکرو حباب ۳۲
- ۳-۳- اندازه گیری ابعاد نانو- میکرو حباب ۳۴
- ۳-۴- صحت اندازه گیری ابعاد نانو - میکرو حباب ها ۳۴
- ۳-۵- بررسی پایداری نانو - میکرو حباب ها ۳۵
- ۳-۶- اندازه گیری خصوصیات شیمیایی ۳۵
- ۳-۷- اندازه گیری کدورت..... ۳۶
- ۳-۸- آماده سازی قبل از تصویر برداری..... ۳۶
- ۳-۹- مشخصات و اندازه مدل ها..... ۳۶
- ۳-۱۰- روش تهیه فیلم ها و تصاویر ۳۷
- ۳-۱۱- روش پردازش تصاویر و بررسی الگوی جریان..... ۳۷

فصل چهارم : تحلیل نتایج بدست آمده از تحقیق

- ۴-۱- پایداری حباب ها در طول کارکرد دستگاه ۴۰
- ۴-۱-۱- اندازه گیری کدورت دستگاه..... ۴۰
- ۴-۱-۲- اندازه گیری اکسیژن محلول دستگاه..... ۴۱
- ۴-۱-۳- اندازه گیری رسانایی محلول دستگاه..... ۴۲

- ۴-۲- پایداری اندازه حباب ها از نمونه گرفته شده در طول زمان ۴۳
- ۴-۲-۱- پایداری نانو - میکرو حباب ها ۴۴
- ۴-۲-۲- اثر pH در طول زمان نانو - میکرو حباب ها ۴۶
- ۴-۲-۳- اثر رسانایی محلول در طول زمان نانو - میکرو حباب ها ۴۸
- ۴-۲-۴- اثر دما در طول زمان نانو - میکرو حباب ها ۴۸
- ۴-۲-۵- اثر کدورت در طول زمان نانو - میکرو حباب ها ۵۰

۳-۴- بررسی الگوهای هیدرودینامیکی جریان به کمک میکرو- نانو حباب

- ۴-۳-۱- چگونگی تهیه فیلم ها و تصاویر ۵۰
- ۴-۳-۲- بررسی رفتار در بین دو صفحه با ضخامت کم ۵۱
- ۴-۳-۳- بررسی رفتار در بین دو صفحه با ضخامت کم و یک استوانه بزرگ در مرکز ۵۲
- ۴-۳-۴- بررسی رفتار در بین دو صفحه با ضخامت کم و یک استوانه کوچک در مرکز ۵۶
- ۴-۳-۵- بررسی رفتار در بین دو صفحه با ضخامت کم و یک تیغه در مرکز ۵۷
- ۴-۳-۶- اندازه گیری سرعت متوسط ۵۹

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات برای مطالعات بعدی

- ۵-۱- نتیجه گیری ۶۲
- ۵-۲- زمینه نوآوری تحقیق ۶۴
- ۵-۳- پیشنهادهای مرتبط با موضوع تحقیق ۶۴
- ۵-۴- مراجع ۶۶
- ۵-۵- پیوست ها ۱

۱-۵-۵- کد برنامه MATLAB ۱

۲-۵-۵- جداول مربوط به اندازه گیری ابعاد و پتانسیل زتا نمونه های ۱ روزه ۲

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ خلاصه ای از روش های تولید میکرو-نانو حباب ها..... ۸
- جدول ۲-۲ : خلاصه تحقیقات انجام شده در زمینه استفاده از نانو - میکرو حباب ها..... ۱۷
- جدول ۳-۲ : رفتار پایداری ذرات در بازه های پتانسیل زتای آنها ۲۸
- جدول ۱-۳ : اندازه گیری خصوصیات آب شهری..... ۳۵

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ نحوه حرکت حباب عادی، حباب میکرو، حباب نانو در آب ۶
- شکل ۲-۲ طبقه بندی کاویتاسیون بر مبنای مکانیسم کاهش فشار در یک مقدار بحرانی خاص ۱۰
- شکل ۳-۲ شماتیکی از مولد هیدرودینامیکی میکرو-نانو حباب ۱۲
- شکل ۴-۲ چگونگی برهمکنش نور با ذرات ۱۸
- شکل ۵-۲ اشکال پلاریزه خطی به دو صورت (TE و TM) ۲۵
- شکل ۶-۲ شکل بندی میکروسکوپ پلاریزه نوری ۲۵
- شکل ۷-۲ شماتیک حضور یک ذره خنثی در الکترولیت ۲۷
- شکل ۱-۳ شماتیک از دستگاه نانو- میکرو حباب ۳۳
- شکل ۱-۴ منحنی تغییرات کدورت نانو- میکرو حباب تولید شده در آب در طی زمان ۴۱
- شکل ۲-۴ منحنی تغییرات اکسیژن حل شده در محلول در طی زمان ۴۲
- شکل ۳-۴ منحنی تغییرات رسانایی محلول در مدت زمان کارکرد دستگاه ۴۳
- شکل ۴-۴ منحنی توزیع ابعادی نانو- میکرو- حباب تولید شده در آب ۴۴
- شکل ۵-۴ منحنی تغییرات تعداد ابعاد نانو- میکرو حباب تولید شده در آب در طول زمان ۴۵
- شکل ۶-۴ منحنی ویسکوزیته- پتانسیل زتا و پتانسیل زتا با زمان ۴۶
- شکل ۷-۴ منحنی تغییرات pH با زمان برای میکرو - نانو حباب هوا ۴۷
- شکل ۸-۴ منحنی تغییرات pH - پتانسیل زتا میکرو - نانو حباب هوا در طول یک ماه ۴۷
- شکل ۹-۴ منحنی هدایت الکتریکی با زمان برای میکرو - نانو حباب هوا ۴۸
- شکل ۱۰-۴ منحنی دما با زمان برای میکرو - نانو حباب هوا ۴۹
- شکل ۱۱-۴ منحنی تغییرات کدورت با زمان ۵۰
- شکل ۱۲-۴ موقعیت یک ذره حباب ۵۱

- شکل ۴-۱۳ طیف پراکندگی از حباب های هوا با اندازه های مختلف..... ۵۴
- شکل ۴-۱۴ شکل خطوط جریان اطراف استوانه ۵۴
- شکل ۴-۱۵- چگونگی حرکت نانو- میکرو حباب ها در اطراف مدل شماره ۱ ۵۵
- شکل ۴-۱۶- چگونگی حرکت نانو- میکرو حباب ها با بردار های حرکتی در مدل شماره ۱..... ۵۶
- شکل ۴-۱۷- چگونگی حرکت نانو- میکرو حباب ها در اطراف مدل شماره ۲ ۵۷
- شکل ۴-۱۸- تصویر حرکت میکرو نانو حباب در اطراف تیغه و مقایسه با نمونه های دیگر ۵۸
- شکل ۴-۱۹- تصویر حرکت میکرو نانو حباب از مدل شماره ۳..... ۵۹
- شکل ۴-۲۰- بزرگنمایی از داخل مدل شماره ۳ ۵۹
- شکل ۴-۲۱- حرکت میکرو حباب با شعاع حدودی ۲۰۰ میکرون..... ۶۰
- شکل ۴-۲۲- حرکت میکرو حباب با شعاع حدودی ۱ میکرون..... ۶۰

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱ مقدمه :

هرچند آزمایشها و تحقیقات پیرامون نانو تکنولوژی از ابتدای دهه ۸۰ قرن بیستم به طور جدی آغاز شد، اما دستاوردهای گران قیمت نانو فناوری باعث گردید که این فناوری همچنان به عنوان یکی از مهم ترین اولویت های تحقیقاتی و یکی از فناوری های راهبردی دهه اول قرن بیست و یکم محسوب شود. در حال حاضر برنامه ها و حمایت های بسیاری جهت رشد و پیشرفت این فناوری نو ظهور در حال انجام داده است، چرا که با داشتن این فناوری، کشورها می توانند خود را در عرصه کشور های دارای تکنولوژی نوین رشد داده و جایگاه علمی و صنعتی خود را حفظ نموده و یا ارتقا دهند. در ایران نیز به لحاظ اهمیت موضوع ستاد فناوری نانو در نهاد ریاست جمهوری تشکیل و به حمایت از پژوهشهای نانو می پردازد.

امروزه حوزه های تحقیقاتی مرتبط با نانو بسیار گسترش پیدا کرده است. یکی از این حوزه ها، بررسی خواص نانو سیالات است. مفهوم نانوسیال به شکل جدیدی از محیط های چند فازی اشاره می کند که از طریق معلق ساختن ذرات با اندازه نانو در سیال پایه تهیه میشوند.

در این تحقیق بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک نانو - میکرو حباب های هوا و با استفاده از پردازش تصویر در مقیاس آزمایشگاهی انجام پذیرفت. انجام این پژوهش را به پنج مرحله می توان تقسیم کرد. در مرحله اول به بررسی چگونگی روش طراحی و چگونگی ساخت دستگاه نانو - میکرو حباب ساز هوا پرداخته شد. در مرحله دوم اندازه گیری خصوصیات برای بیان پایدار بودن نانو - میکرو حباب ها انجام پذیرفت که از جمله این خصوصیات می توان به اندازه گیری قطر ذرات با استفاده از دستگاه Nano particle size analyzer و پتانسیل زتا و برخی از خصوصیات شیمیایی آنها اشاره نمود. در مرحله سوم به ساخت نمونه ها و مدل های جریان و تهیه فیلم ها و تصاویر به کمک دوربین های با کیفیت تصویر برداری و همچنین میکروسکوپ پلاریزه نوری و تلفیقی از نانو لیتوگرافی پرداخته شد. مرحله چهارم به تهیه برنامه پردازش تصویر به کمک برنامه

MATLAB و استفاده از آن برای محاسبه بردار های سرعت حبابها و نمایش چگونگی حرکت جریان اختصاص یافت و در مرحله آخر طبقه بندی و تحلیل و تفسیر نتایج انجام گرفت.

پایان نامه حاضر در پنج فصل به ترتیبی که در پی می آید، ساماندهی شده است:

فصل اول شامل مقدمه و کلیات تحقیق شامل بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق، سئوالات اصلی و اهداف کلی تحقیق است. در فصل دوم به بررسی و تحقیقات انجام شده توسط محققین قبلی در سال های گذشته و مبانی نظری تحقیق اشاره شده است. در ابتدا به کلیاتی درباره نانو - میکرو حباب ها و نقش ابعاد حباب ها بر تصویر برداری و سپس به انواع روش های تولید نانو- میکرو حباب ها و مبانی نظری ابعاد نانو-میکرو حباب ها و پایداری آنها پرداخته شده است. در فصل سوم به بررسی مواد و روشهای اندازه گیری و روشهای تصویر برداری اختصاص دارد. در فصل چهارم به ارائه یافته ها و نتایج تحلیل و فصل پنجم نیز به نتیجه گیری و پیشنهاد برای طرح های بعدی می پردازند.

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق:

از آنجا که در بررسی رفتار جریان نیازمند استفاده از وسایل بسیار گران قیمتی است که بعضا در کشور قابل تهیه نیستند، تصویر برداری های استاندارد از نانو سیالات در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت که در این پایان نامه به بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک نانو - میکرو حباب هوا در سیال پایه آب با کمک پردازش تصویر انجام شد. امید است که این پژوهش سنگ بنای مدل سازی فن آوری تصویر برداری دیجیتال و تحلیل آن برای مشخص کردن رفتار جریان نانو سیالات در داخل کشور باشد.

۱-۳- زمینه نوآوری تحقیق:

طراحی و ساخت دستگاه نانو - میکرو حباب ساز :

جهت تولید نانو - میکرو حبابها، یک دستگاه نانو - میکرو حباب ساز براساس پدیده کاویتاسیون هیدرودینامیکی طراحی و ساخته شد. این دستگاه از سه بخش عمده ورود هوا(گاز)، اعمال فشار بر

مخلوط هوا و آب و منطقه کاهش یا افت فشار و آزادسازی بخشی از هوای حل شده تشکیل شده است. نقش هوا در این دستگاه با نقش آن در سایر دستگاههای نظیر ستون میکروسول ساخته شده توسط یون در سال ۱۹۹۳ یا سلول زو در سال ۱۹۹۴ متفاوت است.

هدف ورود هوا در این دستگاه، افزایش حلالیت میزان هوای حل شده در آب به منظور افزایش کارایی پدیده کاویتاسیون و تولید حباب می باشد. بنابراین، برخلاف سایر دستگاهها، گاز یا هوا در این دستگاه قبل از پمپ تزریق شده است. ویژگی طراحی و ساخت این دستگاه بنحوی است که به راحتی امکان استفاده از سه لوله ونتوری با قطر گلوگاه های متفاوت بطور همزمان وجود دارد.

۱-۴- اهداف پایان نامه:

اهداف پایان نامه به چند دسته تقسیم می شوند:

دسته اول طراحی و ساخت دستگاه تولیدکننده میکرو- نانو حباب های هوا و شناسایی آنها. دسته دوم بررسی روشهای اندازه گیری نانو حباب های تولید شده دسته سوم تکنیکهای تصویر برداری و استفاده از پردازش تصویر در الگوهای استاندارد جریان دسته چهارم تهیه نرم افزار و یا استفاده از نرم افزار های موجود برای پردازش تصاویر و استفاده از آن برای بهتر نشان دادن چگونگی جریان و در نهایت طبقه بندی و تحلیل و تفسیر نتایج.

فصل ۲:

مروری بر تحقیقات گذشته و مباحث تحقیق

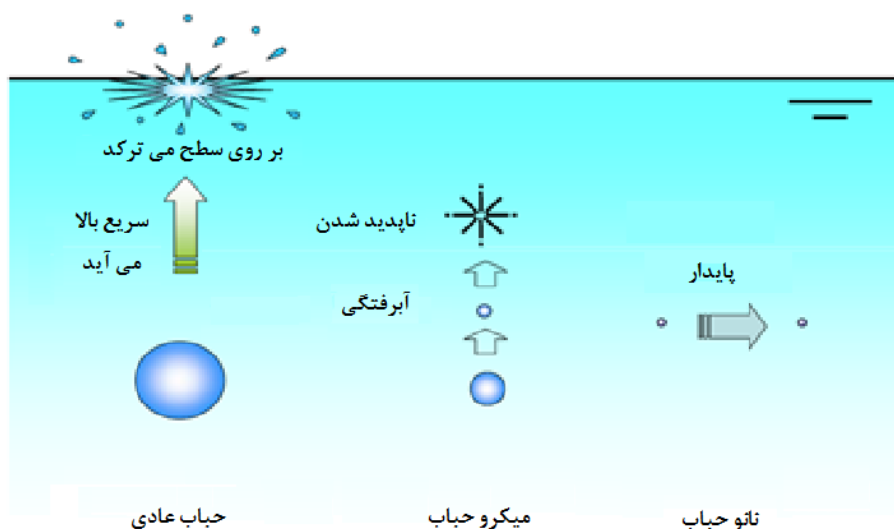
فصل ۲- مروری بر تحقیقات گذشته و مبانی تحقیق:

۲-۱- مقدمه:

در این تحقیق به بررسی الگوهای هیدرودینامیکی جریان به کمک میکرو-نانو حباب هوا پرداخته می شود. در ابتدا لازم می بود که آزمایشاتی در خصوص پایدار بودن حباب ها در سیال انجام شود. در این فصل ابتدا به کلیاتی درباره نانو- میکرو حباب ها و همچنین نقش موثر ابعاد حباب ها برای بهبود تصاویر و بهره گیری از آنها برای بررسی الگوی هیدرودینامیکی جریان اشاره شده است. در ادامه، عوامل موثر بر این پدیده مورد بررسی قرار گرفت. و همچنین خلاصه مروری بر سوابق و پژوهش های انجام شده قبلی توسط محققین قبلی بر روی توزیع اندازه و پایداری نانو - میکرو حباب ها با روش پراش نور دینامیکی و تصویر برداری ها با استفاده از روش پلاریزه ارائه شده است، جهت آشنایی بیشتر با این روش ها مبانی نظری و مزیت های عملیاتی هر یک آنها مورد اشاره قرار گرفته است.

۲-۱-۱- کلیاتی درباره نانو- میکرو حباب ها :

حباب ها از نظر ساختاری به دو دسته گاز-گاز و مایع-گاز تقسیم می شوند. و خود حباب های مایع- گاز به دو دسته حباب های کروی و حباب های دیسکی تقسیم می شوند. و این دو نوع حباب در ساختار نانو به دو بخش صفر بعدی و دو بعدی شناخته می شود. [Stachiotti.(2000)]



شکل ۲-۱ نحوه حرکت حباب عادی، حباب میکرو، حباب نانو در آب

میکرو- نانو حباب ها حفره هایی حاوی گاز در محلول آبی هستند. علت تولید این حفره ها فرآیند کاویتاسیون هیدرودینامیکی در حضور نوکلی گازها یا گاز هسته زایی شده در آب است فرآیند هسته زایی در مایع سبب چرخش ذرات گاز در میدان داخلی هسته می شود که باعث ایجاد میدان الکترو استاتیکی به دور هسته می گردد و این میدان الکترو استاتیکی با ذرات باردار دور هسته که تشکیل لایه دوگانه را داده اند به طور مداوم در تبادل شار الکتریکی ثابتی هستند. این افزایش یا کاهش تبادل شار الکتریکی و همچنین افت پتانسیل شیمیایی هسته، باعث رشد یا انقباض هسته و به تبع آن بزرگتر یا کوچکتر شدن لایه دوگانه می گردد. بزرگ یا کوچک شدن لایه دوگانه باعث بزرگ یا کوچک شدن نیروی کشش سطحی می شود. به همین دلیل نانو حباب ها یا میکرو حباب ها به کمک انتشار ذرات و متناسب با چه مقدار پتانسیل اطراف محلول و مقدار پتانسیلی که باعث فوق اشباع و یا زیر اشباع شدن بشود، شروع به رشد کردن و یا کوچک شدن در طول زمان می کنند. [Hampton and Nguyen, (2010), Craig, (2011), Attard, (2013)]

۲-۲- اثر اندازه حباب ها در بهبود تصویر برداری از جریان:

یکی از پارامتر های مهم برای بررسی الگوهای هیدرودینامیکی جریان به کمک نانو- میکرو حباب با استفاده از پردازش تصویر، اندازه نانو- میکرو حباب ها می باشد. زیرا اندازه کوچک آنها باعث پایداری بیشتر و یکسان بودن نسبی اندازه آنها در هنگام تصویر برداری باعث بهبود کیفیت تصویر برداری می شود. در تصویر برداری از جریان باید به این موضوع توجه داشت که در صورت استفاده از نانو حباب ها، لازم است از دوربین ها و میکروسکوپ های با کیفیت بالا استفاده شود.

۲-۳- خلاصه ای از انواع روش های تولید نانو- میکرو حباب ها:

برای آشنایی با روش های تولید نانو- میکرو حباب ها جدول ۱-۲ به روش های تولید و خصوصیات میکرو-نانو حباب تولید شده با آن روش اختصاص دارد.

جدول ۱-۲ خلاصه ای از روش های تولید میکرو- نانو حباب ها

روش های تولید	خصوصیات و ویژگی های علمی
متلاشی شدن (Collapse)	در این روش از امواج مافوق صوت، امواج ضربه و... برای ایجاد تغییرات شدید فشار استفاده می شود. لازم است از عامل های ضد انعقاد برای جلوگیری از یکی شدن و در نتیجه ناپدید شدن حباب ها استفاده شود. در موارد خاص، با استفاده از چرخش های دورانی و یا امواج مافوق صوت، کاهش شدید فشار به تراز پایین تر از فشار بخار اشباع، باعث جوشش مایع و جدا شدن هوا میگردد که ممکن است بعد از آن حباب ها متلاشی شوند.
برش(جریان آشفته) (Shearing)	حباب توسط برش گاز با جریان آشفته در یک مخلوط گاز و مایع تولید می شود. جریان آشفته توسط یک لوله ونتوری و یا چرخش جریان تولید می شود. در حقیقت، تکان دادن یک بطری حاوی مخلوطی از گاز و مایع نیز در این دسته قرار می گیرد.
انحلال تحت فشار (Pressurized) (dissolution)	گاز با کمپرسور تحت فشار در مایع حل می شود. پس از رسیدن به حالت فوق اشباع به سرعت فشار از روی مخزن برداشته می شود و مایع به فشار طبیعی برمی گردد. این کار باعث جدا شدن گاز فوق اشباع میگردد.
صفحات متخلخل (Microporous)	در این روش گاز تحت فشار از طریق عبور از صفحات متخلخل شیشه ای یا فلزی و سرامیکی با منافذ باز در مقیاس میکرو / نانو آزادانه با سیال پیوند می خورند، و یا یک لوله شیشه ای منبسط شده به قطر کوچک در مایع برای تولید حباب استفاده می شود.
احاطه شدن در جامدات (Solid trapping)	در هنگامی که گاز در یخ به دام افتاده و یا یک ماده نیمه جامد در مایع حل شود، حباب تولید می شود.
الکترولیز	بخشی از گاز تولید شده در یک الکتروود الکترولیز تبدیل به میکرو - نانو حباب ها می شود.
واکنش های شیمیایی	گاز توسط یک واکنش شیمیایی ایجاد می شود. به عنوان مثال: یک گاز نامحلول مانند دی اکسید کربن با مخلوط کردن اسید با کربنات تولید می شود.
کوچک سازی	حباب های بزرگتر تبدیل به حباب های کوچکتر می شوند با استفاده از روش فیزیکی یا شیمیایی (مثل: فشار یا خنک کردن)

در زیر شرح بیشتر روش برش و ایجاد شدن فرآیند کاویتاسیون می آید:

عموما، کاویتاسیون به صورت شکل گیری حباب های ریزی تعریف می شود که از گاز یا بخار یا ترکیب این دو پر شده اند و فعالیت های بعدی همانند رشد، متلاشی شدن و دوباره به جای اول برگشتن در مایعات می باشد. کاویتاسیون خود به دو دسته ذخیره سازی انرژی و کشش سطحی تقسیم می شود که هر کدام به صورت زیر تقسیم بندی می شوند.

الف- ذخیره انرژی (جذب انرژی)

• اپتیکال (نوری)

• ذره ای

ب- کشش سطحی (انبساط سطحی)

• اکوستیک (صوتی)

• هیدرودینامیک

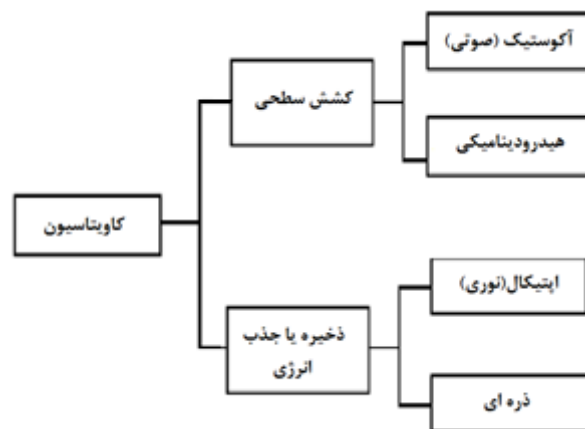
از چهار حالت کاویتاسیونی که در بالا ذکر شد، روش کشش سطحی (کاویتاسیون اکوستیک و هیدرو دینامیک) از نظر اندازه گیری، کار برد، کنترل شرایط هندسی و پارامترهای عملیاتی مانند سرعت، ساده تر هستند. از اینرو در این بررسی بیشتر از روش کاویتاسیون هیدرودینامیکی به بررسی نانو- میکرو حباب های ایجاد شده پرداخته می شود.

از این رو قبل از هر چیز به بررسی اثرات، کاویتاسیون می پردازیم. واژه ی کاویتاسیون توسط آر-ای فرود ابداع شد. ولی کاویتاسیون واقعی نخستین بار توسط بارنابی و پارسون مورد کشف و مورد تحقیق قرار گرفت و به صورت دقیق تر تشریح شد. [Barnaby, Parsons. (1897)]

۲-۴- انواع روشهای کاویتاسیون در تولید حباب :

بسته به گاز تشکیل دهنده حباب می توان کاویتاسیون را به دو دسته بخاری و گازی تقسیم نمود. تولید کاویتاسیون با جوشاندن به لحاظ مکانیسم تولید با این حالت فرق دارد و پدیده ای است که

مستقیماً به کاهش فشار به کمتر از یک مقدار بحرانی خاص مربوط می شود. چنانچه در شکل ۲-۲ نشان داده شده است، دو شیوه برای کاهش فشار از طریق کشش سطحی وجود دارد. [Li S (2000).] یکی از طریق جریان سیال است که به آن کاویتاسیون هیدرو دینامیکی گفته می شود و از طریق تغییر فشار در یک مایع در حال جریان، تولید می شود که ناشی از سرعت دستگاه است. دیگری از طریق یک میدان اکوستیک (صوتی) است که اغلب به آن کاویتاسیون اکوستیک نیز گفته می شود. در این روش کاویتاسیون را می توان هم از طریق کاهش انرژی موضعی بدست آورد و هم از طریق فوتون های نور لیزری یا ذرات مقدماتی دیگر (برای نمونه پروتون های یک محفظه ی حبابی)، که اغلب به ترتیب به آنها کاویتاسیون اپتیکال و کاویتاسیون ذره ای گفته می شود.



شکل ۲-۲ طبقه بندی کاویتاسیون بر مبنای مکانیسم کاهش فشار در یک مقدار بحرانی خاص

روش کشش سطحی هیدرو دینامیکی به لحاظ اندازه گیری، کار برد و کنترل شرایط هندسی و پارامترهای عملیاتی مانند سرعت ساده تر است. کاویتاسیون هیدرو دینامیکی یکی از ارزان ترین و کاراترین روش های کشش سطحی کاویتاسیون با تجهیزات ساده و هزینه ی نگهداری و تعمیر پایین است. از اینرو در این تحقیق از روش کاویتاسیون هیدرو دینامیکی به تولید نانو- میکرو حباب ها برای این تحقیق استفاده شده است.

۵-۲- اصول کاویتاسیون هیدرو دینامیکی :

کاویتاسیون هیدرو دینامیکی زمانی روی می دهد که به علت سرعت بالای جریان فشار در یک نقطه در یک مایع به طور لحظه ای به زیر فشار بخار، کاهش یابد. [Young F R.(1989)] کاویتاسیون هیدرو دینامیکی به خوبی از طریق معادله ی برنولی توصیف شده است:

$$P + \frac{\rho U^2}{2} = C \quad (constant) \quad \text{رابطه ۱-۲:}$$

که C روی یک خط جریان مقدار ثابتی است. در این رابطه U سرعت جریان آب در یک نقطه، P فشار، و ρ چگالی مایع هستند. بازنویسی معادله به صورت زیر است :

$$U^2 + \frac{2P}{\rho} = \frac{2C}{\rho} \quad \text{رابطه ۲-۲:}$$

برای ایجاد سرعت زیاد، این رابطه نشان می دهد هرگاه که سرعت جریان مایع بیش از $\sqrt{\frac{2C}{\rho}}$ باشد فشار منفی خواهد بود . عموماً از لوله ونتوری استفاده می گردد. بایستی خاطر نشان کرد که در این تحقیق، کمی تغییر و ایجاد یک مسیر ورودی هوا در قسمتی از لوله ونتوری باعث عملکرد بهتر و مقرون به صرفه تر آن برای ایجاد میکرو-نانو حباب در سیال گردید. شکل ۲-۳، شماتیک وسیله ایجاد کاویتاسیون هیدرو دینامیکی را نشان می دهد. در ناحیه مخروطی لوله به علت کاهش قطر لوله سرعت زیاد می شود. جریان در این ناحیه نسبت به ناحیه ورودی لوله دارای سرعت بیشتر و فشار کمتری می باشد. با افزایش سرعت و کاهش فشار به کمتر از فشار اتمسفر، می توان از ورودی هوا یا گاز برای ایجاد حباب از گاز دلخواه استفاده کرد. کاویتاسیون هیدرو دینامیکی بر اثر جریان در مسیرهای مستقیم رخ نمی دهد ولی در یک جریان ساده بدون انشعاب و اغتشاش، تغییر در جهت و همگرایی جریان باعث ایجاد پدیده کاویتاسیون میشود.

بمنظور تولید کاویتاسیون با احتساب فشار گاز تصحیح شده، مهم ترین پارامتری که باید بررسی شود عدد کاویتاسیون می باشد که به شکل رابطه ۳-۲ زیر تعریف می شود:

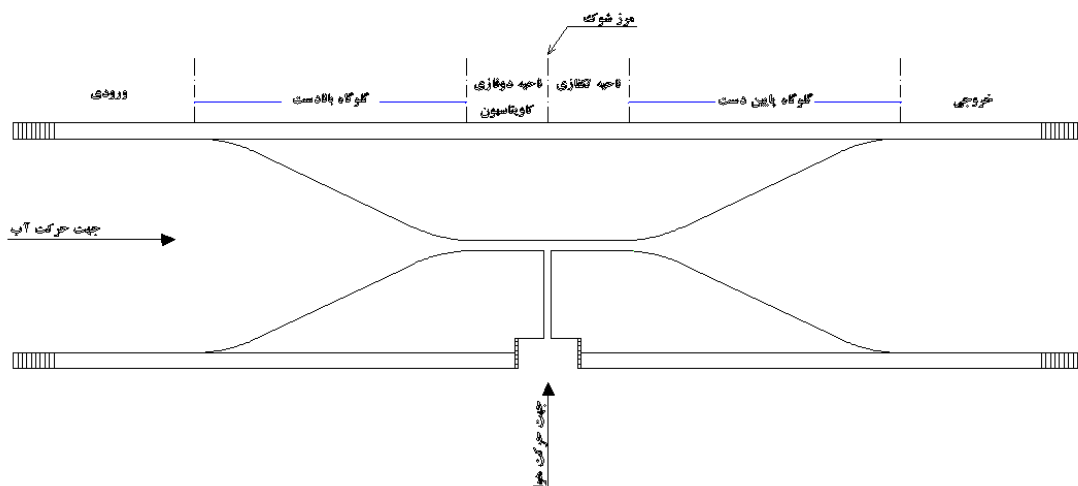
$$C_i = \frac{P_i - (P_v + P_c)}{\frac{1}{2}\rho v^2} \quad \text{رابطه ۳-۲}$$

که P_i فشار اولیه ، v سرعت سیال ، P_v فشار بخار آب ، P_c فشار گاز تصحیح شده و ρ چگالی مایع می باشد.

بمنظور تولید کاویتاسیون با احتساب فشار حداقل، عدد کاویتاسیون مطابق رابطه ۴-۲ زیر تعریف می شود:

$$C_{pm} = \frac{P - P_m}{\frac{1}{2}\rho v^2} \quad \text{رابطه ۴-۲}$$

که P فشار سطح آزاد ، v سرعت سیال ، P_m فشار حداقل می باشد. کاویتاسیون هنگامی اتفاق می افتد که مقدار C_{pm} با مقدار C_i ، برابر شود یا مقدار $(P_v + P_c)$ با مقدار فشار حداقل (P_m) ، برابر شود. [Wylie,(1984)]



شکل ۳-۲ شماتیکی از مولد هیدرودینامیکی میکرو-نانو حباب

در لوله ی ونتوری¹ که رایج ترین ابزار کاویتاسیون هیدرودینامیکی است. در ناحیه همگرای مخروطی این لوله، سرعت جریان افزایش می یابد. و در نتیجه فشار کاهش می یابد. در قسمتی از لوله فشار منفی می شود و با افزایش سرعت از فشار بخار کمتر می شود که این امر باعث مکش هوا به داخل لوله می شود. میزان مکش هوا غالباً برای تشکیل حباب کافی است. در مرحله بعد که حباب ها به علت چرخش در دستگاه به لوله ونتوری وارد می شوند، منجر به کاویتاسیون می شود. از سوی دیگر وجود حباب های ریزتری از گازهای حل نشده به کاویتاسیون تحت فشار منفی کمک می نماید [Finkelstein Y, Tamir A.(1985), Flynn H G.(1964)]. استفاده از مایعات و ذرات هیدروفوبیک برای بهبود شکل گیری حباب در مایع عملکرد تولید حباب را بهبود می بخشند.

[RyanL,Hemmingesen.(1993), Gerth, Hemmingesen.(1980)]

گاز تشکیل دهنده حباب نیز بر وقوع کاویتاسیون تاثیر دارد. هال [Holl.(1970)] دریافت کاویتاسیون به طور مستقیم به محتوی هوای نامحلول بستگی دارد. کاویتاسیون را می توان از طریق افزودن مواد شیمیایی آلی بهبود بخشیده ثابت شده است که بعضی مواد باعث ایجاد تعداد بیشتر فضاهای خالی کوچک تر می شود که این امر به علت تثبیت این فضاهای خالی و پیشگیری از تلاشی و به هم آمیختگی آنها است.

کارایی کاویتاسیون هیدرودینامیکی و بازده کلی کاویتاسیون تحت تاثیر چند پارامتر مانند: فشار یا شتاب مایع ورودی به دستگاه، خواص فیزیکی-شیمیایی مایع، خصوصیات هندسی مقطع منقبض شده (قطر انقباض به کار رفته)، درصد ناحیه پایین دست انقباض و شعاع اولیه است.

خواص فیزیکی و شیمیایی مایع از مهم ترین پارامترهایی است که بر روی فرایند های کاویتاسیونی تاثیر دارد. فشار آستانه برای شروع کاویتاسیون ضروری است و چنانچه کشش سطحی مایع افزایش یابد فشار آستانه کاویتاسیون نیز افزایش می یابد که باعث ایجاد شرایط سخت تری برای تولید کاویتاسیون (یا عدد کاویتاسیون بالاتر) شده و فروپاشی شدیدتری را به همراه دارد. ویژگی های مهم

¹ Venturi Tube

فیزیکی - شیمیایی حالت مایع که بر روی پدیده ی کاویتاسیون تاثیر دارند عبارتند از: فشار بخار آب، لزجت مایع، دمای مایع، کشش سطحی مایع، وجود گازهای حل نشده و اجزای سازنده ی مواد محلول شده در مایع مانند، ماده فعال سطحی^۱ می باشد. فشار بخار فاز مایع دارای نقش مهمی در دینامیک بوجود آمدن کاویتاسیون است. ایجاد کاویتاسیون در یک حلال با فشار بخار پایین ساده ولی حفظ حباب در آن دشوار است. با افزایش فشار بخار، فشار متلاشی شدن کاهش می یابد و در نتیجه طول عمر حباب افزایش می یابد. با بالا رفتن لزجت مایع، نیروی لازم برای غلبه بر نیروی لزجت که یکپارچگی مایع را حفظ می کند افزایش یافته ولذا، فشار و انرژی لازم برای تولید کاویتاسیون لازم است، افزایش می یابد. از آنجا که دما بر روی خواص مایع مانند فشار بخار، چسبندگی، کشش سطحی، انحلال گازی موثر است، بر روی دینامیک کاویتاسیون اثر خواهد داشت. چنانچه دما افزایش یابد، فشار بخار نیز افزایش می یابد و چسبندگی، کشش سطحی و انحلال گازی کاهش خواهند یافت. چون انحلال گازی منبع اصلی هسته زایی با کاویتاسیون است، افزایش دما، انحلال گازی را کاهش داده و بالطبع میزان وقوع رخدادهای کاویتاسیون را نیز کاهش می دهد.

کشش سطحی در مرحله هسته زایی^۲ از طریق کنترل کردن مقدار ثابتی از گاز یا بخار هسته که می تواند در حباب وجود داشته باشد، موثر است. این گازها که به صورت نقاط ضعیفی در مایع هستند، میتوانند بر روی آستانه ی کاویتاسیون تاثیر داشته باشند. مایعی که دارای کشش سطحی بالا باشد، همانند آبی است که کاویتاسیون بیشینه را تجربه کرده باشد. [Gogate, Pandit.(2001)] چنانچه نیروی کشش سطحی افزایش یابد، میزان انحلال هسته گازی در مایع افزایش می یابد، ماده فعال سطحی فرایند دشوار تفکیک مولکول ها را در طول مرحله ی تولید کاوی در فرایند کاویتاسیون تسهیل می نماید و بدین ترتیب کاویتاسیون راحت تر می شود. [Mason T J.(1991)]

¹ Surfactant

² Nucleation

در مقیاس میکرو، حباب‌ها تمایل بیشتری به کوچک شدن دارند به صورتی که هم‌زمان با کاهش فشار از هم فرو می‌پاشند. [Takahashi, et... (2003)] معادله یانگ - لاپلاس (رابطه ۲-۴) بین تفاوت فشار و شعاع حباب را بیان می‌دارد:

$$P = P_l + 2 \frac{\sigma}{r} \quad \text{رابطه ۲-۴:}$$

در این معادله P فشار گاز، P_l فشار مایع، σ کشش سطحی و r شعاع حباب است. بر اساس معادله ۲-۴، حباب‌های نانو نمی‌توانند در فشار جو وجود داشته باشند. زیرا فشار درونی آن‌ها بالاتر از فشار هوا است. مثلاً حبابی که 100 nm شعاع دارد، دارای فشار درونی تقریباً برابر با 0.15 MPa است. [Millero, (2001)] که در این فشار بالا حباب‌های نانو قاعدتاً باید در زمان کوتاهی از بین بروند.

جانگرن و اریکسون [Ljunggren, Eriksson, (1997)] از طریق محاسبات بر پایه انتقال جرم از گاز در رابطه حباب به حجم مایع، و با توجه به معادله ۲-۴، دریافتند که عمر یک حباب گاز با شعاع 100 nm نانومتر، $100 \mu\text{s}$ خواهد بود. به علاوه، ماتسوموتو و تاناکا [Matsumoto, Tanaka, (2008)] هنگام بررسی صحت معادله (۲-۴) یانگ - لاپلاس برای حباب‌های نانو با استفاده از شبیه‌سازی دینامیکی مولکولی دریافتند که کشش سطحی و فشار بخار عملاً ثابت بوده و مستقل از اندازه حباب است. آنها به این نتیجه رسیدند که برای صدق معادله (۲-۴) برای نانو حبابها، فاز مایع یا باید تحت فشار منفی شدید و یا تنش کششی بالا باشد. بنابراین، حباب‌های نانو در حالت تعادل نمی‌توانند در فشار اتمسفر وجود داشته باشند. با وجود این، همه‌ی افراد نظر یکسانی در مورد صحت معادله ۲-۴ برای حباب‌های نانو ندارند. طبق نظر همینگسن کشش سطحی ثابت در مایعات ممکن نیست چون این کشش سطحی شدیداً تحت تاثیر سطح مشترک منحنی وار و فشار گاز درونی در مقیاس نانو است. [Hemmingesen, (2002)] به علاوه، تولمان به صورت تئوری نتیجه گرفت که کشش سطحی در قطره‌های کوچک کاهش چشمگیری پیدا میکند. از آنجا که کشش سطحی با منحنی سطح مشترک گاز-مایع تغییر می‌یابد، سطح مشترک حباب نانو با کشش سطحی کمتر منجر به فشار درونی کمتری می‌شود.

شود که به ثبات حباب ها کمک می کند. موافق با فرضیه ی فشار درونی کم حباب های نانو بر پایه داده های شبیه سازی مولکولی، ثابت شد که اتم های بخار بسیار کمی درون حباب های نانو وجود دارد، بنابراین فشار پایین گاز ممکن است باعث تعادل حباب نانو شود. [Nagayama, Tsuruta, Cheng, (2006) در مجموع می توان گفت که فشار درونی حباب باید کمتر از مقدار پیش بینی از رابطه (۴-۲) باشد، و لذا این رابطه در مورد حباب های نانو نمی تواند درست باشد. در عوض میتوان مطمئن بود که سطح مشترک گاز- مایع مطمئناً نقش مهمی در ثبات حباب های نانو دارد. علت دیگری که باعث ثبات حباب نانو می شود به بار الکتریکی سطح حباب مربوط می شود که در اندازه گیری های پتانسیل زتا قابل مشاهده است. مقدار مطلق بالای پتانسیل زتا می تواند عدم به هم پیوستن حباب ها را از طریق نیروی دافعه یون ها روی سطحشان توجیه کند. بانکین و همکارانش هم در خصوص ثبات حباب نانو گزارش دادند که انقباض گازهای داخل حباب باعث جذب یون ها بر روی سطح حباب می شود که باعث تعادل نیروهای دافعه کولن، نیروهای کشش سطحی خواهد شد. [Fernanda YumiUshikubo, Takuro furukawa, ... (2010)]

۲-۶- تحقیقات انجام شده در سالهای اخیر:

در سال های اخیر به علت رشد روز افزون تحقیقات در زمینه نانو و همچنین کاربرد های زیاد نانو- میکرو حباب ها در صنایع مختلف مطالعات و تحقیقات مختلفی در این زمینه انجام شده است. که به برخی از آنها در جدول ۲-۲ اشاره شده است.

جدول ۲-۲ : خلاصه تحقیقات انجام شده در زمینه استفاده از نانو - میکرو حباب ها

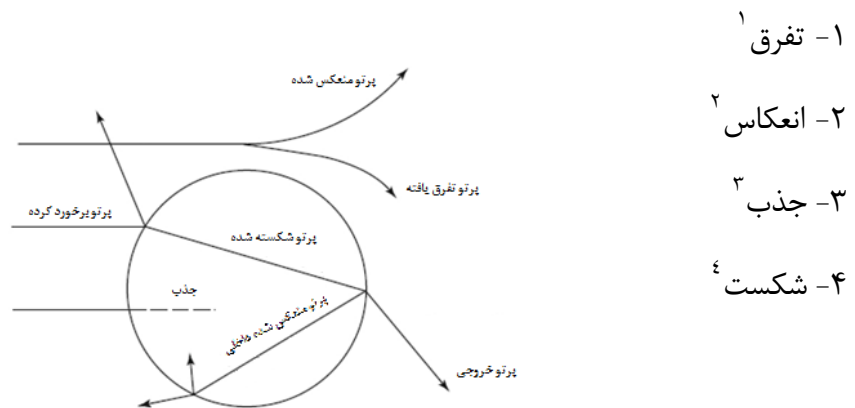
سال اثر	نام محقق	نتیجه تحقیق	موضوع تحقیق
1998	H. HU, Z. ZHOU, Z. XU, and J.A. FINCH	توزیع نقطه ها در نزدیکی دیواره، راه حل های عددی را بسیار تحت تاثیر قرار می دهند. توزیع مناسب نقطه ها که به وسیله معادلات تبدیل پواسون ایجاد شده اند، باید برای کسب نتایج مورد اطمینان در تراکم نسبتا کم نقطه ها به کار روند.	بررسی عددی و تجربی یک لوله خلاء زای هیدرودینامیکی
1999	Z. ZHOU	افزایش سرعت در لوله و نتوری باعث تولید حباب های ریزتر در لوله و نتوری میگردد.	اثر سرعت مایع در لوله و نتوری
2001	Pandit, Gogate	هزینه انرژی مصرفی با روش کاویتاسیون هیدرودینامیکی بسیار پایین تر از کاویتاسیون اولتراسونیک می باشد.	مقایسه کاویتاسیون هیدرودینامیکی و اولتراسونیک
2002	Hart	امکان کاهش قطر حباب تا حد پیکو بررسی شد.	بررسی استفاده از تکنولوژی کاویتاسیون
2004	Gu	افزایش زاویه تماس در حضور نوکلی گازهای طبیعی موجود در آب	اثر حضور حباب های ریز بر زاویه تماس بین حباب معمولی و ذرات
2005	C. H. Lin, L. A. Wang	در این تحقیق نشان داده شد که هیچ حبابی در اندازه کوچکتر از ۷ نانومتر در این سیستم وجود ندارد. البته اثر حبابهایی با اندازه های متفاوت نیز در تئوری مای ارزیابی شده و نتایج حاصل از آن در هر دو جهت جلویی و عرضی ارائه گردیده است.	شبیه سازی اثر تفرق حباب هوا در لیتو گرافی تداخل سنج شناور
2005	Guseong-dong	همانطور که قدرت و زمان فراصوت افزایش می یابد، اندازه حباب افزایش یافته است. اضافه کردن سورفاکتانت باعث می شود اندازه حباب تا ۴۵۰ نانومتر کاهش می یابد.	تشکیل آلتراسونیک از حباب نانو و زتا پتانسیل در الکترولیت آبی و راه حل های سورفاکتانت
2008	N. F. Bunkin	وابستگی زاویه از عناصر ماتریس مولر با طول موج ۵۰۰ نانومتر برای خوشه شعاع با ابعاد فراکتال $2.4 \leq DF \leq 2.8$ متشکل از حباب های هوای نانو با توزیع اندازه لگ نرمال با $70 \leq reff \leq 90$ نانومتر.	ساختار خوشه ای گاز محلول پایدار نانو حباب در آب بسیار خالص
2010	FAN Maoming, TAO Daniel	نانوحباب ها ترجیحا بر روی سطح ذرات جامد تشکیل هسته می دهند و اندازه ی نانو حباب ها با افزایش تراکم کف کننده کاهش می یابد	تولید و بررسی خواص نانو حباب در محیط های حاوی مواد معدنی
2010	Fernanda Yumi Ushikubo	مقدار پتانسیل زتا در آب اکسیژنه ی نانو - میکرو حباب زیاد است می تواند از به هم پیوستن حباب ها ممانعت به عمل آورد.	شواهد مربوط به وجود ثبات حبابهای نانو در آب
2011	Tsutomu Uchida	استفاده از نانو حباب در کاربرد های مهندسی قابل انجام است، اما اثر آن در طول زمان به شدت بر روی غلظت تعداد بستگی دارد و باعث جمع آوری ذرات در فاضلاب بر روی سطح خود گردید.	مشاهدات TEM حباب های نانو و جذب از ناخالصی در فاضلاب
2012	Johnson	نانو حباب ها بر سطح ذرات هیدروفوبیک دارای زاویه تماس بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ درجه می باشد.	زاویه تماس نانو حباب ها

۷-۲- تئوری های اندازه گیری ابعاد:

جهت شناخت اثرات و خواص نانو - میکرو حبابها، اطلاع از ابعاد و توزیع ابعادی آنها ضروری است. سوالات بسیار زیادی راجع به نانوحبابها وجود دارد که جواب روشنی برای آنها پیدا نشده است. برخی از این سوالات در ارتباط با اندازه یا توزیع ابعادی و پایداری نانوحبابها در آب پس از تولید می باشند. در این مرحله، ضمن معرفی مختصر سایر روش های اندازه گیری ابعاد حبابها، روش تفرق نور دینامیکی به عنوان یک روش نوین، دقیق و کاربردی جهت تعیین توزیع ابعادی نانوحبابها در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته است.

شایان ذکر است که برهمکنش نور با ماده صورت های مختلفی دارد و لذا نور را ما به ندرت به صورت مستقیم مشاهده می شود. معمولاً نوری که توسط دستگاه های آشکار ساز نور پخش می شود، به صورت غیر مستقیم از منبع خارج می شود و با عواملی در مسیر حرکت، بر هم کنش دارد. [P.A Webb, (2000).

شکل ۲-۴ نحوه برخورد نور با ذرات را که چهار نوع برهم کنش از خود دارند را نشان می دهد:



شکل ۲-۴ چگونگی برهمکنش نور با ذرات

-
- 1 Diffraction
 - 2 Reflection
 - 3 Absorption
 - 4 Refraction

۲-۷-۱- روشهای مختلف اندازه‌گیری ابعاد نانو - میکرو حباب‌ها:

جهت اندازه‌گیری ابعاد حباب‌های نسبتاً درشت، روش‌های زیادی مانند اشعه ایکس، روابط تجربی و نیمه تجربی بر مبنای دینامیک جریان (قانون استوکس)، اندازه‌گیری‌های مقاومت الکتریکی، عکس برداری و آنالیز تصویری مورد بررسی قرار گرفته است. [Rodrigus , Rubio, (2003)] اغلب این روش‌ها دارای معایبی نظیر زمان طولانی مورد نیاز برای اندازه‌گیری، مشکل همپوشانی حباب‌ها، دقت پایین و نیاز به نصب تجهیزات پیشرفته می‌باشند. علاوه بر این، روش‌های مذکور از کارایی لازم جهت اندازه‌گیری ابعاد حباب‌ها در مقیاس چند میکرومتر و نانومتر برخوردار نیستند.

[Zhou, Egiebor , Plitt ; (1993)]

اشعه لیزر را جهت اندازه‌گیری و سرعت و اندازه حباب‌ها در یک بستر آبی دو بعدی مورد نیز استفاده قرار گرفته است. [Sung, Burgess; (1987)] در این روش، از پالس‌های نوری اشعه لیزر ناشی از عبور حباب جهت تعیین سرعت و اندازه آن استفاده شده است. همچنین شمارنده نوری ذرات بر مبنای میزان عدم عبور نور لیزر جهت اندازه‌گیری ابعاد حباب‌ها در فرآیندهای شناوری حباب‌های هوایی حل شده مورد استفاده قرار گرفته است. [Han, Park; (2002)] اشکال و نقص عمده این روش، در همپوشانی و تلفیق حباب‌ها در درون سنسور دستگاه بوده است که منجر به شمارش تعداد کمتر و اندازه بزرگتر حباب‌های از مقادیر واقعی شد. در این روش، جهت جلوگیری از خطا در شمارش و افزایش دقت، غلظت پایین حباب‌ها الزامی است.

روش دیگر اندازه‌گیری ابعاد حباب‌های ریز، مبتنی بر اندازه‌گیری مستقیم ابعاد آنها با کمک میکروسکوپ‌ها، دوربین‌های عکاسی CCD^۱ و دیگر دستگاه‌های پیشرفته می‌باشد. روش‌های نوری به علت کوچکتر بودن نانوحباب‌ها از طول موج نور، مناسب نیستند. یک روش دیگر جهت مشاهده مستقیم حضور نانوحباب‌ها بر سطح ذرات هیدروفوب، روش میکروسکوپ نیروی اتمی یا AFM^۲ می-

^۱ charge-coupled device

^۲ Atomic Force Microscopy

باشد. [Hampton, Nguyen. (2010)] اولین مشاهدات نانوحباب‌ها با روش AFM توسط ایشیدا و همکارانش روی سیلیس در آب خالص انجام گرفت. [Ishida, et... (2000)]

روش مستقیم دیگر، اندازه‌گیری ابعاد حباب‌ها با استفاده از تکنیک LTM-BSizer^۱ است. سیستم آنالیز تصویری شامل سلول جمع‌آوری حباب، میکروسکوپ و یک دوربین CCD می‌باشد. در این روش، حباب‌های موجود در یک ستون فلوتاسیون در حالت دوم فازی (آب و هوا) وارد یک نمونه-گیر حباب می‌شوند که سلول به آب متصل است. در ادامه، پس از تثبیت حباب‌ها، با کمک یک دوربین عکاسی، از حباب‌های مذکور، تصویربرداری می‌شود. توزیع ابعادی حباب‌ها پس از آنالیز تصویری و میکروسکوپی، مشخص می‌گردد. محققین ارائه‌دهنده این تکنیک، معتقد به حل مشکلات معمول، نظیر کیفیت تصاویر حباب‌ها و غلظت حباب‌ها با این روش می‌باشند. [Rodrigus, Rubio, (2003)]

علاوه بر این، دانشگاه مک‌گیل کانادا نیز در سال ۲۰۰۴، دستگاه آنالیز اندازه حباب را که روش استفاده از آن مشابه تکنیک LTM-BSizer است، جهت اندازه‌گیری ابعاد حباب‌ها در محدود ابعادی ۰/۵ تا ۳ میلی‌متر معرفی نموده است. با کمک نرم‌افزار آنالیز تصویری، تعیین توزیع ابعادی حباب‌ها با این دستگاه میسر می‌گردد. [Marta, Dailey; (2004)]

دانشمندان تلاش بسیاری کرده‌اند تا بتوانند روشی را جهت پیش‌بینی تفرق یا جذب نور توسط ذرات ارائه نمایند. در این راستا، مدل‌ها و تئوری‌های مختلفی ارائه شده است. یکی از ساده‌ترین تئوری‌ها، تئوری فرانهوفر^۲ می‌باشد. این مدل، الگوی تفرق نور توسط یک جامد (ذره ورقه‌ای - دیسکی) کدر با اندازه مشخص را به هنگام قرار گرفتن در معرض اشعه لیزر، پیش‌بینی می‌نماید. مدل فرانهوفر برای برخی از ذرات رضایت بخش است، اما تفرق را بطور دقیق توصیف نمی‌نماید. علاوه بر این، بسیاری از ذرات شفاف می‌باشند.

^۱ Laborator Technique Mineral
^۲ Fraunhofer

تئوری پذیرفته شده برای تمام مواد و در کلیه شرایط که بطور دقیق رفتار تفرق نور را پیش بینی می- کند، تئوری مای^۱ می باشد. در مدل ارائه شده توسط مای، ذرات به شکل کره در نظر گرفته می- شوند. این مدل، بر پایه نور جذب شده یا نور عبوری از این ذرات، استوار است. در مدل مای، دانستن برخی از ویژگیهای ذرات نظیر اندیس انعکاس نور و میزان جذب ضروری است. تئوری مای نسبت به تئوری فرانهورفر برای اندازه گیری ذرات یا حبابهای ریز (کوچکتر از ۱ میکرون)، مناسب تر و دقیق تر است. [Beuselinck, et...; (1998)].

۲-۷-۲- روش های اندازه گیری ابعاد با تکنیک تفرق اشعه لیزری:

روش تفرق اشعه لیزری یا به عبارتی تفرق اشعه لیزر با زاویه کم مطابق با استاندارد ISO13320 سال ۲۰۰۹ جهت تعیین ابعاد ذرات در محدوده ابعادی بین ۰/۱ تا ۳۰۰۰ میکرون ارائه شده است. [ISO 13320:(2009)]

برخی از مزیت های روش تفرق اشعه لیزری عبارت از موارد ذیل می باشند:

- برخورداری از منبع نور لیزر با شدت منظم و طول موج ثابت
- ردیاب مناسب
- روش غیر مخرب و غیر مخل است، بنابراین به راحتی می توان پس از اندازه گیری، در صورت با ارزش بودن نمونه، آنرا بازیابی نمود.
- با این روش، در کمتر از ۱ دقیقه، آنالیز ابعادی مورد نظر قابل دستیابی می باشد. لذا امکان استفاده در عملیات صنعتی با توجه به قابلیت تکرار آسان آن، وجود دارد.
- تفکیک بالا و امکان ارائه ۱۰۰ جزء ابعادی در نمودارهای توزیع ابعادی وجود دارد.
- ارائه توزیع حجمی بطور مستقیم که در صورت ثابت بودن دانسیته، معادل توزیع وزنی خواهد بود. این توزیع برای مهندسان شیمی ارجح تر است. نتایج ابعاد ذرات بصورت قطر کره هم حجم

^۱ Mie

در نظر گرفته می‌شود. میکرو حباب‌های کوچکتر از ۱۰۰ میکرون نیز بصورت یک کره صلب در نظر گرفته می‌شوند.

جهت اندازه‌گیری ابعاد حباب‌ها، از دو روش استاندارد و یا ¹SOP و روش دستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. [Beuselinck,et...(1998)]

روش SOP، با برنامه ریزی در نرم افزار دستگاه، جهت اندازه‌گیری یک نمونه با یک روش یکسان و از قبل تعیین شده استفاده می‌شود. در این روش، کلیه اطلاعات مورد نیاز در ابتدا وارد نرم افزار شده و در ادامه اندازه‌گیری با ورود نمونه به دستگاه دنبال می‌گردد. در صورتی که نمونه عوض شود، می‌توان با ثابت نگه داشتن سایر اطلاعات و تغییر اندیس انعکاس نور، اندازه‌گیری را انجام داد. در حالت کلی به هنگام استفاده از این روش می‌توان در صورت نیاز برخی از اطلاعات وارد شده اولیه را قبل از اندازه‌گیری تغییر داد. روش SOP، کلیه تنظیمات (غیر از تنظیمات دستی) اولیه شده به نرم افزار به عنوان مثال سرعت پمپ، توان اولتراسونیک، زمان اندازه‌گیری، تعداد دفعات اندازه‌گیری، نوع متفرق کننده و افزودنی، اندیس انعکاس نور نمونه و متفرق کننده را بطور اتوماتیک انجام می‌دهد. این روش، معمولاً برای مواردی که نمونه‌ها مشابه بوده و از یک روش یکسان اندازه‌گیری پیروی می‌کنند، استفاده می‌گردد.

در روش دستی، پس از تنظیمات مربوط به دستگاه و وارد کردن اطلاعات نمونه و متفرقه کننده (آب)، می‌توان قبل از اندازه‌گیری نهایی توزیع دانه بندی نمونه، برخی از پارامترها نظیر سرعت پمپ، توان اولتراسونیک و غیره را تغییر داده و اثر این تغییرات را بر منحنی توزیع دانه بندی بصورت آنلاین بر صفحه کامپیوتر مشاهده نمود.

¹ standard operating procedures

۲-۷-۳- روش‌های اندازه‌گیری ابعاد با تکنیک پراش نور دینامیکی:

روشی که در این تحقیق از آن استفاده شده است، روش پراش نور دینامیکی^۱ می‌باشد که برای اندازه‌گیری اندازه ذرات در محیط مایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. در یک محلول، برخورد ذرات و مولکول‌های کوچک با مولکول‌های حلال، منجر به حرکت تصادفی مولکول‌ها می‌شود. که به این حرکت ذرات کوچک در یک سیال، حرکت براونی می‌گویند. در عمل ذرات در مایع هیچ‌گاه ساکن نبوده و بوسیله‌ی حرکات براونی دائماً در حرکت هستند. یکی از ویژگی‌های حرکت براونی آن است که ذرات کوچک، سریع و ذرات بزرگ، آهسته حرکت می‌کنند و در یک دمای ثابت ذرات بزرگ‌تر در مقایسه با ذرات کوچک‌تر، حرکت بسیار آهسته‌تری دارند و زمانی که ذرات به‌طور ثابت در حرکت باشند، به نظر می‌رسد که الگوی ایجاد شده بوسیله آن‌ها نیز حرکت می‌کند. [ISO22412(2008)]

تئوری مای‌وقتی اتفاق می‌افتد که ذرات هم‌اندازه یا کمی بزرگتر از طول موج نوری هستند که با آنها برخورد می‌کند. برای استفاده از این تئوری، کاربر نیاز به دانستن ضریب شکست ذره و محیط یا همان ضریب شکست نسبی دارد. از این رو این تئوری برخلاف تقریب فرانیهوفر، برای ذرات شفاف در محدوده اندازه یک تا پنجاه میکرومتر نیز قابل استفاده است. می‌توان گفت که فرانیهوفر نتایج خوبی برای ذرات بزرگتر از ۵۰ میکرومتر می‌دهد، ولی تئوری مای، بهترین راه حل عمومی برای ذرات کوچکتر از ۵۰ میکرومتر می‌باشد. [ISO22412(2008)]

شرایط استفاده از تئوری مای، بدین شرح است :

- نور استفاده شده در تعیین اندازه ذرات، باید دارای یک طول موج و فرکانس یکنواخت باشد.
- ذره باید کروی باشد، چون شکل ذره بر الگوی پراکندگی اثرگذار است.
- ذرات باید ایزوتروپ و همسان باشند، اگر ذرات غیرایزوتروپ یا غیر همسان باشند، خصوصیات نوری آنها در جهات مختلف متفاوت خواهد بود.

¹ Dynamic light scattering

- نور برخوردی باید به صورت امواج صفحه ای باشد یا توزیع سه بعدی نداشته باشد.
- هم پراکندگی و هم جذب باید در نظر گرفته شوند.
- ضریب شکست محیط و ذره باید شناخته شده باشد.
- و بالاخره مجموعه باید همگن باشد، زیرا ناهمگنی روی الگوی پراکندگی اثر دارد.

برخی از این شرایط، جزء شرایط اصلی تئوری مای هستند، ولی برخی دیگر برای ساده سازی مسئله و تعیین اندازه به کار گرفته می شوند.

روش تفرق نور دینامیکی مطابق با استاندارد ISO 22412 سال ۲۰۰۸ جهت تعیین ابعاد ذرات در محدوده ابعادی بین ۰/۶ تا ۸ میکرون قابل استفاده می باشد. [International Standard ISO22412(2008)]

جهت اندازه گیری ابعاد حباب ها، از دو روش پاد - لاپلاس^۱ و کومولانت^۲ مورد استفاده قرار می گیرد. که نتایج روش کومولانت دقیق تر و قابل استناد تر می باشد. در روش کومولانت امکان اندازه گیری پارامتر ارزشمندی به نام Zaverage فراهم می شود. که از طریق شدت نوسان نور پخش شده با استفاده از یک آشکارساز مناسب قابل اندازه گیری است. شدت نوسان نور پخش شده مستقیماً به سرعت نفوذ مولکول در حلال بستگی دارد و با دانستن ویسکوزیته محیط، شدت این نوسانات برای تعیین قطر نمونه مورد استفاده قرار می گیرد. قطری که در این روش اندازه گیری می شود، قطر هیدرودینامیکی نمونه نامیده شده و نشان دهنده ی چگونگی نفوذ ذرات در سیال است.

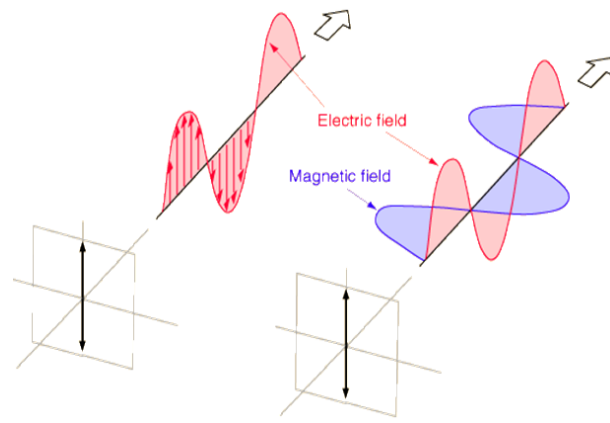
۲-۸- تئوری تصویر برداری از نانو - میکرو حباب ها:

یکی از راهکارهای بهبود کیفیت تصویر برداری از حرکت آب در یک نمونه اضافه شدن حباب هایی با اندازه های تقریباً یکسان و پایدار در سیال می باشد. برای این منظور در این تحقیق از نانو - میکرو

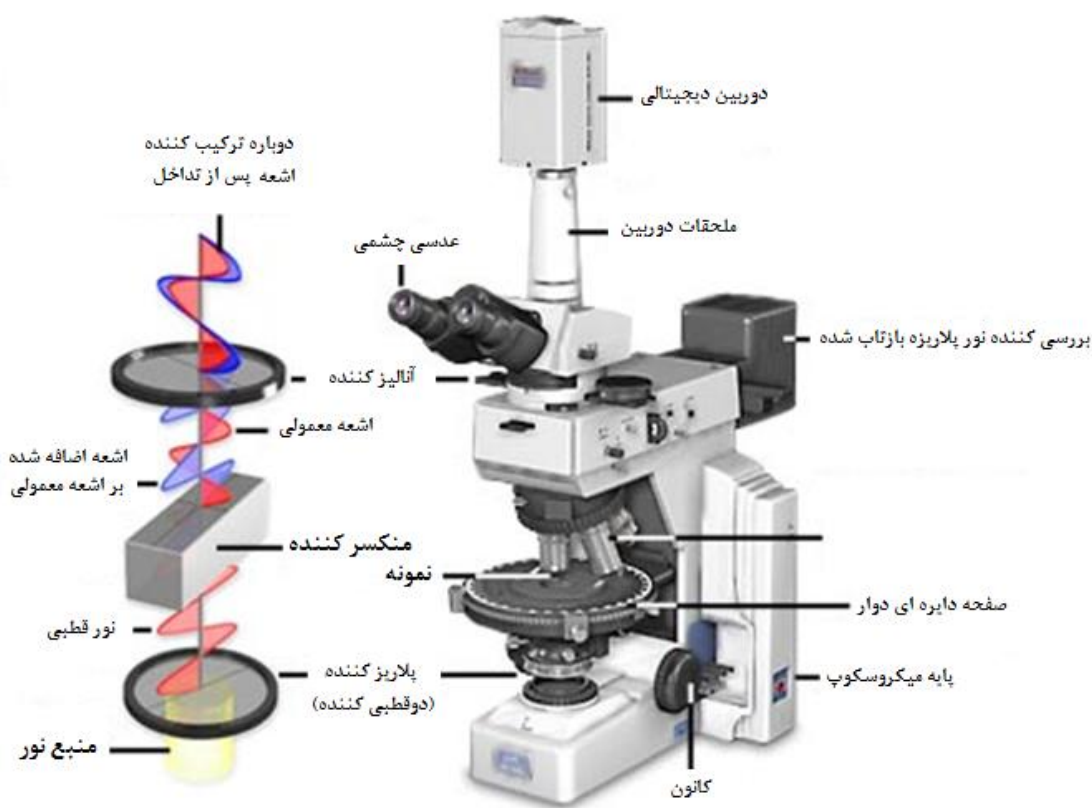
¹Pade-Laplace

² Cumulants

حباب ها و میکروسکوپ پلاریزه و اثر پلاریزاسیون آن با استفاده از فیلتر پلاریزه خطی و در راستای TM^1 مورد بررسی قرار گرفته است. که در شکل های زیر نحوه عملکرد را مشاهده می کنید:



شکل ۲-۵ اشکال پلاریزه خطی به دو صورت (TE^2 و TM)



شکل ۲-۶ شکل بندی میکروسکوپ پلاریزه نوری

³ Transverse magnetic

² Transverse electric

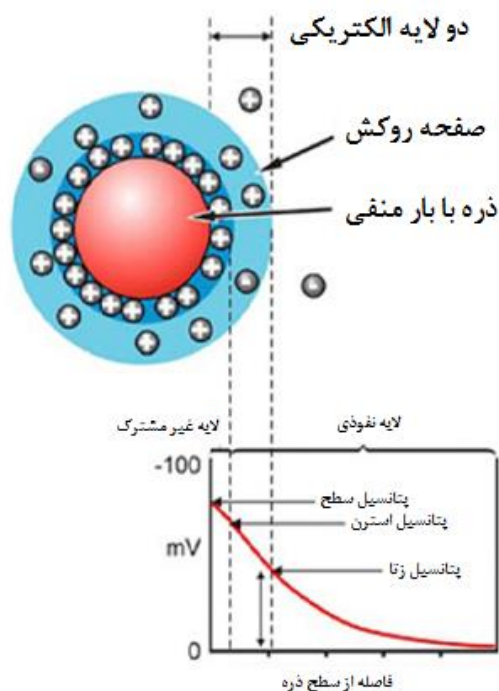
با برخورد نور به هر حباب، دو پدیده جذب و تفرق اتفاق خواهد افتاد. در این بررسی از تئوری مای جهت محاسبه طیف تفرق حاصل از حباب در آب استفاده میکنیم. [Chen , Wang, (2000)] دامنه گستره تفرق به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} E_{\perp s} \\ E_{\parallel s} \end{bmatrix} = \frac{e^{ikr}}{r} \frac{i}{k} \begin{bmatrix} S_1(\cos \theta) & 0 \\ 0 & S_2(\cos \theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{\perp 0} \\ E_{\parallel 0} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۲-۵:}$$

که در آن $E_{\perp 0}$, $E_{\perp s}$ طیف ورودی و پراش یافته ی عمود بر صفحه تفرق TE است و $E_{\parallel 0}$, $E_{\parallel s}$ طیف ورودی و پراش یافته ی موازی با صفحه تفرق TM است. S_1, S_2 نیز دامنه پراشی هستند که از روش مای به دست آمده و θ زاویه تفرق است. (صفر درجه برای تفرق رو به جلو و 180° درجه برای تفرق برگشتی (روبه عقب)). R نیز فاصله میان کره پراش بوده و $k=2\pi n/\lambda$ است که در آن n ضریب شکست نور محیط احاطه کننده ی کره های هوا است. که در آن θ زاویه ورودی صفر درجه لحاظ شده است. جالب است بدانیم نتایج پراش TM در نزدیکی محور نوری بهتر از TE است. [Lin , Wang (2005)] از یک دوربین CCD به بررسی تغییرات سرعت نانو - میکرو حباب هوا استفاده شده و با کمک پردازش تصویر سرعت حرکت ذرات در فریم های متوالی بدست آمده است جهت بردار های نشان داده شده، برآیند بردارهای سرعت بین دو فریم متوالی می باشد.

۲-۹- تئوری پتانسیل سطحی از نانو - میکرو حباب ها:

پتانسیل زتا یک خاصیت فیزیکی ذرات خنثی است که در فصل مشترک با (جدایش فازی) فاز جامد با محلولها ی الکترولیتی بروز میکند. در شکل ۲-۷ یک ذره خنثی به طور شماتیک درون محلول نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه میشود وجود این پدیده موجب ایجاد یک لایه دوگانه در اطراف ذره میگردد. [A. D. McNaught and A. Wilkinson (1997)]



شکل ۲-۷ شماتیک حضور یک ذره خنثی در الکترولیت

پتانسیل الکتریکی حاصل از لایه دوگانه را پتانسیل الکتروستاتیکی یا پتانسیل زتا می گویند. این پتانسیل تابع عواملی از قبیل اندازه و نوع ذرات، PH و سایر عوامل مؤثر بر دو لایه الکتریکی خواهد بود. عموماً افزایش pH موجب کاهش پتانسیل زتا خواهد شد. نکته قابل تأمل اینکه هر ذره در pH های گوناگون رفتار منحصر به فردی از خود نشان می دهد. به طوری که نه تنها مقدار پتانسیل آن تغییر خواهد کرد، بلکه مثبت و منفی بودن آن نیز به راحتی قابل تغییر خواهد بود، به این ترتیب میتوان با انتخاب درست pH رفتار و عکس العمل ذره را در محیطهای گوناگون تحت کنترل قرار داد.

پتانسیل زتا به سطح هیدرودینامیکی نسبت داده می شود و بار سطحی برای سطح جامد- مایع تعریف می شود. هر چه پتانسیل زتا بیشتر باشد در نتیجه احتمال تشکیل دو لایه الکتریکی روی سطح ذره بیشتر می شود و تمایل برای لخته شدن و تجمع کم می شود و ذرات ریزتر می مانند و تجمع نمی کنند و توزیع اندازه ذرات باریک تر می شود. به عبارتی زتا اصطلاح یونانی می باشد. پتانسیل زتا، مقدار دافعه بین ذره مجاور را نشان می دهد. موقعی که زتا پایین می آید، جاذبه بر دافعه غلبه کرده و لخته تشکیل می شود، درحالی که ذرات با پتانسیل زتای بالا، از لحاظ الکتریکی پایدار هستند. طبق جدول ۲-۳

پتانسیل زتا، یکی از عوامل پیش بینی پایداری ذرات در حلال است. [Greenwood,Kendall, (1999), Hanaor, et... (2012)]

جدول ۲-۳: رفتار پایداری ذرات در بازه های پتانسیل زتای آنها

رفتار پایداری ذرات	پتانسیل زتا (mV)
سریع لخته می شوند	از ۰ تا ۵ ±
ناپایدار	از ۱۰ ± تا ۳۰ ±
پایداری متوسط	از ۳۰ ± تا ۴۰ ±
پایداری خوب	از ۴۰ ± تا ۶۰ ±
پایداری عالی	بیشتر از ۶۱ ±

پتانسیل زتا به عنوان یک پتانسیل الکتریکی در پیرامون ذرات و همچنین سلولها وجود دارد که تحقیقات زیادی در مورد این پتانسیل الکتریکی اطراف غشاء انجام شده است. سلولها در محلول به علت وجود خاصیت های یونی، همچنین ترکیبات سازنده غشاء (مانند پروتئینها، چربی ها و قندها) و پخش بار در سطح غشاء آنها دارای یک بار الکتریکی در سطح غشاء می باشند. گسترش بار در اطراف غشاء باعث تأثیر بر روی یونهای مجاور شده که نتیجه آن افزایش غلظت تعداد یونها (یونهای با بار الکتریکی مخالف) در فاصله نزدیک غشاء می شود. بنابراین غشاء در محلول توسط یک لایه از یونهای با بار مخالف محصور شده که آن را لایه ثابت می گویند. در قسمت بیرونی لایه ثابت، تعداد زیادی از یونها با بارهای مختلف وجود دارد که باعث تشکیل یک لایه ابری شکل می شود. بنابر این دولایه الکتریکی در ناحیه ای که سطح غشاء در مجاورت محیط مایع اطراف آن وجود دارد، تشکیل می شود. این لایه دوگانه توسط دو قسمت شرح داده می شود:

۱. قسمت درونی: شامل یونهایی است که به صورت قوی با سطح خارجی غشاء اتصال پیدا کرده است.

۲. قسمت بیرونی یا ناحیه پراکنده که یونها در آن قسمت در حالت تعادل یونی به سر می

برند.

پتانسیل موجود در این قسمت با افزایش فاصله از غشاء کاهش پیدا کرده، تا جایی که به صفر برسد. هنگامی که بر محیط مایع اطراف سلول میزان معینی ولتاژ اعمال شود سلولها از طریق بار موجود در غشاء به سمت الکتروود با قطب مخالف بار غشاء حرکت می کنند. حرکت سلولها به دلیل اثر ولتاژ خارجی بر روی لایه ثابت و همچنین بر روی قسمتی از ناحیه پراکنده و قسمت بینا بینی این دو ناحیه در سطح غشاء می باشد. این دو قسمت و قسمت بینابینی آن به shear plane معروف می باشد و بار الکتریکی موجود در این قسمت پتانسیل زتا نام دارد. پتانسیل زتا به عنوان قسمت کاربردی بار الکتریکی سطح غشاء عمل می کند. ماهیت محیطی که سلول در آن قرار دارد، میزان یونها و pH محیط بر روی میزان پتانسیل زتا تأثیر می گذارد. بسیاری از مواد هنگام قرار گرفتن در مایعات و یا آب از خود درجات متفاوتی از پتانسیل زتا را نشان می دهند. همچنین مولکولهای آبی که در مجاورت غشای سلولی وجود دارند تقریباً بی حرکت هستند و وجود آنها همراه با گروههای باردار در سطح غشاء باعث تأثیر در انتشار یونهای متحرک می شود. سطح غشای سلولهای ایزوله شده معمولاً دارای بار منفی است. بار موجود در دولایه الکتریکی آن با بار یونهای مخالف محیط به تعادل می رسد. این پتانسیل ایجاد شده در چنین محیط استاتیکی به صورت تصاعدی با ایجاد فاصله از سطح غشاء کاهش می یابد. در صورتی که این سطح در طول محیط حرکت کند یک لایه نازکی از محیط همراه با مقداری از یونها با این غشای حرکت می کنند. در نتیجه پتانسیلی در سطح غشاء به نام پتانسیل زتا ایجاد می شود که به وسیله روشهای سینتیکی مثل الکتروفورز اندازه گیری می شود که مقدار آن چند میلی ولت کمتر از پتانسیل واقعی غشاء می باشد. در اغلب سلولها این پتانسیل اندازه گیری شده بین ۱۰- تا ۲۰- میلی ولت است. در غشاهای سلولی، محیطهای مایع خاص مجاور غشاء ممکن است بر روی فعالیت غشاء اثر بگذارند. در نتیجه غلظت یونهای نزدیک در سطح غشاء ممکن است از کل

یونهای محیط متفاوت شوند. [Kirby, (2010)]

فصل سوم:

مواد و روش های اندازه گیری

میکرو-نانو حباب

فصل ۳ - مواد و روش های اندازه گیری:

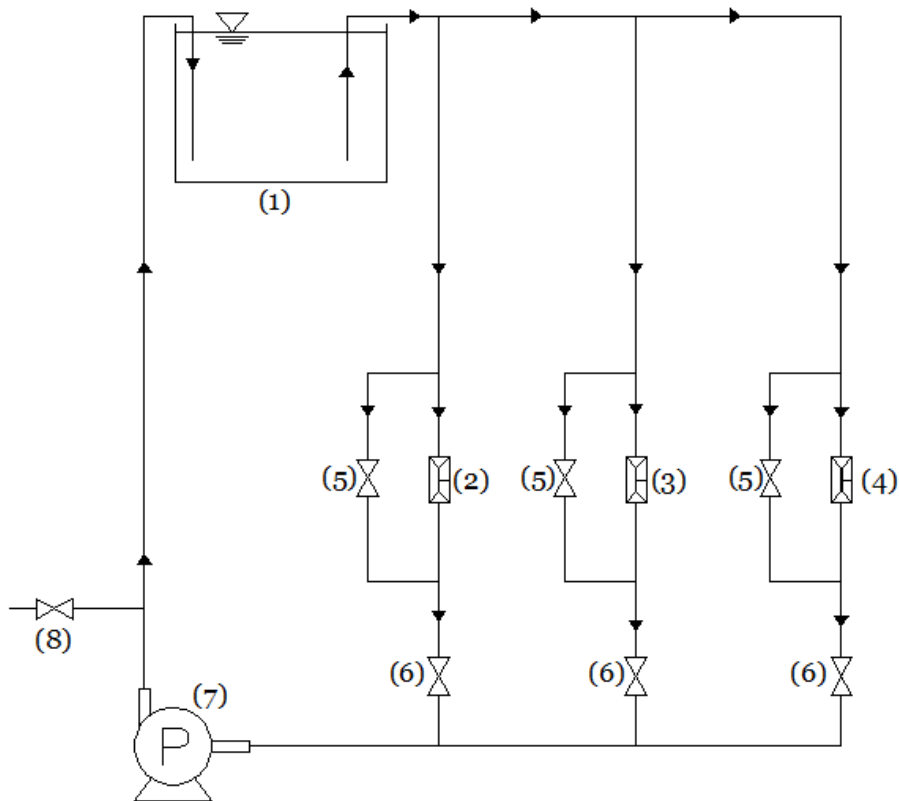
۳-۱- مقدمه:

این فصل به روشهای تولید و اندازه گیری نانو-میکرو حباب های هوا در آب پرداخته می شود. بطور خلاصه، روش تولید نانو-میکرو حباب ها، آزمایشات انجام گرفته روی مایع، چگونگی نمونه برداری، آماده سازی برای وارد کردن در مدل آزمایشگاهی و قرار دادن در زیر میکروسکوپ و تصویر برداری و وارد کردن فیلم ها به نرم افزار از جمله موضوعات مورد اشاره در این بخش می باشد. همچنین تجهیزات آزمایشگاهی که مورد استفاده قرار گرفته اند، شرح داده خواهند شد.

۳-۲- چگونگی تولید و ساخت نانو-میکرو حباب ها:

در این تحقیق، با طراحی و ساخت یک دستگاه تولید نانو-میکرو حباب بر مبنای روش برش و استفاده از لوله ونتوری و فرآیند کاویتاسیون هیدرودینامیکی به تولید نانو-میکرو حباب ها با ابعاد تقریباً یکسان بوسیله تنظیم پارامترهای فیزیکی مبادرت گردید. این دستگاه از سه بخش اصلی تشکیل یافته است: (۱) ورودی هوا (۲) اعمال فشار بر محلول (۳) منطقه افت فشار تشکیل شده است. نقش هوا در این دستگاه با نقش آن در سایر دستگاهها نظیر ستون میکروسول ساخته شده توسط یون [Yoon, (1993)] در سال ۱۹۹۳ یا سلول آقای زو [Zhou; (1994)] در سال ۱۹۹۴ متفاوت است. هدف ورود هوا در این دستگاه دقیقاً در محل فشار منفی افزایش کارایی پدیده کاویتاسیون و تولید نانو-میکرو حباب می باشد. بنابراین، برخلاف سایر دستگاهها، لوله های ونتوری و ورودی هوا در این دستگاه قبل از پمپ، وارد آب می شود. گاز اصلی مورد استفاده جهت تولید نانو-میکرو حباب ها، هوا بوده است. نوع مایع انتخاب شد که از آب لوله کشی شهری شهر شاهرود بدون هیچ گونه ماده اضافی استفاده گردید. سیال در یک منبع با ارتفاع اولیه حدود ۳ متر که از تراز مولد های هیدرودینامیکی داشته و از طریق یک پمپ سانتریفیوژ (مدل PK ساخت شرکت پدرو لوی ایتالیا با قدرت ۰.۵ اسب بخار) پس از عبور از مولد نانو-میکرو حباب به داخل آن برگشت داده می شود. مولد

در قسمت مکش (بالادست) پمپ قرار گرفت. شایان ذکر است که در سیستم از سه مولد هیدرودینامیکی با قطرهای داخلی ۱ mm و ۳ mm و ۵ mm استفاده گردید. در مولد ها، در ناحیه ی همگرای مخروطی این لوله، سرعت جریان افزایش می یابد، در نتیجه فشار کاهش می یابد و در قسمتی از لوله فشار منفی می شود و با افزایش سرعت از فشار بخار کمتر می شود که این امر باعث مکش هوا به داخل لوله می شود. به کمک شیر آلات موجود مکش هوا بنحوی تنظیم می شد که برای تشکیل حباب کافی باشد. در مرحله بعد که حباب ها به علت چرخش در سامانه به لوله مولد بر می گردد، بنابراین کاویتاسیون منجر به کوچک شدن ابعاد حبابها با انجام مکرر نانو-میکرو حباب بیشتر و با قطر کمتری تولید می شود. شکل ۳-۱- شماتیک از دستگاه نانو- میکرو حباب ساز را نشان می دهد.



شکل ۳-۱- شماتیک از دستگاه نانو- میکرو حباب. ۱- مخزن آب) ۲- (مولد با قطر مرکزی ۱ mm) ۳- (مولد با قطر مرکزی ۳ mm) ۴- (مولد با قطر مرکزی ۵ mm) ۵- (شیر های تنظیم دبی) ۶- (شیر های اصلی مولد) ۷- (پمپ آب) ۸- (شیر نمونه برداری)

۳-۳- اندازه گیری ابعاد نانو - میکرو حباب‌ها:

ابعاد نانو - میکرو حباب‌ها حداقل ۲۴ ساعت پس از تولید شده با استفاده از دستگاه Nano Particle Size Analyzer انجام شد. که بر اساس تئوری مای طراحی شده است. دستگاه مزبور با روش پراش نور دینامیکی کار می کند و قادر به اندازه گیری ذرات در محدوده ابعادی ۱ نانومتر تا ۶ میکرون است. آزمایشات تعیین اندازه بر روی نمونه‌هایی با عمر تا یک ماه انجام شد و نتایج به ۲ روش کومولانت و پاد-لاپلاس و بر اساس ۳ پارامتر حجم، تعداد و شدت نمونه‌ها به دست آمد. در این آزمایشات فرض شده است که ضریب شکست نور برای نانو - میکرو حباب‌ها ۱/۵۶ و برای آب ۱/۳۳ است. توزیع ذرات در مقیاس نانو به کمک نور لیزر با طول موج ۶۵۷ nm و توان ۵۰٪ تعیین شد. و نمونه برداری‌هایی به صورت دوره ای برای تعیین اندازه ذرات انجام گرفت، تا توزیع اندازه ذره‌ها در بازه یک ماهه مشخص گردد. آزمایشات مشخص نمود کوچکترین حبابها دارای اندازه تقریبی ۸۱ nm می باشند.

برای کاهش و کنترل خطاها، هر اندازه گیری حداقل ۲ بار با فاصله زمانی کوتاهی انجام شد و میانگین دو اندازه گیری ملاک عمل قرار گرفت. اندازه گیری‌ها بصورت نمودار توزیع آماری قطر نانوحباب‌ها بیان می شوند. و ملاک مقدار متوسط ابعاد نانو - میکرو حباب‌ها Dmean number است. و میانگین قطر هیدرودینامیکی Zaverag با متوسط قطر ذرات با $D_b(50)$ که معرف اندازه‌ای است که ۵۰٪ حجمی نانو - میکرو حباب‌ها دارای ابعادی کوچکتر از این اندازه و ۵۰٪ حجمی دارای ابعادی بزرگتر از آن می باشد، تفاوت دارد. (به پیوست بخش مراجعه شود)

۳-۴- صحت اندازه گیری ابعاد نانو - میکرو حباب‌ها:

جهت بررسی صحت اندازه گیری‌ها با روش تفرق نور دینامیکی، حداقل ۲ اندازه گیری تحت شرایط مشابه از یک نمونه حاوی محلول نانو - میکرو حباب انجام شد. متوسط ضریب پراکندگی چند گانه این اندازه گیری‌ها معادل برای تا نمونه‌های ۶ روزه برابر ۰,۴۸۳ بدست آمد. براساس استاندارد

ایزو ۲۲۴۱۲ سال ۲۰۰۸ جهت صحت نتایج اندازه گیری‌ها با روش تفرق نور دینامیکی، مقدار ضریب همبستگی برای ذرات تا ۰,۷، اندازه گیری‌ها قابل قبول است.

۳-۵- بررسی پایداری نانو - میکرو حباب‌ها:

از آنجا که برای مقاصد کاربردی و عملی، پایداری نانوحباب‌ها یکی از پارامترهای مهم می‌باشد، لذا تغییرات توزیع ابعادی این حباب‌ها با زمان نیز بررسی شد. به این منظور مقادیر پتانسیل زتای سطحی نانوحباب‌ها نیز بعنوان تابعی از زمان، اندازه گیری شد. مقادیر پتانسیل زتای سطحی نانو - میکرو حباب‌ها با استفاده از یک زتا پتانسیل متر Zeta Compact Cad Instrument اندازه گیری شدند. اندازه گیری ویسکوزیته نیز با استفاده از همین دستگاه به صورت اتوماتیک از نمونه‌ها گرفته شد.

۳-۶- اندازه گیری خصوصیات شیمیایی:

در این آزمایش از آب شهری شهر شاهرود و بدون هیچگونه ناخالصی افزودنی به عنوان سیال پایه و از هوای محیط برای ایجاد نانو حباب استفاده شد. برای اندازه گیری خصوصیات اولیه از قبیل: اکسیژن محلول، رسانایی محلول، pH، دما و اختلاف بار مطلق با استفاده از دستگاه SmartCHEM-Lab شرکت TPS و با استفاده از سنسور مربوطه انجام گردید.

آب شهری دارای مشخصاتی مطابق با جدول ۳-۱ بود:

جدول ۳-۱: اندازه گیری خصوصیات آب شهری

مقادیر	موارد اندازه گیری
8.15	PH
581	Conductivity(μ s)
0.41	Turbidity(NTU)
19	Temperature($^{\circ}$ c)
3.01	Dissolved Oxygen(ppm)
-61	Absolute Millivolt (mv)
0.147	Absorption(abs)
274	TDS(ppm)

۳-۷- اندازه گیری کدورت:

مقدار کدورت ها با استفاده از دستگاه کدورت سنج شرکت lovibond آلمان با استاندارد ISO 7027 و بازه عملکردی ۰,۰۱ NTU تا ۱۱۰۰ NTU و نوع پرتو اینفرارد با زاویه ۹۰ درجه و طول موج ۸۶۰ nm مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۸- آماده سازی قبل از تصویر برداری:

جهت انجام آزمایش تصویر برداری از حرکت سیال دارای نانو- میکرو حباب قبل از استفاده برای یکسان کردن قطر حباب های آب، آنها را داخل بشر هایی ریخته شده و در داخل دستگاه اولتراسونیک به مدت ۱۰ ثانیه با فرکانس ۵۰ hz قرار داده شد تا حبابهای میکرو کاهش یابد. به این ترتیب از چسبیدن میکرو حبابها به شیشه و ممانعت در تصویر برداری دقیق جلوگیری شد.

۳-۹- مشخصات و اندازه مدل ها:

در این پژوهش از سه نمونه ریز مدل مختلف از شیشه ای، استفاده گردید. اندازه و ابعاد این مدل ها عبارتند از :

- مدل شماره ۱: در ابعاد $۶۰۰ \times ۲۰۰ \times ۴$ میلیمتر ساخته شد و یک دایره با قطر ۱۰۰ میلیمتر در مرکز آن قرار داده شد تا نحوه حرکت جریان در اطراف آن بررسی شود. در ابتدا و انتهای نمونه ها از یکنواخت کننده سرعت جریان استفاده شده تا از ایجاد جریان یکنواخت اطمینان حاصل شود. این مدل از شیشه مرغوب ساخته شد.
- مدل شماره ۲: اندازه $۷۰ \times ۷۰ \times ۷$ میلیمتر و در وسط جریان از یک دایره گرد با قطر ۱,۵ میلیمتر به عنوان زائده ای برای تغییر در مسیر جریان کار گذاشته شد. در ابتدا و انتهای جریان از یکنواخت کننده سرعت جریان استفاده گردیده است. جنس این مدل از لام آزمایشگاهی انتخاب شد تا از شفافیت لازم برای عکس برداری برخوردار باشد.

- مدل شماره ۳: با اندازه $70 \times 70 \times 0.7$ میلیمتر و در وسط جریان از یک وسیله استوانه ای طولی با قطر 0.7 میلیمتر و طول 30 میلیمتر به عنوان زائده ای برای تغییر در مسیر جریان کار گذاشته شده است. در ابتدا و انتهای جریان از یکنواخت کننده سرعت جریان استفاده گردیده است. جنس این مدل نیز از شیشه بسیار مرغوب لام آزمایشگاهی استفاده شد.

۳-۱۰- روش تهیه فیلم ها و تصاویر:

در این بررسی ها با روش های مختلفی از جمله تصویر برداری با دوربین (Sony HD 1000) 3CCD به همراه لنز میکروکارل زایس (برای مدل شماره ۱) و الباقی نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ پلاریزه و با استفاده از اثر فیلتر پلاریزه خطی در راستای TM با زاویه ورودی صفر درجه به همراه دوربین CCD مخصوص این میکروسکوپ به بررسی چگونگی حرکت نانو - میکرو حباب ها پرداخته شده است. در این بررسی فیلم ها با استفاده از نرم افزار Edius5 ویرایش و بر روی فیلم های گرفته شده از میکروسکوپ پلاریزه برای بهبود بهتر کیفیت تصویر و حرکت حباب ها از ۳ فیلتر ویدیویی به نام های Dark & Bright و Neda، یا Solarization که اولی برای متعادل کردن رنگ تصویر و از فیلتر بعدی برای اثر YUV بر روی تصاویر استفاده شد. خروجی تصاویر به صورت MPG و با تعداد فریم بر ثانیه های ثابت تهیه شد.

۳-۱۱- روش پردازش تصاویر و بررسی الگوی جریان:

پس از پردازش اولیه فیلم ها به نرم افزار Matlab منتقل شد و به فریم های متوالی تفکیک شدند. و سپس از فیلتر گوسین برای بهبود بهتر تصویر استفاده شد. و در این نرم افزار با شناسایی حباب ها و حرکت آنها در بین فریم ها می توان تغییرات سرعت و چگونگی حرکت جریان را در فریم های متوالی شاهد بود. و با تبدیل دوباره فریم ها به فیلم چگونگی حرکت و چرخش حباب ها را نیز می توان به دست آورد.

فصل ۴:

اراءے یافتہ ماہرین تحلیلی نتائج

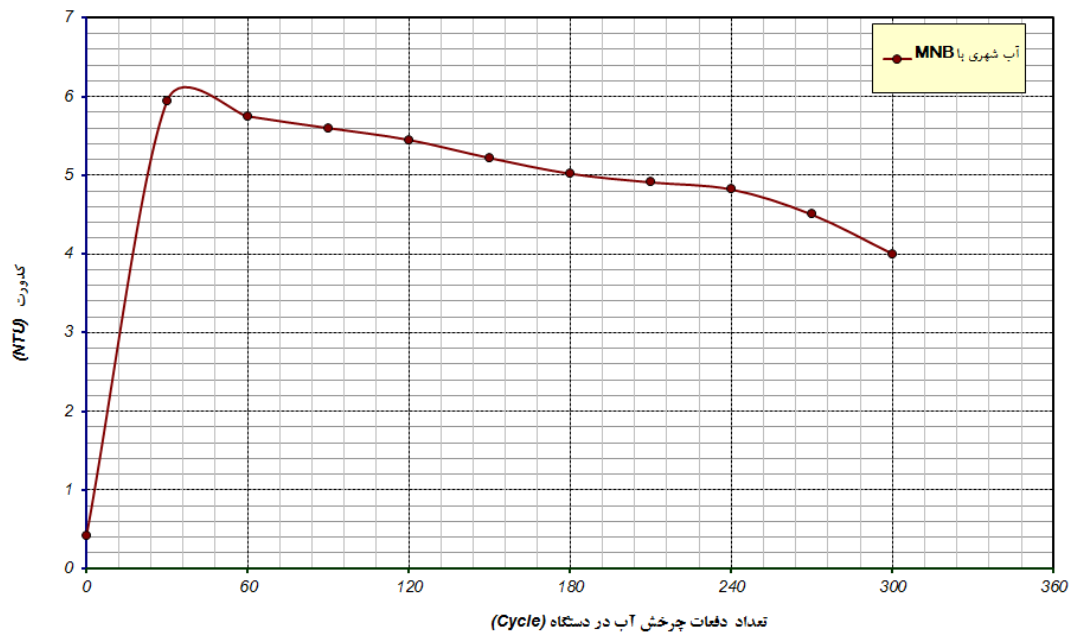
فصل ۴ - ارائه یافته‌ها و تحلیل نتایج

۴-۱- پایداری حباب‌ها در طول کارکرد دستگاه:

به علت اینکه در هنگام تصویر برداری بایستی حباب‌ها از پایداری قابل قبولی برخوردار باشند. به همین علت بررسی پایداری حباب‌ها در هنگام عملکرد دستگاه و همچنین پس از اتمام کار دستگاه و برای یک نمونه ثابت در دستور کار قرار گرفت. و آزمایشاتی در خصوص پایداری نانو- میکرو حباب‌ها انجام گرفت، که در این فصل به آنها اشاره شده است.

۴-۱-۱- اندازه گیری کدورت در هنگام عملکرد دستگاه:

پس از شروع به کار دستگاه حباب ساز اقدام به نمونه گیری از آب برای اندازه گیری اندازه گیری کدورت گرفته شد. همانطور در شکل ۴-۱ مشاهده می شود، در ابتدای شروع به کار دستگاه مولد میکرو- نانو حباب، کدورت افزایش یافته و سپس با شیب بسیار ملایم تری از شدت کدورت کاسته می شود. در ابتدا امکان حل شدن بیشتر هوا در آب وجود دارد و لذا ذرات هوا بصورت محلول یا بصورت محدوده وسیعی از حبابهای با اندازه متفاوت موجود هستند. چون دستگاه و کدورت سنج از نور مرئی برای اندازه گیری تفرق استفاده می کند، لذا کدر بودن به معنی وجود ذرات بزرگتر از طول موج های مرئی در آب است. با چرخش آب حاوی حباب در داخل چرخه بسته تولید نانو حباب به تدریج هوا در آب به مرحله فوق اشباع رسیده و امکان حل شدن بیشتر هوا در آب وجود ندارد. از سوی دیگر فرآیند تولید حباب همانگونه که قبلا ذکر شد، منجر به کاهش اندازه حبابها می شود. و در نتیجه چون متوسط اندازه حبابها به کمتر از طول موج منفی میل می کند، دستگاه کدورت سنج مقادیر کمتری را نشان می دهد، زیرا ذرات کمتری را شناسایی و در نتیجه این امر گزارش کدورت کمتر آب با زمان است زیرا با هر بار گذر آب از مولد حبابهای ریز تری و زیر حد ردیابی دستگاه کدورت سنج تولید شده و از ذرات قابل ردیابی کاسته می شود.



شکل ۴-۱ منحنی تغییرات کدورت نانو- میکرو حباب تولید شده در آب در طی زمان

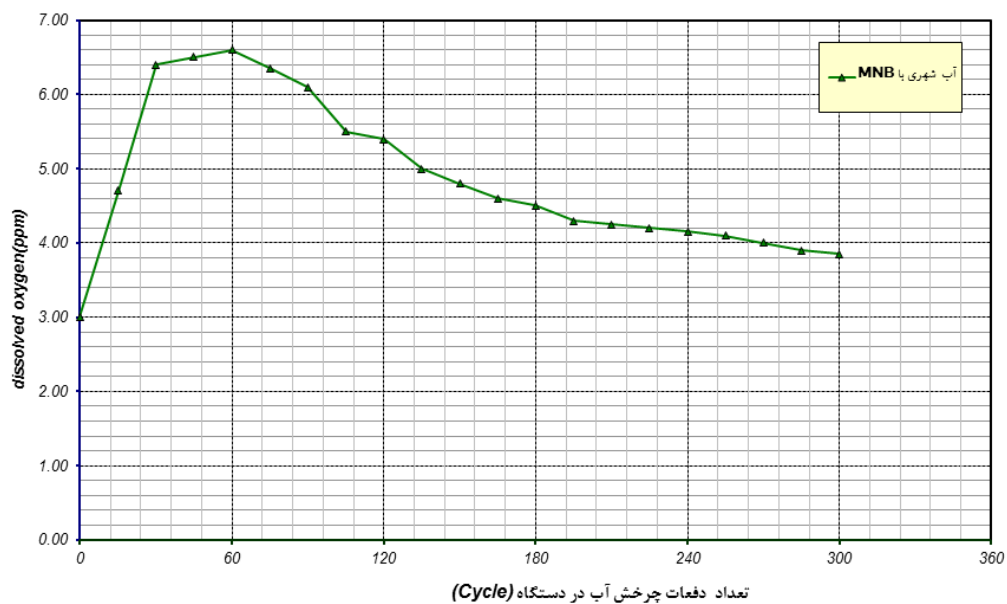
۴-۱-۲- اندازه گیری اکسیژن حل شده در هنگام عملکرد دستگاه:

برای بررسی عملکرد پایدار شدن ذرات در دستگاه اکسیژن محلول (DO^1) آب نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۴-۴، تغییرات غلظت اکسیژن حل شده در محلول حاوی نانو- میکرو حبابها را از لحظه شروع به کار دستگاه نانوحباب ساز تا رسیدن به حداکثر و سپس کاهش و نهایتاً توقف کار دستگاه نانوحباب ساز، تا مدت ۵ ساعت نشان می‌دهد. مقادیر DO در بازه زمانی مزبور، حاکی از کاهش مقدار DO زمان می‌باشد. مطابق شکل ۴-۲، مقدار اکسیژن حل شده در محلول در لحظه تولید نانو- میکرو حباب‌های هوا برابر $3/01$ ppm می‌باشد. این مقدار در زمان ۱ ساعت پس از تولید که بیانگر حداقل میزان کارکرد دستگاه می‌باشد، به مقدار $6/6$ ppm افزایش یافت. تغییرات مقدار اکسیژن حل شده در فاصله زمانی تا ۵ ساعت پس از زمان تولید، نسبتاً ناچیز و قابل صرف نظر بوده است. (۵۴٪ افزایش یافته است)

¹ Dissolved Oxygen

کاهش غلظت اکسیژن حل شده در محلول حاوی نانو - میکرو حباب‌ها، باعث افزایش گرادیان غلظت هوا بین سطح مشترک نانوحباب و آب می‌گردد. با گذشت زمان، هوای موجود در درون نانو - میکرو حباب‌ها در آب حل می‌شود. که موجب کاهش فشار درونی و در نهایت از بین رفتن نانو - میکرو حباب‌ها می‌گردد. با کاهش غلظت نانو - میکرو حباب‌ها، کدورت کاهش می‌یابد. کاهش مقدار اکسیژن حل شده در آب پس از تولید نانوحبابهای هوا و کاهش ابعاد نانوحبابها با گذشت زمان در تحقیقات گذشته نیز گزارش شده است. [Jowett, A., (1980)]

براساس اطلاعات بدست آمده، مقدار اکسیژن حل شده با کنترل مقدار نفوذ گاز از فصل مشترک نانوحباب با محلول، عامل پایداری نانو - میکرو حباب‌ها می‌باشد. اما به نظر میرسد تنها غلظت اکسیژن حل شده قادر به توجیه یا توضیح پایداری توزیع ابعادی نانو - میکرو حباب‌ها نیست.

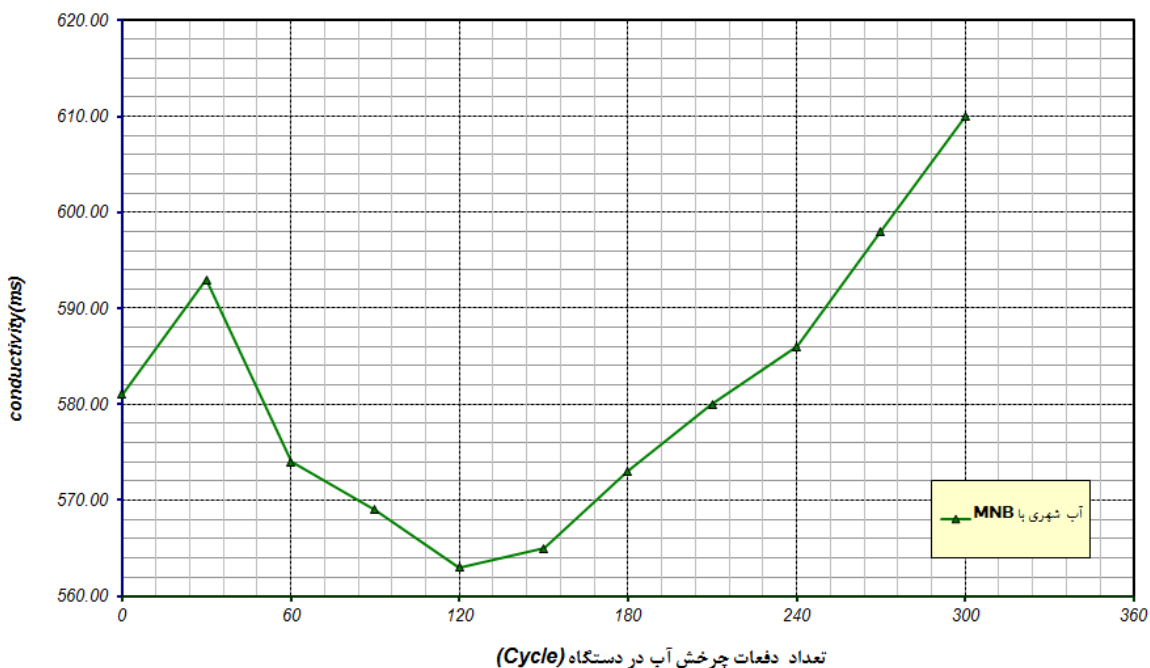


شکل ۲-۴ منحنی تغییرات اکسیژن حل شده در محلول در طی زمان

۴-۱-۳- اندازه گیری رسانایی در هنگام عملکرد دستگاه:

مطابق شکل ۳-۴ مقدار رسانایی محلول با افزایش زمان دستگاه را نشان داده است. در ابتدا با افزایش میکرو حباب‌ها بارهای درون هسته به یک سمت (بار مثبت) متمایل می‌شوند. از این رو

انتقال بارها و یا رسانایی درون مایع بیشتر از مقدار اولیه خود می شود. سپس با کارکرد بیشتر دستگاه با کاسته شدن از مقدار میکرو حباب ها و افزایش نانو حباب ها روبرو خواهیم بود. از این رو در هنگامی که از مقدار میکرو حباب ها کاسته و به مقدار نانو حباب ها افزوده می شود، به علت به سمت تعادل رفتن مقدار بارهای درون سپس هسته از مقدار رسانایی کاسته شده تا هنگامی که ثبات الکترو استاتیکی در هسته شکل گیرد سپس بارهای هسته به یک سمت (بار منفی) تمایل پیدا می کنند و از این هنگام به بعد دوباره انتقال بارها و الکترون ها راحت تر انجام شده و رسانایی به صورت پیوسته افزایش می یابد.



شکل ۳-۴ منحنی تغییرات رسانایی محلول در مدت زمان کارکرد دستگاه

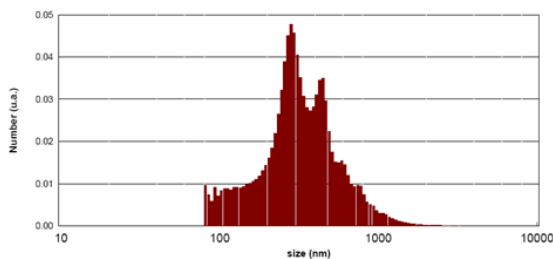
۲-۴- پایداری اندازه حباب ها از نمونه گرفته شده در طول زمان:

در این بخش به بررسی یک نمونه تهیه شده در طول زمان از دستگاه نانو- میکرو حباب ساز

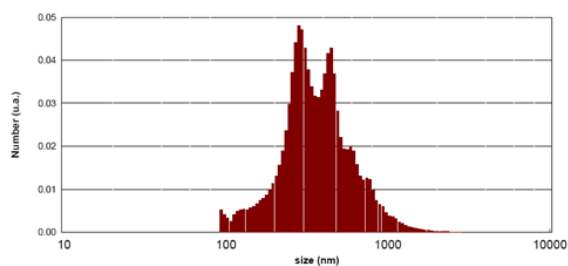
پرداخته می شود و تاثیرات زمان بر روی نمونه مورد بررسی قرار می گیرد.

۴-۲-۱- پایداری نانو - میکرو حباب‌ها:

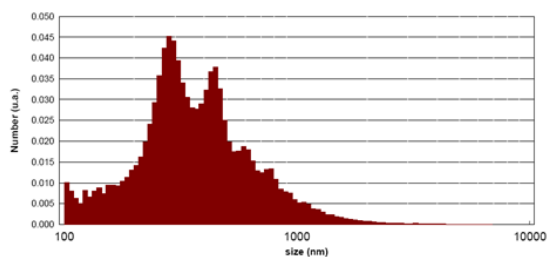
جهت مطالعه پایداری حباب‌ها در طول زمان پس از تولید به بررسی پایداری یک نمونه مشخص در طول زمان پرداخته شد. شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵، تغییرات حبابهای ابعاد نانو- میکرو را با ابعاد آنها در فواصل زمانی پس از تولید نشان می‌دهند. همانگونه که در شکل ۴-۴، منحنی‌های تعداد با ابعاد نانو - میکرو حباب‌ها در بازه‌های زمانی ۱، ۳ و ۶ و ۳۰ روزه پس از لحظه تولید را که توسط دستگاه Nano Particle Size Analyzer به دست آمده است، نشان داده شده است. در شکل ۴-۵، به بررسی تغییرات این نمودارها به شکل مجتمع پرداخته و متوسط ابعاد نانو - میکرو حباب‌ها D_{mean} number به ترتیب ۳۶۴,۲۴ nm و ۴۰۵,۱۸ nm و ۴۴۱,۳۷nm و ۱۳۴۷,۲۵ nm می‌باشد، که قطر اصلی تعداد ملاک اندازه‌گیری می‌باشد. و متوسط ضریب پراکندگی هر یک از روزها به ترتیب ۰,۴۴ و ۰,۵۳ و ۰,۴۷۳ که متوسط این مقادیر برای نمونه‌های ۱ و ۳ و ۶ روزه برابر ۰,۴۸۳ است.



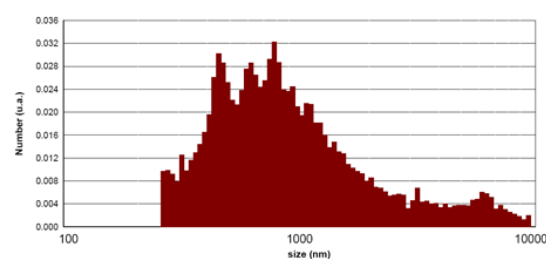
شکل الف



شکل ب



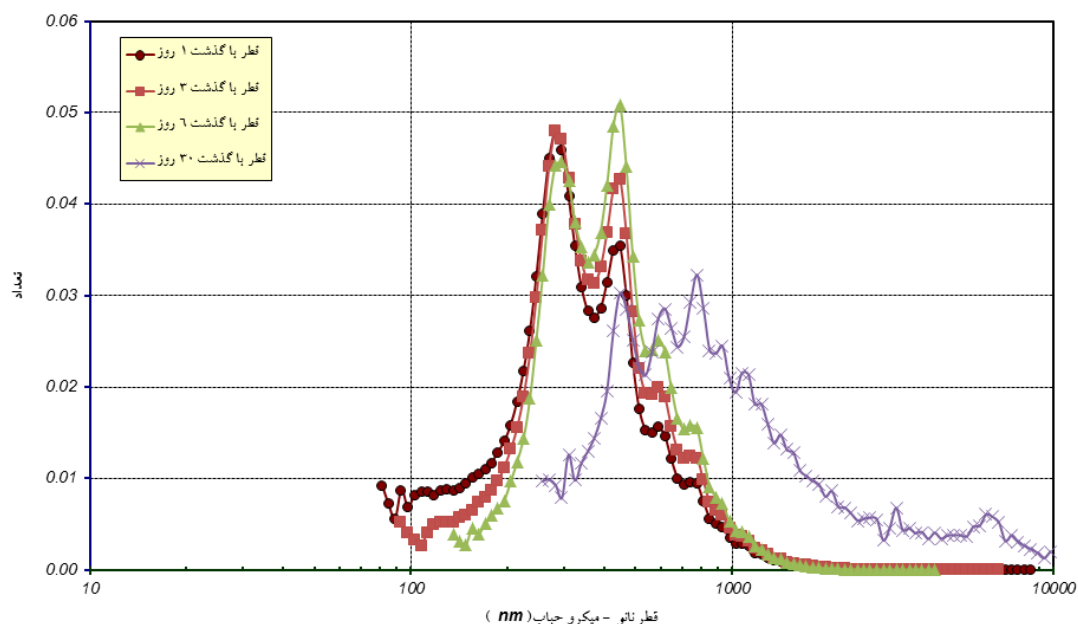
شکل پ



شکل ت

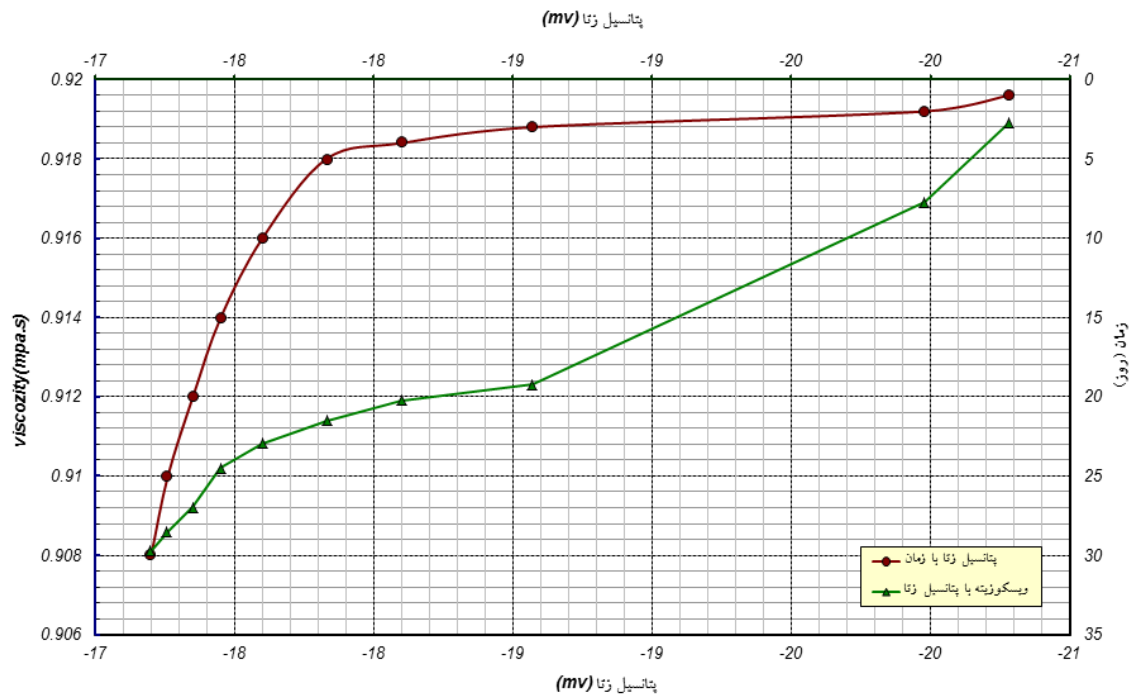
شکل ۴-۴ منحنی توزیع ابعادی نانو- میکرو- حباب تولید شده در آب

(الف: نمونه پس از گذشت ۱ روز، ب: پس از گذشت ۳ روز، پ: پس از گذشت ۶ روز، ت: پس از گذشت ۳۰ روز)



شکل ۴-۵ منحنی تغییرات تعداد ابعاد نانو- میکرو حباب تولید شده در آب در طول زمان

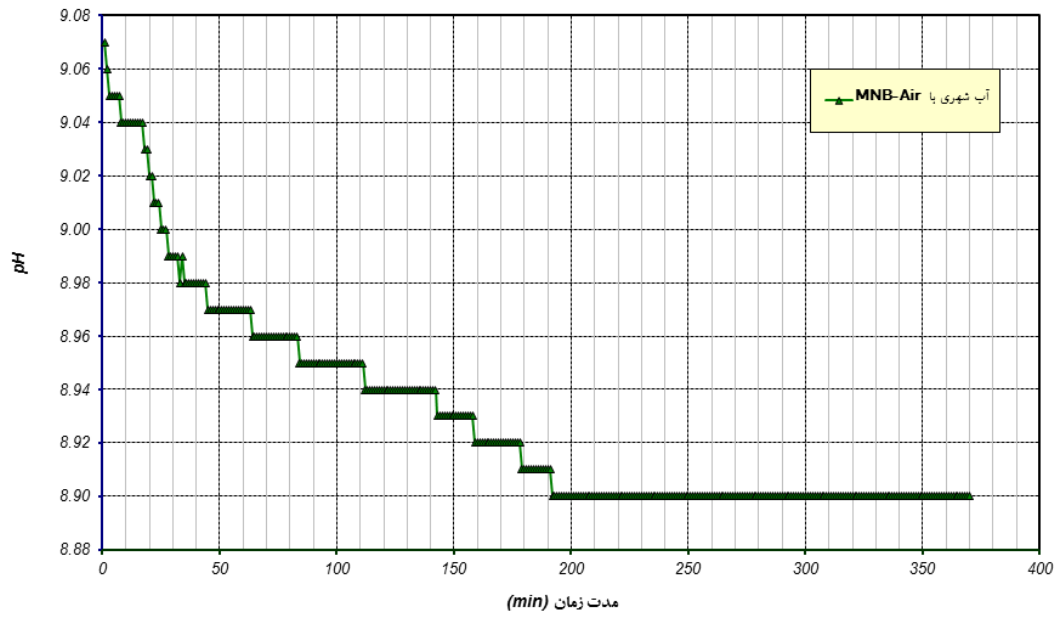
شایان ذکر است که یکی از پارامترهای پایداری بررسی پتانسیل زتا می باشد. شکل ۴-۶، تغییرات پتانسیل زتای سطحی نانو - میکرو حبابها را از ۱ روز پس از تولید تا یک ماه پس از آن، نشان میدهد. مطابق این شکل، مقدار پتانسیل زتا در این محدوده زمانی از حدود 20.8 mV - در ۱ روز پس از تولید به حدود 17 mV - پس از ۳۰ روز از تولید کاهش یافته است. با کاهش مقدار مطلق پتانسیل زتای سطحی و متعاقب آن کاهش بار سطحی (که در اینجا منفی است)، نیروی دافعه بین نانو - میکرو حبابها کاهش یافته و به یکدیگر نزدیکتر می شوند. این نزدیکی، منجر به تلفیق، بهم پیوستگی و درشت تر شدن ابعاد نانو - میکرو حبابها میگردد. کاهش پتانسیل زتای سطحی نانو - میکرو حبابها با گذشت زمان توسط یوشیکوبو و همکارانش نیز مورد تأیید قرار گرفته است. [Xu, M., Quinn, P., Stratton-Crawly, R., (1994) به علت اینکه شناوری ذرات به علت بزرگتر بودن پتانسیل زتا از نیروی واندر والسی است و ویسکوزیته نیز تابعی از تابع نیروهای بین مولکولی می باشد، همانطور که از شکل ۴-۵، که بیانگر تغییرات ویسکوزیته با پتانسیل زتا می باشد. نیز استنباط می شود که کاهش پتانسیل زتا با کاهش ویسکوزیته همراه است.



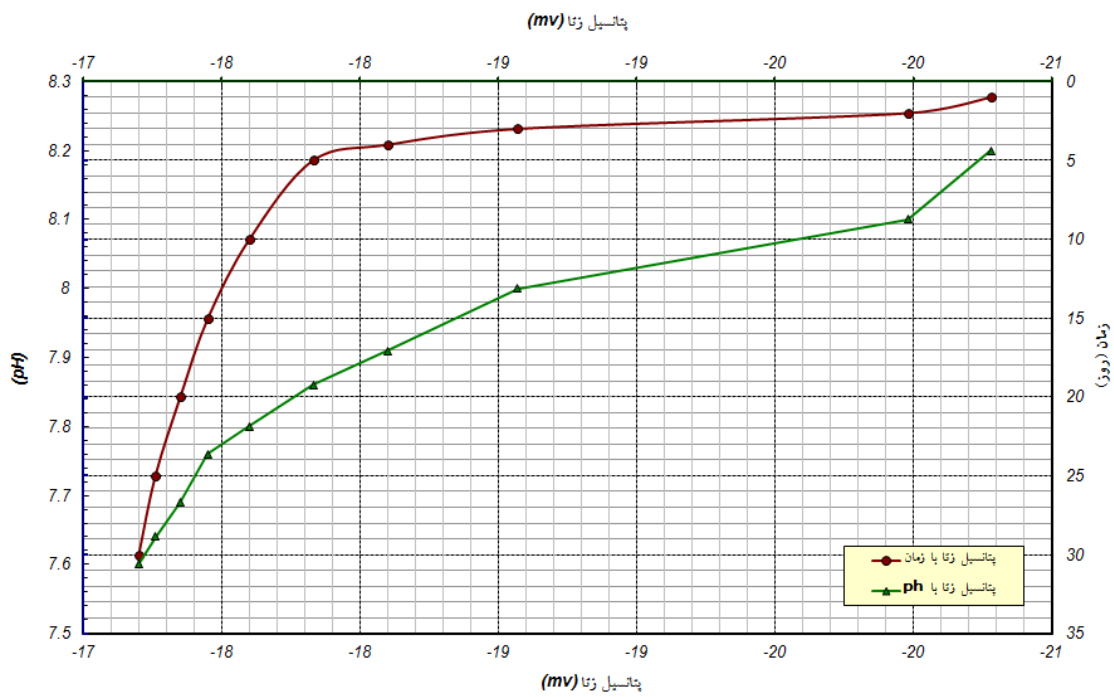
شکل ۴-۶ منحنی ویسکوزیته- پتانسیل زتا و پتانسیل زتا با زمان

۴-۲-۲- اثر pH در طول زمان نانو- میکرو حبابها:

شکل ۴-۷، تغییرات pH نانو- میکرو حبابها را در طول زمان برای یک نمونه نشان می دهد. pH با کاهش از ۹ به ۸٫۹ در طول ۳۰۰ دقیقه تغییرات اندکی را تجربه می کند. در شکل ۴-۸ تغییرات پتانسیل زتا با pH نشان داده شده است. ذرات دارای بار الکتریکی یکسان در سیستمهای کلوئیدی در مقادیر بالای پتانسیل زتا، تمایل به دفع یکدیگر دارند. در خصوص نانوحبابها نیز، مقادیر بالای پتانسیل زتا که با افزایش بار منفی سطح بعلت جذب آنیون های (OH⁻) همراه است. با ایجاد نیروی دافعه سطحی، از نزدیک شدن نانوحبابها به یکدیگر و در نتیجه تلفیق و بزرگتر شدن آنها جلوگیری می نماید و باعث معلق ماندن ذرات درشت تر در طول بازه زمانی می شوند.



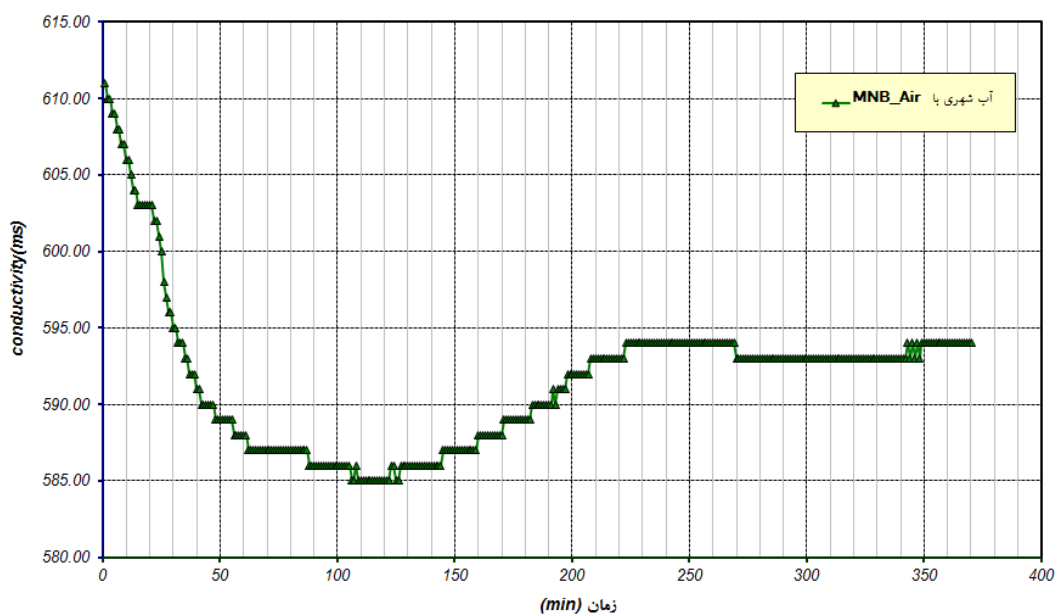
شکل (۷-۴) منحنی تغییرات pH با زمان برای میکرو - نانو حباب هوا



شکل (۸-۴) منحنی تغییرات pH - پتانسیل زتا میکرو - نانو حباب هوا در طول یک ماه

۴-۲-۳- اثر رسانایی محلول در طول زمان نانو - میکرو و حباب‌ها:

همانطور که در شکل ۴-۹ دیده می‌شود با افزایش دفعات گذر یک حجم مشخص آب از دستگاه مقدار رسانایی آب که قبلا در حدود $581 \mu S$ بود به حدود $610 \mu S$ و پس از حدود ۳۵۰ دقیقه به یک ثبات نسبی می‌رسد. تغییرات به این خاطر است که با افزایش زمان، پتانسیل زتا کاهش و قطر نانو حباب‌ها افزایش و انحلال درون هسته کاهش یافته و از انرژی هسته کاسته می‌شود و لذا میدان الکترو استاتیکی داخلی هسته ضعیف شده و بارها تا وقتی که به مقدار پایداری برسند به یک سمت میل می‌کنند.

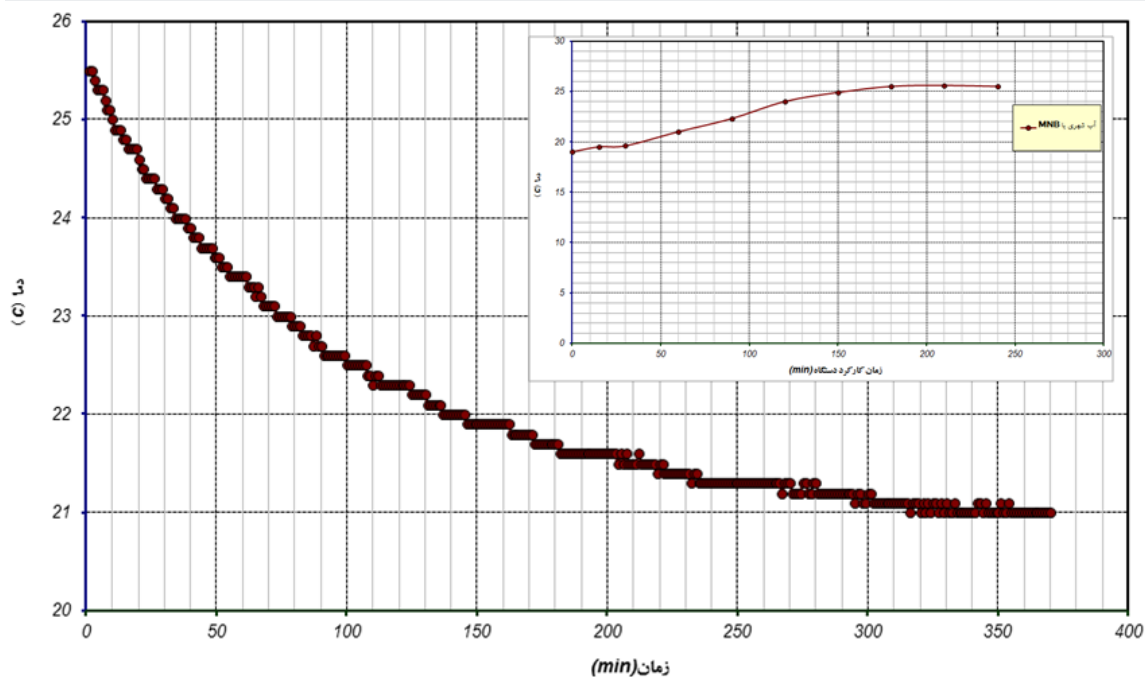


شکل (۴-۹) منحنی هدایت الکتریکی با زمان برای میکرو - نانو حباب هوا

۴-۲-۴- اثر دما در طول زمان نانو - میکرو و حباب‌ها:

مطابق شکل ۴-۱۰ که تغییرات دما در هنگام کارکرد دستگاه را برای یک نمونه نشان می‌دهد. می‌توان دریافت که با افزایش کارکرد دستگاه دمای آب حدود ۵ درجه در طول مدت ۴ ساعت کارکرد دستگاه افزایش یافته و برای یک نمونه ثابت در طول مدت ۵ ساعت تقریباً به دمای اولیه خود

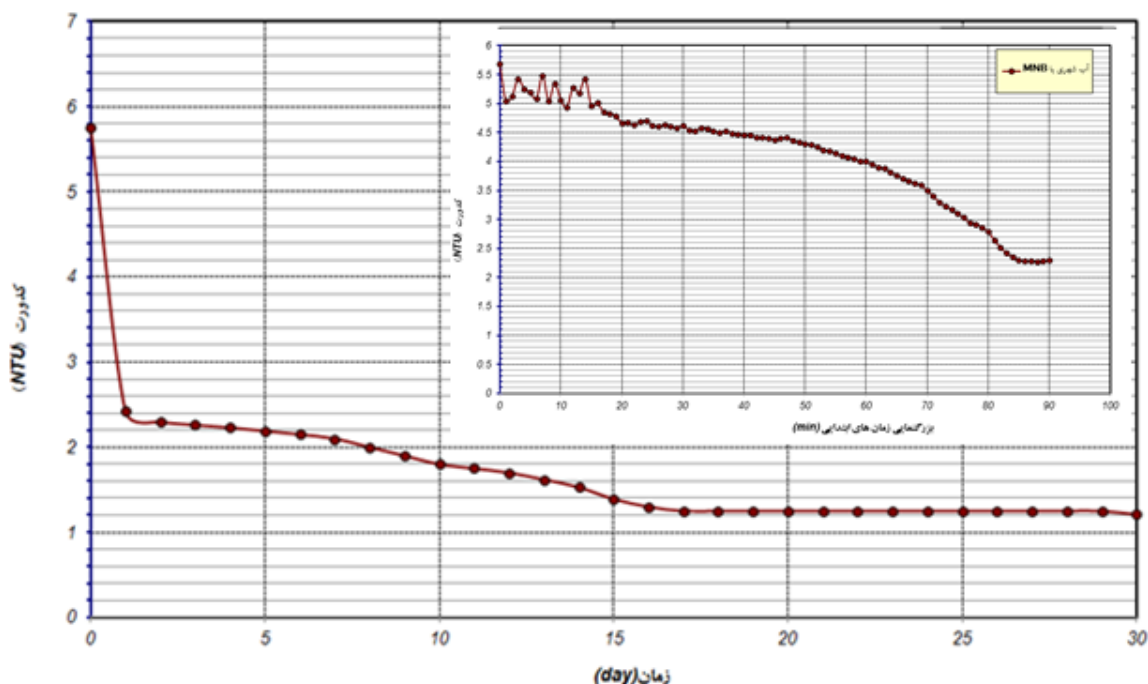
برگشته است. این افزایش ناشی از آبشار انرژی توربولنسی است که انرژی پمپ را مستهلک نموده است. زو و همکاران در سال ۱۹۹۶ [Zhou,et. (1996)] نشان داد که افزایش دما منجر به تشکیل حباب در سرعت های کمتر جریان مایع در لوله ونتوری می شود. این امر، بواسطه افزایش فشار بخار و در نتیجه کاهش عدد کاویناسیون رخ می دهد. اگر نانو حباب متشکل از هسته های گاز باشد، تغییرات دما و فشار محیط اطراف باعث تغییر در اندازه و شکل آنها خواهد شد. [Yang,et. (2007)] نشان داد که افزایش دما از ۲۵ به ۳۰ درجه منجر به تشکیل نانو حباب ها بصورت انتخابی بر سطح یک جامد می شود با افزایش دما از ۳۰ درجه به بیش از ۴۰ درجه سانتی گراد منجر به افزایش حجم، بهم پیوستگی و ترکیدن و در نتیجه ناپدید شدن آن میگردد. دلایل این پدیده توسط یانگ ارائه نگردید، ولی مشاهده شد که در تشکیل نانو حباب ها، دما عامل مهمی است.



شکل (۴-۱۰) منحنی دما با زمان برای میکرو - نانو حباب هوا

۴-۲-۵- اثر نانو - میکرو حباب‌ها بر کدورت در طول زمان:

از شکل ۴-۱۱ استفاده می شود که با افزایش زمان برای یک نمونه ثابت کدورت کاهش می یابد. در لحظات اولیه بعد از اتمام فرآیند نانو حباب، مایع، دارای کدورت $5,8$ NTU بود که با گذشت زمان و در بازه زمانی حدود ۹۰ دقیقه به مقدار $2,4$ NTU کاهش یافت و پس از گذشت یک ماه به حدود $1,2$ NTU رسید.



شکل (۴-۱۱) منحنی تغییرات کدورت با زمان

در قسمت بالای شکل ۴-۱۱ تصویر بزرگتر به بزرگنمایی محدوده ابتدایی منحنی ارائه شده است. که این قسمت نشان دهنده فعل و انفعالات شدید احتمالی نانو حباب‌ها در محدوده پروب اندازه گیری است.

۴-۳ بررسی الگوهای هیدرودینامیکی جریان به کمک میکرو- نانو حباب:

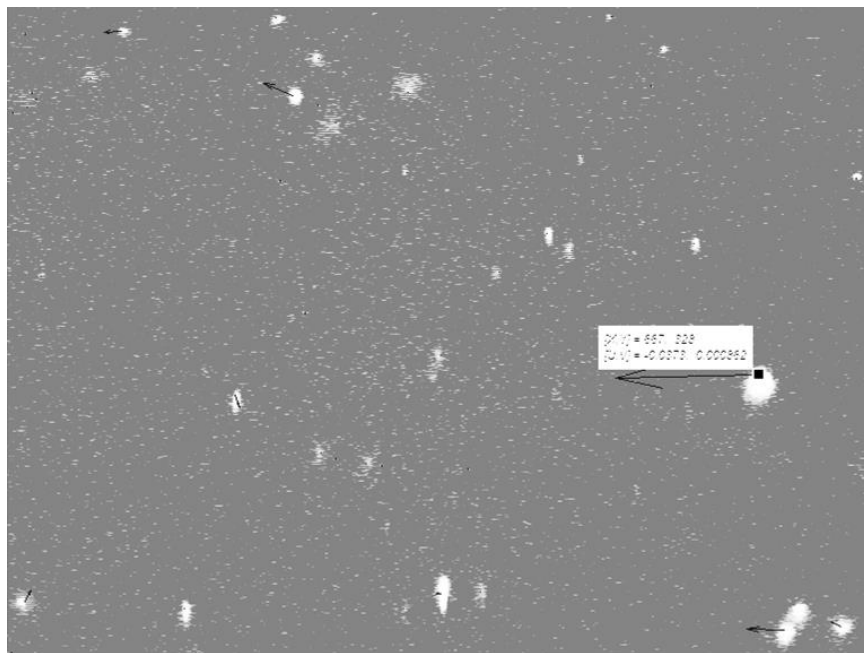
۴-۳-۱ چگونگی تهیه فیلم‌ها و تصاویر:

در این تحقیق با روش‌های مختلفی از جمله تصویر برداری با دوربین $3CCD$ با لنز میکرو، میکروسکوپ پلاریزه با استفاده از اثر فیلتر پلاریزه خطی در راستای TM با زاویه ورودی صفر درجه به همراه دوربین CCD

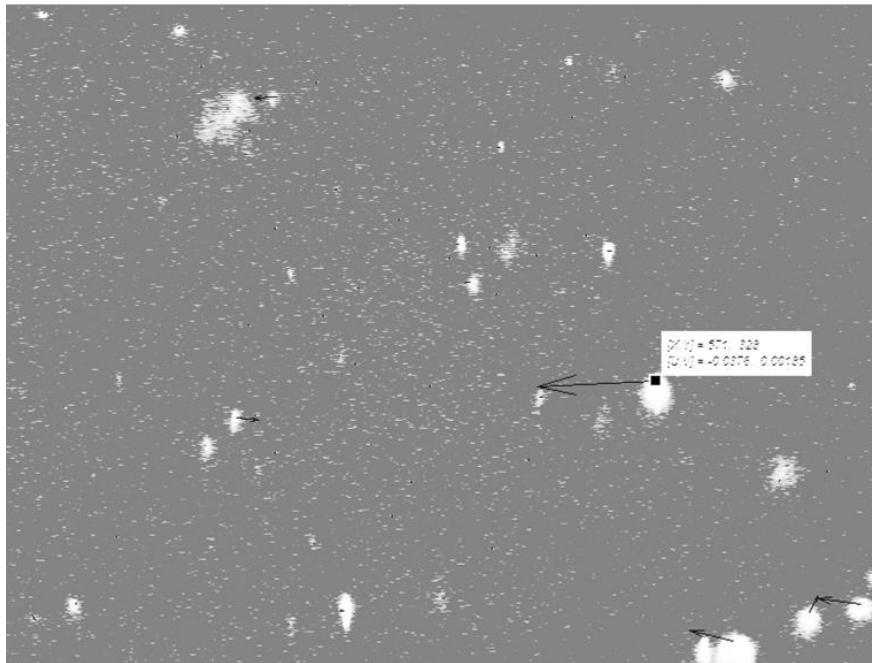
مخصوص این میکروسکوپ به بررسی چگونگی حرکت نانو - میکرو حباب ها پرداخته شد. در هر دو روش با تعداد فریم بر ثانیه ثابت از پدیده فیلم تهیه گردید.

۴-۳-۲ بررسی رفتار در بین دو صفحه با ضخامت کم:

در ابتدا به بررسی حرکت نانو- میکرو حباب ها در یک مدل بدون مانع پرداخته می شود ، که در آن با کمک دوربین CCD به بررسی تغییرات سرعت نانو- میکرو حباب ها مطالعه شده است. با کمک پردازش تصاویر سرعت حرکت ذرات بدست آمده است (شکل ۴-۱۲) نحوه حرکت نانو- میکرو حباب ها را نشان می دهد. در این بررسی تصویر عکس های تهیه شده بصورت ۲ فریم در ثانیه نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۲-الف- موقعیت یک ذره حباب در $t=0s$



شکل ۴-۱۲-ب- موقعیت یک ذره حباب در $t=5s$

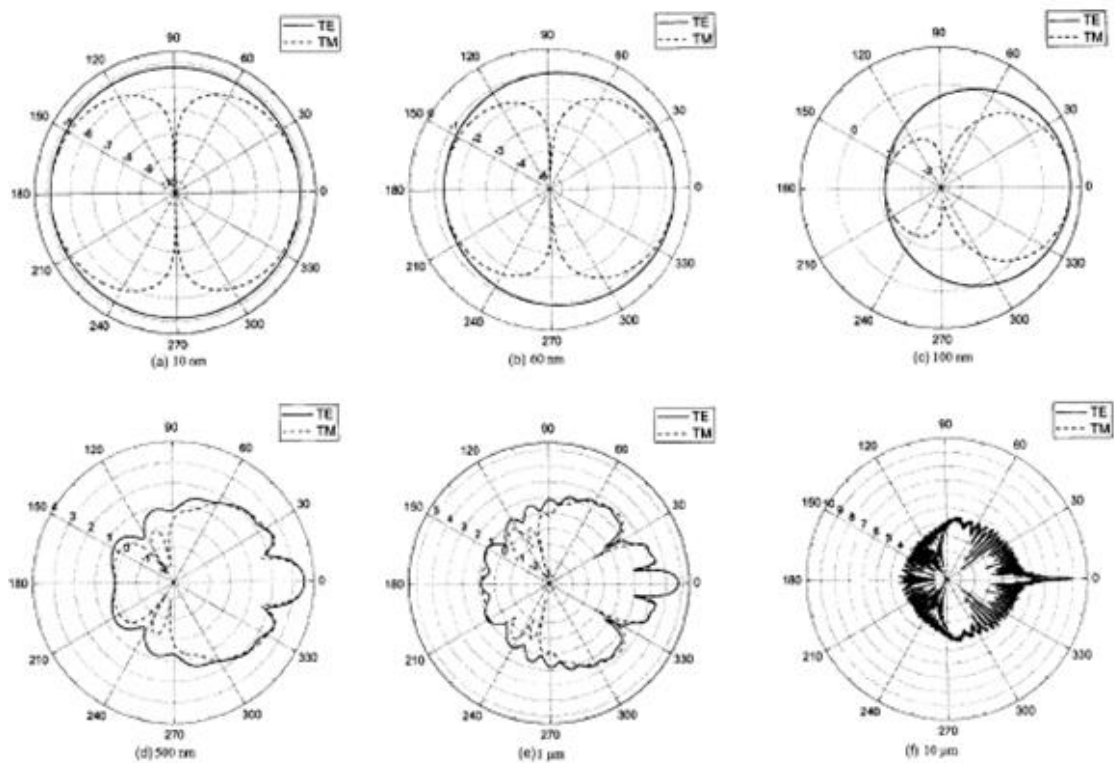
به کمک تکنیک پردازش تصویر سرعت متوسط حرکت نانو- میکرو حباب ها $0,036 \mu m/s_f$ به دست آمد.

۴-۳-۳ بررسی رفتار در بین دو صفحه با ضخامت کم و یک استوانه بزرگ در مرکز:

در این بخش به رفتار نانو- میکرو حباب ها در یک جریان دوبعدی در داخل یک مکعب مستطیل که در مرکز آن یک استوانه قرار دارد (نمونه شماره ۱) پرداخته شده است. یادآور می شود که به دلیل اندک بودن ضخامت عملا می توان جریان را دو بعدی فرض نمود. در این آزمایش از روش فیلمبرداری با دوربین 3CCD و لنز میکرو با سرعت $29,97$ فریم در ثانیه استفاده شده است. در شکل ۴-۱۵ و ۴-۱۶ نحوه حرکت نانو- میکرو حباب ها در چهار سمت یک نمونه بوده و هر کدام با بزرگنمایی $4x$ نشان داده شده است. در این آزمایش سرعت سیال بسیار پایین انتخاب شد تا جریان آرام و عدد رینولدز کمتر از یک باشد می توان گفت از آنجا که در جریان خیلی آرام در نزدیکی مرز جامد جریان چرخشی است، بنابراین جریان در تمام میدان چرخشی خواهد بود. در تصاویر مشاهده می شود که

هر حباب دارای بردارهای حرکت^۱ چرخشی به دور خود و در داخل خود می باشد و در عین حال در راستای اصلی جریان نیز حرکت می کند. در این حالت می توان دید که وقتی سیال از اطراف حباب می گذرد به علت اینکه قطر حباب ها به سمت صفر میل می کند، رفتار گاز در داخل حباب به نحوی است که می توان آن را به یک دابلت یا چشمه و یک چاه به هم چسبیده تقریب زد. با توجه حضور جریان یکنواخت شکل دابلت به یک دایره بسته تبدیل می شود. لذا حباب ها یا حفره های تشکیل شده در داخل و حول هر حباب جریانی مثل جریان یکسان حول کره شکل می گیرد که به تعبیر دو بعدی هیدرودینامیکی آن، ترکیب دابلت و جریان یکنواخت با سرعت ثابت است. [منوچهر راد، محسن قدیانی، (۱۳۹۰)] بنا به گفته لین و وانگ [Lin, Wang; (2005)] طیف پراکندگی حباب های هوا به صورت شکل ۴-۱۳ می باشد و همانطور که در این شکل نشان داده شده است، طیف پراش حبابهای هوا (با اندازه ۱۰ نانومتر تا ۱۰ میکرون) در منحنی های قطبی رسم گردیده است. با کوچک شدن حبابها، تغییرات شدت تفرق نسبت به زاویه نیز کمتر میشود. در وضعیت نشان داده شده به پلاریزاسیون TE توجه بیشتری شده زیرا در فصل مشترکها عملکرد بهتری دارد. بر اساس شکل ۴a-۱۳ حبابهای کوچکتر از ۱۰ نانومتر قادر به ایجاد هیچگونه تغییری در تصویر نهایی نیستند چرا که در محدوده تفرق عادی تابشها قرار گرفته و دارای توزیع شدت ایزوتروپیک هستند.

¹ Motion Vectors



شکل ۴-۱۳. طیف پراکندگی از حباب های هوا با اندازه های مختلف (a) ۱۰ nm (b) ۶۰ nm (c) ۱۰۰ nm (d) ۵۰۰ nm

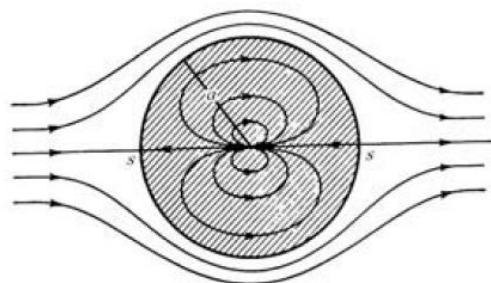
(e) ۱ μm (f) ۱۰ μm در مقیاس لگاریتمی است. [Lin, Wang; (2005)]

از سوی دیگر همانگونه که از تحلیل فیلم هایی گرفته شده در نرم افزار MATLAB استنباط می

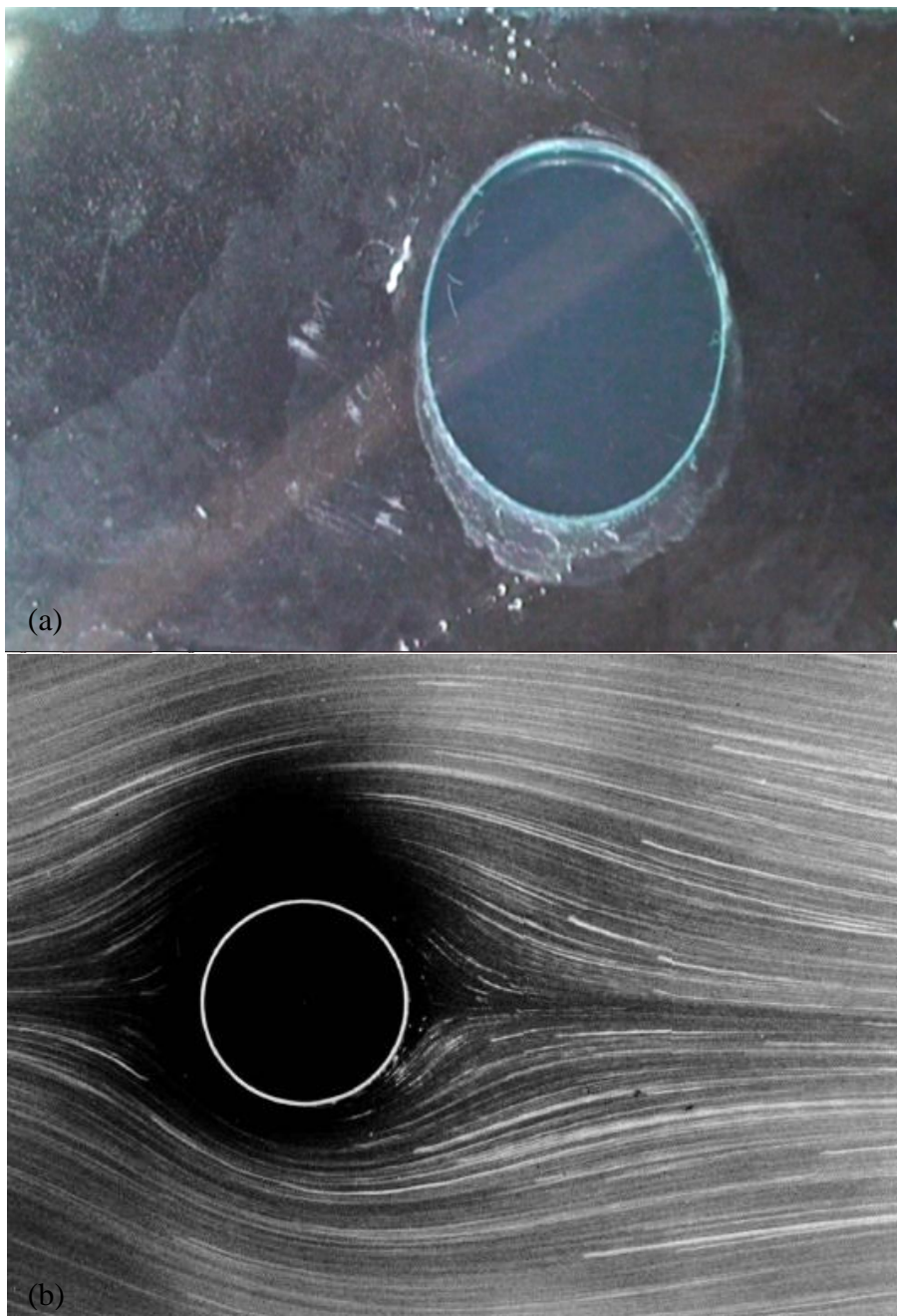
شود، بردار های حرکتی هر حباب با جریان یکنواخت دور حباب به دور خود نیز می چرخد و با

حرکت سیال به جلو پیش می رود. آنچه در بررسی ها و مدل های بررسی شده در ادامه مطلب می

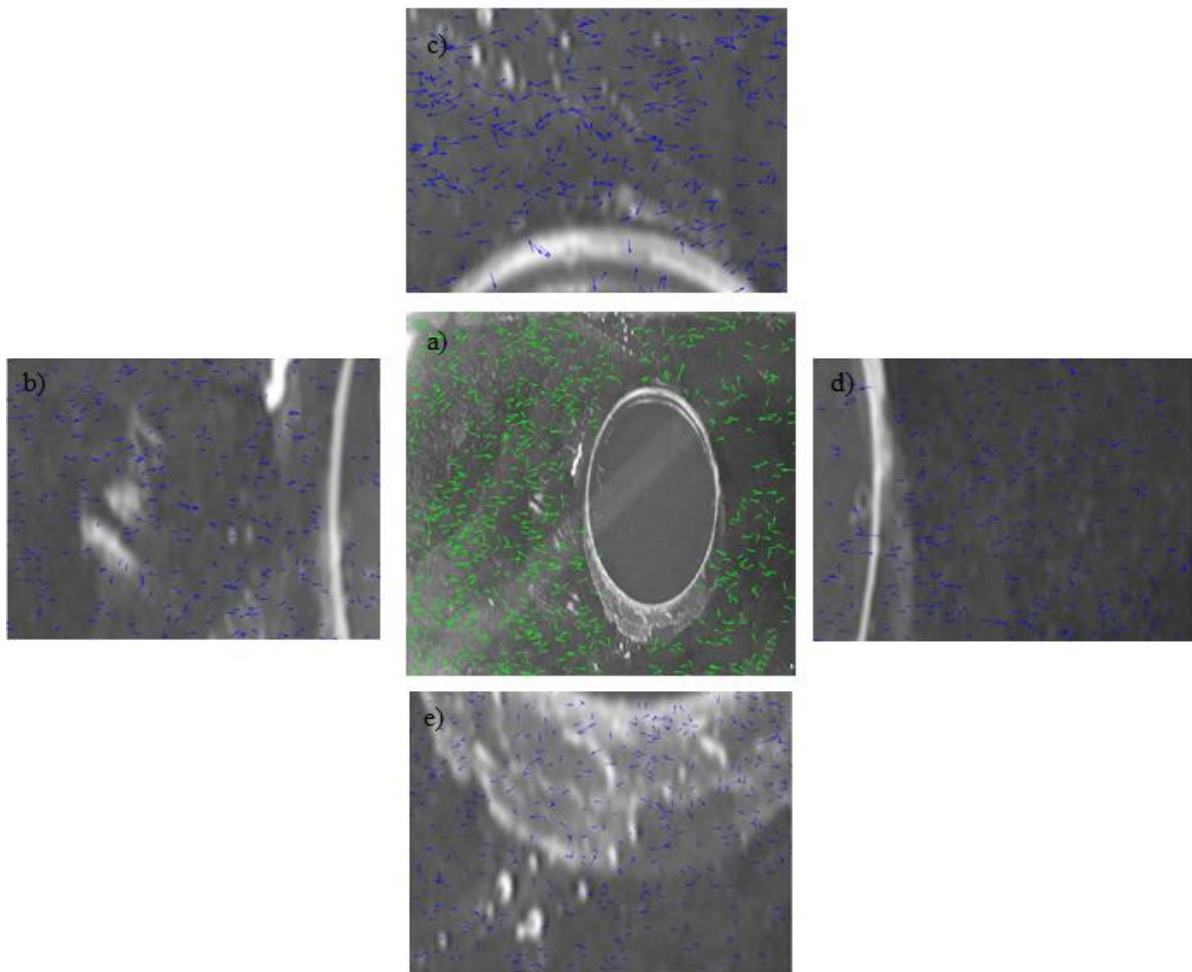
آید، تایید کننده این برداشت خواهد بود. [منوچهر راد، محسن قدیانی، (۱۳۹۰)]



شکل ۴-۱۴ شکل خطوط جریان اطراف استوانه (ترکیب جریان یکنواخت و دوپلت)



شکل ۴-۱۵- چگونگی حرکت نانو- میکرو حباب ها در اطراف مدل شماره ۱
 (a) شکل کلی از چگونگی بردار های سرعت در دور یک استوانه. (b) نحوه حرکت در نمونه های مشابه Van Dyke(1988)]

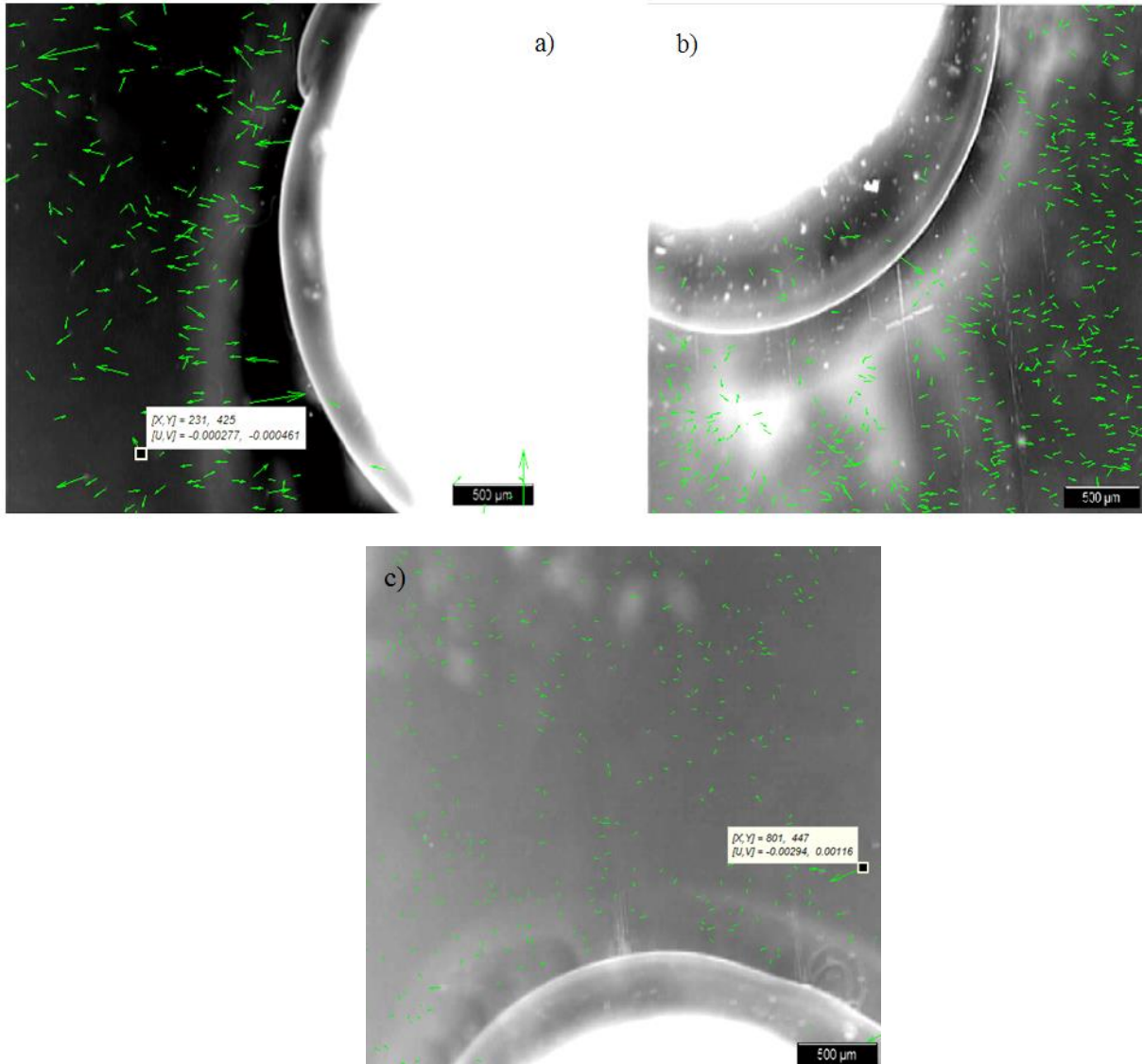


شکل ۴-۱۶- چگونگی حرکت نانو- میکرو حباب ها با بردار های حرکتی در اطراف مدل شماره ۱
 (a) شکل کلی از چگونگی بردار های سرعت در دور یک استوانه. (b) بزرگنمایی 4x از ضلع غربی (ورودی سیال).
 (c) بزرگنمایی 4x از ضلع شمالی. (d) بزرگنمایی 4x از ضلع شرقی. (e) بزرگنمایی 4x از ضلع جنوبی

۴-۳-۴ بررسی رفتار در بین دو صفحه با ضخامت کم و یک استوانه کوچک در مرکز:

در شکل ۴-۱۷ نحوه حرکت نانو-میکرو حباب ها را در یک جریان دو بعدی در داخل یک مکعب مستطیل که در مرکز آن یک استوانه کوچک قرار دارد (نمونه شماره ۲) که تصاویر این نمونه کوچک آزمایشگاهی را در زیر میکروسکوپ پلاریزه نوری مشاهده می کنید. برای تهیه این فیلم ها که با سرعت ۳۰ فریم در ثانیه تهیه شده اند، سرعت حرکت بسیار پایین انتخاب (حدود ۲۰۰۰ میکرون بر ثانیه معادل ۰,۲ سانتیمتر بر ثانیه) و در نتیجه عدد رینولدز به کمتر از یک محدود شد تا جریان به صورت لایه ای باشد، در این حالت جریان اطراف استوانه چرخشی است و جریان در نزدیک مرز جامد

هم چرخشی است. و در شکل زیر چرخشی بودن هریک از حباب ها و در راستای اصلی جریان در فیلم ها قابل مشاهده است.

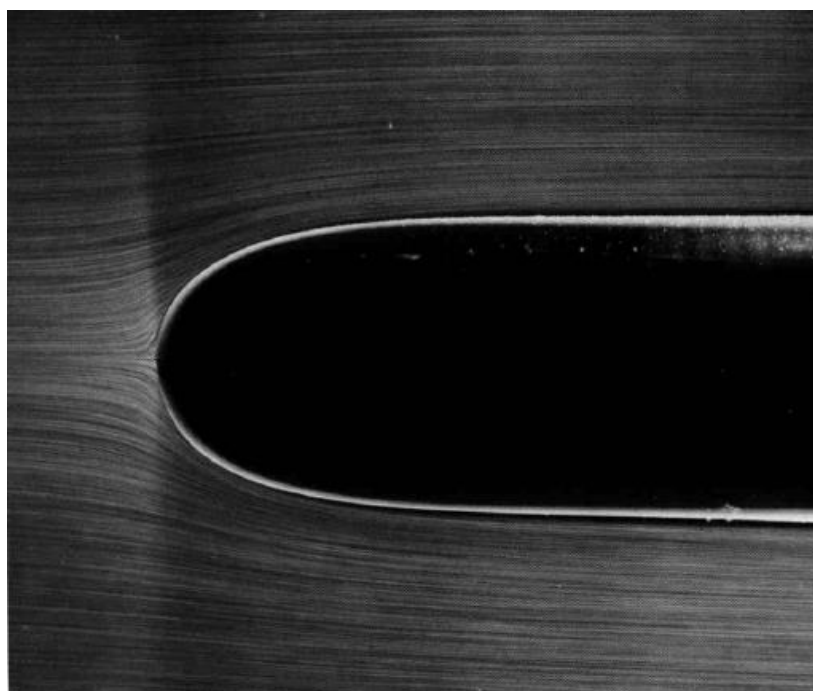
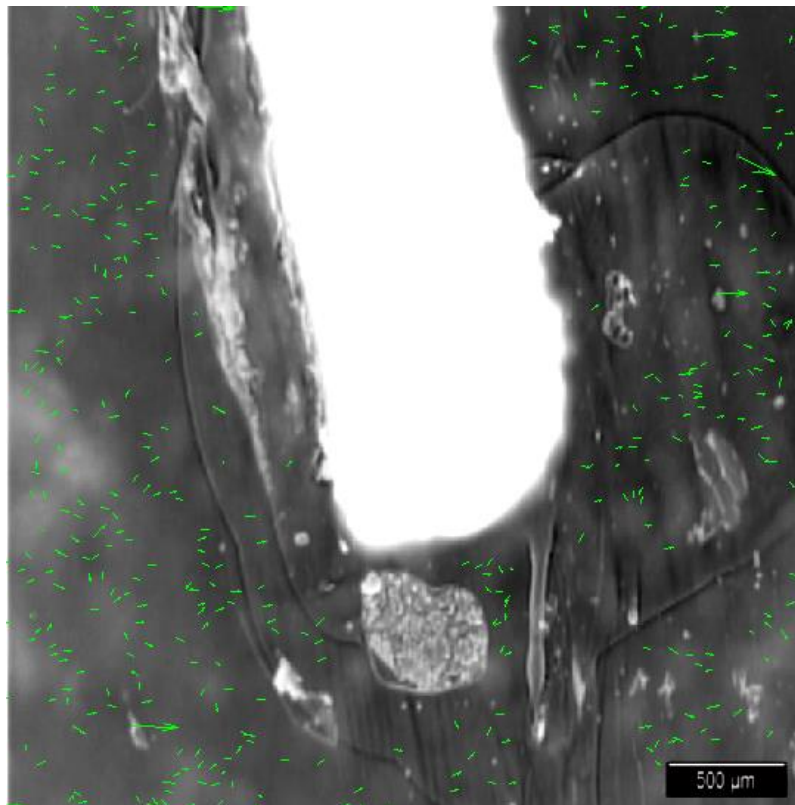


شکل ۴-۱۷- چگونگی حرکت نانو- میکرو حباب ها در اطراف مدل شماره ۲ (یک استوانه کوچک)
 (a) ضلع غربی (ورودی سیال). (b) ضلع جنوبی و شرقی. (c) ضلع شمالی

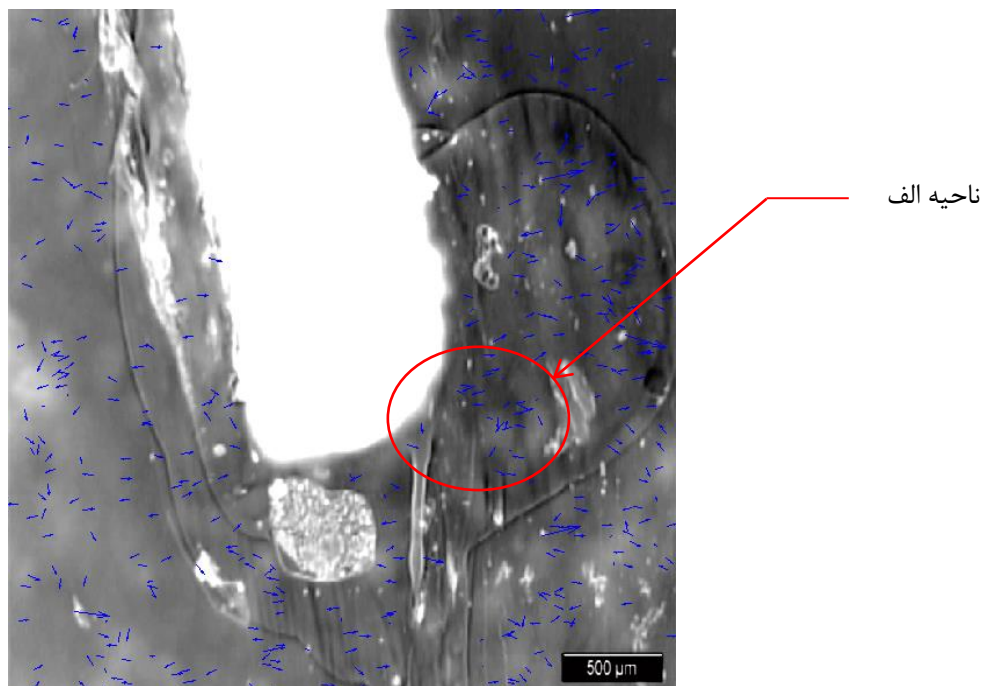
۴-۳-۵ بررسی رفتار در بین دو صفحه با ضخامت کم و یک تیغه در مرکز

در شکل ۴-۱۸ تا ۴-۲۰ نحوه حرکت نانو-میکرو حباب ها رادریک جریان دو بعدی در داخل یک مکعب مستطیل که در مرکز آن یک تیغه طولی به موازات جریان پرداخته شده است. نمونه کوچک آزمایشگاهی در زیر میکروسکوپ پلاریزه نوری قرار گرفت و با سرعت ۳۰ فریم در ثانیه از آن فیلم

تهیه شده سرعت حرکت حباب ها بسیار پایین انتخاب شد تا لایه ای بودن جریان تامین شود و آنجایی که رینولدز کمتر از ۱ است، به دلیل خصوصیات مدل جریان در تمام میدان چرخشی است.

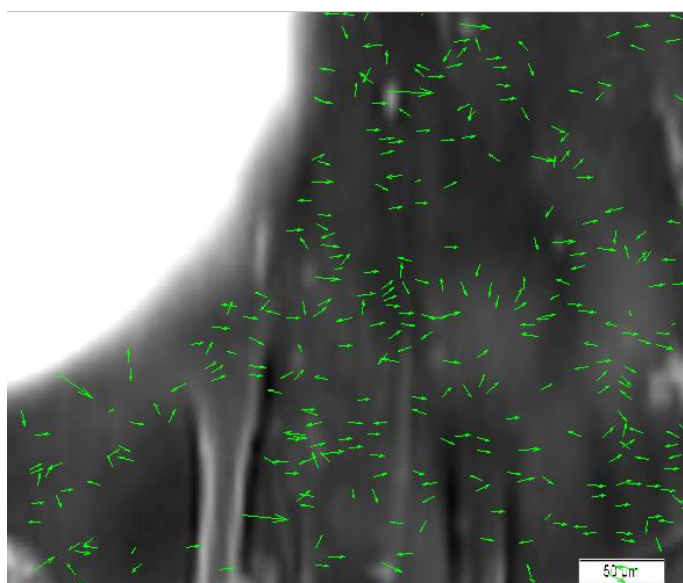


شکل ۴-۱۸- تصویر حرکت میکرو نانو حباب در اطراف تیغه و مقایسه با نمونه های دیگر [Van Dyke(1988)]



شکل ۴-۱۹- تصویر حرکت میکرو نانو حباب از مدل شماره ۳ ورودی سیال از پایین به بالا (استوانه باریک در امتداد

جریان)



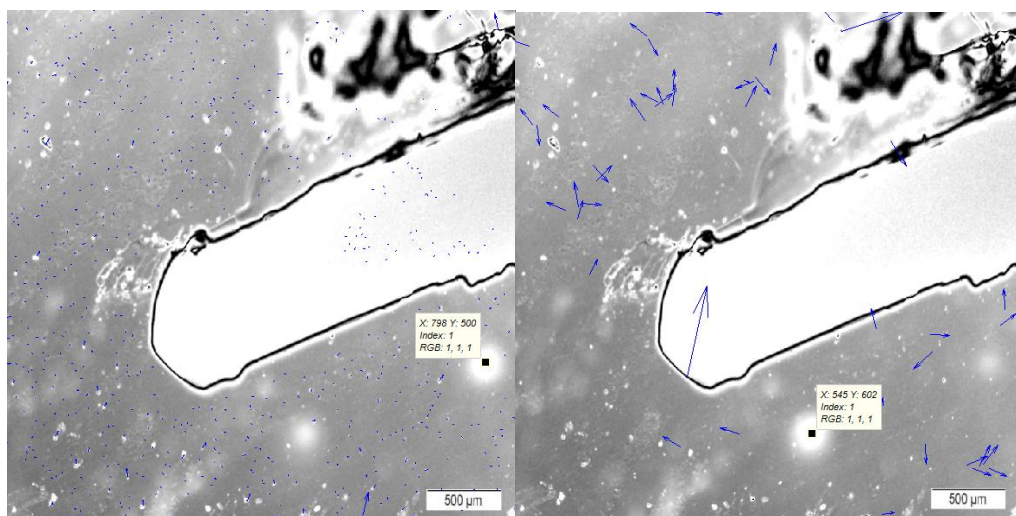
شکل ۴-۲۰- بزرگنمایی از داخل مدل شماره ۳ ناحیه الف (بزرگنمایی 10x تا حد ۵۰ میکرو متر)

۴-۳-۶ اندازه گیری سرعت متوسط:

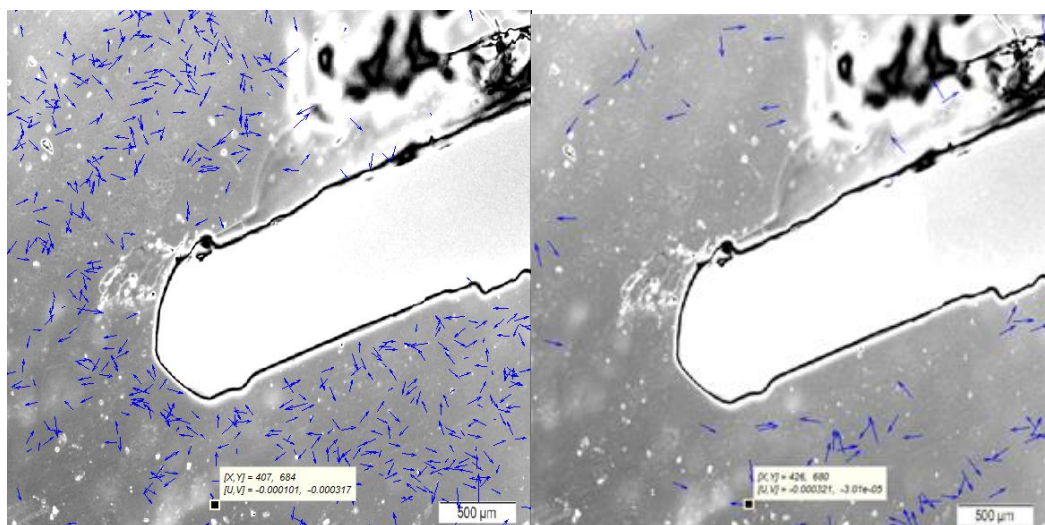
مطابق شکل های زیر تفاوت سرعت بین میکرو حباب های بزرگ با نانو حباب ها یا میکرو حباب

های کوچک تر بررسی می شود. که در شکل ها مقدار سرعت در واحد میکرو متر بر فریم ثانیه نمایش

داده شده است. و برای مقیاس های ۵۰۰ میکرومتر تغییرات در یک پیکسل، معادل ۰,۰۰۰۱۴۹ میکرومتر بر فریم ثانیه که برابر با ۵ میکرون بر ثانیه می باشد لحاظ شده است. (تمامی تصاویر زیر با دوربین ۳۰ فریم بر ثانیه تصویر برداری شده اند) همانطور که از شکل ۴-۲۱ بر می آید سرعت حباب میکرو با قطر حدودی ۲۰۰ میکرون در حدود ۱۳۰۰ میکرون بر ثانیه و همان طور که از شکل ۴-۲۲ بر می آید، سرعت حرکت حباب میکرو های کوچک تر با شعاع تقریبی کمتر از ۱ میکرون در حدود ۱۰۰ میکرون بر ثانیه می باشد.



شکل ۴-۲۱- حرکت میکرو حباب با شعاع حدودی ۲۰۰ میکرون (جهت حرکت از راست به چپ تصویر)



شکل ۴-۲۲- حرکت میکرو حباب با شعاع حدودی ۱ میکرون (جهت حرکت از راست به چپ تصویر)

فصل ۵:

نتیجہ گیری و پیشہا دہا

فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه گیری:

نتایج کلی حاصل از این تحقیق بصورت زیر خلاصه می‌گردد:

- در این تحقیق جهت بررسی امکان مصور سازی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد به کمک نانو- میکرو حباب‌های دستگامی بر مبنای پدیده کاویتاسیون هیدرودینامیکی در لوله‌های ونتوری طراحی و ساخته شد. در این بررسی لوله ونتوری با یک سوراخ در بدنه و مکش هوا به مقدار لازمه، با نمونه های قبلی تفاوت دارد که جنبه جدید بودن طرح را می‌رساند.
- اندازه گیری توزیع ابعادی نانو- میکرو حباب‌ها در بازه های زمانی ۱ و ۳ روزه پس از تولید، حاکی از افزایش ابعاد نانو حباب‌ها از ۶۹۶ نانو به ۷۱۷ نانو می‌باشد. علت افزایش متوسط ابعاد نانو- میکرو حباب‌ها با گذشت زمان، تلفیق و بهم پیوستگی آنها می‌باشد. با توجه به اندازه گیری‌های انجام شده، تلفیق و بهم پیوستگی نانو- میکرو حباب‌ها با کاهش غلظت اکسیژن حل شده در آب از ۶/۵ ppm به ۳/۸ ppm و همچنین کاهش مقدار مطلق پتانسیل زتای سطحی نانوحباب‌ها در فاصله زمانی ۱ تا ۳۰ روزه از ۲۱ mV به ۱۷ mV در ارتباط است. کاهش مقدار اکسیژن حل شده در محلول حاوی نانوحباب‌ها منجر به افزایش گرادیان غلظت اکسیژن در فصل مشترک سطح نانوحباب و آب (محلول) می‌گردد. این پدیده منجر به انتقال گاز اکسیژن درون نانوحباب‌ها به آب و در نهایت اتمسفر می‌گردد. کاهش گاز درون نانوحباب‌ها باعث کاهش فشار درونی آنها و از بین رفتن آنها می‌گردد. کاهش مقدار مطلق پتانسیل زتای سطحی نانوحباب‌ها با گذشت زمان که با کاهش بار سطحی نانوحباب‌ها همراه است، باعث کاهش نیروی دافعه سطحی بین نانو- میکرو حباب‌ها و در نتیجه موجب تلفیق و بهم پیوستگی آنها می‌شود.
- با توجه به نتایج اندازه گیری‌های مختلف انجام شده، روش پراش نور دینامیکی یک روش مطمئن، دقیق و قابل تکرار جهت تعیین توزیع ابعادی نانو - میکرو حباب‌ها می‌باشد. جهت

بررسی قابلیت تکرارپذیری اندازه گیری‌ها، پنج اندازه گیری تحت شرایط مشابه از یک نمونه حاوی محلول نانو- میکرو حباب انجام شد. ضریب همبستگی در اندازه گیری‌ها (PDI) معادل ۰,۴۸۳ بدست آمد. براساس استاندارد ایزو ۲۲۴۱۲ مربوط به سال ۲۰۰۸، برای ذرات ضریب تغییرات تا ۰,۷ قابل قبول است. لذا با توجه به مقدار ضریب تغییرات بدست آمده، اندازه گیری‌ها قابل اطمینان هستند.

- با کارکرد دستگاه دمای مایع افزایش و پس از آن به صورت خطی کاهش می یابد. از آنجا که نانو حباب‌ها دارای هسته‌های گازی هستند، تغییرات دمای محیط اطراف، باعث تغییر در اندازه و شکل آنها خواهد شد. بنابه نظر محققین، افزایش دما از ۲۵ به ۳۰ درجه سانتیگراد، منجر به تشکیل نانو حباب‌ها بصورت انتخابی بر سطح یک جامد می‌شود، که افزایش بیشتر آن تا ۴۰ درجه سانتیگراد، منجر به افزایش حجم، بهم پیوستگی، تلفیق و یا ترکیدن و ناپدید شدن آن می‌گردد. جهت تشکیل نانو حباب‌ها، دما عامل ضروری می‌باشد. یکی از دلایل این امر بواسطه افزایش اندازه هسته‌های هوا محبوس در سطح و شکاف موجود در جامد به هنگام افزایش دما می‌باشد. علاوه بر این، محققین معتقدند که افزایش دمای آب، باعث افزایش تراکم نانو حباب‌ها می‌گردد.

- با افزایش کارکرد دستگاه مقدار pH از ۸ به ۹ افزایش یافته و کدورت از ۶NTU به ۴NTU کاهش یافت. افزایش pH را میتوان به تغییرات یونی ناشی از افزایش اکسیژن محلول نسبت داد.

- از بررسی تصاویر الگوهای جریان و نحوه چگونگی حرکت حباب‌ها در فیلم‌ها نشان داده شد. که بیانگر این مطلب می‌باشد که برای بررسی جریان روش میکروسکوپ پلاریزه نوری و استفاده از فیلتر بر روی آنها باعث کیفیت بخشیدن به تصویر می‌شود و تصاویر از کیفیت قابل قبولتری برخوردار می‌شوند.

- و از بررسی تصاویر خروجی از برنامه MATLAB حرکت چرخشی هر حباب به دور خود همراه با حرکت رو به جلوی آن نشان داده شد. ضمناً در این تحقیق نشان داده شد که اثر حبابهایی با اندازه های متفاوت نیز در تئوری مای ارزیابی شده و نتایج حاصل از آن در جهت عرضی ارائه گردیده است. این اثر در هنگام نشستن حباب بر سطح صفحه دارای بیشترین شدت است.
- نتایج نشان داد حبابهای ۲۰۰ میکرونی قادرند در سیالی که سرعت آب حدود ۲۰۰۰ میکرون بر ثانیه است، با سرعتی بیش از ۱۴۰۰ میکرون بر ثانیه حرکت مینمایند.
- در این بررسی نتایج نشان داد که حرکت براونی سیال به دور هر یک از حباب ها بیان کننده دابلت در هسته می باشد.
- در حالت فعلی بهتر است از این روش برای تصویر برداری دقیق الگوی جریان برای محاسبات هیدرودینامیکی استفاده نکرد.

۵-۲- پیشنهاد های مرتبط با موضوع تحقیق:

- بررسی استفاده از نانو - میکرو حباب دو بعدی برای بررسی الگو های هیدرودینامیکی جریان
- بررسی استفاده از گاز های دیگر از جمله اکسیژن و هلیوم و ... در نانو - میکرو حباب ها و نقش آنها بر روی جریان
- بررسی استفاده از حباب های بزرگتر و یا نانو حباب های رشد یافته بر تصویر برداری و بررسی الگو های هیدرودینامیکی جریان
- بررسی استفاده از گازهای رنگی در حباب ها و بررسی الگو های هیدرودینامیکی جریان

- Attard.P., (2013) "The stability of nanobubbles", Eur. Phys. J. Special Topics Article in press,pp:1-2.
- Barnaby S W, Parsons C. (1897) "On the formation of cavities in water by screw propellers at high speeds". Tr Inst Nav Arch, pp:139-144.
- Beuselinck L., Govers G., poison J., Degraer G. &Froyen L., (1998). "Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method", Catena, Vol. 32,pp. 193-208.
- Chen.W. T. and Wang.L. A., (2000) "Laser-to-fiber coupling scheme by utilizing a lensed fiber integrated with a long-period fiber grating," IEEE Photon. Technol. Lett.12,pp: 501-503.
- Craig.V. S. J., (2011) "Very small bubbles at surfaces the nanobubble puzzle" , Soft Matter 7 .pp: 40-48.
- Fernanda Yumi Ushikubo, Takuro Furukawa, Ryou Nakagawa, Masatoshi Enari, Yoshio Makino, Yoshinori Kawagoe, Takeo Shiina, Seiichi Oshita (2010) "Evidence of the existence and the stability of nanobubbles in water" Colloids and Surfaces., Japan.pp:35-36.
- Finkelstein Y, Tamir A.(1985) "Formation of gas bubbles in supersaturated solutions of gases in water". Aiche J, (31): pp:1409-1419.
- Flynn H G.(1964) "Physics of acoustic cavitation in liquids". In: Physical Acoustics, Principles and Methods, Vol. 1 Part B. New York: Academic Press,pp:57-172.
- Gerth W A, Hemmingsen E A.(1980). "Heterogeneous nucleation of bubbles at solid surfaces in gas supersaturated solutions". Journal of Colloid and Interface Science. pp:80-89.
- Gogate P R, Pandit A B.(2001) "Hydrodynamic cavitation reactors: a state of the art review". Rev Chem Eng,pp:1-8.
- Greenwood, R; Kendall, K (1999). Journal of the European Ceramic Society pp:479-488.
- Hampton.M.A., Nguyen.A.V.. (2010). Nanobubbles and the nanobubble bridging capillary force, Advances in Colloid and Interface Science, Vol. 154,pp:30-55.

- Han, M.Y., Park. Y.H., Yu, T.J., (2002). “Development of a new method of measuring bubble size”, *Water Supply*, Vol. 2(2), pp.7-83.
- Hanaor, D.A.H.; Michelazzi, M.; Leonelli, C.; Sorrell, C.C. (2012). " The effects of carboxylic acids on the aqueous dispersion and electrophoretic deposition of ZrO₂". *Journal of the European Ceramic Society* 32 (1): 235–244.
- Hemmingsen.E.A. ,(2002), “Encyclopedia of Surface and Colloid Science”, vol. 4, chap. Spontaneous Gas Bubble Formation in Water, Marcel Dekker, New York, pp. 4775–4784.
- Holl J W. (1970). “Nuclei and cavitation”. *Journal of Basic Engineering*.pp: 681-688.
- International Standard ISO22412(2008) Particle Size Analysis – Dynamic Light Scattering, International Organisation for Standardisation (ISO).
- Ishida, N.,Inoue. T. ,Mitahara.M. , and Higashitani.K., (2000). Nano bubbles on a hydrophobic surface in water observed by tapping-mode atomic force microscopy. *Langmuir.*, Vol. 16,ppp. 6377-6380.
- Jowett, A., (1980). Formation and disruption of particle-bubble aggregates in flotation. In: Somasundaran, P. (Ed.), *Fine Particles Processing*, Vol.1,pp.720-754.
- Kirby, B.J. (2010). *Micro- and Nanoscale Fluid Mechanics: Transport in Microfluidic Devices..* Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-11903-0.
- Li S C.(2000) “Cavitation of Hydraulic Machinery”. London: ICP.
- Lin.C. H. and Wang. L. A. (2005)“Simulation of air bubble scattering effects in 193 nm immersion interferometric lithography,”pp2686
- Ljunggren.S., Eriksson.J.C., (1997), “The lifetime of a colloid-sized gas bubble in water and the cause of hydrophobic attraction”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*129–130 .151–155.
- M. Matsumoto, K. Tanaka, (2008), “Nano bubble–size dependence of surface tension and inside pressure” *Fluid Dynamics Research* 40 (7–8) 546–553.
- Marta E. Dailey., (2004). “Analysis of bubble size distributions using the Mc Gill bubble size analyser”, Department of Mining, Metals and Materials Engineering, Mc Gill University, Montreal, Canada, pp.7-8.
- Mason T J.(1991) “Practical Sonochemistry”. Chichester: Ellis Horwood,.

- McNaught.A. D. and Wilkinson.A. (1997). Definition of electrokinetic potential in "IUPAC. Compendium of Chemical Terminology", 2nd ed. (the "Gold Book").. Blackwell Scientific Publications, Oxford
- Millero.F.J. ,(2001) "The Physical Chemistry of Natural Waters", Wiley-Interscience, NewYork.
- Milton Van Dyke(1988), "An Album of Fluid Motion", Vol.4,Stanford,California,Pp19-20
- Nagayama.G., Tsuruta.T. , Cheng.P., (2006) "Molecular dynamics simulation on bubble formation in a nanochannel", International Journal of Heat and Mass Transfer 49 (23–24) .4437–4443.
- Particle size analysis-Laser diffraction methods, BS ISO 1320:(2009), Annex A(informative), Theoretical background of laser diffraction, First edition, 2009-10-01.
- Rodrigus, R.T., Rubio, J., (2003). "New basis for measuring the size distribution of bubbles", Minerals Engineering, Vol. 16(8), pp. 757-765.
- Ryan W L, Hemmingsen E A.(1993)."Bubble formation in water at smooth hydrophobic surfaces". Journal of Colloid and Interface Science, (157): 312-317.
- Stachiotti.M. G.(2000)" Toroidal ferroelectricity in PbTiO₃ nanoparticles" pp1, Argentina
- Sung, J.S., Burgess, J.M.; (1987). "A laser-based method for bubble parameter measurement in two-dimensional fluidized bed", Powder Technology, Vol. 49, pp.165-175.
- Takahashi.M. , Kawamura.T., Yamamoto.Y. , Onari.H.,Himuro. S. , Shakutsui.H., (2003) "Effect of shrinking microbubble on gas hydrate formation, The Journal of Physical Chemistry B 107 (10) 2171–2173
- Webb.P.A, (2000)"A Primer on Particle Sizing by Static Laser Light Scattering", Technical Workshop Series, Micromeritics Instrument Corp.
- WYLIE, B.E.(1984) "Simulation of Vaporous and Gaseous Cavitation". Journal of Fluids Engineering. Vol. 106, pp. 307-311,.
- Xu, M., Quinn, P., Stratton-Crawly, R., (1994). Graphite/Chalcoprite separation using a rapid column cell. In: Yalcin, T. (Ed), Innovations in Mineral Processing. Sudbury, Canada, pp. 181-186.
- Yang S, Dammer SM, Bermnd N, Zandvliet HJW, Kooij ES S, Lohse D., (2007). Characterization of Nanobubbles on Hydrophobic Surfaces in water, Langmuir, Vol. 23(13),pp. 7072-7073.

Yoon, R.H., (1993). Microbubblr flotation. Minerals Engineering, Vol. 6(6), pp. 619-630.

Young F R.(1989).” Cavitation”. London: McGraw-Hill Book Company.

Zhou, Z.A., Egiebor, N.O., Plitt, L,R.; (1993). “Frother effects on bubble size estimation ina flotation column”, Minerals Engineering, Vol. 6(1), pp.55-67

Zhou, Z.A., Xu, Z, Finch, J.A., (1996) “Effect of gas nucler on hydrophobic coagulation”. J. Colloid Interface Sci., Vol.79, pp. 311-314.

منوچهر راد، محسن قدیانی، (۱۳۹۰) " جریان سیال تراکم ناپذیر (هیدروآئرو دینامیک کاربرد ی)" جلد ۱، صفحه ۸۵

پیوست الف:

در زیر کد برنامه مطلب ارائه گردیده است:

```
videoReader = vision.VideoFileReader('F:\0-payan name\other\cap reza
mozafari\micros cop\New folder\for matlab\reza
micvel.mpg','ImageColorSpace','Intensity','VideoOutputDataType','uint8');
converter = vision.ImageDataTypeConverter;
opticalFlow = vision.OpticalFlow('ReferenceFrameDelay', 1);
opticalFlow.OutputValue = 'Horizontal and vertical components in complex form';
shapeInserter = vision.ShapeInserter('Shape','Lines','BorderColor','Custom',
'CustomBorderColor', 255);
videoPlayer = vision.VideoPlayer('Name','Motion Vector');
while ~isDone(videoReader)
    frame = step(videoReader);
    im = step(converter, frame);
    of = step(opticalFlow, im);
    Real=real(of);
    Img=imag(of);
    H=fspecial('gaussian',3,3);
    Real1=imfilter(Real,H);
    Img1=imfilter(Img,H);
    I1=Real1.^2+Img1.^2;
    Mask=I1>.0000001;
    Mask=imfill(Mask,'holes');
    str=ones(5,5);
    Mask=imdilate(Mask,str);
    Mask=imerode(Mask,str);
    BW=bwlabel(Mask,8);
    % rgb1 = label2rgb(BW,'jet',[.5 .5 .5]);
    %figure;imshow(rgb1,[]);
    List=[];
    for i=1:max(max(BW))
        Mask=(BW==i);
        I3=Mask.*I1;
        Real=Mask.*Real1;
        Img=Mask.*Img1;
        [Index1,Index2]=find(I3==max(max(I3)));
        R_=sum(sum(Real))/sum(sum(Mask));
        I_=sum(sum(Img))/sum(sum(Mask));
        Index1=mean(Index1);
        Index2=mean(Index2);
        List=[List;[Index1,Index2,R_,I_]]
    end
    figure;imshow(im);
    hold on;
    if(~isempty(List))
        quiver(List(:,2),List(:,1),List(:,3),List(:,4));
    end
end
```

```
hold off;
end
release(videoPlayer);
release(videoReader);
```

پیوست ب:

در این پیوست، جداول مربوط به اندازه گیری ابعاد و پتانسیل زتا نمونه های ۱ روزه ضمیمه شده است.



NanoQ Report

Sample

Name : MNB
Measured on : 10/4/2013 10:59:59
by : admin

Mode: Acquisition
Profil: Admin

Comments from user:

SOP

Name Mr.Mozaffarei **Operating mode** Continuous

Dispersant / solvent properties

Refractive Index (nd) : 1.33
Viscosity : 0.891

Particles refractive Index

Real Part : 1.560
Imaginary Part : 0.01

Device settings

Time interval : 10.000µs
Number of channels : 400

SOP comment :
Default Procedure

Analysis mode

- Cumulants
 Pade-Laplace

Results

- Intensity
 Volume
 Number

Measure conditions

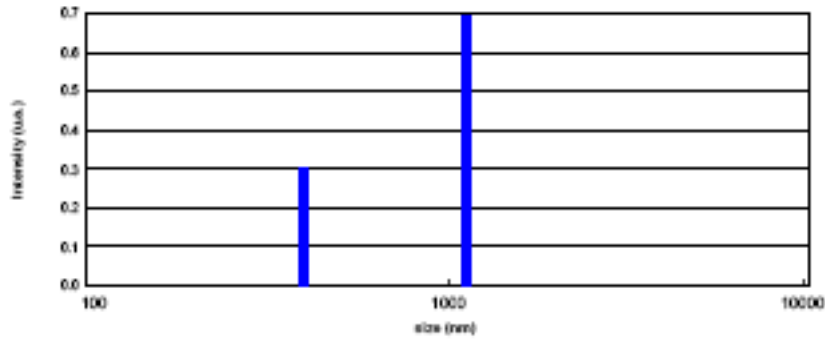
Temperature : 25.0°C
Acquisitions : 0
Average count rate : 131.60 kcps

Duration : 0h 1min 27s
Laser power : 50%
DTC position : DOWN
Wavelength : 657.00

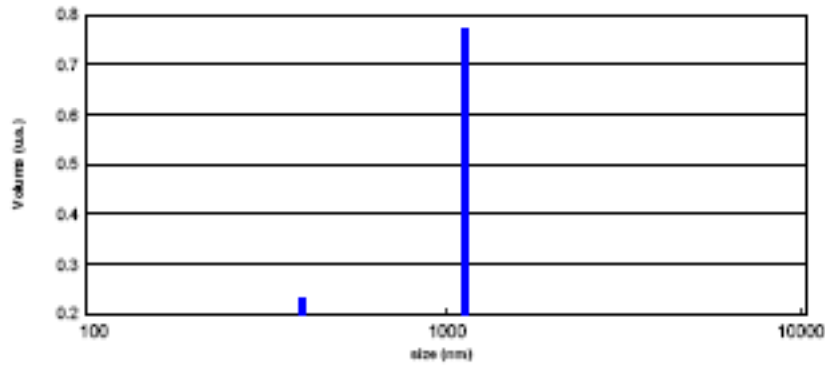
Pade-Laplace method

Dv10: 389.15 Dv60: 1 122.32 Dv90: 1 122.32
 Dmean intensity: 898.70 Dmean volume: 953.38 Dmean number: 478.75

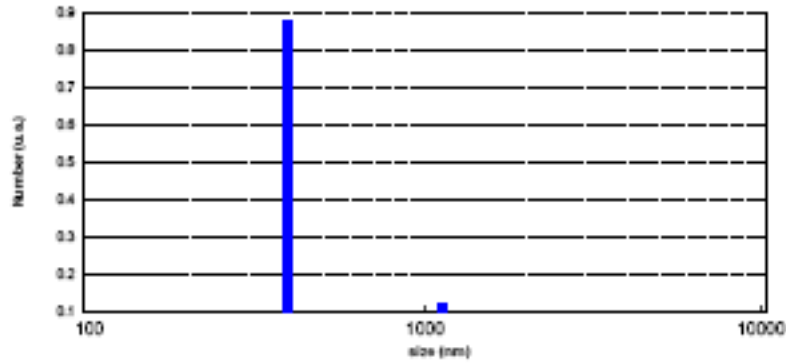
Size dispersion by Intensity



Size dispersion by Volume



Size dispersion by Number

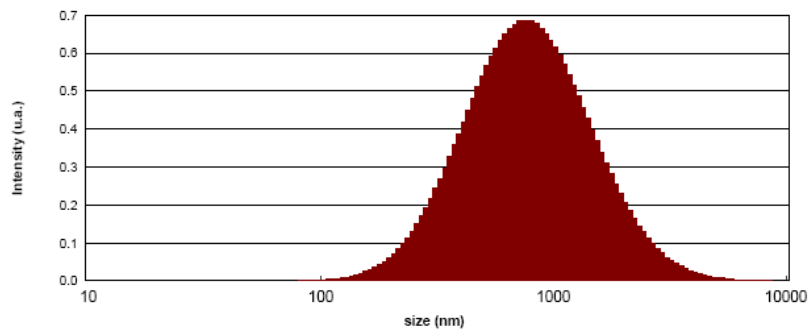


Size (nm)	Intensity	Number	Volume
389.15	0.30	0.88	0.23
1,122.32	0.70	0.12	0.77

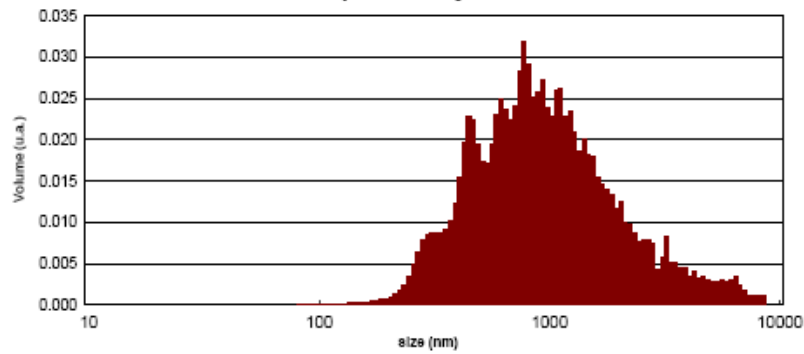
Cumulants method

			Zaverage (nm):	696.57			
Dv10:	407.49	Dv50:	891.49	Dv90:	2 571.08	PDI:	0.4340
Dmean Intensity:	941.55	Dmean volume:	1 278.66	Dmean number:	364.24		

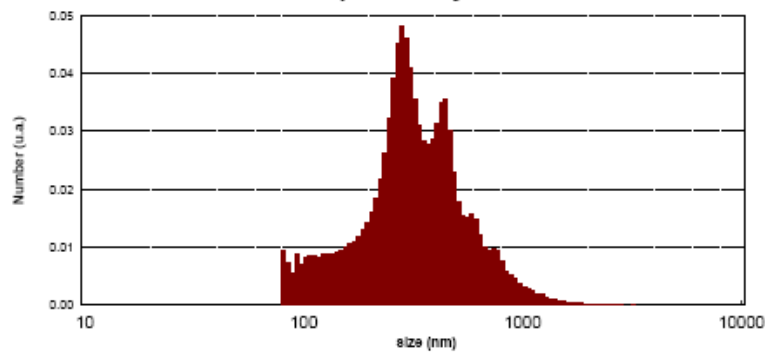
Size dispersion by Intensity



Size dispersion by Volume



Size dispersion by Number



Size (nm)	Intensity	Number	Volume
81.30	0.00	0.01	0.00
85.14	0.00	0.01	0.00
89.15	0.00	0.01	0.00
93.35	0.00	0.01	0.00
97.75	0.00	0.01	0.00
102.36	0.00	0.01	0.00
107.18	0.00	0.01	0.00
112.33	0.01	0.01	0.00
117.52	0.01	0.01	0.00
123.06	0.01	0.01	0.00
128.86	0.01	0.01	0.00
134.93	0.01	0.01	0.00
141.25	0.02	0.01	0.00
147.95	0.02	0.01	0.00
154.92	0.02	0.01	0.00
162.22	0.03	0.01	0.00
169.87	0.04	0.01	0.00
177.88	0.04	0.01	0.00
186.26	0.05	0.01	0.00
195.04	0.06	0.01	0.00
204.23	0.07	0.02	0.00
213.85	0.08	0.02	0.00
223.93	0.10	0.02	0.00
234.49	0.11	0.03	0.00
245.54	0.13	0.03	0.00
257.11	0.15	0.04	0.00
269.22	0.17	0.05	0.01
281.91	0.19	0.05	0.01
295.20	0.22	0.05	0.01
309.11	0.24	0.04	0.01
323.68	0.27	0.04	0.01
338.93	0.30	0.03	0.01
354.91	0.33	0.03	0.01
371.63	0.36	0.03	0.01
389.15	0.39	0.03	0.01
407.49	0.42	0.03	0.02
426.69	0.45	0.03	0.02
446.80	0.48	0.04	0.02
467.86	0.51	0.03	0.02
489.91	0.54	0.02	0.02
513.00	0.57	0.02	0.02
537.17	0.59	0.02	0.02
562.49	0.61	0.02	0.02
589.00	0.63	0.02	0.02
616.76	0.65	0.01	0.02
645.83	0.67	0.01	0.02
676.26	0.68	0.01	0.02
708.13	0.68	0.01	0.02
741.51	0.69	0.01	0.03
776.45	0.69	0.01	0.03
813.05	0.68	0.01	0.03
851.36	0.68	0.01	0.03
891.49	0.67	0.01	0.03
933.50	0.65	0.00	0.03
977.50	0.64	0.00	0.02
1,023.56	0.62	0.00	0.02
1,071.80	0.59	0.00	0.03
1,122.32	0.57	0.00	0.03
1,175.21	0.54	0.00	0.02
1,230.59	0.52	0.00	0.02
1,288.59	0.49	0.00	0.02
1,349.32	0.46	0.00	0.02
1,412.91	0.43	0.00	0.02
1,479.50	0.40	0.00	0.02
1,549.23	0.37	0.00	0.02
1,622.24	0.34	0.00	0.02
1,698.69	0.31	0.00	0.01
1,778.75	0.28	0.00	0.01
1,862.58	0.26	0.00	0.01
1,950.36	0.23	0.00	0.01
2,042.28	0.21	0.00	0.01
2,138.53	0.19	0.00	0.01
2,239.31	0.16	0.00	0.01
2,344.85	0.15	0.00	0.01
2,455.36	0.13	0.00	0.01
2,571.08	0.11	0.00	0.01
2,692.25	0.10	0.00	0.01
2,819.13	0.09	0.00	0.01
2,951.99	0.07	0.00	0.00
3,091.11	0.06	0.00	0.01
3,236.79	0.05	0.00	0.01
3,389.34	0.05	0.00	0.01
3,549.07	0.04	0.00	0.01
3,716.34	0.03	0.00	0.00
3,891.48	0.03	0.00	0.00
4,074.88	0.02	0.00	0.00
4,266.93	0.02	0.00	0.00
4,468.02	0.02	0.00	0.00
4,678.59	0.01	0.00	0.00
4,899.09	0.01	0.00	0.00
5,129.97	0.01	0.00	0.00
5,371.74	0.01	0.00	0.00
5,624.90	0.01	0.00	0.00
5,890.00	0.00	0.00	0.00
6,167.58	0.00	0.00	0.00
6,458.25	0.00	0.00	0.00
6,762.62	0.00	0.00	0.00
7,081.33	0.00	0.00	0.00
7,415.07	0.00	0.00	0.00
7,764.53	0.00	0.00	0.00
8,130.46	0.00	0.00	0.00
8,513.64	0.00	0.00	0.00

ZETA COMPACT REPORT

MNB-2

2013/04/10

Experiment Parameters

Dielectric constant:	78.91	Temperature:	23.63 °C
Electric Field:	8.41 V/cm	pH:	0.00
Conductivity:	0.022 mS/cm	Viscosity:	0.9189 mPas

Statistics

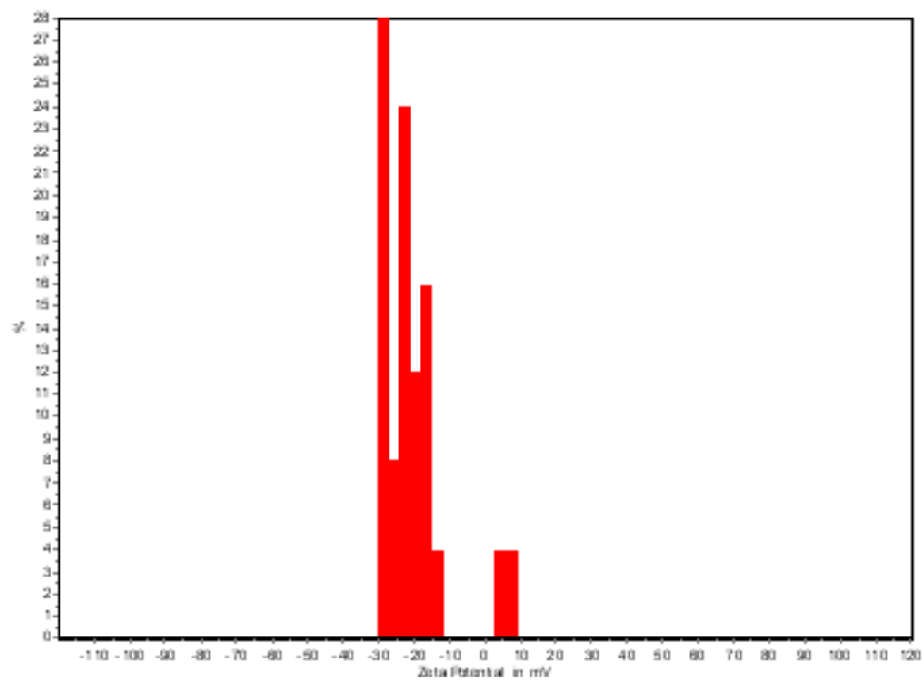
Mobilities:

Mean:	-1.54 $\mu\text{m}^2/\text{Vs}$
Standard Deviation:	0.66
Number of Trackings:	25

Zeta Potential:

Mean:	-20.28 mV
Standard Deviation:	8.73
Coefficient:	13.15

Mobilities Distribution



Abstract:

This thesis examines the feasibility of the use of nano-micro air bubbles (MNB) for visualizing the standard hydrodynamic patterns. Image processing techniques were employed to analyze the flow pattern and quantify the movement of the air bubbles. The structure of the MNB generators was studied and the hydrodynamics of generating MNB using cavitation technique was described. The particle size was determined using dynamic light scattering by Nano Particle Size Analyzer while the stability of the bubbles during a month was investigated through Zeta-Potential meter. Polydispersity Index of 0.483 was obtained for the bubble diameter which is in the range acceptable by ISO 22412-2008, up to 0.7. Physico-chemical properties of the nano-fluid including turbidity, DO, conductivity, pH, and temperature were determined which indicated that by increasing the number of cycles the fluid passes through MNB generator, the turbidity and DO initially increases, following by a declining pattern after reaching the over-saturation state. By identifying the MNB properties, the physical models for the test were constructed. The flow was pictured by two methods: using a high quality 3CCD system with Micro Lens and a CCD camera and optical polarizing microscope, depending on the size of the sample. The captured movies were filtered in Edius software in order to have a better resolution for digital image processing. The filtered films were then transferred to MatLab to be analyzed by a code specifically written for this research. The code is able to analyze the movement of MNBs in separated frames. According to the results, although micro bubbles have almost identical velocity with the flow, nano bubbles are not useful due to the Brownian motion.

Keywords: hydrodynamics; digital image processing; micro-nano bubble, nano fluid; laminar flow pattern.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil and Architectural Engineering

**Investigation on the standard flow pattern using
nano-micro air-bubbles**

Reza Mozaffari Naeini

**Supervisor:
Dr.S.f.Saghravani**

January 2014