

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران

بررسی آزمایشگاهی شکل گیری میکرو-نانو حباب‌های هوا در لوله

ونتوری به کمک پردازش تصویر دیجیتال

نگارنده: شیما قلی بیکی

استاد راهنما:

دکتر سید فضل الله ساغروانی

تیر ۹۷

دانشکده : عمران

گروه : مهندسی عمران و معماری

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم شیما قلی بیکی به شماره دانشجویی: ۹۲۱۱۳۳۴

تحت عنوان: بررسی آزمایشگاهی شکل گیری میکرو-نانو حباب های هوا در لوله ونتوری به کمک پردازش تصویر دیجیتال

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : سید فضل اله ساغروانی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر مهدی گلی		نام و نام خانوادگی : دکتر احمد احمدی
			نام و نام خانوادگی : دکتر سعید گلپیان

تقدیم بہ

مقدس ترین واژہ مادر لغت نامہ دلم،

روح پاک مادر مہربانم کہ زندگیم را دیدیون مهر و عطف آن می دانم.

پدر، مہربانی مشق، بردبار و حامی.

ہمسر مہربانم کہ با صبر و سکینایی ہمیشہ ہمراہم بودہ است.

بوسہ بردستان پر مہربان

قدردانی

استاد فرزانه وارجمندم، جناب دکتر سید فضل الله ساغروانی، چکونه پاس کویم، مهربانی و لطف شارا که سرشار از عشق و یقین است، چکونه پاس کویم تاثیر علم آموزی شارا که چراغ هدایت، بر کلبه می محترم و جودم فرزندان ساخته است. در مقابل این همه عظمت و سکوهستان، مرانه توان پاس است و نه کلام و صف. از این که همیشه مراحمیت فرمودید و بارهائانی های ارزنده می تان، سیرا بر ابرایم هموار نمودید و با سخنان امیدبخشان، در سینه ای از امید را به رویم کشودید، کمال تشکر و قدردانی را دارم. به پاس رنج های صادقانه تان، حرمت کلام حارخانه تان و حمایت های بی دریغ تان از خداوند منان، سلامتی و کامیابی و توفیق روز افزون شما استاد بزرگوار را مسألت دارم.

حق یار تان

تعهد نامه

اینجانب شیما قلی بیکی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی آزمایشگاهی شکل گیری میکرو-نانو حباب های هوا در لوله ونتوری به کمک پردازش تصویر دیجیتال تحت راهنمایی جناب آقای دکتر سید فضل اله 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

با توجه به پیشرفت های اخیر در زمینه نانو سیالات و اهمیت موضوع میکرو-نانو حباب، تحقیق حاضر با هدف بررسی آزمایشگاهی شکل گیری میکرو-نانو حباب هوا در لوله ونتوری به روش پردازش تصویر انجام گردید. در این پژوهش یک لوله ونتوری در اندازهی آزمایشگاهی ساخته شد و با استفاده از روش های جدید پردازش تصویر، ویژگی های هیدرودینامیکی جریان مانند سطح اشغال شده توسط حبابها، سرعت و میزان انحلال هوا در آب بررسی گردید. سرعت حباب ها در نواحی مختلف ونتوری در تغییر است بنابراین برای اندازه گیری ویژگی های حباب ها از دوربین با قابلیت تصویربرداری با سرعت ۴۵۰۰ تصویر در ثانیه به همراه نرم افزار متلب استفاده شد. بوسیلهی آستانه گذاری مناسب، مساحت های نواحی آب، حباب ها و هوای تزریق شده محاسبه شد. برای سه دبی ۰/۱۶، ۰/۲۹ و ۰/۴۲ لیتر بر ثانیه آزمایشات انجام شده و نتایج مقایسه گردید. نتایج حاصل از آزمایشات و پردازش تصاویر در ناحیه ی قبل از تنگ شوندگی و ناحیه ی تنگ شوندگی ونتوری بیانگر کاهش فشار و کاهش انحلال هوا در آب طبق رابطهی هنری است. در ناحیه تنگ شوندگی ونتوری به علت کاهش فشار، افزایش سرعت وجود دارد. بعد از ناحیهی تنگ شوندگی ونتوری، فشار و انحلال هوا در آب افزایش و سرعت کاهش می یابد. همچنین نتایج بدست آمده از آزمایشات نشان می دهد که با افزایش دبی جریان، حباب ها ریزتر شده و امکان تشکیل میکرو-نانو حباب در ونتوری بیشتر است.

کلید واژه ها: ونتوری، سرعت حباب هوا، پردازش تصویر، میکرو-نانو حباب

فصل اول..... ۱

کلیات..... ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۲-۱ ضرورت انجام تحقیق ۳

۳-۱ اهداف انجام تحقیق ۳

۴-۱ روش تحقیق ۳

۵-۱ معرفی ساختار پایان نامه ۴

فصل دوم..... ۵

مروری بر تحقیقات گذشته و مبانی تحقیق..... ۵

۱-۲ مقدمه ۶

۲-۲ کلیاتی درباره ی جریان دوفازی ۶

۳-۲ الگوهای جریان در خطوط لوله افقی ۷

۱-۳-۲ جریان حبابی ۸

۲-۳-۲ جریان تویی یا قالبی ۸

۳-۳-۲ جریان لایه ای یا جدا از هم ۸

۴-۳-۲ جریان موجی ۹

۵-۳-۲ جریان لخته ای ۹

۶-۳-۲ جریان حلقوی ۹

۷-۳-۲ جریان قطره ای یا افشانه ای ۱۰

۴-۲ الگوهای جریان در خطوط لوله قائم ۱۱

۱-۴-۲ جریان حبابی ۱۱

۱۱	..... ۲-۴-۲ جریان لخته ای
۱۲	..... ۳-۴-۲ جریان کف آلود یا انتقالی
۱۲	..... ۴-۴-۲ جریان قطره ای
۱۳	..... ۵- الگوهای جریان در خطوط لوله شیبدار
۱۳	..... ۶-۲ کلیاتی درباره ی میکرو-نانو حباب ها
۱۵	..... ۱-۶-۲ مقایسه نانوحباب ها و حباب های معمولی
۱۶	..... ۲-۶-۲ ویژگی های میکرو-نانو حباب ها
۱۹	..... ۷-۲ روش های تولید میکرو حباب ها
۲۰	..... ۱-۷-۲ نوع فشاری
۲۰	..... ۲-۷-۲ نوع کاویتاسیونی
۲۲	..... ۳-۷-۲ نوع جریان چرخشی
۲۳	..... ۸-۲ پردازش تصاویر
۲۴	..... ۱-۸-۲ پردازش تصاویر و برنامه نویسی به زبان متلب
۲۵	..... ۲-۸-۲ پردازش تصویر و تحلیل جریان دوفازی
۲۹	..... فصل سوم
۲۹	..... مواد و روش ها
۳۰	..... ۱-۳ مقدمه
۳۰	..... ۲-۳ مواد
۳۰	..... ۳-۳ پیکربندی آزمایشگاهی
۳۱	..... ۴-۳ مقطع آزمایش
۳۲	..... ۵-۳ شرح آزمایش
۳۳	..... ۶-۳ روش تصویربرداری
۳۴	..... ۱-۶-۳ پیش پردازش
۳۵	..... ۲-۶-۳ استخراج داده ها

۳-۶-۳ پردازش کل داده ها ۳۶

فصل چهارم ۳۷

نتایج و بحث ۳۷

۱-۴ مقدمه ۳۸

۲-۴ شیر تنظیم دبی در حالت ۴۵ درجه ($Q=0.16 \text{ lit/s}$) ۳۸

۱-۲-۴ نتایج تفکیک فیلتری به صورت عکس ۳۹

۲-۲-۴ نتایج تفکیک فیلتری بصورت نمودار ۴۰

۳-۲-۴ آزمون F ۴۱

۴-۲-۴ بررسی سرعت حباب ها ۴۲

۵-۲-۴ بررسی انحلال هوا در آب ۴۶

۳-۴ شیر تنظیم دبی در حالت ۶۷/۵ درجه ($Q=0.29 \text{ lit/s}$) ۴۸

۱-۳-۴ نتایج تفکیک فیلتری بصورت نمودار ۴۸

۲-۳-۴ بررسی سرعت حباب ها ۴۹

۳-۳-۴ بررسی انحلال هوا در آب ۵۲

۴-۴ شیر تنظیم دبی در حالت ۹۰ درجه ($Q=0.42 \text{ lit/s}$) ۵۴

۱-۴-۴ نتایج تفکیک فیلتری بصورت نمودار ۵۴

۲-۴-۴ بررسی سرعت حباب ها ۵۵

۳-۴-۴ بررسی انحلال هوا در آب ۵۷

فصل پنجم ۵۹

نتیجه گیری و پیشنهادها ۵۹

۱-۵ مقدمه ۶۰

۲-۵ جمع بندی ۶۰

۱-۲-۵ تاثیر دبی ۶۰

- ۲-۲-۵ جمع بندی نتایج تاثیر دبي بر سرعت حباب ها..... ۶۱
- ۳-۲-۵ جمع بندی نتایج تاثیر دبي بر میزان انحلال هوا در آب..... ۶۲
- ۳-۵ پیشنهادها برای مطالعات آتی..... ۶۲
- منابع..... ۶۳

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ الگوهای جریان دوفازی موجود در خطوط لوله افقی مطابق (Beggs-Brill,1973)..... ۱۰
- (الف: حبابی، ب: قالبی، ج: لایه ای، د: موجی، ر: لخته ای، ز: حلقوی، و: قطره ای)..... ۱۰
- شکل ۲-۲ الگوهای جریان دوفازی روبه بالا در خطوط لوله قائم (Cindric et al,1987)..... ۱۲
- شکل ۳-۲ تاثیر میکرو حباب ها در رفع آلاینده های آلی و میکروبی (M.Takahashi,2007)..... ۱۴
- شکل ۴-۲ نسبت سطح به حجم بالای نانوحباب ها در مقایسه با حباب معمولی..... ۱۵
- شکل ۵-۲ شماتیک از مولد میکرو حباب نوع کاویتاسیونی (لوله ونتوری) (Fujihara,2006)..... ۲۲
- شکل ۶-۲ شماتیک مولد میکرو حباب نوع جریان چرخشی (Tatsumi,2004)..... ۲۳
- شکل ۱-۳ شمایل ونتوری ساخته شده در این تحقیق..... ۳۱
- شکل ۲-۳ شماتیک دستگاه (۱-مدل ۲- شیر by pass ۳- پمپ)..... ۳۱
- آب ۴- مخزن آب ۵- کمپرسور هوا)..... ۳۱
- شکل ۳-۳ پایلوت در هنگام عکس برداری با اتاق تاریک و دوربین..... ۳۳
- شکل ۴-۳ الف- تصویر اولیه ب- تصویر پس زمینه پس از حذف نواحی زاید..... ۳۴
- شکل ۵-۳ (الف: Hue ، ب: Saturation ، ج: Intensity)..... ۳۵
- شکل ۱-۴ اعمال آستانه ها (الف: تصویر اولیه، ب: تفکیک ناحیه قرمز رنگ، ج: تفکیک ناحیه خاکستری، د: تفکیک ناحیه مشکی)..... ۳۹
- شکل ۲-۴ مساحت هرکدام از فازها در حالت دبی ۰/۱۶ لیتر بر ثانیه..... ۴۰

- شکل ۴-۳ نمودار متعادل سازی شده ی مساحت هرکدام از فازها در حالت دبی ۰/۱۶ لیتر بر ثانیه به درصد ۴۱.....
- شکل ۴-۴ F-Test با دقت ۹۹ درصد ۴۲.....
- شکل ۴-۵ F-Test با دقت ۹۵ درصد ۴۲.....
- شکل ۴-۶: تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در طول مدل ۴۳.....
- شکل ۴-۷: تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در طول مدل ۴۳.....
- شکل ۴-۸ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیهی قبل از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم) ۴۴.....
- شکل ۴-۹ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیهی در تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم) ۴۵.....
- شکل ۴-۱۰ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیهی بعد از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم) ۴۵.....
- شکل ۴-۱۱: تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل ابتدایی ۶۵ (قبل از تنگ شدگی) ۴۷.....
- شکل ۴-۱۲: تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل ۲۱۳ (در تنگ شدگی) ۴۷.....
- شکل ۴-۱۳: تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل انتهایی ۷۱۴ (بعد از تنگ شدگی) ۴۸.....
- شکل ۴-۱۴: نمودار متعادل سازی شده ی مساحت هرکدام از فازها در حالت دبی ۰/۲۹ لیتر بر ثانیه به درصد ۴۹.....
- شکل ۴-۱۵: تغییرات میانگین رنگ قرمز در طول مدل برحسب سانتی متر ۵۰.....
- شکل ۴-۱۶: تغییرات میانگین رنگ قرمز در طول مدل برحسب پیکسل ۵۰.....
- قبل از تنگ شوندگی: ۵۱.....
- شکل ۴-۱۷ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیهی قبل از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم) ۵۱.....

- شکل ۴-۱۸ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیهی تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)..... ۵۱
- بعد از تنگ شوندگی:..... ۵۲
- شکل ۴-۱۹ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیهی بعد از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)..... ۵۲
- شکل ۴-۲۱ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل میانی (درمحل تنگ شدگی)..... ۵۳
- شکل ۴-۲۲ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل انتهایی (بعد از تنگ شدگی)..... ۵۴
- شکل ۴-۲۳ نمودار متعادل سازی شده ی مساحت هرکدام از فازها در حالت دبی $0/42$ لیتر بر ثانیه به درصد..... ۵۵
- شکل ۴-۲۴ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیهی قبل از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)..... ۵۵
- شکل ۴-۲۵ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیهی تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)..... ۵۶
- شکل ۴-۲۶ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیهی بعد از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)..... ۵۶
- شکل ۴-۲۷ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل ابتدایی (قبل از تنگ شدگی)..... ۵۷
- شکل ۴-۲۸ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل میانی (درمحل تنگ شدگی)..... ۵۸
- شکل ۴-۲۹ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل انتهایی (بعد از تنگ شدگی)..... ۵۸

فهرست جداول

- جدول ۳-۱ مشخصات آب شهری (رفعتی، ۱۳۹۵)..... ۳۰
- جدول ۵-۱ سرعت حباب ها برحسب متربرثانیه در دبی های مختلف و نواحی مختلف از ونتوری... ۶۲

فصل اول

کلیات

فناوری نانو توانایی طراحی ساختارها را با دقت و ظرافت مولکولی اتمی فراهم می‌آورد. این به معنای مهندسی دقیق یک ساختار در حد میلیاردیم یا همان نانومتر است. ساختارهای که با این دقت تهیه می‌شوند، خصوصیات ویژه و منحصر به فردی از خود نشان می‌دهند. انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ میلادی، این فناوری بتواند چهره زندگی بشر را به طور کلی تغییر دهد. فناوری نانو در کنار فناوری زیستی و فناوری اطلاعات موج دیگری از انقلاب صنعتی را در جهان رقم خواهد زد (فریدی و سروری، ۱۳۹۴).

در ایران نیز به لحاظ اهمیت موضوع، ستاد فناوری نانو در نهاد ریاست جمهوری تشکیل و به حمایت از پژوهش‌های نانو می‌پردازد. دلیل اهمیت فناوری نانو فقط کوچک بودن ابعاد آن نیست. کوچک بودن ابعاد مواد در محدوده‌ی نانو باعث تغییر در ویژگی‌های ذاتی آن‌ها از جمله رنگ، استحکام، واکنش پذیری و ... می‌شود و همین تغییر در ویژگی‌ها است که باعث می‌شود دانشمندان علاقه مند به استفاده‌ی فناوری نانو در رشته‌های مختلف، برای بهتر شدن زندگی انسان هستند.

در واقع فناوری نانو یک فناوری جدید نیست، بلکه استفاده از تغییر در ویژگی‌های مواد در محدوده‌ی ابعادی نانو است و بر تمام فناوری‌هایی که انسان تاکنون بدست آورده است تاثیر می‌گذارد.

به دلیل گستردگی بسیار زیاد فناوری نانو و ارتباط نزدیک آن با علوم و فناوری‌های دیگر و به دلیل این که این فناوری یک فناوری بین رشته‌ای است، نمی‌توان آن را متعلق به یک رشته یا زمینه‌ی علمی خاص دانست و برای پیشرفت در این فناوری همکاری بین رشته‌های مختلف ضروری است.

امروزه حوزه‌های تحقیقاتی مرتبط با نانو گسترش بسیاری یافته است. یکی از این حوزه‌ها، بررسی خواص نانو سیالات است. مفهوم نانوسیال به شکل جدیدی از محیط‌های چند فازی اشاره می‌کند که از طریق معلق ساختن ذرات با اندازه نانو در سیال پایه تهیه می‌شوند.

۲-۱ ضرورت انجام تحقیق

باتوجه به پیشرفت های اخیر در زمینه نانوسیالات و اهمیت تولید میکرو-نانو حباب ها، در تحقیق حاضر از لوله ونتوری به منظور تولید میکرو-نانو حباب استفاده شده است و اهمیت بررسی خصوصیات حباب های ایجاد شده و شناسایی آن ها و استفاده از روش نسبتا ارزان قیمت پردازش تصویر ضرورت انجام این تحقیق است.

۳-۱ اهداف انجام تحقیق

در این تحقیق هدف کلی عبارتست از: " بررسی آزمایشگاهی شکل گیری میکرو-نانو حباب هوا در لوله ونتوری به روش پردازش تصویر " .

در این تحقیق اهداف جزئی زیر دنبال می گردد:

- استفاده از روش پردازش تصویر دیجیتال برای شناسایی حبابها
- بررسی خصوصیات هیدرودینامیکی حباب ها مثل سرعت و اندازه ی آن ها
- بررسی میزان حل شدن هوا در آب
- بررسی نحوه عملکرد لوله ونتوری به منظور تولید میکرو-نانوحباب هوا

۴-۱ روش تحقیق

انجام این پژوهش را به چهار مرحله می توان تقسیم کرد:

- در مرحله ی اول به بررسی چگونگی ساخت مدل آزمایشگاهی پرداخته شد.
- در مرحله دوم به تهیه فیلم ها و تصاویر به کمک دوربین تصویربرداری با کیفیت پرداخته شد.
- در مرحله سوم به تهیه برنامه پردازش تصویر به کمک برنامه Matlab و استفاده از آن برای محاسبه ی مساحت فاز آب و هوا و تشکیل حباب ها و نمایش چگونگی حرکت جریان اختصاص یافت .

- در مرحله ی آخر طبقه بندی و تحلیل و تفسیر نتایج صورت گرفت.

۱-۵ معرفی ساختار پایان نامه

تحقیق حاضر به صورت زیر سازمان بندی شده است.

۱- فصل اول: کلیات

در این قسمت از پایان نامه به بیان اهمیت فناوری نانو، ضرورت انجام تحقیق، اهداف تحقیق، روش تحقیق و روند ساختار کلی تحقیق اشاره شده است.

۲- فصل دوم: مبانی تئوریک و مروری بر مطالعات پیشین

در این فصل کلیاتی درباره جریان دوفازی مطرح شده و الگوهای توزیع جریان در خطوط لوله های افقی، قائم و شیبدار بررسی می شود. روش های تولید میکرو حباب ها و ویژگی آن ها و مقایسه با حباب های ماکرو شرح داده می شود و مروری بر سوابق و پژوهش های انجام شده قبلی توسط محققین قبلی ارائه می شود.

۳- فصل سوم: مواد و روش ها

در این فصل به بررسی مواد و روش های اندازه گیری و روش های تصویربرداری و پردازش آنها اختصاص داده شده است.

۴- فصل چهارم: نتایج و بحث

در این فصل به بررسی نتایج بدست آمده از آزمایشات و تحلیل آنها اختصاص دارد.

۵- فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

در این بخش جمع بندی کلی از نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده و پیشنهاداتی در ارتباط با تکمیل و توسعه تحقیق حاضر ارائه شده است.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته و مبانی

تحقیق

در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی شکل گیری میکرو-نانو حباب هوا در لوله ونتوری به وسیله تکنیک پردازش تصویر پرداخته می شود. در این فصل ابتدا کلیاتی درباره ی جریان دوفازی مطرح می گردد و سپس به انواع الگوهای توزیع جریان در خطوط لوله های افقی وقائم و شیبدار پرداخته می شود. در ادامه روش های تولید میکرو حباب ها و ویژگی های آن ها و مقایسه با حباب های معمولی شرح داده شده، سپس به طور خلاصه مروری برسوابق و پژوهش های انجام شده قبلی توسط محققین قبلی برروی میکرو حباب ها ارائه شده است.

۲-۲ کلیاتی درباره ی جریان دوفازی^۱

در بسیاری از پروژه های مهندسی، بین جریان آب عبورکننده از میان یک سازه و هوای متحرک در مجاورت آب اندرکنش شدیدی به وقوع می پیوندد. یکی از مهم ترین پدیده های طبیعی و ناخواسته ی این اندرکنش، اختلاط آب عبوری از سازه ها و جریان هوای اطراف آن است که در برخی موارد باعث واکنش های شدید بین آب و هوای موجود شده و خسارت های قابل ملاحظه ای به همراه دارد، این نوع جریان جریان دوفازی نامیده می شود (Martin, 1976).

مهم ترین علامت مشخصه جریان های دوفازی، وجود فصل مشترک بین فازهای گاز و مایع می باشد. این فصل مشترک دارای اشکال مختلفی می باشد. تقریبا امکان پیدایش یک دامنه نامحدود از فصل مشترک های مختلف بین دوفاز وجود دارد اما عموما، تاثیر کشش سطحی بین دوفاز منجر به پیدایش فصل مشترک های مختلف منحنی شکل شده که نهایتا تمامی آنها تبدیل به اشکال کروی نظیر قطره ها و حباب ها می شوند (Hewitt, 1970).

^۱ Two Phase Flow

هرگاه آب و هوا در یک مجرا جریان داشته باشند الگوهای جریان بصورت تصادفی ایجاد می شوند، الگوی جریان یعنی هر فاز جریان چگونه در یک مجرا در برابر فاز دیگر توزیع شده است. وجود فصل مشترک بین فاز آب و هوا مهم ترین مشخصه ی جریان های دوفازی است. با طبقه بندی انواع حالات و توزیع فصل مشترک بین آب و هوا که الگوهای جریان نامیده می شود می توان نوع این جریان ها را تفسیر کرد (Hewitt and Taylor, 1970).

باید توجه داشت که این رژیم های جریان معمولاً بوسیله ی موقعیت و شکل هندسی خط لوله جهت جریان، خواص فیزیکی و شدت جریان هریک از فاز ها و شارحرارتی وارد بر دیواره لوله، تحت تاثیر قرار می گیرند.

شایان ذکر است که علیرغم کوششهای بسیار زیادی که برای طبقه بندی انواع رژیم های جریان دوفازی به عمل آمده است، با این وجود، تمامی این روشها به شدت کیفی و اغلب مطابق نقطه نظرات شخصی محققین می باشند بطوریکه تاکنون رژیم های جریان مختلفی تعریف گردیده و دامنه گسترده ای از اسامی برای این منظور، مورد استفاده قرار گرفته اند. تعاریفی که برای انواع رژیم های جریان در این فصل ارائه خواهند شد، همگی متناسب با اظهار نظرات عمومی قابل قبول برای هر نوع جریان، انتخاب شده اند (Levy, 1999).

شیب خط لوله و برخی اعداد بدون بعد نظیر کسر حجمی هوا و عدد فرود موثر بر جریان اثرات مهمی بر تغییر فصل مشترک دوفاز ایجاد می کنند (سامانی، برقی و سعیدی، ۱۳۸۵).

۲-۳ الگوهای جریان در خطوط لوله افقی

هفت نوع الگوی توزیع، برای جریانهای دوفازی در خطوط لوله افقی، وجود دارد. این الگوهای جریان در شکل ۲-۱ ارائه شده اند به طوریکه برای هر رژیم جریان مقادیر تجربی سرعت هرفاز برای مخلوطی از گازهایی با جرم ویژه نزدیک به جرم ویژه هوا و مایعاتی با گرانشی کمتر از صد سانتی پوایز داده شده است (Beggs-Brill, 1973).

۲-۳-۱ جریان حبابی^۱

در این نوع جریان نرخ حجمی گاز نسبتاً کم بوده و نرخ حجمی مایع نسبتاً زیاد است و جریان حبابی بصورت حباب های کوچک گاز تحت تاثیر اختلاف چگالی در قسمت فوقانی لوله ظاهر می شود و در این نوع جریان فاز پیوسته مایع و فاز ناپیوسته گاز است. با افزایش نرخ حجمی فاز گاز اندازه ی حباب ها به تدریج افزایش می یابد. سرعت ظاهری فاز مایع در این نوع رژیم بین ۵ تا ۱۵ فوت بر ثانیه است و سرعت ظاهری گاز بین ۱ تا ۱۰ فوت بر ثانیه است.

۲-۳-۲ جریان تویی یا قالبی^۲

اگر سرعت حباب های گازی در جریان حبابی افزایش یابد تعداد حبابهای فاز گاز افزایش می یابد بطوریکه حباب ها بهم متصل شده و حباب های بزرگ و تویی شکل نزدیک جداره بالایی لوله تشکیل می دهند و به صورت پلاگ هایی در می آیند، به این نوع جریان جریان تویی یا قالبی گفته می شود.

۲-۳-۳ جریان لایه ای یا جدا از هم^۳

اگر سرعت پلاگ های گازی در جریان پلاگی افزایش یابد دوفاز مایع و گاز از هم جدا شده و جریان جدا از هم شکل می گیرد و فاز گاز که دارای سرعت بیشتری نسبت به فاز مایع است در قسمت بالایی و مایع در قسمت پایینی لوله حرکت می کنند و تداخل دوفاز به ندرت اتفاق می افتد و فصل مشترک آنها منظم و صاف است. سرعت ظاهری فاز مایع کمتر از ۰/۵ فوت بر ثانیه و سرعت ظاهری فاز گاز بین ۲ تا ۱۰ فوت بر ثانیه است.

^۱ Bubble Flow

^۲ Plug Flow

^۳ Strait Flow

۲-۳-۴ جریان موجی^۱

در این نوع جریان سرعت فاز گازی از سرعت فاز مایع بیشتر می شود و بین فازهای گاز و مایع تنش هایی ایجاد شده که باعث ایجاد موج هایی در فصل مشترک می گردد که این امواج در امتداد جریان حرکت می کنند. سرعت ظاهری فاز مایع کمتر از ۱ فوت بر ثانیه و سرعت ظاهری فاز گاز حدود ۱۵ فوت بر ثانیه است.

۲-۳-۵ جریان لخته ای^۲

در خطوط لوله افقی و مواردی که نرخ جریان مایع زیاد باشد، افزایش سرعت گاز منجر به افزایش دامنه موجهای سطحی مایع در فصل مشترک گاز و مایع می شود که ضمن آن، موجها به جداره ی فوقانی لوله برخورد کرده و لخته های مایع تشکیل می شود و در جریان موجی باعث برهم زدگی پیوستگی فاز مایع شده و لخته هایی از فاز مایع در فاز گاز به وجود می آید. حبابهایی بنام حباب تیلور که دارای ابتدا و انتهای گرد شده هستند شکل می گیرد. لخته هایی مایع درچنین حالتی می توانند باعث لرزش هایی شدید و دربرخی موارد ایجاد خطر درون تجهیزات واقع در مسیر خط لوله و مراکز جمع آوری شوند. از ویژگی های این نوع رژیم جریان می توان از نوسانات منظم در تغییرات فشار و مقدار مایع تجمع یافته نام برد که معیار مناسبی برای تشخیص این نوع رژیم جریان می باشد.

۲-۳-۶ جریان حلقوی^۳

در این جریان چون سرعت فاز گاز خیلی بیشتر از فاز مایع است، فاز مایع به جداره درونی لوله چسبیده و حرکت آرام داشته و فاز گاز از وسط فاز مایع به صورت منظم عبور می کند. این جریان دوفاز مایع و گاز به صورت دو استوانه متداخل درون لوله جاری هستند (مایع برروی جداره داخلی لوله و گاز در مرکز

^۱ Wave Flow

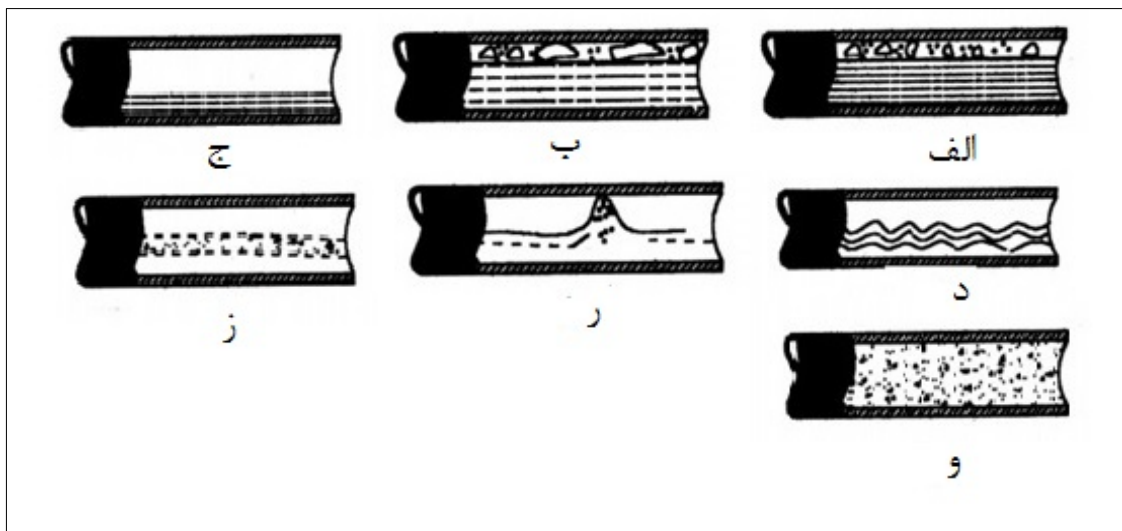
^۲ Slug Flow

^۳ Annular Flow

لوله می باشد). سرعت ظاهری فاز گاز بیشتر از ۲۰ فوت بر ثانیه است. بررسی دقیق این نوع الگوی جریان به جهت میزان خوردگی سایشی، افزایش بازدهی خط انتقال، پیش بینی مقدار مایع تجمع یافته، تعیین ضخامت فیلم مایع روی دیواره لوله و محاسبه افت فشار سیال، جهت طراحی خطوط لوله انتقال و تجهیزات انتهایی آن، از اهمیت خاصی برخوردار است.

۲-۳-۷ جریان قطره ای یا افشانه ای^۱

با افزایش نرخ جریان فاز گاز در جریان حلقوی، فاز گاز، فاز مایع را به صورت قطرات ریزی انتقال خواهد داد. احتمالاً چنین جریانی وقتی شکل می گیرد که سرعت ظاهری فاز گاز بیش از ۲۰ فوت بر ثانیه باشد. در مواردی که نرخ جریان گاز نسبتاً زیاد و نرخ جریان مایع نسبتاً کم باشد، فاز مایع در داخل فاز گاز به صورت ذرات بسیار ریز و پراکنده تبدیل شده و اصطلاحاً فضایی شبیه مه به وجود می آید. در این حالت جریان را مه آلود می نامند. بعضی از خطوط لوله انتقال سیستم های گاز میعانی در مواقع خاصی در این نوع الگوی جریان قرار دارند.



شکل ۱-۲ الگوهای جریان دوفازی موجود در خطوط لوله افقی مطابق (Beggs-Brill, 1973)

(الف: حبابی، ب: قالبی، ج: لایه ای، د: موجی، ر: لخته ای، ز: حلقوی، و: قطره ای)

^۱ Spray Flow

۲-۴ الگوهای جریان در خطوط لوله قائم

در خطوط لوله قائم نیز الگوهایی ظاهر می شوند که تفاوت چندانی با الگوهای جریان در خطوط لوله افقی ندارند. توزیع فازهای گاز و مایع درون خطوط لوله قائم انتقال جریان دوفازی در شکل ۲-۲ نشان داده شده است، الگوی توزیع فازها در این خطوط لوله، به صورت زیر تقسیم بندی می شوند:

۲-۴-۱ جریان حبابی

در این نوع رژیم جریان، فاز مایع بصورت پیوسته و فاز گاز بصورت پراکنده (حبابهای ریز) درون مایع بطرف بالا حرکت می کند. سرعت فازها در این نوع جریان بدلیل اختلاف جرم ویژهی فازها، متفاوت می باشد. معمولاً حبابهای ریز گاز با سرعت ظاهری کمتر از ۲ فوت بر ثانیه از درون فاز مایع عبور می کند.

۲-۴-۲ جریان لخته ای

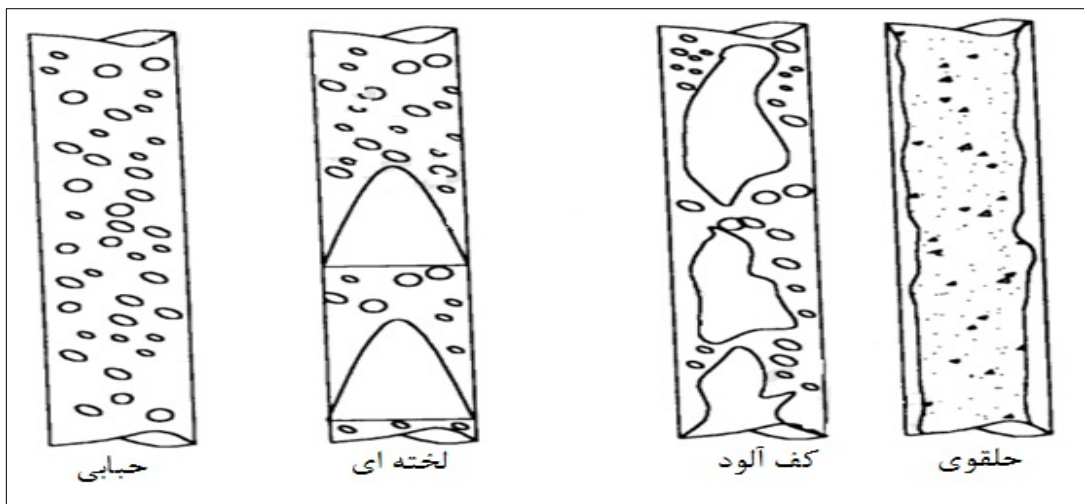
در جریان حبابی با افزایش سرعت فاز گاز، تعداد حبابها افزایش یافته و از برخورد و بهم پیوستن آنها با یکدیگر چند گنبد چتری شکل گازی بوجود می آید که در قسمتهایی از لوله، تمام سطح مقطع لوله را اشغال می کنند. در عمل، این نوع جریان بصورت منقطع از فازهای مایع و گاز، دارای افت فشار زیاد و همچنین از نظر فرایندی با ایجاد سروصداهای ناهنجار و آسیب دیدگی تجهیزات، همراه است. در طراحی خطوط لوله جریان دوفازی، سعی می شود که حتی الامکان از ایجاد چنین رژیم جریانی، اجتناب شود. در این حالت، سرعت ظاهری فاز گاز ۲ الی ۳۰ فوت بر ثانیه تغییر می کند.

۲-۴-۳ جریان کف آلود یا انتقالی^۱

در جریان لخته ای با افزایش سرعت جریان، توده های گاز شکسته شده و جریان ناپایدار و انتقالی بین دو جریان لخته ای و حلقوی، شکل خواهد گرفت. در خطوط لوله جریان با قطر زیاد، حرکت نوسانی مایع به سمت بالا و پایین رخ خواهد داد در حالیکه در لوله های باریک، این حرکت نوسانی به وقوع نخواهد پیوست و حرکت انتقالی بین دو نوع جریان لخته ای و حلقوی بسیار گذرا خواهد بود.

۲-۴-۴ جریان قطره ای^۲

در این نوع الگوی جریان، فاز گاز بصورت پیوسته و فاز مایع بصورت ذرات ریز به همراه آن در حرکت است. بطوریکه فاز گاز، فاز مایع را بصورت قطرات ریز انتقال می دهد. در این حالت، تغییرات فشار سیال توسط فاز گاز کنترل می شود. اطلاعات تجربی نشان می دهد که به ازای سرعت ظاهری گاز بیش از ۷۰ فوت بر ثانیه، چنین جریانی رخ خواهد داد. باید توجه داشته اگر سرعت ظاهری فاز گاز بیش از ۳۰ فوت بر ثانیه و سرعت ظاهری فاز مایع کمتر از ۲ فوت بر ثانیه باشد، این نوع رژیم جریان به جریان حلقوی تبدیل خواهد شد.



شکل ۲-۲ الگوهای جریان دوفازی روبه بالا در خطوط لوله قائم (Cindric et al, 1987)

^۱ Churn(Transition) Flow

^۲ Mist Flow

۲-۵ الگوهای جریان در خطوط لوله شیبدار

شیب لوله از حالت افقی حتی به میزان اندک، تاثیر مهمی بر رشد یا از بین رفتن ناپایداری ها دارد و این موضوع در مطالعات بسیاری ذکر شده است. بارنی و همکارانش در سال ۱۹۸۰ جریان آب و هوا درون لوله های با شیب مثبت ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و ۱۰ درجه و لوله های با شیب منفی ۱، ۲، ۵ و ۱۰ درجه را مطالعه کردند (Barnea et al,1980).

اندروسی و پرسن در سال ۱۹۸۷ جریان آب و هوا در لوله با قطر ۵ سانتی متر با شیب های منفی ۰/۶۵ درجه و ۲/۱ درجه و استنیسلاو و همکاران در سال ۱۹۸۶ لوله های با شیب مثبت تا ۹ درجه را مورد مطالعه قرار دادند. گرولمان و همکاران در سال ۱۹۹۶ جریان آب-هوا و تترادکان^۱-هوا را در لوله های با قطر ۲/۶ و ۳/۱ سانتی متر در شیب های مثبت و منفی اندک نسبت به افق مطالعه کردند (Grolman ,1996 ; Stanislav,1986 ; Adreussi ,Persen,1987).

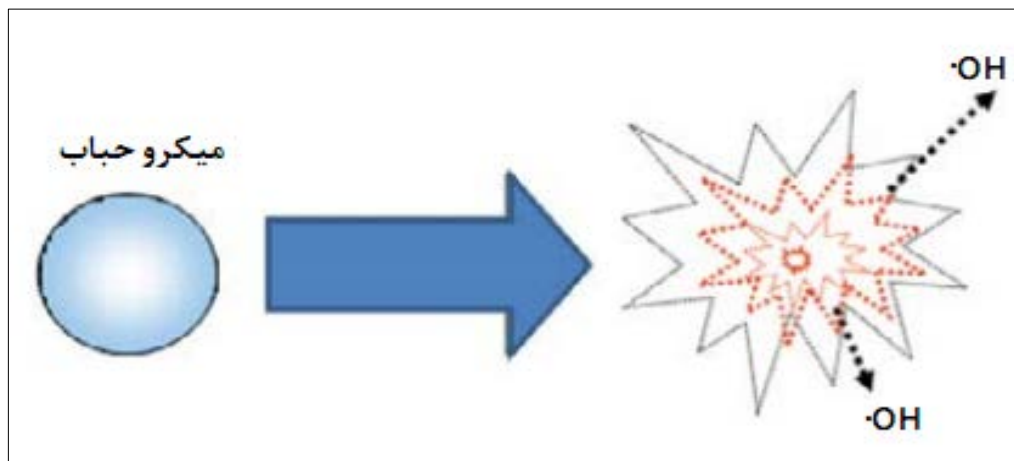
تمامی این پژوهشگران بیان کرده اند که شیب منفی لوله موجب می شود ناپایداری های ایجاد شده در جریان لایه ای زودتر از بین رود و به پایداری جریان کمک می کند و بالعکس شیب مثبت لوله موجب رشد سریعتر ناپایداری ها و تغییر سریعتر رژیم جریان لایه ای به رژیم اسلاگ می شود. در هنگام اجرای خط لوله باید تا حد امکان از شیبدار شدن مثبت لوله جلوگیری نمود و در صورت امکان برای اطمینان از پایداری جریان دوفازی لایه ای، به لوله شیب منفی داد (انصاری، محمدرضا و بهنود پروین کردستانی، ۱۳۸۶).

۲-۶ کلیاتی درباره ی میکرو-نانو حباب ها

میکرو حباب ها و نانو حباب ها، حباب های بسیار کوچکی از هوا هستند که به ترتیب دارای ابعاد ۱۰-۵۰ میکرومتر و کمتر از ۲۰۰ نانومتر می باشند. میکرو حباب ها و نانو حباب ها هر یک رفتار منحصر به

^۱ tetradcane

فردی از خود نشان می دهند و با توجه به این موضوع کاربردهای متفاوتی در تصفیه آب خواهند داشت. یک حباب معمولی (ماکرو حباب) مسیری به سمت بالا را با سرعت زیاد طی می کند و پس از رسیدن به سطح متلاشی می شود و همچنین یک نانو حباب می تواند درون آب در جهت های مختلفی حرکت کند و برای مدت زمان طولانی (مثلا چند ماه) پایدار بماند و به تدریج حباب کوچک شود تا محو گردد. میکرو حباب ها بیشتر جهت تخریب آلاینده ها مورد استفاده قرار می گیرد چراکه زمانی که میکرو حباب در میانه راه متلاشی شده منجر به تولید رادیکال های OH و موج شوک در آن ناحیه می گردد. ترکیدن میکرو حباب می تواند منجر به متلاشی شدن آلاینده های آلی محلول در آب مثل آفت کش ها شود. همچنین ترکیدن میکرو حباب می تواند به میکرو بزدایی آب کمک کرده و نسبت به روش های مرسوم مثل کلرزنی آب، کم هزینه تر بوده و اثرات جانبی ناچیزی خواهد داشت. گاز میکرو حباب در بیشتر موارد هوا و یا نیتروژن می باشد اما استفاده از گاز ازن نیز جهت تولید میکرو حباب، تاثیرات قابل توجهی در رفع آلودگی آب خواهد داشت.



شکل ۲-۳ تاثیر میکرو حباب ها در رفع آلاینده های آلی و میکروبی (M.Takahashi,2007)

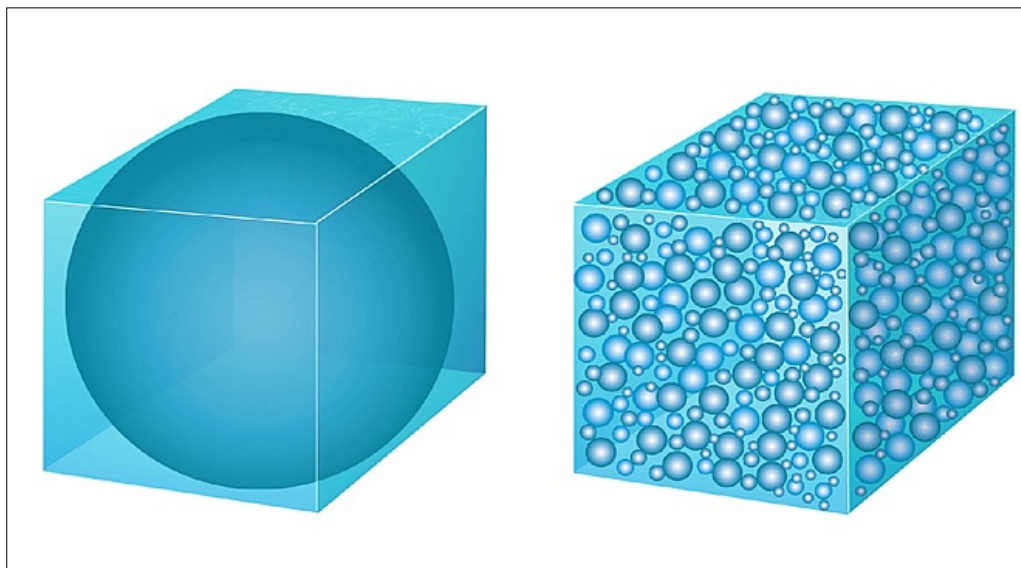
نانو حباب ها برخلاف میکرو حباب ها قدرت تخریبی بالایی ندارند اما ماندگاری بالایی داشته و میتوانند در همه جهت ها حرکت کنند. این ویژگی نانو حباب ها این امکان را می دهد که برای حمل و جابه جایی ذرات معلق و آلاینده های موجود در آب بسیار مناسب باشند.

۲-۶-۱ مقایسه نانوحباب ها و حباب های معمولی

نانو حباب در مقایسه با حباب های معمولی چندین مزیت دارند از جمله:

الف) نانوحباب ها گستره ی بیشتری را پوشش می دهند: حباب های معمولی با سرعت به سمت بالا حرکت می کنند و ذرات معلق که در مسیر مستقیم سر راه آنها قرار می گیرد را می توانند با خود به سطح بیاورند، اما نانوحباب ها با همان حجم از هوا، به صورت مارپیچی حرکت کرده و محدود بسیار زیادی را پوشش می دهند.

ب) نسبت سطح به حجم زیاد نانوحباب ها : نانوحباب ها نسبت سطح به حجم بسیار بیشتری در مقایسه با حباب های معمولی دارند در نتیجه ذرات معلق بیشتری با خود حمل می کنند.



شکل ۲-۴ نسبت سطح به حجم بالای نانوحباب ها در مقایسه با حباب معمولی

پ) ارتفاع عملکرد شناورسازی ذرات معلق آب : عملکرد حباب های معمولی بدین صورت است که ذرات معلق به سطح خارجی حباب چسبیده تا زمانی که به سطح آب هدایت شوند. در این شرایط ممکن است در میانه راه برخی از ذرات معلق از حباب جدا شوند. اما نانوحباب ها هر ذره معلق را احاطه می کنند، به طوری که احتمال رها شدن این ذرات معلق بسیار کم می شود.

ت) توانایی پاک کنندگی سطوح و منافذ: نانو حباب ها می توانند در جهت پاکسازی و رفع آلودگی های تاسیسات زیر آب موثر واقع شوند. نانوحباب ها می توانند در جهت های مختلف (نه تنها پایین به بالا) حرکت کنند و به منافذ ریز نیز ورود پیداکنند. با این ویژگی، می توانند آلودگی های متصل به سطوح و درزها در زیر سطح آب را جدا کرده و با خود حمل کنند. این رسوبات و آلودگی ها که محل مناسبی برای رشد عوامل بیماری زا می باشد. به صورت ویژه می توان نانوحباب ها را جهت رفع رسوبات از روی منافذ غشاهای فیلتری و یا غشاهای نانو فیلتراسیون مورد استفاده قرار دارد. این فناوری به صورت چشمگیری منجر به افزایش طول عمر و کارکرد غشا می شود.

۲-۶-۲ ویژگی های میکرو-نانو حباب ها

در ادامه ویژگی های میکرو حباب ها و نانو حباب ها با جزئیات بیشتر بیان می شود:

۱- سطح مشترک زیاد:

میکرو حباب ها و نانو حباب ها دارای سطح ویژه بالایی هستند. سطح مشترک a بصورت نسبت سطح رویی حباب ها به واحد حجم تعریف می شود.

$$a = \frac{\text{سطح } A}{\text{حجم } V} \quad \text{رابطه (۲-۵):}$$

برای یک حباب کروی به قطر d_b خواهیم داشت:

$$a = \frac{4\pi r^2}{\left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3} = \frac{3}{r} = \frac{6}{d_b} \quad \text{رابطه (۲-۶):}$$

بنابراین با کاهش قطر حباب، سطح ویژه آن افزایش می یابد (Li et al, 2013).

۲- فشار داخلی زیاد:

اختلاف فشار داخلی و بیرونی میکرو نانوحباب ها خیلی زیاد است. فشار گاز درون یک حباب، بزرگ تر از فشار بیرون آن است که این ناشی از کشش سطحی می باشد. فشار داخلی حباب ها از معادله یانگ-لاپلاس محاسبه می شود (Atkins and de Paula, 2006).

$$P_g = P_L + \frac{4\sigma}{d_b} \quad \text{رابطه (۷-۲):}$$

که در آن P_L و P_g به ترتیب فشار گاز و فشار مایع (Pa)، σ کشش سطحی ($N.m^{-1}$) و d_b قطر حباب (m) است. با توجه به رابطه (۷-۲) می توان مشاهده کرد که فشار داخلی حباب ها با قطر آن رابطه ی عکس دارد. به عنوان مثال یک ماکرو حباب به قطر یک میلی متر، فشار داخلی 0.102 مگا پاسکال در آب دارد، در حالی که یک میکرو حباب به قطر 10 میکرومتر فشار داخلی 0.130 مگاپاسکال دارد (Millero, 2001). میزان کشش سطحی $\sigma = 0.072785$ ($N.m^{-1}$) فرض شده است.

جانگرن و اریکسون در سال ۱۹۹۷ از طریق محاسبات برپایه انتقال جرم از گاز در رابطه حباب به حجم مایع، و باتوجه به معادله یانگ لاپلاس، دریافتند که عمر یک تک حباب گاز با شعاع 100 نانومتر، 100 میکروثانیه خواهد بود (Ljunggren, Eriksson, 1997).

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 با نیروهای کشش سطحی خواهد شد (Fernada YumiUshikubo, Takuro Furukawa, 2010).

۳- سرعت بالا آمدن آهسته:

سرعت بالا آمدن نهایی میکرو حباب ها و نانو حباب ها بسیار کند است، پس از تشکیل یک حباب به سرعت، به سرعت نهایی خود می رسد (Li and Tsuge, 2006). برای حباب های کوچک کروی اندازه سرعت نهایی با استفاده از قانون استوک قابل محاسبه است (Clift et al, 2005).

$$u_b = \frac{\rho g d_b^2}{18\mu} \quad \text{رابطه (۲-۸):}$$

که در آن ρ چگالی مایع ($\frac{kg}{m^3}$)، g شتاب گرانش ($\frac{m}{s^2}$)، μ ویسکوزیته مایع (Pa.s) و d_b قطر حباب (m) است. قانون استوک فقط برای حباب های کوچک با سطح ثابت قابل استفاده است. برای مواردی که حباب ها دارای سطح متحرک باشند از معادله ی Hadamard-Rybczynki استفاده می شود.

$$u_b = \frac{\rho g d_b^2}{12\mu} \quad \text{رابطه (۲-۹):}$$

بار سطحی و سرعت بالا آمدن حباب ها فاکتورهای اصلی در تشخیص خصوصیات میکرو حباب ها و نانو حباب ها است (Agarwal et al, 2011).

۴- سطح باردار منفی:

در هر سلول الکتروفورز میکرو حباب ها به سمت الکتروود با بار مخالف حرکت می کنند. بار سطحی هر میکرو حباب با توجه به سرعت حرکت آن و مقدار پتانسیل زتا تعیین می گردد. در حقیقت به علت ایستایی بالای میکرو حباب ها مقدار پتانسیل زتای آن ها را می توان به راحتی اندازه گیری کرد. در آب مقطر میکرو حباب های هوا، زتا پتانسیل را تا حدود ۳۵- میلی ولت افزایش می دهند. بنابراین می توان گفت که میکرو حباب ها در دامنه ی گسترده ای از pH، دارای بار منفی هستند و در واقع قسمتی از ثبات نانو حباب ها به بار الکتریکی سطح حباب مربوط است (Takahashi, 2005).

۵- انحلال زیاد گاز و نرخ انقباض بالا:

با کاهش قطر حباب، فشار داخلی حباب افزایش می‌یابد و با افزایش فشار داخلی، انحلال پذیری نانوحباب ها در آب افزایش می‌یابد. بنابراین از آنجایی که با افزایش فشار داخلی انحلال گاز در مایع افزایش می‌یابد، نرخ کوچک شدن میکرو حباب ها نسبت به ماکرو حباب ها بیشتر است (Tsuge, 2014).

۶- تولید رادیکال های آزاد:

اندازه میکرو حباب ها به علت انحلال گازهای درونی در آب و ایستایی بالا به تدریج کاهش می‌یابد. در اثر انحلال و متلاشی شدن میکرو حباب ها، نانوحباب ها به وجود می‌آیند و در طی این فرآیند رادیکال های آزاد تولید می‌گردند که به علت واکنش پذیری بالا به عنوان ضدباکتری و ضدبو مورد استفاده قرار می‌گیرند (Takahashi, 2009).



۲-۷ روش های تولید میکرو حباب ها

برای تولید میکرو حباب ها به طور معمول از نازل و یا روزنه استفاده می‌شود (Terasaka and Tsuge, 1990; Tsuge, 1986). حباب‌های ریز معمولاً به وسیله‌ی خروجی‌های خلل و فرج دار (Miyahara and Tanaka, 1997)، نازل های جریان ثابت (Terasaka and Tsuge, 1993)، غشا (Yazawa et al, 1988)، پخش کننده گاز که با میکس کننده ها ترکیب شده اند (Forrester et al, 1982 1998) تولید می‌شوند. اما تولید میکرو حباب ها با این روش‌های ذکر شده در بالا به علت جلوگیری از به هم آمیختگی حباب ها سخت است (Li and Tsuge, 2006). به همین علت میکرو حباب ها اغلب به وسیله‌ی روش های مختلفی تولید می‌شوند که می‌توان آنها را به سه دسته برحسب نوع مکانیزمشان تقسیم کرد:

- نوع فشاری

- نوع کاویتاسیونی

- نوع جریان چرخشی

۲-۷-۱ نوع فشاری^۱

سیستم تولید میکرو حباب نوع فشاری، بر پایه قانون هنری استوار است. بر اساس این قانون در فشار بالا گاز بیشتری می تواند داخل مایع حل شود. در مولد نوع فشاری، مایع در فشار بالا با گاز اشباع شده و سپس از طریق یک کانال نازل در محیط معمولی با فشار اتمسفر تزریق می شود. در فرایند سقوط ناگهانی فشار میکرو حباب ها تشکیل می شوند. این نوع روش تولید میکرو حباب در سیستم های تصفیه آب و فاضلاب به کار می رود. سیستم شناور سازی هوای محلول (DAF) از این نوع می باشد که در آن هوا در فشار ۰/۴ تا ۰/۵ مگاپاسکال در آب حل شده و سپس از طریق نازل های کاهش فشار به یک مخزن آزاد می شود. اندازه حباب های تولید شده با استفاده از سیستم نوع فشاری بین ۱۰-۱۰۰ میکرومتر می باشد (Vlyssides et al, 2004). علاوه بر این میانگین اندازه حباب ها با افزایش فشار اشباع کاهش پیدا می کند. اما افزایش فشار در بالاتر از ۰/۵ مگاپاسکال تاثیر خیلی کمی بر اندازهی حباب ها دارد (Han et al, 2002).

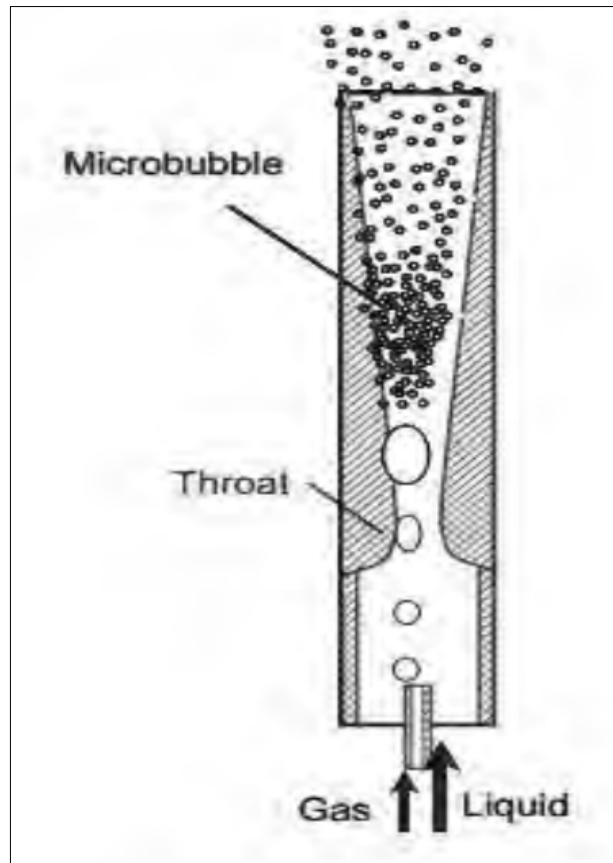
۲-۷-۲ نوع کاویتاسیونی^۲

زمانی که فشار محیطی در یک نقطه از سیال به زیر فشار بخار می رسد، سیال در دمای محیط دچار یک تغییر فاز می شود که منجر به تولید فضاهای خالی می شود که به آن حباب های کاویتاسیون گفته می شود. کاویتاسیون در پمپ ها، پروانه ها و موتورهای رخ می دهد که معمولا در اکثر این موارد فرایندی نامطلوب و زیان آور است. با این حال محققان برای تولید میکرو حباب از این پدیده استفاده می کنند.

^۱ Pressurization Type

^۲ Cavitation Type

لوله ونتوری یک مثال از همین مورد می باشد (Takamura, 2004; Fujiwara et al, 2003). همانطور که در شکل نشان داده شده است، لوله ی ونتوری دارای یک شکل مخروطی می باشد (Fujiwara 2006). اگر یک پمپ سیال را به داخل لوله ونتوری منتقل کند در بخش فشرده لوله ونتوری افزایش سرعت رخ می دهد و همزمان فشار کاهش پیدا می کند که این امر منجر به مکش گاز از طریق لوله ونتوری می شود. زمانی که فشار در پایین دست دوباره بیشتر می شود حباب های وارد شده به سیال تجزیه می شوند که این مسئله منجر به تولید حباب های کوچک تر می شود (Fujiwara 2006). گاز تشکیل دهنده حباب نیز بر وقوع کاویتاسیون تاثیر دارد. حال در سال ۱۹۷۰ دریافت کاویتاسیون به طور مستقیم به محتوی هوای نامحلول بستگی دارد. کاویتاسیون را می توان از طریق افزودن مواد شیمیایی آلی بهبود بخشید، 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 متلاشی شدن و بهم آمیختگی آنها است (Holl, 1970).

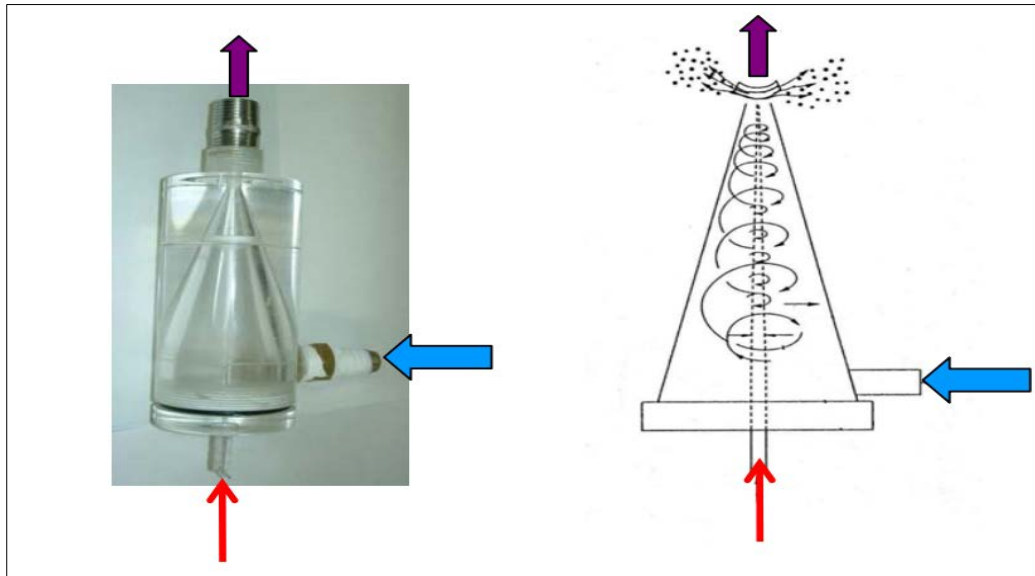


شکل ۲-۵ شماتیک از مولد میکرو حباب نوع کایتاسیونی (لوله ونتوری) (Fujihara, 2006)

۲-۷-۳ نوع جریان چرخشی^۱

طرح شماتیک مولد میکرو حباب نوع جریان چرخشی در شکل (۲-۶) نشان داده شده است (Tutsumi, 2004). این نوع مولد دارای شکل مخروطی می باشد. تولید میکرو حباب با پمپاژ آب از مسیر مماسی به داخل مولد آغاز می شود، سیال با یک حرکت چرخشی در راستای دیوار داخلی، جریان پیدا می کند که منجر به ایجاد یک گردابه می شود. مرکز گردابه دارای سطح فشار پایین می باشد، به همین دلیل گاز به داخل آن وارد می شود. زمانی که سیال هوا را از مولد با سرعت چرخشی بسیار بالا خارج می کند، هوا تبدیل به حباب های میکرو می شود.

^۱ Rotating-Flow Type



شکل ۲-۶ شماتیک مولد میکروحباب نوع جریان چرخشی (Tatsumi, 2004)

در پژوهش حاضر نیز از نوع کاویتاسیونی استفاده شده است. در لوله ی ونتوری که رایج ترین ابزار کاویتاسیون هیدرودینامیکی است، در ناحیه همگرایی مخروطی این 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 دیگری 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).

۲-۸ پردازش تصاویر

یکی از روش های نسبتاً جدید که در علم هیدرولیک نیز مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از تصاویر دیجیتال و پردازش اطلاعات آنها است. برخلاف چشم انسان که صرفاً قادر به دیدن محدوده ی مرئی طیف الکترومغناطیسی نور است، ماشین های تصویربرداری تقریباً تمامی طیف الکترومغناطیس، که از اشعه ی گاما تا امواج رادیویی گسترده است، را تشخیص می دهند. بنابراین پردازش تصاویر کاربردهای گسترده و متنوعی را در بر می گیرد. یک تصویر را می توان به صورت یک تابع دو-بعدی $f(x, y)$ تعریف

کرد که (x, y) مختصات مکانی و f شدت تصویر در آن مختصات مکانی خاص می‌باشد. هنگامی که مقادیر $f(x, y)$ ، x و y بصورت محدود و ناپیوسته باشند، تصویر را یک تصویر دیجیتالی می‌نامند. با این توصیف، می‌توان هر تصویر دیجیتال با اندازه $M \times N$ را به صورت ماتریس زیر نمایش داد که آن را ماتریس تصویر می‌نامند:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

هر درایه ی این آرایه به عنوان المان تصویر یا پیکسل نامیده می‌شود. یک تصویر رنگی RGB آرایه ای $M \times N \times 3$ از پیکسل های رنگی است که هر پیکسل رنگی یک سه تایی متناظر از ترکیب رنگ های قرمز، سبز و آبی در مکانی خاص می‌باشد (جعفرنژاد قمی، ۱۳۹۰).

۲-۸-۱ پردازش تصاویر و برنامه نویسی به زبان متلب^۱

نرم افزار متلب (Matlab) یک زبان سطح بالا برای محاسبات فنی است و المان اصلی آن، آرایه می‌باشد. بدین ترتیب در متلب بسیاری از مسائل تکنیکی محاسباتی (مخصوصاً آنهایی که شامل نمایش ماتریسی هستند) در زمان کمتری نسبت به زبانی مانند C یا فورترن^۲ قابل انجام است.

این نرم افزار دارای خانواده‌ای از راه حل های کاربردی به نام جعبه ابزار^۳ می‌باشد. هر جعبه ابزار، مجموعه ای از توابعی به نام M-file یا M-function است که قابلیت متلب را برای حل یک مسأله بخصوص گسترش می‌دهد. یکی از جعبه ابزارهای بسیار کاربردی متلب، جعبه ابزار پردازش تصویر (IPT) نام دارد. این جعبه ابزار و گویایی زبان متلب باعث شده است تا عملیات پردازش تصویر به صورت فشرده واضح میسر گردد و از این رو متلب را در رده‌ی نخست نرم افزارهای پردازش تصویر قرار داده

^۱ Matlab

^۲ Fortran

^۳ Toolbox

است. با توجه به قابلیت های مناسب نرم افزار متلب، از این نرم افزار به منظور انجام عملیات پردازش تصویر استفاده شده است.

۲-۸-۲ پردازش تصویر و تحلیل جریان دوفازی

تعدادی از تحقیقاتی که توسط تکنیک پردازش تصویر به تحلیل جریان دوفازی و تعیین مشخصات حباب پرداخته شده در ادامه آورده شده است.

در تحقیق آزمایشگاهی یک روش جدید به شناسایی خودکار حباب در جریان حبابی-اسلاگی در یک لوله ی قائم کوچک پرداخته شد. این روش براساس تکنیک پردازش تصویر است (با اعمال فیلتر برای کاهش نویزها، شناسایی لبه ها و آستانه گیری). نسبت به روش های قدیمی مثل روش اندازه گیری نقطه به نقطه و یا استفاده از جدول دیجیتالی برای رقی کردن مزیت های بسیاری داشت. از جمله اینکه در این روش در زمان خیلی کوتاهی می توان چندین مورد را بررسی کرد. این روش به طور خودکار می تواند پارامترهای مربوط به حباب از جمله متوسط قطر و طول حباب را به طور دقیق شناسایی کند.

این پارامتر ها نقش مهمی را در پیش بینی دینامیک توزیع فضای خالی و رفتار فضای خالی در جریان دوفازی بازی می کند که در صنایع بسیاری از جمله فرایند های شیمیایی و راکتورهای هسته ای با آن مواجه می شوند (Bui Dinh and Choi, 1999).

در تحقیقی به مدلسازی آزمایشگاهی جریان دوفازی آب و هوا در تونل ها و مجاری تحت فشار و بهره گیری از تکنیک های پردازش تصاویر به منظور تعیین مشخصات ویژه نوسانی جریان دوفازی آب و هوا پرداخته شد. طبق بررسی ها، با افزایش دبی آب، طول موج امواج نوسانی و ارتفاع امواج کاهش می یابد. ضمناً با افزایش دبی هوا، ارتفاع موج و طول آن کوچک تر می شود. به صورت کیفی می توان ملاحظه کرد که با افزایش دبی هوا پریود امواج نوسانی منظم تر می شود. ضمن اینکه طول موج و پریود موج کاهش می یابند. بررسی انجام شده بر روی اطلاعات آزمایشگاهی نشان می دهد که طول موج در امواج

لخته ای به وجود آمده عموماً در محدوده ی ۱۰ تا ۸۵ برابر قطر مجرا است. طول حباب هوا نیز حدوداً یک سوم طول موج و حداکثر برابر نصف طول موج می باشد. با افزایش شیب مجرا نسبت به افق (شیب منفی) پیوند موج کاهش می یابد (کبیری سامانی، ۱۳۸۷).

در تحقیقی تکنیک پردازش تصویر برای اندازه گیری مشخصات جریان دوفازی در جریان اسلاگ در لوله افقی پرداخته شد. در تحقیقات اغلب به بررسی حالت عمودی پرداخته شده است و تعداد کمی بر روی لوله های افقی آزمایش کرده اند. شناسایی حباب تیلور در میان تعداد زیادی حباب در ناحیه ی اسلاگ چالش بزرگی است زیرا برای جداسازی فاز گاز از فاز مایع رفتار خاصی مدنظر است. با تکنیک پردازش تصویر بطور خودکار پارامترهای مربوط به حباب از جمله فرکانس، ابعاد و سرعت تخمین زده می شود. در تکنیک پردازش تصویر از قطعه بندی watershed و فیلتر top-hat و تبدیل H-minima برای شناسایی و تخمین سرعت حباب توسط عکس های گرفته شده استفاده شده است (Amaral et al, 2013).

در تحقیق دیگری از یک ستون حبابی مکعبی در اندازه ی آزمایشگاهی استفاده شد و با استفاده از روش عکسبرداری پرسرعت و ارائه ی روش های جدید پردازش تصویر، مهم ترین ویژگی های هیدرودینامیکی جریان حباب ها مانند قطر، سرعت، خطوط جریان فاز گاز و بسامد نوسان توده حباب ها اندازه گیری شد. ستون ساخته شده دارای سطح مقطع ۵*۲۰ سانتی متر و ارتفاع ۱۲۰ سانتی متر است. سرعت ظاهری گاز بین ۰/۱-۰/۷ سانتی متر بر ثانیه در تغییر است. از سه دوربین گوناگون با سرعت های ۲۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ تصویر در ثانیه برای اندازه گیری ویژگی های حباب ها استفاده شد و برای پردازش تصویرها، تحلیل داده ها و محاسبه ی ویژگی های حباب از نرم افزار متلب استفاده شد. بسامد نوسان توده حباب با روشی نو و با دقت ۹۵٪ به دست آمد. اندازه قطر ستر حباب ها، در شرایط همپوشانی حباب ها از ۶/۵ تا ۸/۵ میلی متر و با دقت ۹۹/۸٪ محاسبه شد. سرعت حباب ها با استفاده از روش

کمترین فاصله با یک حد بالا برای اولین بار در ستونی با این ابعاد به دست آمد و با استفاده از برآیند مومنتوم، روشی برای به دست آوردن خطوط جریان فاز گاز ارائه گردید (اسدی و هرمزی، ۱۳۹۲).

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱ مقدمه

در این بخش تجهیزات آزمایشگاهی که مورد استفاده قرار گرفته اند شرح داده خواهد شد و همچنین به توضیح روش ساخت و نتوری و آزمایشات انجام گرفته و همچنین روش تهیه فیلم و تصاویر و چگونگی پردازش روی آنها پرداخته شده است .

۳-۲ مواد

-آب شهری مورد استفاده در آزمایشات دارای خصوصیات زیر در جدول (۳-۱) است:

جدول ۳-۱ مشخصات آب شهری (رفعتی، ۱۳۹۵)

جامدات محلول کل (ppm)	اکسیژن محلول (ppm)	هدایت الکتریکی (μs)	دما ($^{\circ}\text{C}$)	کدورت (NTU)	pH
۴۱۱	۳/۰۱	۶۱۷	۲۲	۰/۴۱	۸/۵۶

-رنگ خوراکی قرمز

۳-۳ پیکربندی آزمایشگاهی

- پمپ سانتریفیوژ DAB ساخت ایتالیا با توان ۰/۵ اسب بخار که توانایی دبی ۰/۶ تا ۲/۱۶ مترمکعب بر ساعت را دارد استفاده شده است.

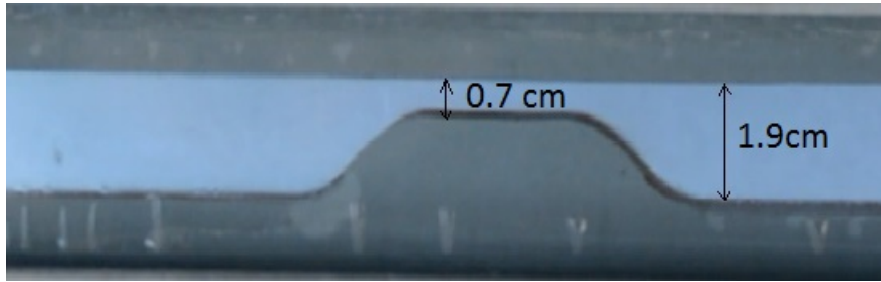
-لوله

-اتصالات

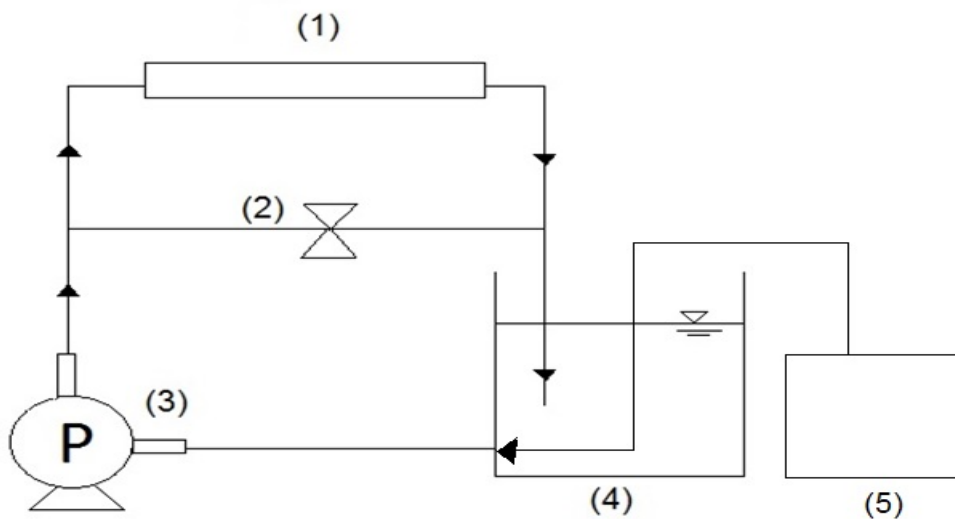
-مقطع آزمایش

۳-۴ مقطع آزمایش

در این پژوهش از قوطی آلومینومی به ابعاد $3/5 * 5/5$ سانتی متر و به طول ۱۵۰ سانتی متر استفاده گردید تا از ایجاد جریان یکنواخت اطمینان حاصل شود. به دلیل سرعت و فشار بالای جریان از شیشه های ۶ و ۸ میلیمتر در دو طرف استفاده شده که از شفافیت لازم برای عکسبرداری نیز برخوردار باشد. بعنوان تنگ شوندگی برای تولید ونتوری از فومیزه به قطر $1/6$ میلیمتر استفاده شده که به هنگام قرار گرفتن در معرض جریان دچار آسیب نگردد. برای برش فومیزه به قطر $1/6$ میلیمتر از دستگاه برش CNC استفاده گردید تا شیب ها از دقت کافی برخوردار باشد.



شکل ۳-۱ شمایل ونتوری ساخته شده در این تحقیق



شکل ۳-۲ شماتیک دستگاه (۱-مدل ۲- شیر by pass ۳- پمپ

آب ۴- مخزن آب ۵- کمپرسور هوا)

۳-۵ شرح آزمایش

در ابتدا آب به وسیله‌ی پمپ سانتریفیوژ از مخزن به داخل سیستم فرستاده می‌شود و هوای فشرده به وسیله‌ی کمپرسور وارد سیستم می‌شود. در مسیر جریان آب پس از پمپ یک جریان برگشتی در نظر گرفته شده است که با تنظیم شیر آن میزان آب ورودی به سیستم کنترل می‌شود. در این مطالعه با تغییر دادن مقدار شیر by pass مقدار سه دبی متفاوت به وسیله‌ی کرنومتر و ظرف ۲۰ لیتری اندازه‌گیری گردید. به منظور افزایش دقت و کاهش درصد خطا در انجام آزمایشات، تمامی آزمایش‌ها با سه بار تکرار انجام شد. پس از روشن کردن پمپ و گذشت چند دقیقه به منظور یکنواخت شدن جریان تزریق هوا به داخل مخزن آب انجام گرفت و از رفتار جریان و حباب‌های ایجاد شده تصویربرداری گردید.

- قرار دادن شیر by pass در زاویه‌ی ۴۵ درجه :

برای سه مقدار ۱۰ لیتر، ۱۲ لیتر و ۱۵ لیتر دبی جریان ۰/۱۶ لیتر بر ثانیه به دست آمد. سرعت متوسط آب در این حالت طبق رابطه‌ی (۱-۳) ۰/۵ متر بر ثانیه محاسبه گردید.

$$Q = VA \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

- قرار دادن شیر by pass در زاویه‌ی ۶۷/۵ درجه:

برای سه مقدار ۱۰ لیتر، ۱۲ لیتر و ۱۵ لیتر مقدار دبی جریان ۰/۲۹ لیتر بر ثانیه بدست آمد. سرعت متوسط آب در این حالت طبق رابطه‌ی (۱-۳) ۰/۹ متر بر ثانیه محاسبه گردید.

- قرار دادن شیر by pass کاملاً بسته و روی زاویه ۹۰ درجه :

برای سه مقدار ۱۰ لیتر، ۱۲ لیتر و ۱۵ لیتر از حداکثر توان پمپ استفاده شده و مقدار دبی ۰/۴۲ لیتر بر ثانیه به دست آمد. سرعت متوسط آب در این حالت طبق رابطه‌ی (۱-۳) ۱/۳۱ متر بر ثانیه محاسبه گردید.

۳-۶ روش تصویربرداری

به منظور محاسبه ی مساحت فازهای گاز و مایع و نواحی اختلاط شرایط آزمایشگاهی مانند نورپردازی، فاصله ی دوربین از مدل و سایر پارامترها به نحوی تنظیم شدند تا حباب ها و حرکت آنها به خوبی شناسایی شوند. در این مطالعه از دوربین پرسرعت dimax s1 کارخانه سازنده Pco ساخت کشور آلمان با حداکثر سرعت ۴۵۰۰ فریم بر ثانیه استفاده شده و در فاصله ی حدودا یک متری از مدل قرار گرفته است. تمرکز بر نمونه به گونه ای انتخاب شد تا تصاویر وضوح کافی برای تفکیک فازها از هم را داشته باشد. نورپردازی توسط دوپرژکتور صورت گرفت. برای تفکیک پذیری بهتر فازها از هم نور در پشت مدل به صفحه ای سفید تابانیده شد. برای کم کردن تاثیر سایر منابع روشنایی، آزمایش در اتاق تاریک در آزمایشگاه تحقیقاتی آشکارسازی و ردیابی واقع در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گرفت.



شکل ۳-۳ پایلوت در هنگام عکس برداری با اتاق تاریک و دوربین

تصویربرداری برای سه دبی متفاوت و برای هرکدام دوبار تکرار شد. رزولوشن تصویر ۱۰۰۸*۱۰۰۸ پیکسل انتخاب گردید. تنظیمات دوربین روی حالت حداکثر ۴۵۰۰ فریم بر ثانیه تنظیم گردید تا بعلت بالابودن سرعت جریان در صدم ثانیه رفتار حباب ها قابل بررسی باشد. تصاویر خروجی با فرمت jpg برای تجزیه و تحلیل و اندازه گیری پارامترها ذخیره شد. جهت بررسی و استخراج پارامترهای موردنظر مانند مساحت فازها، تصاویر تهیه شده در محیط نرم افزار متلب (MATLAB R2014b) پیاده گردید.

۳-۶-۱ پیش پردازش

در این مرحله با استفاده از نرم افزار متلب ابتدا تصویر اولیه به تصویر hsi تبدیل شد. بعلت رنگی بودن تصاویر از سیستم hsi استفاده شد تا با استفاده از پارامترهای h (نوع رنگ)، s (اشباع)، i (روشنایی) از رنگی بودن تصاویر در تفکیک فازها بهترین نتیجه دریافت شود. شکل ۳-۴ قسمت الف تصویر اولیه را نشان می دهد. با اعمال آستانه گذاری حداکثر ۰/۹ برای h (نوع رنگ) نواحی زاید تصویر شناسایی و حذف شد که در شکل ۳-۴ قسمت ب نشان داده شده است.



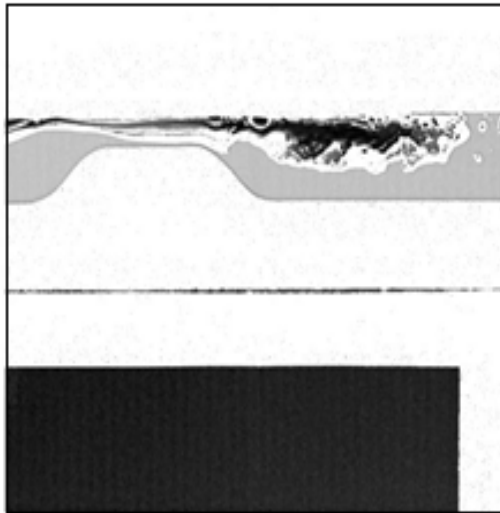
ب

الف

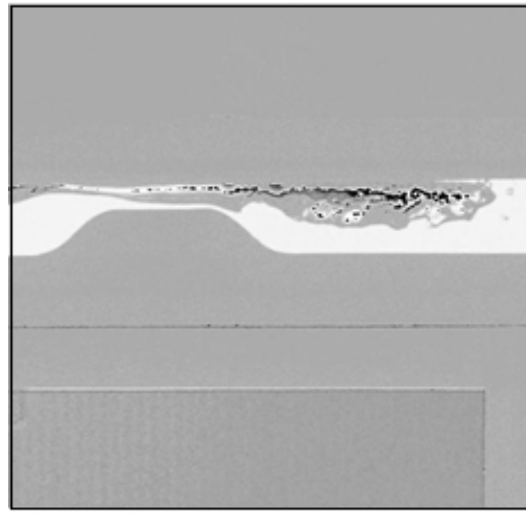
شکل ۳-۴ الف- تصویر اولیه ب- تصویر پس زمینه پس از حذف نواحی زاید

۳-۶-۲ استخراج داده ها:

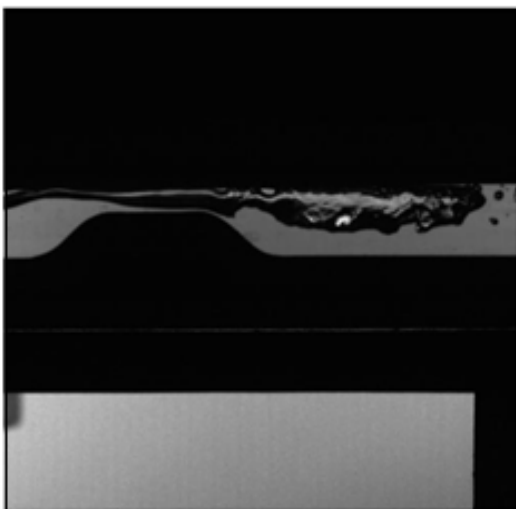
در شکل ۳-۵ تصاویر با فیلترهای نوع رنگ و اشباع و روشنایی نمایش داده شده است. با مقایسه ی تصاویر در حالت نوع رنگ و اشباع و روشنایی آستانه گذاری های مناسب برای تفکیک فازها انتخاب گردید. برای تفکیک فاز آب که با رنگ قرمز تعریف شده است آستانه ی حداکثر ۰/۵ برای روشنایی و حداقل ۰/۹۴ برای نوع رنگ استفاده شد و برای تفکیک فاز هوا که با رنگ خاکستری تعریف شده است آستانه ی حداکثر ۰/۳ برای اشباع و حداکثر ۰/۷ برای روشنایی استفاده گردید. برای تفکیک فاز حباب ها یا مخلوط آب و هوا که با رنگ مشکی تعریف شده است آستانه ی حداکثر ۰/۰۴ استفاده شده تا بیشترین تطبیق را با مدل اصلی داشته باشد.



ب



الف



ج

شکل ۳-۵ (الف: Hue ، ب: Saturation ، ج: Intensity)

۳-۶-۳ پردازش کل داده ها:

برای تمام تصاویر تهیه شده از آزمایش، پیش پردازش و استخراج داده ها به صورت خودکار انجام شد و پارامترهای مورد نظر محاسبه شد.

فصل چهارم

نتایج و بحث

در این تحقیق با آستانه گذاری مناسب سه فاز از هم تفکیک گردید و میزان تغییرات وحل شدن هوا در فاز آب مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه نتایج تفکیک فازهای مختلف برای سه دبی اندازه گیری شده آورده شده است. در این بخش تمامی نتایج به دست آمده از آزمایشات و تحلیل نتایج گزارش گردیده است.

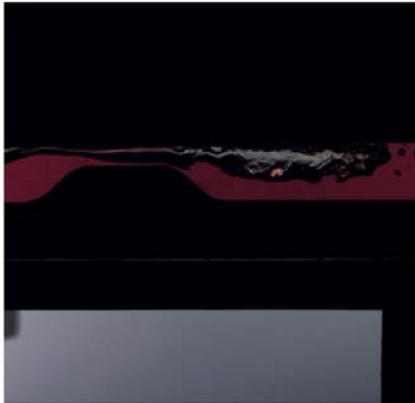
۴-۲- شیر تنظیم دبی در حالت ۴۵ درجه ($Q=0.16 \text{ lit/s}$)

با انتخاب آستانه های مختلف توسط نوع رنگ و اشباع و روشنایی فازها به سه قسمت رنگ قرمز، رنگ مشکی و رنگ خاکستری تفکیک گردید به گونه ای که تصویر حاصل بیشترین تطبیق را با مدل آزمایشگاهی داشته باشد. ناحیه تفکیک شده به رنگ سفید نمایش داده شده است.

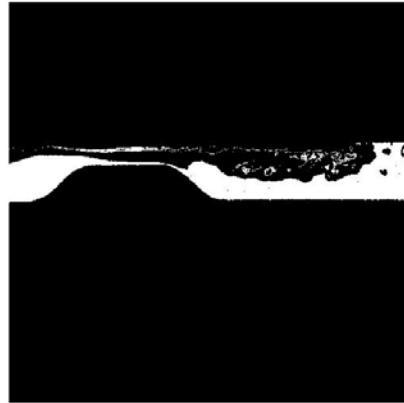
فرضیات: در این بخش از مطالعه، براساس شکل ۳-۴ رنگ قرمز معرف ناحیه ی آب و رنگ خاکستری معرف هوای وارد شده به مدل و منظور از رنگ مشکی حبابهای تشکیل شده است.

۱-۲-۴- نتایج تفکیک فیلتری به صورت عکس

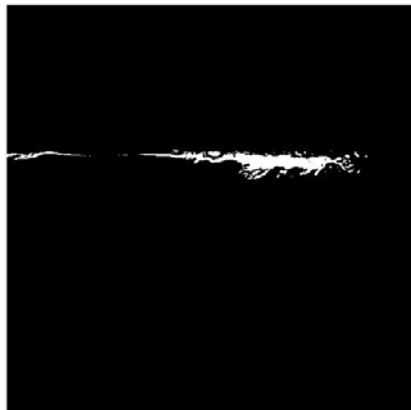
در شکل ۱-۴ نواحی بصورت تفکیک شده براساس اعمال آستانه ها که در قسمت ۳-۶-۲ توضیح داده شد نشان داده شده است. ناحیه ی مورد نظر در هر تصویر به رنگ سفید مشخص شده است.



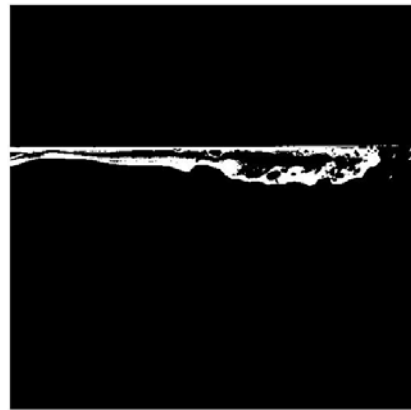
الف



ب



ج

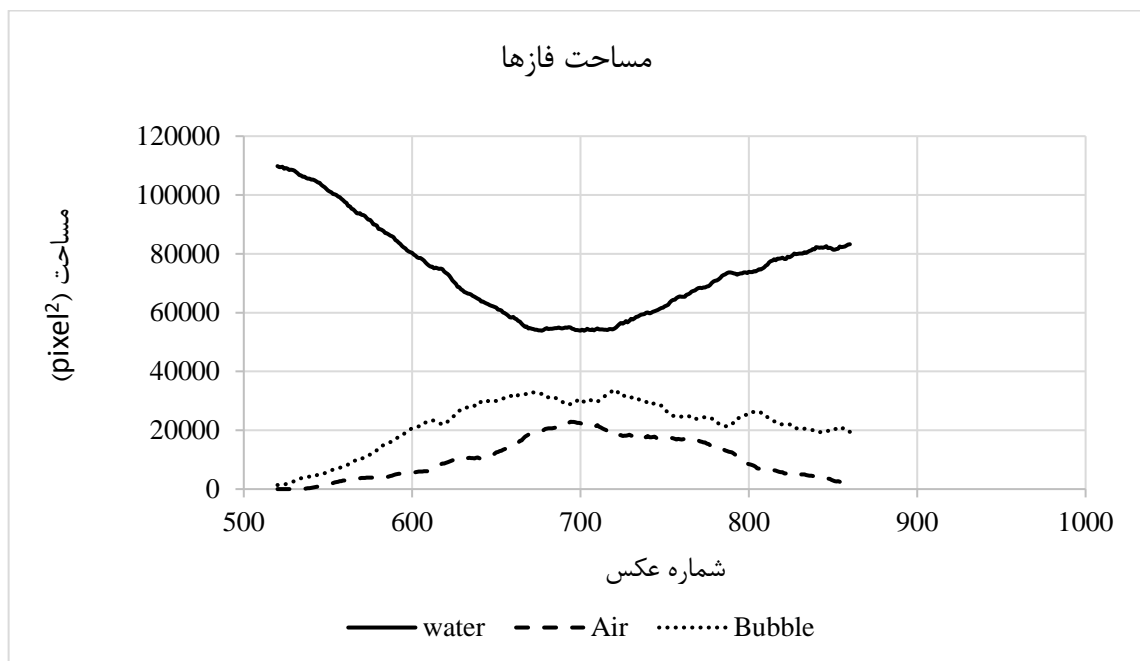


د

شکل ۱-۴ اعمال آستانه ها (الف: تصویر اولیه، ب: تفکیک ناحیه قرمز رنگ، ج: تفکیک ناحیه خاکستری، د: تفکیک ناحیه مشکی)

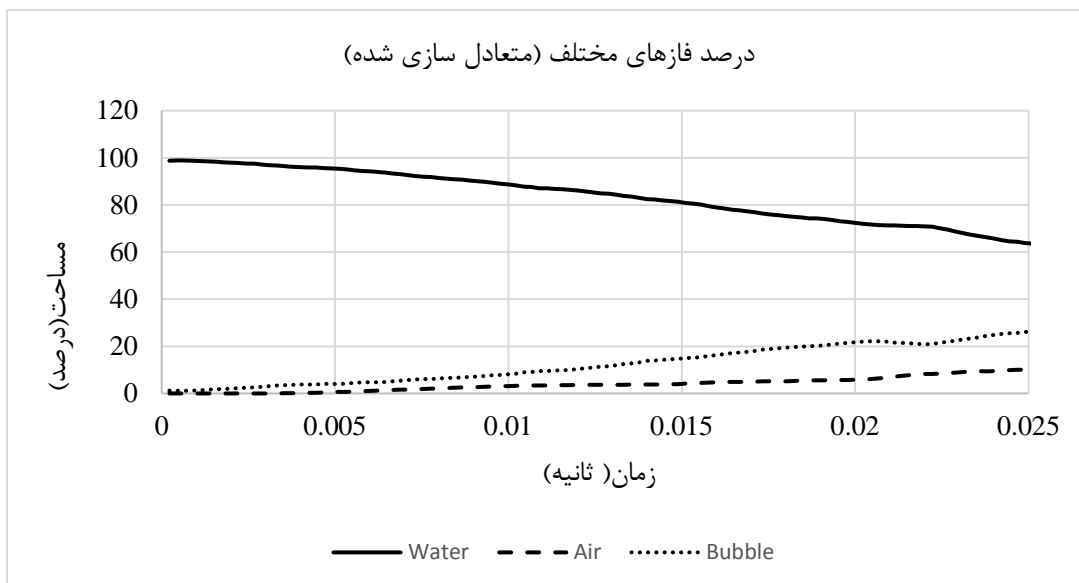
۴-۲-۲ نتایج تفکیک فیلتری بصورت نمودار

با تفکیک فاز آب، هوا و فاز مخلوط آب و هوا روی ۳۴۰ عکس در شکل (۲-۴) تغییرات مساحت فازهای مختلف آب، هوا و حبابها نسبت به شماره عکس ترسیم گردیده است، در طول این عکس ها یک حباب به طور کامل وارد سیستم و از آن خارج شده است. به منظور تحلیل بهتر شکل (۳-۴) تغییرات زمان را به مساحت فازها به درصد نشان می دهد. در طی ۰/۰۷۵ ثانیه یک حباب وارد سیستم و از آن خارج شده است. همانطور که انتظار می رفت با گذشت زمان از مقدار آب کاسته و به مقدار حبابها افزوده می شود، علت صعودی بودن منحنی فاز آب از میانه ی منحنی، خارج شدن حباب از سیستم و افزایش مساحت فاز آب می باشد، بعلاوه پایدار نبودن حباب ها از میزان حباب ها کاسته می شود.



شکل ۲-۴ مساحت هرکدام از فازها در حالت دبی ۰/۱۶ لیتر بر ثانیه

سپس نمودار متعادل سازی شده و به صورت درصد هرکدام از فازها در نمودار (۳-۴) نمایش داده شده است. همانطور که در شکل (۳-۴) مشاهده می شود در انتهای آزمایش به میزان ۴۰٪ از مساحت فاز آب کاسته شده و ۱۰٪ به فاز هوا و حدود ۳۰٪ به فاز حباب افزوده شده است.



شکل ۴-۳ نمودار متعادل سازی شده ی مساحت هرکدام از فازها در حالت دبی ۰/۱۶ لیتر بر ثانیه به درصد

۴-۲-۳ آزمون F

آزمون F یا آزمون آنالیز واریانس تعمیم یافته ی آزمون t است و برای ارزیابی یکسان بودن یا یکسان نبودن دو جامعه یا چند جامعه به کار برده می شود. در این آزمون واریانس کل جامعه به عوامل اولیه آن تجزیه می شود. از این آزمون برای مقایسه همقوارگی چند جامعه تواما با هم استفاده می شود.

مقایسه میانگین ها و همقوارگی چند جامعه بوسیله این آزمون F راحت تر از آزمون t امکانپذیر است.

در این بخش توسط نرم افزار Matlab با پردازش تصاویر، تغییرات فاز قرمز رنگ هر پیکسل در ۳۴۰ تصویر بصورت متوسط محاسبه گردید و با وارد کردن داده ها در excel آزمون F با دو دقت ۰/۹۵ و ۰/۹۹ دوسری از اعداد اعتبارسنجی شد. پیکسل شماره ی ۶۵ و ۷۱۴ انتخاب گردید تا به ترتیب یکی از نواحی ابتدایی و دیگری از نواحی فاز مخلوط آب و هوا باشد.

با توجه به ابعاد مدل برحسب سانتی متر و تعداد سطر و ستون های تصویر دیجیتال هرپیکسل ۰/۰۱۴ سانتی متر است. پیکسل های انتخاب شده به فاصله ی ۲/۹۸ و ۹/۹۹ سانتی متر از ابتدای مدل است.

با دقت ۹۹ % $\alpha=0.01$		
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	0.716503233	0.723182497
Variance	0.001879387	0.001687758
Observations	341	341
df	340	340
F	1.113540518	
P(F<=f) one-tail	0.160953905	
F Critical one-tail	1.287688539	



شکل ۴-۴ F-Test با دقت ۹۹ درصد

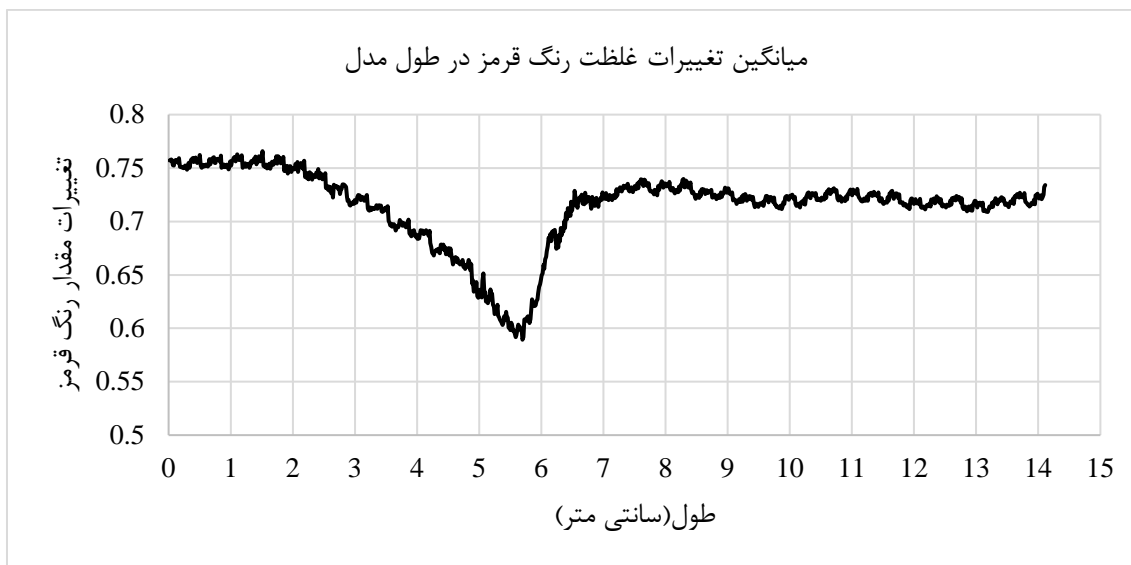
با دقت ۹۵ % $\alpha=0.05$		
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	0.716160116	0.722837952
Variance	0.001882653	0.001689207
Observations	338	338
df	337	337
F	1.114518744	
P(F<=f) one-tail	0.160061093	
F Critical one-tail	1.196564882	



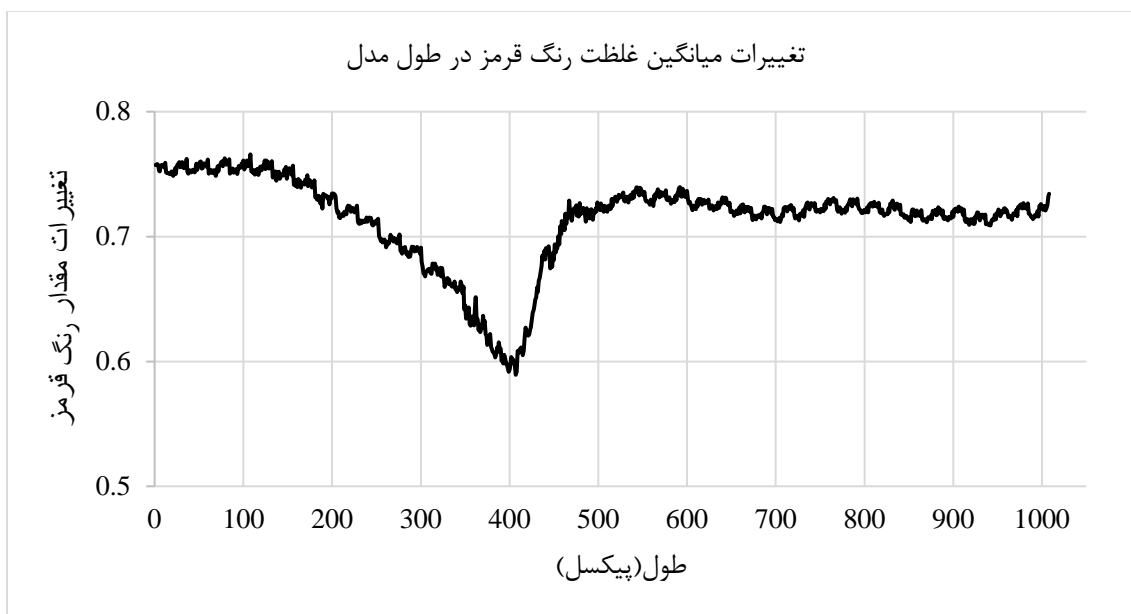
شکل ۴-۵ F-Test با دقت ۹۵ درصد

۴-۲-۴ بررسی سرعت حباب ها

شکل (۴-۶) میانگین تغییرات غلظت رنگ قرمز در طول مدل برحسب سانتی متر و شکل (۴-۷) میانگین تغییرات رنگ قرمز در طول مدل برحسب پیکسل نمایش داده شده است. پیکسل شماره ۱۷۰ ابتدای تنگ شوندگی و پیکسل شماره ۴۰۰ انتهای تنگ شوندگی است. علت نزولی بودن ناگهانی نمودار افزایش سرعت حرکت حباب در تنگ شوندگی است که غلظت رنگ قرمز کاهش یافته است.



شکل ۴-۶: تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در طول مدل



شکل ۴-۷: تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در طول مدل

اگر فرض شود فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی مرجع Δx باشد و در مدت زمانی عبور پیشانی موج از نقطه‌ی مرجع ۱ تا رسیدن به نقطه‌ی مرجع ۲ تعداد n فریم برداشت شده باشد و دستگاه قابلیت عکسبرداری m فریم را در هر ثانیه دارا باشد از تقسیم $\frac{n}{m}$ زمان عبور موج بین دو مقطع به دست می‌آید.

$$v = \frac{x}{t} = \frac{\Delta x}{\frac{n}{m}} = \frac{\Delta x}{n} \cdot m \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

در سه قسمت قبل از ناحیه تنگ شوندگی و ناحیه تنگ شوندگی و بعد از آن در ۵ تصویر متوالی سرعت به روش ذکر شده در بالا محاسبه گردید.

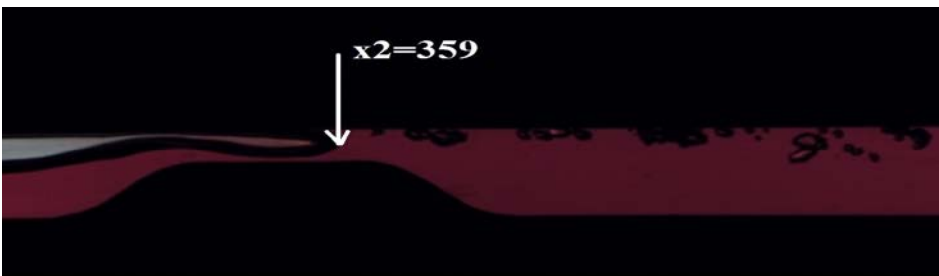
قبل از تنگ شوندگی:



شکل ۴-۸ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیه‌ی قبل از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)

$$v = \frac{(64 - 46)}{5} * 4500 * 0.014 * \frac{1}{100} = 2.26 \text{ m/s}$$

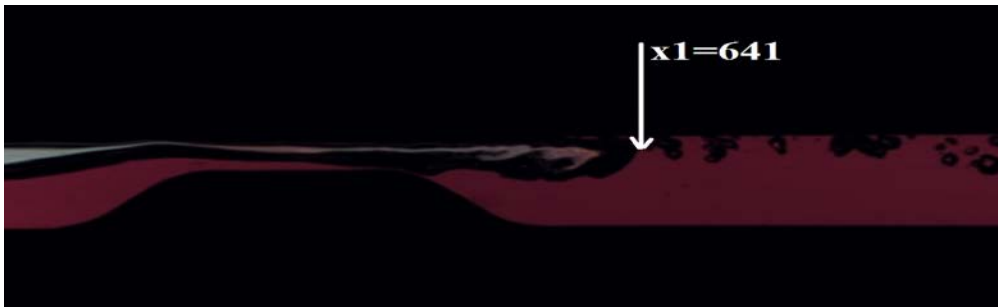
تنگ شوندگی:



شکل ۴-۹ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیه‌ی در تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)

$$v = \frac{(359 - 322)}{5} * 4500 * 0.014 * \frac{1}{100} = 4.66 \text{ m/s}$$

بعد از تنگ شوندگی:



شکل ۴-۱۰ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیه‌ی بعد از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)

$$v = \frac{(664 - 641)}{5} * 4500 * 0.014 * \frac{1}{100} = 2.89 \text{ m/s}$$

۴-۲-۵ بررسی انحلال هوا در آب

در مورد انحلال گازها با ترکیب اصل لوشاتلیه و قانون هنری می توان اثر فشار را روی انحلال پذیری آنها بررسی کرد. قانون هنری بیان می کند هنگامی که دما ثابت است، انحلال پذیری گاز با فشار جزئی آن متناسب است:

$$P = K_h * C \quad \text{رابطه (۴-۲):}$$

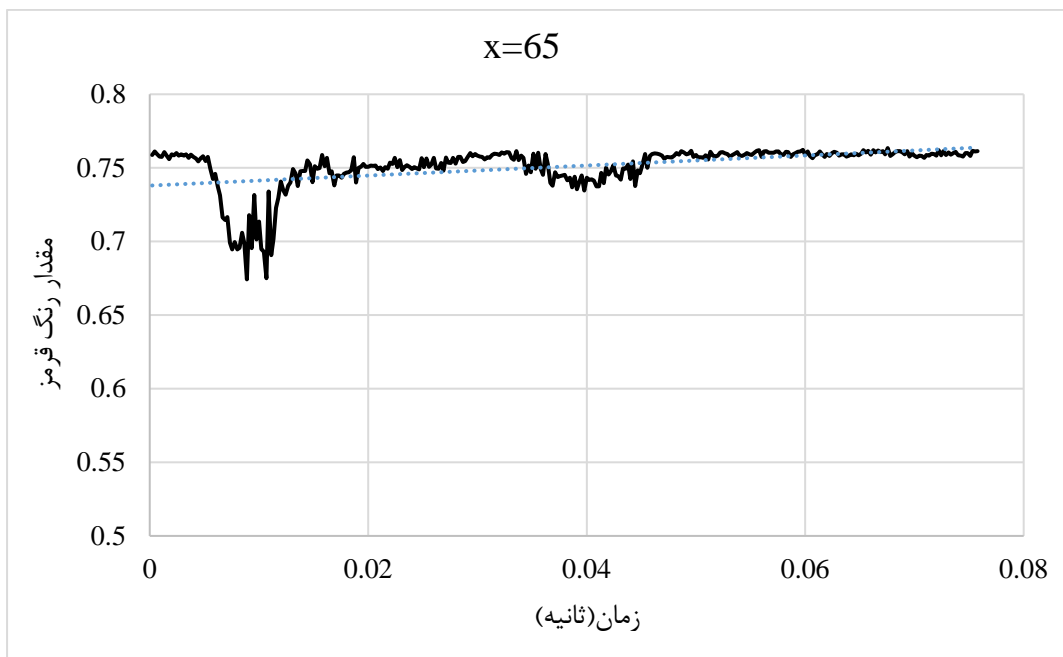
P: فشار جزئی گاز موجود در بالای مایع است.

K_h : ثابت هنری

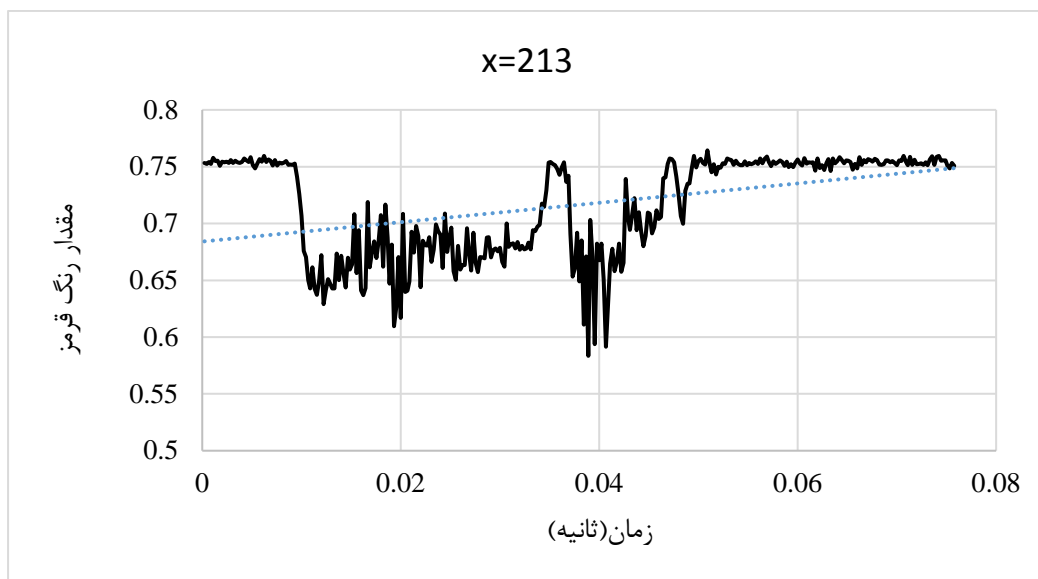
C: غلظت گاز در مایع

در دمای ثابت، زمانی که فشار جزئی افزایش می یابد غلظت گاز در مایع نیز افزایش پیدا می کند و این به معنای افزایش انحلال پذیری نیز هست و بالعکس. با کاهش فشار مولکول های گاز بیشتری از مایع فرار می کند و انحلال پذیری کمتر می شود.

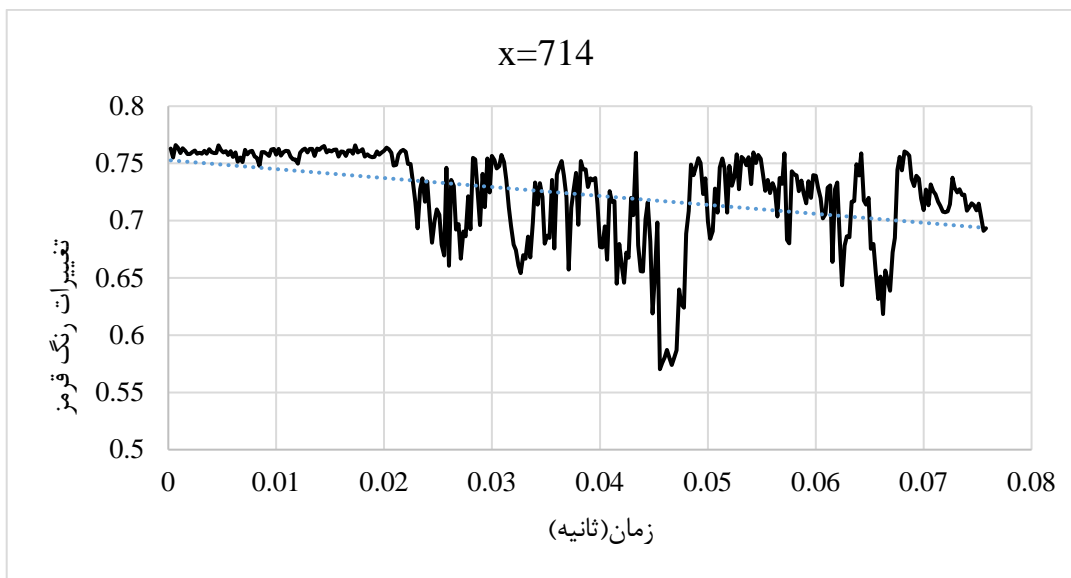
در مطالعه حاضر سه پیکسل از ابتدای مدل و قسمت تنگ شونده و انتهای مدل به ترتیب پیکسل شماره ۶۵، ۲۱۳ و ۷۱۴ انتخاب گردید تا تغییرات میانگین میزان حل شدگی هوا در آب در این نواحی بررسی شود. همانطور که از شکل (۴-۱۱)، (۴-۱۲) و (۴-۱۳) مشخص است با ورود هوا و خروج آن در ۰/۰۸ ثانیه در ابتدا و میانه ی مدل با گذشت زمان افزایش مقدار رنگ قرمز، کاهش میزان حل شدگی هوا را نشان می دهد که با کاهش فشار در تنگ شونده و کاهش انحلال پذیری تطبیق دارد. بعد از تنگ شدگی با گذشت زمان افزایش میزان حل شدگی هوا دیده می شود که با افزایش فشار و افزایش انحلال پذیری تطبیق دارد.



شکل ۴-۱۱: تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل ابتدایی ۶۵ (قبل از تنگ شدگی)



شکل ۴-۱۲: تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل ۲۱۳ (در تنگ شدگی)

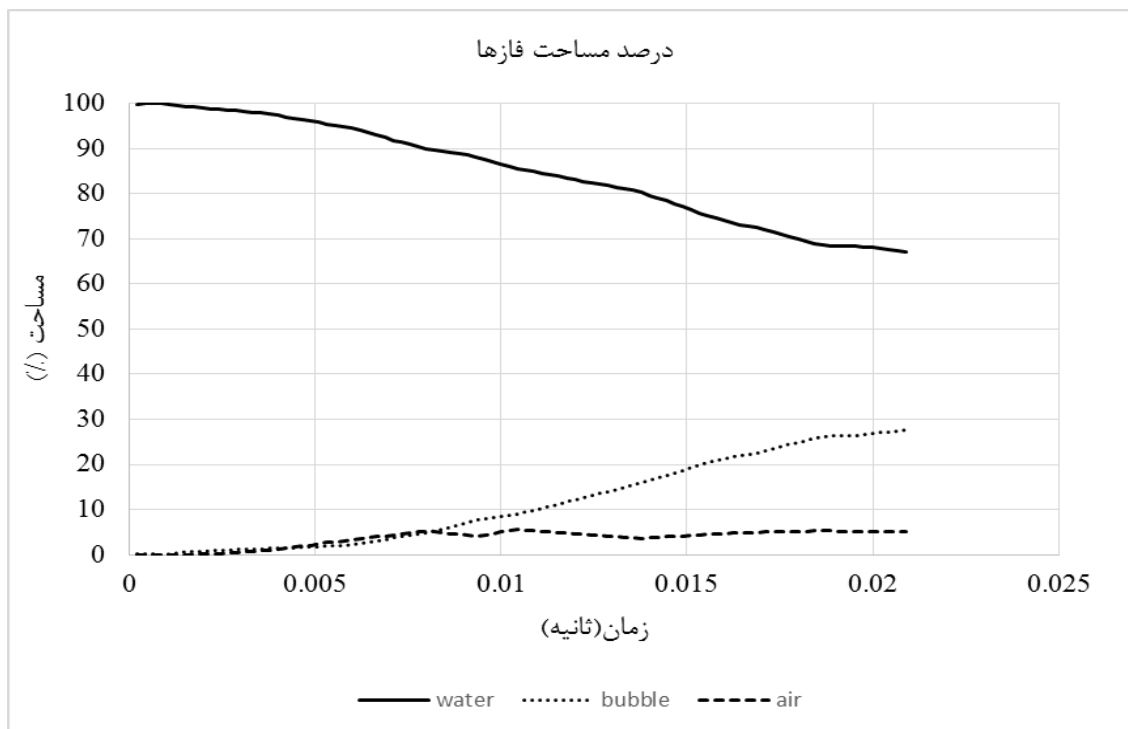


شکل ۴-۱۳: تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل انتهایی ۷۱۴ (بعد از تنگ شدگی)

۴-۳ شیر تنظیم دبی در حالت ۶۷/۵ درجه ($Q=0.29 \text{ lit/s}$)

۴-۳-۱ نتایج تفکیک فیلتری بصورت نمودار

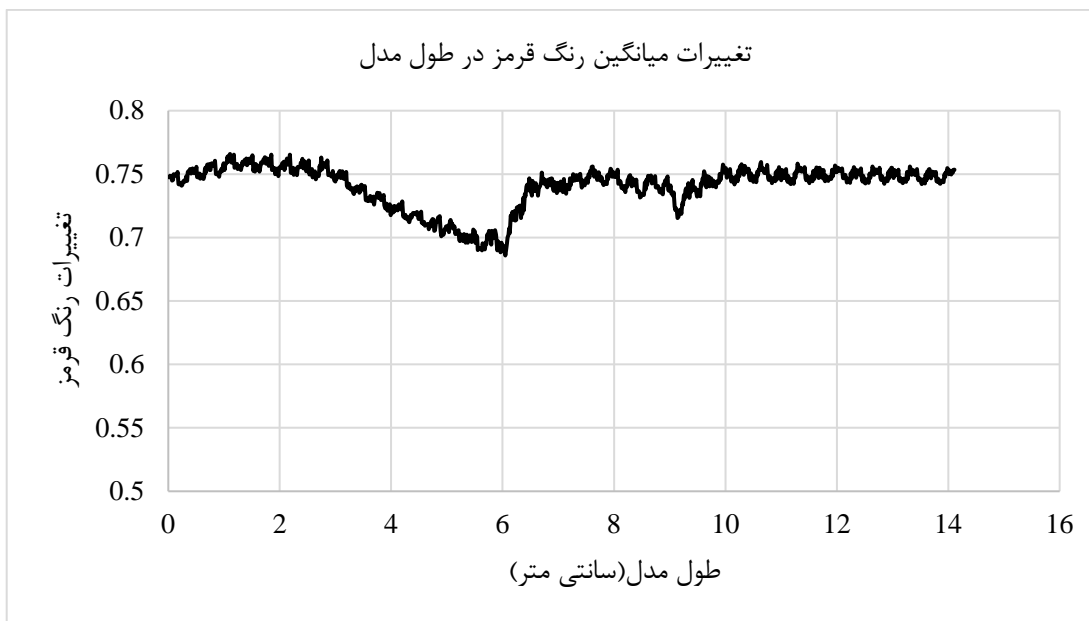
با تفکیک فاز آب، هوا و فاز مخلوط آب و هوا روی ۹۴ عکس در شکل (۴-۱۴) تغییرات مساحت فازهای مختلف آب، هوا و حباب‌ها نسبت به زمان ترسیم گردیده است. در طول این عکس‌ها یک حباب به طور کامل وارد سیستم و از آن خارج شده است. به منظور تحلیل بهتر شکل (۴-۱۴) تغییرات زمان را به مساحت فازها به درصد نشان می‌دهد. در طی ۰/۰۲ ثانیه یک حباب وارد سیستم و از آن خارج شده است. همانطور که انتظار می‌رفت با گذشت زمان از مساحت آب کاسته و به مساحت حباب‌ها افزوده می‌شود، به میزان حدوداً ۳۵٪ از مساحت اولیه فاز آب کاسته شده که حدود ۳۰٪ آن در انتهای آزمایش به فاز حباب و تنها ۵٪ آن به فاز هوا تبدیل شده است.



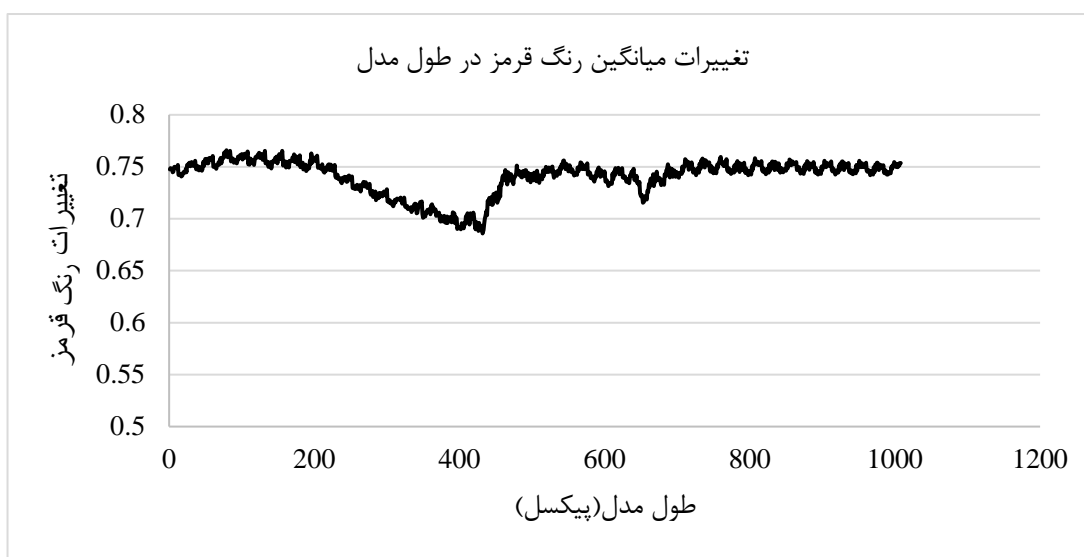
شکل ۴-۱۴: نمودار متعادل سازی شده ی مساحت هرکدام از فازها در حالت دبی ۰/۲۹ لیتر بر ثانیه به درصد

۲-۳-۴ بررسی سرعت حباب ها

شکل (۴-۱۵) میانگین تغییرات غلظت رنگ قرمز در طول مدل برحسب سانتی متر و شکل (۴-۱۶) میانگین تغییرات رنگ قرمز در طول مدل برحسب پیکسل نمایش داده شده است. پیکسل شماره ۱۷۰ ابتدای تنگ شوندگی و پیکسل شماره ۴۰۰ انتهای تنگ شوندگی است. علت نزولی بودن ناگهانی نمودار افزایش سرعت حرکت حباب در تنگ شوندگی است که غلظت رنگ قرمز کاهش یافته است.



شکل ۴-۱۵: تغییرات میانگین رنگ قرمز در طول مدل برحسب سانتی متر



شکل ۴-۱۶: تغییرات میانگین رنگ قرمز در طول مدل برحسب پیکسل

در سه قسمت قبل از ناحیه تنگ شوندگی و ناحیه تنگ شوندگی و بعد از آن در ۵ تصویر متوالی سرعت به روش ذکر شده در قسمت (۴-۲-۴) محاسبه گردید.

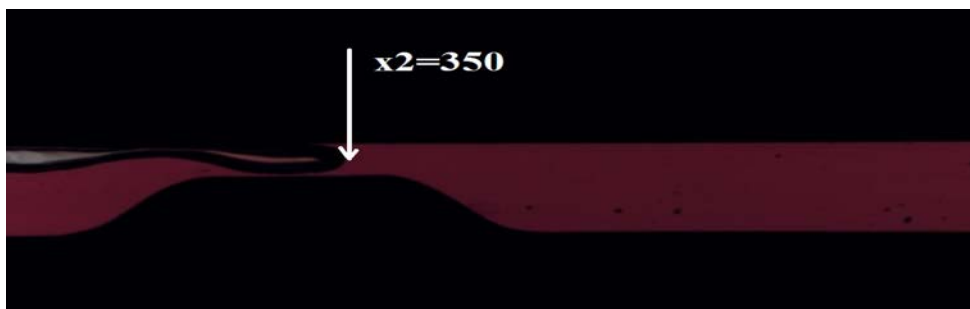
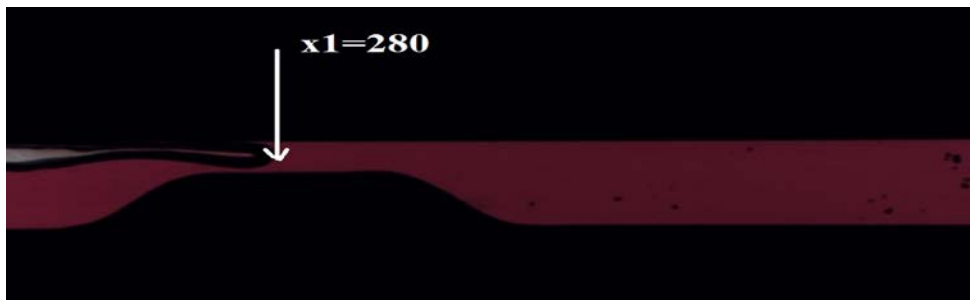
قبل از تنگ شوندگی:



شکل ۴-۱۷ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیه‌ی قبل از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)

$$v = \frac{(112 - 78)}{5} * 4500 * 0.014 * \frac{1}{100} = 4.28 \text{ m/s}$$

تنگ شوندگی:



شکل ۴-۱۸ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیه‌ی تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)

$$v = \frac{(350 - 280)}{5} * 4500 * 0.014 * \frac{1}{100} = 8.82 \text{ m/s}$$

بعد از تنگ شوندگی:

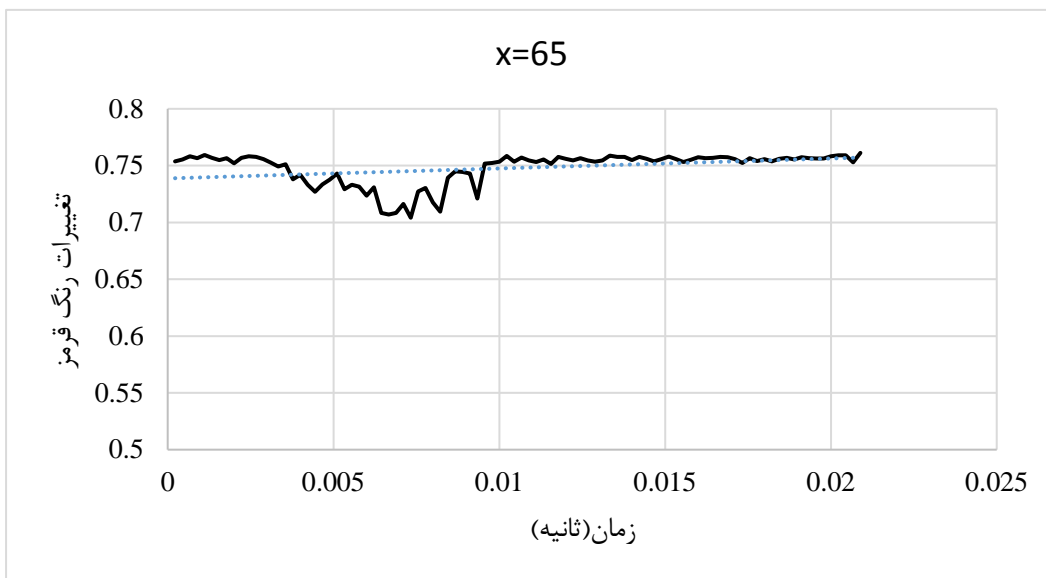


شکل ۴-۱۹ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیه‌ی بعد از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)

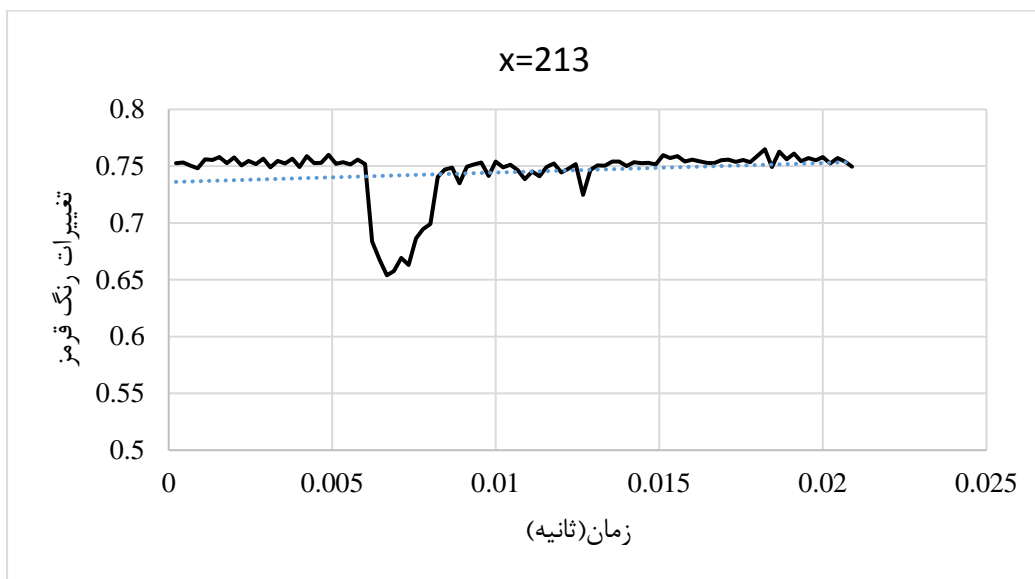
$$v = \frac{(858 - 811)}{5} * 4500 * 0.014 * \frac{1}{100} = 5.922 \text{ m/s}$$

۳-۳-۴ بررسی انحلال هوا در آب

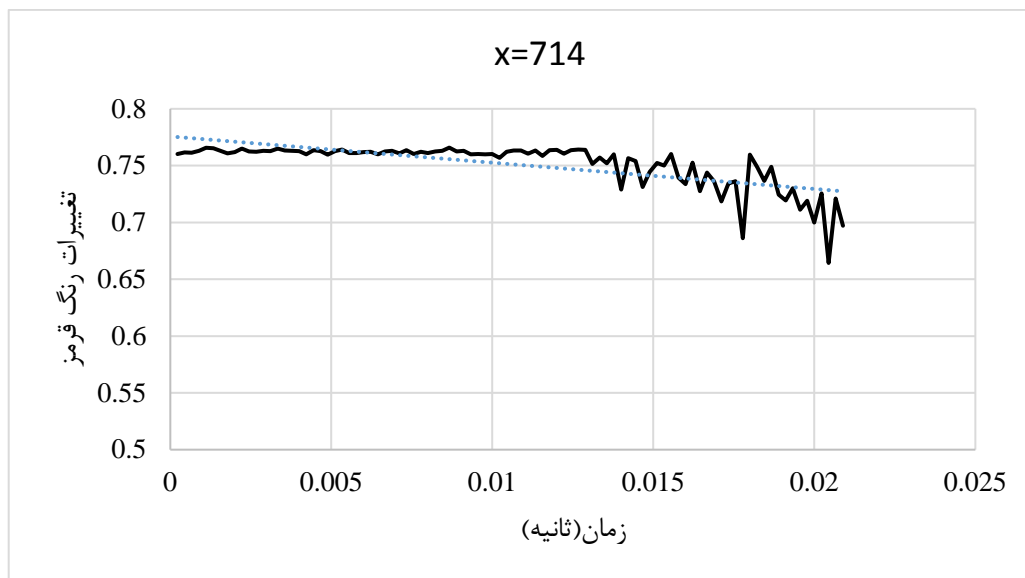
همانطور که از شکل (۴-۲۰)، (۴-۲۱) و (۴-۲۲) مشخص است با ورود هوا و خروج آن در ۰/۰۲ ثانیه در ابتدا و میانه‌ی مدل با گذشت زمان افزایش مقدار رنگ قرمز، کاهش میزان حل شدگی هوا را نشان می‌دهد که با کاهش فشار در تنگ شوندگی و کاهش انحلال پذیری تطبیق دارد. بعد از تنگ شدگی با گذشت زمان افزایش میزان حل شدگی هوا دیده می‌شود که با افزایش فشار و افزایش انحلال پذیری تطبیق دارد.



شکل ۴-۲۰ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل ابتدایی (قبل از تنگ شدگی)



شکل ۴-۲۱ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل میانی (درمحل تنگ شدگی)

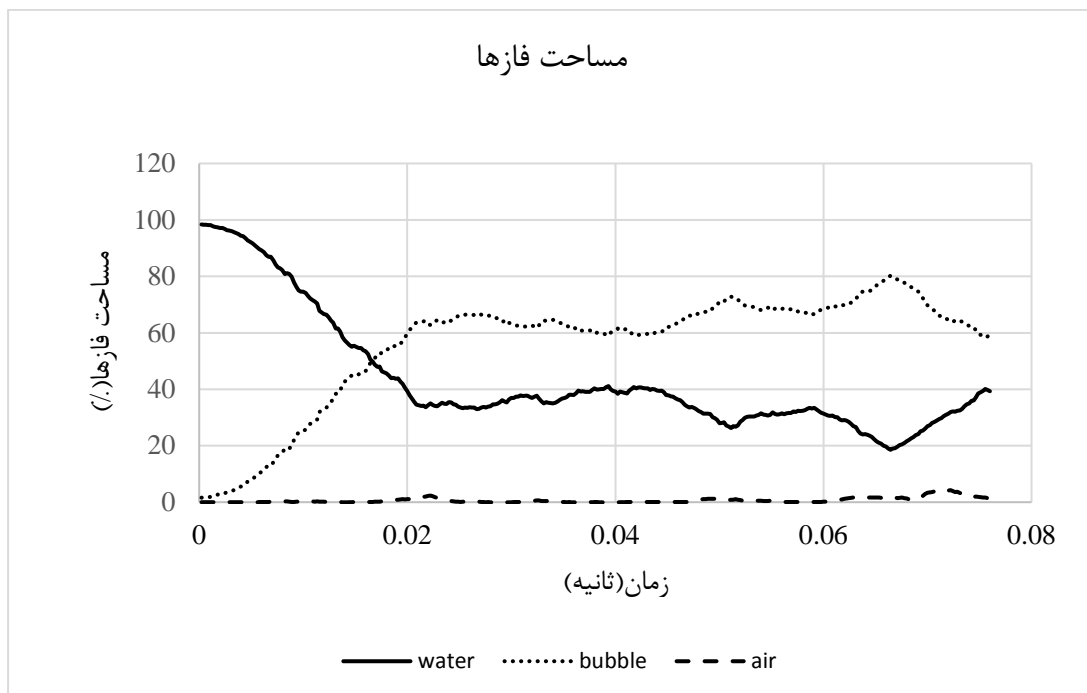


شکل ۲۲-۴ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل انتهایی (بعد از تنگ شدگی)

۴-۴ شیر تنظیم دبی در حالت ۹۰ درجه ($Q=0.42 \text{ lit/s}$)

۴-۴-۱ نتایج تفکیک فیلتری بصورت نمودار

با تفکیک فاز آب، هوا و فاز مخلوط آب و هوا روی ۳۴۰ عکس در شکل (۴-۲۳) تغییرات مساحت فازهای مختلف آب، هوا و حبابها نسبت به زمان ترسیم گردیده است. در طول این عکس ها یک حباب به طور کامل وارد سیستم و از آن خارج شده است. به منظور تحلیل بهتر شکل (۴-۲۳) تغییرات زمان را به مساحت فازها به درصد نشان می دهد. در طی ۰/۰۸ ثانیه یک حباب وارد سیستم و از آن خارج شده است. به مرور زمان از مساحت فاز آب کاسته شده به طوری که در نهایت مساحت فاز آب حدود ۴۰٪ مساحت کل و تقریباً بقیه مساحت که حدود ۶۰٪ از مساحت کل می باشد به فاز حباب تبدیل شده است و مساحت فاز هوا بسیار ناچیز است.



شکل ۴-۲۳ نمودار متعادل سازی شده ی مساحت هرکدام از فازها در حالت دبی ۰/۴۲ لیتر بر ثانیه به درصد

۴-۴-۲ بررسی سرعت حباب ها

قبل از تنگ شوندگی:



شکل ۴-۲۴ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیه ی قبل از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)

$$v = \frac{(74 - 37)}{5} * 4500 * 0.014 * \frac{1}{100} = 4.66 \text{ m/s}$$

تنگ شوندگی:



شکل ۴-۲۵ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیه‌ی تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)

$$v = \frac{(307 - 210)}{5} * 4500 * 0.014 * \frac{1}{100} = 12.2 \text{ m/s}$$

بعد از تنگ شوندگی:

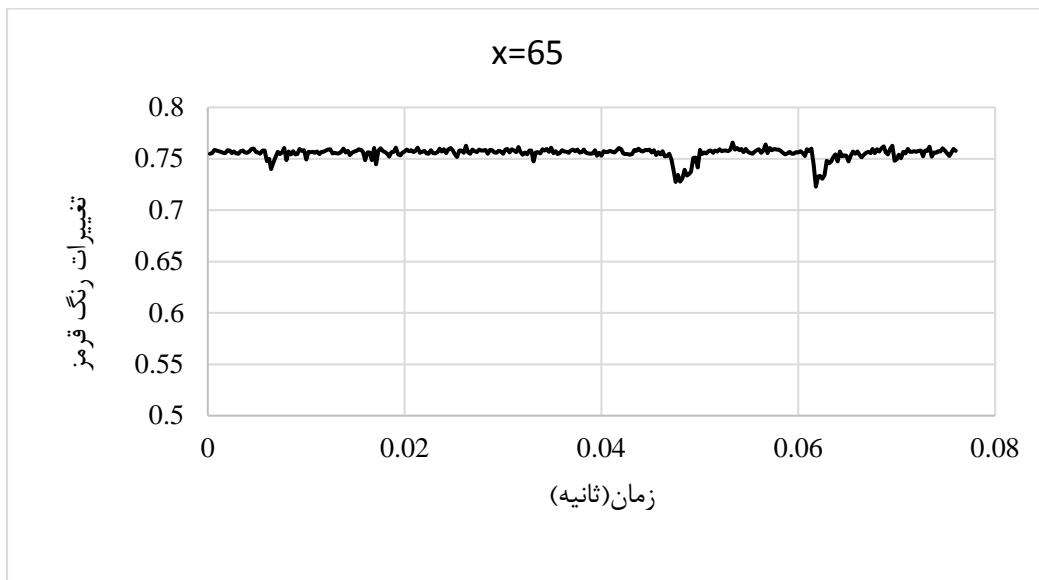


شکل ۴-۲۶ انتخاب دو نقطه مرجع در ناحیه‌ی بعد از تنگ شوندگی (تصویر اول و پنجم)

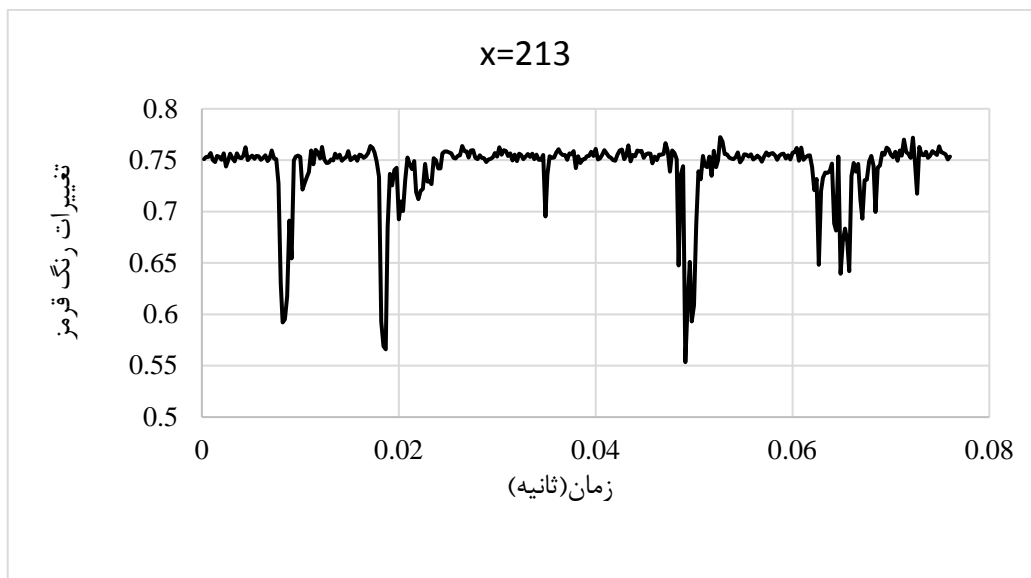
$$v = \frac{(948 - 898)}{5} * 4500 * 0.014 * \frac{1}{100} = 6.3 \text{ m/s}$$

۳-۴-۴ بررسی انحلال هوا در آب

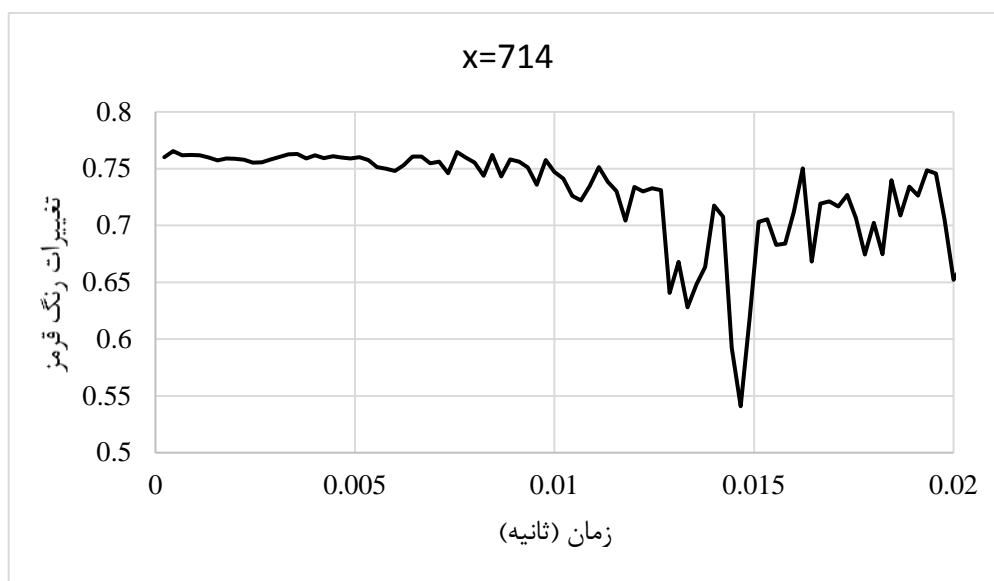
همانطور که از شکل (۲۷-۴)، (۲۸-۴) و (۲۹-۴) مشخص است با ورود هوا و خروج آن در ۰/۰۲ ثانیه در ابتدا و میانه‌ی مدل با گذشت زمان افزایش مقدار رنگ قرمز، کاهش میزان حل شدگی هوا را نشان می‌دهد که با کاهش فشار در تنگ شوندگی و کاهش انحلال پذیری تطبیق دارد. بعد از تنگ شدگی با گذشت زمان افزایش میزان حل شدگی هوا دیده می‌شود که با افزایش فشار و افزایش انحلال پذیری تطبیق دارد.



شکل ۲۷-۴ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل ابتدایی (قبل از تنگ شدگی)



شکل ۲۸-۴ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل میانی (درمحل تنگ شدگی)



شکل ۲۹-۴ تغییرات رنگ قرمز از نظر غلظت در پیکسل انتهایی (بعد از تنگ شدگی)

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ مقدمه

در این بخش به جمع بندی نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر پرداخته شده و تاثیر دبی های مختلف در ایجاد حباب و انهدام آن ها و همچنین سرعت و میزان انحلال حباب ها در آب در لوله ونتوری به روش پردازش تصویر باهم مقایسه شده است. در پایان پیشنهاداتی پیرامون ادامه و تکمیل این تحقیق ارائه گردیده است.

۵-۲ جمع بندی

پس از ایجاد جریان دائمی و توسعه یافته تصویربرداری از لحظاتی قبل از تزریق هوا به داخل مدل انجام پذیرفت. نحوه پردازش تصویر بدین صورت است که با تفکیک رنگ های سه فاز آب، هوا و حباب مساحت های هر کدام از فازها جداگانه برای هر تصویر محاسبه گردید. جهت نتیجه گیری، پردازش تصویر به کمک نرم افزار متلب بر روی تصویرهای برداشت شده میان دو پالس هوای وارد شده به مدل انجام پذیرفت و مساحت های فاز های مختلف آن مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به موارد فوق الذکر نتایج زیر حاصل گردید.

۵-۲-۱ تاثیر دبی

در تحقیق حاضر جهت بررسی تاثیر دبی بر ایجاد و انهدام حباب، آزمایشات با سه دبی ۰/۱۶، ۰/۲۹ و ۰/۴۲ لیتر بر ثانیه انجام پذیرفت. همانطور که در بند ۵-۲ به آن اشاره شد از بررسی میزان مساحت های شکل گرفته توسط فازهای مختلف جریان در بازه‌ی زمانی تصویر برداری میان دو پالس هوای ورودی به مدل نشان می دهد که در ابتدا برای تمامی دبی ها تمامی مساحت تصویر برداشت شده به فاز آب اختصاص یافته است و مساحت فازهای هوا و حباب تقریبا برابر صفر است. با گذشت زمان در تمامی دبی ها از مساحت فاز آب کاسته و به فازهای هوا و حباب افزوده شده است. در دبی ۰/۱۶ لیتر بر ثانیه در انتهای آزمایش به میزان ۴۰٪ از مساحت فاز آب کاسته شده و ۱۰٪ به فاز هوا و حدود ۳۰٪ به فاز

حباب افزوده شده است. در دبی $0/29$ لیتر بر ثانیه به میزان حدودا 35% از مساحت اولیه فاز آب کاسته شده که حدود 30% آن در انتهای آزمایش به فاز حباب و تنها 5% آن به فاز هوا تبدیل شده است. در دبی $0/42$ لیتر بر ثانیه به مرور زمان از مساحت فاز آب کاسته شده به طوری که در نهایت مساحت فاز آب حدود 40% مساحت کل و تقریبا بقیه مساحت که حدود 60% از مساحت کل می باشد به فاز حباب تبدیل شده است و مساحت فاز هوا بسیار ناچیز است. از موارد فوق می توان نتایج زیر را دریافت:

۱- در طول آزمایش با یک دبی مشخص روند ایجاد حباب افزایشی است.

۲- با افزایش دبی مساحت فاز حباب بیشتر می شود و همچنین مشاهده گردید که حباب ها ریزتر می شوند و مطابق رابطه ی (۲-۷) کاهش شعاع حباب ها، فشار داخلی آن ها افزایش می یابد و زمانی که در ناحیه ی ونتوری قرار می گیرند مقاومت بیشتری در برابر انهدام داشته و به فاز هوا تبدیل نمی شوند و به صورت حباب باقی می مانند.

۵-۲-۲ جمع بندی نتایج تاثیر دبی بر سرعت حباب ها

نتایج حاصل از آزمایشات و پردازش تصاویر نشان داد که سرعت حباب ها در قسمت های مختلف ونتوری متفاوت هستند. با مقایسه ی سه قسمت قبل از تنگ شوندگی، ناحیه ی تنگ شوندگی و ناحیه ی بعد از تنگ شوندگی برای سه دبی متفاوت مشاهده شد که در ناحیه تنگ شوندگی ونتوری به علت کاهش فشار، افزایش سرعت وجود دارد و با افزایش دبی سرعت حباب نیز در هر سه ناحیه افزایش می یابد. سرعت حباب ها در نواحی بررسی شده و دبی های مختلف در جدول (۵-۱) گردآوری شده است.

جدول ۱-۵ سرعت حباب ها برحسب متربرثانیه در دبی های مختلف و نواحی مختلف از ونتوری

دبی ۰/۴۲ لیتربرثانیه	دبی ۰/۲۹ لیتربرثانیه	دبی ۰/۱۶ لیتربرثانیه	
۴/۶۶	۴/۲۸	۲/۲۶	قبل از تنگ شوندگی
۱۲/۲	۸/۸۲	۴/۶۶	تنگ شوندگی
۶/۳	۵/۹۲۲	۲/۸۹	بعد از تنگ شوندگی

۵-۲-۳ جمع بندی نتایج تاثیر دبی بر میزان انحلال هوا در آب

نتایج حاصل از آزمایشات و پردازش تصاویر در ناحیه ی قبل از تنگ شوندگی و ناحیه ی تنگ شوندگی ونتوری بیانگر کاهش فشار و کاهش انحلال هوا در آب طبق رابطه ی هنری است. با کاهش فشار مولکول های گاز بیشتری از مایع فرار می کند و انحلال پذیری کمتر می شود. بعد از ناحیه ی تنگ شوندگی ونتوری، افزایش فشار و افزایش میزان انحلال هوا در آب را شاهد هستیم.

۵-۳ پیشنهادها برای مطالعات آتی

در رابطه با تحقیق های آینده موارد زیر پیشنهاد می شود:

- بررسی استفاده از گازهای هلیوم و اکسیژن و ازن در میکرو-نانو حباب ها و نقش آنها برروی جریان
- استفاده از ونتوری با ابعاد و تنگ شدگی های مختلف و نقش آن در ابعاد حباب ها
- بررسی استفاده از گازهای رنگی و تاثیر آن در شناسایی بهتر حباب ها

- Agarwal, A., Jern Ng, W. and Liu, Y. (2011) “Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment” **Chemosphere.**, 84, pp 1175–1180
- Amaral C. E. F. do, R. F.Alves, M. J. daSilva, L. V. R. Arruda, L. Dorini, R. E. M. Morales, D. R. Pipa (2013) “Image processing techniques for high-speed videometry in horizontal two-phase slug flow” **Flow measurement and instrumentation.**, 33, pp 257-264.
- Andreussi, P., Persen, L.N., (1987) “Stratified gas-liquid flow in downwardly inclined pipes” **Int. J. Multiphase flow.**, 13, pp 565-575.
- Atkins, P. and de Paula, J. (2006), “**Atkins Physical Chemistry**”, Oxford University Press, oxford 8th edition.
- Barnea, D., Shoham, O., Taitel, Y., Dukler, A.E., (1980) “Flow pattern transition for gas-liquid flow in horizontal and inclined pipes” **Int. J. Multiphase Flow.**, 6, pp 217-225.
- Beggs, H.D. and Brill, J.P (May, 1973) “A study of two-phase Flow in Inclined pipes” **J.pet.Tech.** pp 607-617.
- Bui Dinh , T., and T.S. Choi, (1999) “Application of Image Processing Techniques in Air/Water Two Phase Flow” **Mechanics Research Communications**, Vo. 26, No. 4, pp. 463-468.
- Clift, R., Grace, J. R., and Weber, M. E. (2005), “**Bubbles, Drops and particles**”, Dover publications , Mineola.
- Fernanda YumiUshikubo, Tajuro Forukawa, Ryou Nakagawa, Masatoshi Enari, Yoshio Makino, Yoshinori Kawagoe, Takeo Shiina, Seichi Oshita, (2010), “Evidence of the existence and the stability of nano- bubbles in water”. **Colloids and Surface.**, 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.

- Forrester, S. E., C. D. Rielly and K. J. Carpenter (1998) "Gas-Inducing Impeller Design and Performance Characteristics", **Chem. Eng. Sci.**, 53, pp 603-615.
- Fujiwara, A. (2006) "Microbubble generation using venturi tube". **ECO Industry**, 11, pp 27-30.
- Fujiwara, A., Takagi, S., Watanabe, K. and Matsumoto, Y. (2003), "Experimental study on the new micro-bubble generator and its application to water purification system". 4th Proceeding of the ASME/SME. **Honolulu**, United States.
- Grolman, E., Commandeur, N., de Baat, E., Fortuin, J., (1996). "Wavy-to slug flow Transition in slightly inclined gas-liquid pipe flow". **AIChE J** 42, pp 901-907.
- Han, M., Park, Y., Lee, j. and Shim, j. (2002). "Effect of Pressure on bubble size in dissolved air flotation". **Water Sci. & Tech.; Water Supply**, 2, pp 41-46.
- Hewitt, G., and Taylor, N. S., (1970) , "Annular two-phase flow". **Pergamon Press, Oxford**.
- Johnson, B. D., R.M. Gershey, R.C. Cooke and W.H. Jr. Sutcliffe (1982); "A Theoretical Model for Bubble Formation at a Frit Surface in a Shear Field", **Sep. Sci. Technol.** 17, pp 1027-1039.
- Levy, S., (1999), "Two-phase flow in complex systems". **John Wiley & Sons, Inc.**, New York.
- Ljuggren. S., Eriksson. J.C., (1997), "The lifetime of colloid-sized gas bubble in water and the cause of hydrophobic attraction". **Colloids and Surfaces A. Physicochemical and Engineering Aspects**, pp 129-130, pp 151-155.
- Li, H., Hu, L., & Xia, Z. (2013). "Impact of groundwater salinity on bioremediation enhanced by micro-nano bubbles". **Materials**, 6, pp 3676-3687.
- Li, P. and Tsuge, H. (2006). "Water treatment by induced air flotation microbubbles". **Journal of Chemical Engineering of Japan**, 39(8): pp 896-903.
- Martin, CS., (1976), "Entrapped air in pipelines", Proceeding of the second international conference on pressure purges, London, September 22-24, , BHRA Fluid Enginnering, **Cranfiled, Bedford**, England.

- Millero, F.J. (2001). "The Physical Chemistry of Natural Waters". **Wiley – Interscience**, New York.
- Miyahara, T. and A. Tanaka (1997), "Size of Bubbles Generated from Porous Plates", **J. Chem. Eng. Japan**, 30, pp 353-355.
- Stanislav, J.F., Kokal, S., Nicholson, M.K., (1986), "Intermittent gas-liquid flow in upward inclined pipes". **Int. J. Multiphase Flow** 12, pp 325-335.
- Takahashi, M. (2005), "Zeta potential of microbubbles in aqueous solutions: Electrical Properties of the gas-water interface". **Journal of Physical Chemistry B**, 190(46): pp21858-21864.
- Takahashi, M. (2007), "Free Radical Generation from collapsing Micro bubbles in the Absence of a Dynamic Stimulus". **J.Phys.Chem. B**, V: 111, pp 1343-1347.
- Takahashi, M. (2009). "Base and technological application of micro-bubble and nano-bubble". *Mater. Integer*, 22, pp 2-19.
- Takamura F. (2004). "Course of Characteristics and Application of Microbubble". **Technical Information Center**.
- Terasaka, K., Hirabayashi, A., Nishino, T., Fujioka, S. and Kobayashi, D. (2011). "Development of microbubble aerator for waste water treatment using aerobic activated Sludge". **Chemical Engineering Science**. 66, pp 3172–3179.
- Terasaka, K. and Tsuge, H. (1990). "Bubble formation at a single orifice in highly viscous liquids". **J. Chem. Eng. Japan**, 23, pp 160-165.
- Tsuge, H. (2014). "Micro- and Nano bubbles: Fundamentals and Applications". **CRC press**.
- Tutsumi, K. (2004), "Water treatment technology and facility in future", *kagaku soti*, 1. Pp 71-80. (In Japanese)
- Vlyssides, A. G., Mai, S. T. and Barampouti, E.M.P. (2004), "Bubbles size distribution formed by depressurizing air-saturated water", **Ind. Eng. Chem. Res.**, 43, pp 2775-2780.
- Yazawa, T., H. Nakamichi, H. Tanaka and K. Eguchi (1988), "Permeation of Liquid through Porous Glass Membrane with surface Modification", **J. Ceram. Soc. Japan**. 96, pp 18-23.

- اسدی ح. و هرمزی ف، (۱۳۹۲) " توسعه روش عکسبرداری پرسرعت و پردازش تصویر در تعیین ویژگی های جریان حباب در ستون حبابی " *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، شماره ۴، دوره ۳۲.
- انصاری م، پروین کردستانی ب، (۱۳۸۶)، " اثر شیبدار بودن لوله بر پایداری جریان دوفازی نفت-گاز "، اولین کنفرانس لوله و صنایع وابسته، تهران، موسسه اطلاع رسانی نفت، گاز و پتروشیمی، سالن اجلاس سران کشورهای اسلامی.
- رفعتی م، (۱۳۹۵)، پایان نامه ارشد: " استفاده از میکرو-نانوحباب ها و نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در پالایش آب های آلوده با مشتقات نفتی "، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- فریدی ا. و سروری م، (۱۳۹۴) " میکرو-نانوحباب در صنعت آب و فاضلاب " *مجموعه گزارش های صنعتی فناوری نانو*، شماره ۵۷، ص ۳.
- کبیری سامانی ع، (۱۳۸۷) " بررسی مشخصات نوسانی جریان تپشی دوفازی آب- هوا در مجاری تحت فشار "، *نشریه آب و فاضلاب*، شماره ۲.
- کبیری سامانی ع. برقی م. و سعیدی م، (۱۳۸۵) " الگوهای جریان دوفازی آب و هوا در تونل های آب بر افقی و با شیب کم "، *فصلنامه علمی و پژوهشی شریف*، شماره ۳۵.
- گونزالس سی. ر، وودز ای، ادینز ال. ا، (۱۳۹۱)، " پردازش تصویر با زبان **Matlab** "، ترجمه جعفرنژاد قمی ع، چاپ دوم، موسسه انتشاراتی علوم رایانه، بابل، ص ۱۰-۱۲.

Abstract

With regard to recent developments in the field of Nano-Fluids and the subject of Micro-Nano bubble, laboratory research is conducted for investigating the formation of air Micro and Nano bubbles in venturi tube with image processing method. In this research, a venturi tube was made in laboratory scale and by using new image processing methods, hydrodynamic characteristics like the surface occupied by bubbles, the velocity of the bubbles and the amount of dissolved air in water were studied. The velocity of bubbles varies in different regions of Venturi, therefore to measure the characteristics of the bubbles; a camera (with capability of 4500 frames per second) with MATLAB software were used. By the appropriate threshold, the area of the water, the bubbles and the injected air are calculated. The experiments were carried out for three flow rates of 0.16, 0.29 and 0.42 liters per second. The results of the experiments and image processing in the two regions of the Venturi's bottleneck and before the Venturi's bottleneck indicate that decline in pressure and dissolution of air in the water are according to the Henri's equation. The velocity of the bubbles in the Venturi's bottleneck increase by the pressure decline. After the Venturi's bottleneck, the pressure and dissolution of the air in the water decrease and the velocity of bubble increases. In addition, the results of the experiments show that by increasing flow rate, the bubbles become smaller and the possibility of micro and Nano bubbles formation in Venturi increases.

Keywords: Venturi; Velocity of bubble; Image Processing; Micro-Nano Bubbles



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc.Thesis in Civil Engineering

**Investigation on Laboratorial Formation of Micro-Nano Bubbles in
Venturi by Digital Image Processing Technique**

By:

Shima Gholibeiki

Supervisor:

Dr. Seyed Fazlolah Saghravani

July 2018