

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

رشته مهندسی عمران، گرایش مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی

پایان‌نامه برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد

**بررسی آزمایشگاهی توزیع جریان ورودی‌های نقطه‌ای در مخزن روباز مطالعه
موردی تزریق نانو حباب در حوضچه‌های تثبیت فاضلاب**

دانشجو: بهنام فیض آبادی

استاد راهنما:

دکتر سید فضل‌الله ساغروانی

مشاور:

دکتر علیرضا احمدی فرد

شهریور ۱۳۹۸

دانشکده : مهندسی عمران

گروه : مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای بهنام فیض آبادی به شماره دانشجویی: ۹۵۱۱۳۹۴

تحت عنوان: بررسی آزمایشگاهی توزیع جریان ورودی های نقطه ای در مخزن روباز

مطالعه موردی تزریق نانو حباب در حوضچه های تثبیت فاضلاب

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 :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم اثر

به پاس تعبیر عظیمشان از کلمه ایثار،

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان در سردترین روزه گاران،

به پاس قلب‌های بزرگشان که سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید،

و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند،

این مجموعه را به پدر و مادر و همسر عزیزم تقدیم می‌کنم...

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس خداوند باری تعالی، که به من قدرت فکر کردن و آموختن ارزانی داشت.

بر خود لازم می‌دانم تا از زحمات و رهنمودهای مشفقانه استاد فرزانه، جناب آقای دکتر

ساغروانی، که چه در این پژوهش و چه در طول دوره تحصیل همواره یاری‌ام نموده‌اند تشکر و قدردانی

کنم.

تعهد نامه

اینجانب بهنام فیض آبادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران- سازه‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی آزمایشگاهی توزیع جریان ورودی های نقطه ای در مخزن روباز مطالعه موردی تزریق نانو حباب در حوضچه های تثبیت فاضلاب با راهنمایی دکتر سید فضل‌الله ساغروانی و مشاوره ی دکتر احمدی فر متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
 - در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است .
 - مطالب مندرج در پایان‌نامه 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 می‌باشد و مقالات مستخرج بانام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technolog » به چاپ خواهد رسید .
 - حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
 - در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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

استفاده از حوضچه های تثبیت می تواند به عنوان یک راهکار مناسب برای تصفیه فاضلاب بشمار آید. با توجه به اهمیت حوضچه های تثبیت فاضلاب و اهمیت وجود اکسیژن در انجام فرایند تصفیه و نقش میکرونانو حباب در انتقال و پخش اکسیژن در محیط های آبی و با توجه به اینکه تا کنون تحقیقی به منظور بررسی اثر توزیع و پخش میکرو نانو حباب به وسیله توزیع کننده های عمقی بر روی عملکرد هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب به صورت آزمایشگاهی انجام نشده است، از یک مدل آزمایشگاهی با توزیع جریان میکرو نانو حباب به صورت نقطه ای از کف با آرایش های مختلف به منظور به دست آوردن بهترین آرایش برای داشتن کمترین نقطه مرده و بیشترین یکنواختی نانو حباب (اکسیژن) در حجم حوضچه استفاده می گردد. ابعاد مدل آزمایشگاهی ۲×۱ متر انتخاب شده است که به ابعاد حوضچه های تصفیه در واقعیت شباهت داشته باشد و دیواره های آن دو حالت قائم و ۳۰ درجه با افق ساخته شده اند که اثر دیواره ها نیز در این پژوهش لحاظ گردد. مجموع دبی های تزریقی از کف برابر ۰٫۱ دبی ورودی اصلی است. در این آزمایش برای ردیابی نانوحباب تزریقی از کف، آن را با رنگ قرمز مخلوط کرده و نتایج را با دوربین ضبط و سپس به کمک فن پردازش تصویر و برنامه متلب، غلظت نانوحباب را در هر نقطه حوضچه در زمان های مختلف بدست آورده شد و گراف غلظت بعد از گذشت ۱٫۵ ساعت از آزمایش را رسم، و منحنی های میانگین غلظت و انحراف معیار را برای زمان های مختلف (۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰، ... و ۹۰) از آن استخراج شده است. تجزیه و تحلیل منحنی های بدست آمده نشان می دهد بکارگیری توزیع کننده های عمقی در حوضچه های تثبیت فاضلاب، تاثیر قابل توجهی در کارایی و راندمان هیدرولیکی حوضچه دارد. همچنین با استفاده از ورودی های کم از کف (۱۲-۱۰) ولی با آرایش صحیح می توان به توزیع یکنواخت خوبی برای نانوحباب های تزریقی از کف دست یافت و با اختلاط بیشتر جریان و جلوگیری از تشکیل مسیر های میان بر باعث افزایش کارایی تصفیه در حوضچه می شود. با توجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه می توان گفت، با آرایش های پیشنهادی در این پژوهش نانوحباب نیز به صورت یکنواختی در کل حجم حوضچه توزیع می شود و اکسیژن مورد نیاز میکروارگانسیم ها را فراهم کرده و باعث بهتر شدن عملکرد هیدرولیکی و در نهایت بهبود راندمان تصفیه می شود.

واژه های کلیدی: حوضچه های تثبیت فاضلاب، میکرو-نانوحباب، توزیع کننده های عمقی

فهرست مطالب

فصل اول

- ۱-۱ مقدمه..... ۲
- ۲-۱ بیان مساله..... ۳
- ۳-۱ ضرورت انجام پژوهش..... ۳
- ۴-۱ اهداف پژوهش..... ۴
- ۵-۱ معرفی ساختار پایان نامه..... ۵

فصل دوم

- ۱-۲ مقدمه..... ۸
- ۲-۲ فاضلاب..... ۸
- ۳-۲ اهمیت تصفیه فاضلاب..... ۸
- ۴-۲ حوضچه های تثبیت فاضلاب..... ۹
- ۵-۲ هوادهی..... ۱۰
- ۱-۵-۲ هوادهی عمقی..... ۱۱
- ۶-۲ میکرو-نانو حباب ها..... ۱۲
- ۱-۶-۲ تعریف و ویژگی ها..... ۱۲
- ۲-۶-۲ روش های تولید میکرو و نانو حباب..... ۱۶

۳-۶-۲ مطالعات انجام شده در راستای استفاده از تکنولوژی میکرو و نانو حباب ها در

تصفیه آب و فاضلاب..... ۱۷

۷-۲ مطالعات ردیاب انجام شده به صورت میدانی در حوضچه های تثبیت فاضلاب..... ۱۹

۸-۲ بررسی عملکرد هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب..... ۲۰

فصل سوم

۱-۳ مقدمه..... ۲۶

۲-۳ مدل آزمایشگاهی و تجهیزات آن..... ۲۶

۳-۳ روش انجام آزمایش ها..... ۳۰

۴-۳ جمع آوری داده ها و پردازش تصویر..... ۳۵

فصل چهارم

۱-۴ مقدمه..... ۳۸

۲-۴ آزمون های انجام شده..... ۳۸

۱-۲-۴ حوضچه با دیواره ۳۰ درجه با افق..... ۳۹

آزمایش شماره ۱:..... ۴۲

آزمایش شماره ۲:..... ۴۶

آزمایش شماره ۳:..... ۵۰

آزمایش شماره ۴:..... ۵۴

آزمایش شماره ۵:..... ۵۷

آزمایش شماره ۶:..... ۶۱

۶۴.....۲-۲-۴ حوضچه با دیواره قائم.....

۶۶.....آزمایش شماره ۷:

۷۰.....آزمایش شماره ۸:

۷۴.....آزمایش شماره ۹:

۷۸.....آزمایش شماره ۱۰:

۸۲.....آزمایش شماره ۱۱:

۸۶.....آزمایش شماره ۱۲:

۸۹.....۳-۴ نتایج و بحث.....

فصل پنجم

۹۲.....۱-۵ نتیجه گیری.....

۹۳.....۲-۵ پیشنهادات برای انجام مطالعات آتی.....

۹۴.....پیوست ۱.....

۹۵.....منابع و مراجع.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ دفیوژر و نمای کلی در کف آن ۱۲
- شکل ۲-۲ نحوه حرکت حباب عادی، حباب میکرو، حباب نانو در آب ۱۳
- شکل ۳-۲ تاثیر میکرو حباب ها در رفع آلایندهای آلی و میکروبی ۱۴
- شکل ۴-۲ نحوه حرکت نانو حباب ها و حباب های معمولی ۱۵
- شکل ۵-۲ نسبت سطح به حجم بالای نان و حبابها در مقایسه با حباب معمولی ۱۵
- شکل ۶-۲ میکرونانو حباب ها لوله برگشت آب مخزن انحلال گاز ۱۶
- شکل ۷-۲ دستگاه تولید نانو حباب با روش رفع فشار ۱۷
- شکل ۱-۳ نمایی کلی از حوضچه و تجهیزات مورد استفاده در آزمایش ۲۹
- شکل ۲-۳ تصویر ورودی و خروجی اصلی حوضچه ۲۹
- شکل ۳-۳ نمایی از مش بندی کف به ابعاد ۱۰ سانتی متر ۳۰
- شکل ۴-۳ تصویری از جا نمایی آنژکت ها برای تنظیم دبی از کف ۳۰
- شکل ۵-۳ آرایش ورودی های نقطه ای با ۲۰ ورودی از کف ۳۲
- شکل ۶-۳ آرایش ورودی های نقطه ای با ۱۲ ورودی از کف ۳۲
- شکل ۷-۳ آرایش ورودی های نقطه ای با ۱۰ ورودی از کف ۳۲

- شکل ۳-۸ آرایش ورودی های نقطه ای با ۱۲ ورودی از کف ۳۳
- شکل ۳-۹ آرایش ورودی های نقطه ای با ۱۲ ورودی از کف ۳۳
- شکل ۳-۱۰ دوربین Nikon D 7100..... ۳۶
- شکل ۴-۱ با ۲۰ ورودی از کف و دبی ۳,۲ متر مکعب بر روز..... ۴۲
- شکل ۴-۲ با ۱۲ ورودی از کف و دبی ۳,۲ متر مکعب بر روز..... ۴۶
- شکل ۴-۳ با ۱۰ ورودی از کف و دبی ۳,۲ متر مکعب بر روز..... ۵۰
- شکل ۴-۴ با ۱۲ ورودی از کف و دبی ۳,۲ متر مکعب بر روز..... ۵۴
- شکل ۴-۵ با ۱۲ ورودی از کف و دبی ۳,۲ متر مکعب بر روز..... ۵۷
- شکل ۴-۶ با ۱۲ ورودی از کف و دبی ۲,۳ متر مکعب بر روز..... ۶۱
- شکل ۴-۷ دیواره قائم با ۱۲ ورودی از کف و دبی ۲,۳ متر مکعب بر روز..... ۶۶
- شکل ۴-۸ دیواره قائم با ۱۲ ورودی از کف و دبی ۳,۲ متر مکعب بر روز..... ۷۰
- شکل ۴-۹ دیواره قائم با ۱۲ ورودی از کف و دبی ۲,۳ متر مکعب بر روز..... ۷۴
- شکل ۴-۱۰ دیواره قائم با ۱۰ ورودی از کف و دبی ۲,۳ متر مکعب بر روز..... ۷۸
- شکل ۴-۱۱ دیواره قائم با ۱۰ ورودی از کف و دبی ۲,۳ متر مکعب بر روز..... ۸۲
- شکل ۴-۱۲ دیواره قائم با ۱۲ ورودی از کف و دبی ۳,۲ متر مکعب بر روز..... ۸۶

فصل اول

کلیات

امروزه به دلیل رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی و ایجاد صنایع با مصرف بالای آب تولید فاضلاب افزایش چشم گیری یافته است. به همین دلیل، تکنولوژی استفاده از پساب تصفیه شده با کیفیت بالا به عنوان یک منبع آب قابل اعتماد و پایدار بیش از پیش مورد توجه مدیران صنعت آب قرار گرفته است. استفاده از پساب تصفیه خانه های فاضلاب در کشاورزی و صنعت مزایای متعددی از قبیل فراهم نمودن یک منبع آب ارزان و دائمی، آزاد سازی بخشی از منابع آب با کیفیت بالا برای سایر مصارف، کاهش مصرف کود شیمیایی و اثرات زیست محیطی آن و نهایتاً کاهش اثرات زیست محیطی دفع پساب را به دنبال دارد. از این رو بسیاری از کشورها به دنبال روش هایی برای تصفیه فاضلاب هستند که خروجی آن دارای کیفیت بالایی بوده و قابلیت استفاده مجدد را داشته باشد.

یکی از روش های مرسوم تصفیه که در مناطق گرم و نیمه مرطوب مورد توجه قرار دارد، استفاده از حوضچه های تثبیت فاضلاب است. حوضچه های تثبیت قادرند ۹۹/۹٪ عوامل بیماری زا و بیش از ۹۰ تا ۹۵٪ آلودگی ها را از فاضلاب حذف کنند.

برکه های تثبیت فاضلاب یکی از سامانه های نسبتاً ساده و ارزان برای تصفیه فاضلاب شهری هستند که به طور گسترده در مناطق گرمسیری در کشورهای در حال توسعه مورد استفاده قرار می گیرند. کارایی برکه تثبیت فاضلاب در کاهش میکرو ارگانیسم های بیماری زا است و تحت تاثیر عوامل محیطی، خصوصیات فاضلاب و شرایط بهره برداری تغییر می کند. درجه حرارت، زمان ماند هیدرولیکی، شدت نور خورشید غلظت اکسیژن محلول و pH مهمترین عوامل تاثیرگذار بر کارایی فرآیند های تصفیه مذکور در کاهش عوامل بیماری زا هستند.

۲-۱ بیان مساله

با توجه به اهمیت حوضچه های تثبیت فاضلاب و اهمیت وجود اکسیژن در انجام فرایند تصفیه و نقش میکرونانو حباب در انتقال و پخش اکسیژن در محیط های آبی و با توجه به اینکه تا کنون تحقیقی به منظور بررسی اثر توزیع و پخش میکرو نانو حباب به وسیله توزیع کننده های عمقی بر روی عملکرد هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب به صورت آزمایشگاهی انجام نشده است، در این تحقیق از یک مدل آزمایشگاهی با توزیع جریان میکرو نانو حباب به صورت نقطه ای از کف با آرایش های مختلف به منظور به دست آوردن بهترین آرایش برای داشتن کمترین نقطه مرده و بیشترین یکنواختی نانو حباب (اکسیژن) در حجم حوضچه استفاده شد. برای بررسی نتایج از روش پردازش تصاویر بهره گرفته شد. از نتایج حاصله از این پژوهش میتوان در محل هایی که لزوم به پخش یکسان نانوحباب، در یک سطح وسیع باشد، استفاده نمود.

۳-۱ ضرورت انجام پژوهش

با توجه به حجم قابل ملاحظه فاضلاب در شهرها و به منظور حفظ محیط زیست و جلوگیری از انتشار آلاینده ها، تصفیه موثر فاضلاب یک پیش نیاز عمده برای رشد پایدار است. بنابراین توسعه و پیاده سازی تکنولوژی پیشرفته تصفیه فاضلاب با کارایی بالا، نیاز کم به سرمایه گذاری و سرعت عملکرد بالا ضروری است. با توجه به مزیت های برتر، از جمله اقتصادی بودن سیستم حوضچه تثبیت فاضلاب نسبت به سایر روش های تصفیه فاضلاب، بررسی عملکرد هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب با استفاده از مدل های آزمایشگاهی و مدل های دینامیک سیالات محاسباتی مورد توجه قرار دارد. در واقع بهبود عملکرد هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب یک استراتژی مهم مدیریتی است که حفاظت از سلامتی عمومی و محیط زیست و همچنین استفاده مجدد از پساب تصفیه شده را ممکن می سازد. طراحی بهینه حوضچه ها بر اساس شاخص راندمان هیدرولیکی به منظور بررسی اختلاط

هیدرودینامیکی جریان است. از این رو با توجه به اهمیت هوادهی در تصفیه فاضلاب که منجر به تسريع فرآيند تصفيه ميگردد، با تزريق و پخش يکنواخت ميكرونانو حباب مي توان گامي در راستای بهبود عملکرد حوضچه ها برداشت. در واقع با تزريق يکنواخت ميكرونانو حباب از كف حوضچه مي توان باعث اختلاط هرچه بيشتريان آب درون حوضچه ها شد که اين اختلاط هيدرودينامیکی جريان، محيطی يکنواخت در تمام آب حوضچه ايجاد مي کند. بنابراین طراحی آرايشی از روزنه های تعبیه شده در كف حوضچه برای تزريق ميكرونانو حباب به نحوی که بتوان به بالاترين ميزان اختلاط و يکنواختی در حجم حوضچه رسيد، ضروری است.

۱-۴ اهداف پژوهش

هدف اصلی از انجام اين مطالعه، بررسی اثر ميكرونانو حباب تزريق شده به صورت نقطه ای از كف حوضچه تثبيت فاضلاب بر روی توزيع يکنواخت و عملکرد هيدروليکی حوضچه است. يافتن موقعيت و آرايش روزنه های تزريق از كف حوضچه، به طوری که پخش يکنواخت جريان در حوضچه حاصل گردد. همچنين با توجه به اينکه مشخصات هندسی و موقعيت تزريق ميكرونانو حباب ها تأثير بسزایی در توزيع يکنواخت ميكرونانو حباب در حوضچه دارد سعی بر اين است که مشخصات بهينه هندسی و موقعيت تزريق تعيين شود. اين پژوهش قابل کاربرد در طراحی حوضچه های تثبيت فاضلاب توام با روزنه های تعبیه شده در كف حوضچه جهت تزريق ميكرونانو حباب و همچنين به صورت مشابه قابل کاربرد در حوضچه های پرورش ماهی با تزريق ميكرونانو حباب از كف برای اکسيژن رسانی بهتر است. هدف نهايي اين تحقيق رسيدن به مدلی با پخش يکنواخت ميكرونانو حباب در حجم حوضچه ها و کمترین نقطه مرده در حوضچه برای عملکرد هرچه بهتر تصفيه فاضلاب و اکسيژن رسانی يکنواخت می باشد.

۵-۱ معرفی ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر در پنج فصل تدوین شده است که شامل:

فصل اول: کلیات

در این فصل بیان مسئله، ضرورت انجام تحقیق و اهداف مطالعه تشریح شده است.

فصل دوم: مفاهیم و مطالعات پیشین

در این فصل برای موضوع مورد تحقیق (بررسی توزیع جریان ورودی های نقطه ای در مخازن روباز به وسیله تزریق نانوحباب در حوضچه های تثبیت فاضلاب) مفاهیم و تعاریف اولیه بیان می شود، سپس مطالعات قبلی نزدیک به اهداف این تحقیق مورد بررسی قرار می گیرد.

فصل سوم: مواد و روش ها

در ابتدای این فصل، توضیحاتی در مورد نحوه ساخت مدل آزمایشگاهی، تجهیزات بکار رفته در مدل آزمایشگاهی بیان می گردد. در ادامه فصل، نحوه انجام آزمون های آزمایشگاهی، نحوه استخراج نتایج آزمایشگاهی تشریح می گردد.

فصل چهارم: نتایج و بحث

در این فصل ضمن ارائه نتایج آزمایشگاهی به دست آمده و بررسی هیدرولیک حوضچه در حضور توزیع کننده های عمقی با آرایش و موقعیت های مختلف در حوضچه، نتایج به طور مفصل تفسیر و تحلیل می شوند.

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد ها

در این فصل نتایج اصلی تحقیق حاضر بیان می گردد و پیشنهاد هایی برای انجام مطالعات آتی ارائه می شود.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات

گذشته

۲-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا در رابطه با فاضلاب، اهمیت تصفیه فاضلاب و حوضچه های تثبیت فاضلاب به عنوان روش مقرون به صرفه برای تصفیه فاضلاب صحبت شده است. سپس به بررسی اهمیت هوادهی در فرآیند تصفیه فاضلاب و همچنین خواص و خصوصیات میکرو نانو حباب ها به منظور استفاده به عنوان توزیع کننده های عمقی، جهت هوادهی در فاضلاب پرداخته شده است. در ادامه این فصل، مطالعات انجام شده بر عملکرد هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب مورد ارزیابی قرار می گیرد.

۲-۲ فاضلاب

فاضلاب به محلول حاصل از آب، پس از استفاده در فعالیت های گوناگون گفته می شود. از آنجایی که استفاده از آب پارامترهای کیفی آن اعم از شیمیایی، فیزیکی یا زیستی را از سطح استاندارد مورد نظر پایین می آورد استفاده مجدد از آن نیاز به طی مراحل دارد که به آن تصفیه گفته می شود. در اصطلاح فنی، به هر نوع آب یا مایعی که حاوی غلظت های نامناسبی از ناخالصی یا مواد آلاینده به شکل جامد، مایع، گاز و یا ترکیبی از این سه باشد اطلاق می شود که تخلیه مستقیم آن به محیط زیست، آلودگی های منابع زیرزمینی و سطحی و خاکی را در پی دارد (علوی مقدم و صدری مقدم، ۱۳۹۲). معمولاً فاضلاب شامل ۹۹/۹ درصد آب . ۰/۱ درصد جامدات است. ناپایداری آلاینده های موجود در فاضلاب و جداسازی آن ها اساس تصفیه فاضلاب را تشکیل می دهد (حسینیان، ۱۳۸۲).

۲-۳ اهمیت تصفیه فاضلاب

توسعه شهرنشینی، پیشرفت صنعت و کشاورزی مشکلاتی را به همراه داشته است که از جمله آن می توان به تولید مقادیر قابل توجهی از فاضلاب شهری و صنعتی اشاره کرد. تخلیه این فاضلاب ها بدون تصفیه مناسب می تواند منجر به آلودگی شدید منابع آب شود. با توجه به محدود بودن منابع تجدید پذیر آب در جهان، ضرورت توجه به مسئله آلودگی فاضلاب های مختلف لزوم تحقیق پیرامون روش های بهینه تصفیه، بیش از پیش حساس می شود (علوی مقدم و صدری مقدم، ۱۳۹۲).

با کاهش منابع آب و آلودگی هر چه بیشتر این منابع در سال های اخیر، بسیاری از کشورها به دنبال روش هایی برای تصفیه فاضلاب هستند که خروجی آن داری کیفیت بالایی بوده و قابلیت استفاده مجدد را داشته است (شریعت پناهی، ۱۳۹۱). یکی از متداول ترین روش های تصفیه ای که در سال های اخیر در کشور های پیشرفته و به همان نسبت در کشور های در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است و به شدت در حال توسعه می باشد استفاده از حوضچه های تثبیت فاضلاب می باشد (Mara2013).

۲-۴ حوضچه های تثبیت فاضلاب

حوضچه های تثبیت فاضلاب آبگیرهای عریض و کم عمق هستند که به وسیله ی خاکریز احاطه شده اند. در این حوضچه ها فاضلاب خانگی و دیگر فاضلاب ها برای مدت نسبتاً طولانی نگهداری می شود تا به روش کاملاً طبیعی بر اثر هم زیستی مسالمت آمیز جلبک های سبز و باکتری ها از طریق فتوسنتز و تولید اکسیژن کافی برای فعالیت های حیاتی تصفیه فاضلاب، عمل تصفیه را انجام می دهند. در واقع برکه های تثبیت ساده ترین نوع روش تصفیه فاضلاب محسوب می شوند که عمل تصفیه را با کمترین هزینه، حداقل امکانات فنی و حداقل مصرف انرژی انجام می دهند. نظر به اینکه این فرآیندها مهندسی شده نیستند، سرعت اکسیداسیون آهسته تر و زمان ماند طولانی تر از دیگر روش های تصفیه فاضلاب است. از این رو این حوضچه ها به طور گسترده ای در مناطق گرمسیری و در جایی که زمین کافی در اختیار باشد استفاده می گردد (Mara2013). گرم بودن محیط نقش اساسی در تنظیم فعالیت های میکروبی ایفا می کند.

فعل و انفعالات تصفیه فاضلاب در حوضچه های تثبیت فاضلاب به مراتب پیچیده تر از سایر روش های تصفیه فاضلاب است، عوامل موثر در این فعل و انفعالات که مهم ترین آنها باکتری های

هوازی و بی هوازی است، در روش های مدرن تصفیه فاضلاب مشترک است. به عنوان مثال همان طور که در روش های تصفیه هوازی، فعالیت باکتری ها در حضور اکسیژن محلول باعث اکسیده شدن آلوده کننده های فاضلاب می گردد، در روش های مدرن تصفیه، اکسیژن مورد نیاز از طریق هوادهی به فاضلاب تزریق می گردد، در تصفیه از طریق حوضچه های تثبیت نیز اکسیژن محلول عامل مهم فعالیت باکتری های هوازی است. این اکسیژن از طریق تماس سطح حوضچه با اتمسفر و فعل و انفعالات فتوسنتز جلبک های سبز داخل حوضچه های تثبیت فاضلاب در برابر نور خورشید تامین می شود. در لایه ای زیرین حوضچه های تثبیت فاضلاب که نمی تواند متاثر از نفوذ نور خورشید یا اکسیژن اتمسفر باشد باید منتظر شکل گیری لایه های بی هوازی بود که اغلب محصولاتی توام با بوهای نامطبوع را تولید می کند (حسینیان، ۱۳۸۲).

با توجه به اینکه سیستم برکه های تثبیت فاضلاب در بسیاری از قسمت های دنیا استفاده می شود، اگر زمین کافی در دسترس باشد، برکه های تثبیت ارزان ترین روش تصفیه فاضلاب محسوب می شوند. برکه های تثبیت از نظر ساختمانی بسیار ساده و مهم ترین مرحله ساخت آنها گود برداری، تاسیسات تصفیه مقدماتی، سازه های ورودی و خروجی، جداره سازی و آب بندی دیواره ها و کف برکه می باشد که با استفاده از عوامل طبیعی، تصفیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، فاضلاب را به انجام می رساند (ندافی، ۱۳۷۵). این تکنولوژی پایدارتر از روش های مکانیکی تصفیه فاضلاب است (Muga and Mihelcic 2008).

۲-۵ هوادهی

هوادهی یک فرایند انتقال جرم گاز-مایع است، که در بسیاری از محیط های آبی از جمله استخرهای پرورش ماهی و حوضچه های تصفیه فاضلاب حیاتی است. در طی عملیات هوادهی آب و هوا با هم مخلوط شده و در نتیجه میزان اکسیژن محلول در آب به حد اشباع نزدیک می شود و اکسیژن

مورد نیاز برای مصرف ماهی ها و میکروارگانیزم ها تامین می گردد. سرعتی که با آن اکسیژن توسط میکروارگانیزم ها به مصرف می رسد در راکتورهای بیولوژیکی به نام سرعت مصرف اکسیژن نامیده می شود.

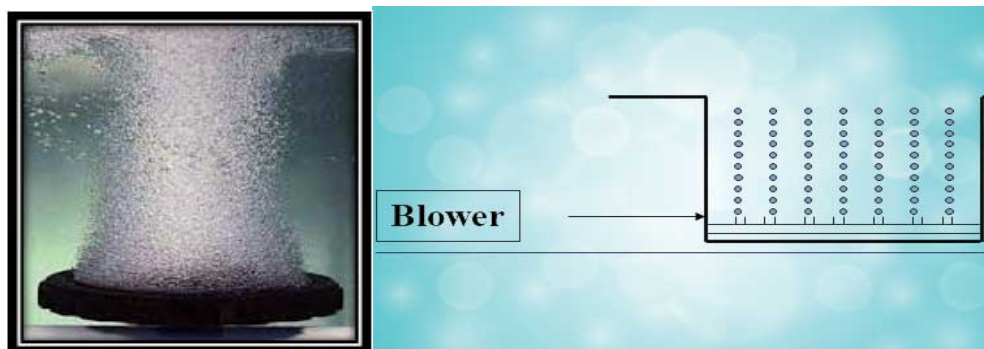
برای فرآیند لجن فعال سرعت مصرف اکسیژن همیشه از سرعت جایگزینی طبیعی آن بیشتر است؛ و از این رو برای افزودن اکسیژن وسایل مصنوعی مورد نیاز است. به استثناء سیستم اکسیژن خالص، اکسیژن در اثر هوادهی مایع مخلوط در راکتور بیولوژیکی تامین می شود.

سرعت مصرف اکسیژن تابعی از خواص فاضلاب و راکتور است. تصفیه فاضلاب شهری به کمک هوادهی ممتد (هوادهی گسترده) معمولاً منجر به سرعت مصرف اکسیژن با رقمی معادل 10 mg/l/h است. در حالیکه برای تصفیه فاضلاب به کمک فرآیند های متعارف لجن، سرعت مصرف اکسیژن به حدود 30 mg/l/h و تا 100 mg/l/h در فرآیندهای سریع می رسد.

۲-۵-۱ هوادهی عمقی

در این روش، دمیدن هوا به درون فاضلاب با کمک بلوئر (دمنده) یا کمپرسور و توسط لوله های تحت فشار انجام می گیرد که به این عمل هوادهی عمقی می گویند. تجهیزات اصلی مورد استفاده در هوارسانی به فاضلاب در این روش شامل سیستم توزیع هوا، انتقال هوا، دمنده های هوا حباب های هوا توسط دیفیوزرهای^۴ حباب ریز (دیسکی یا لوله ای) با غشاء ممبرانی می باشند. در این روش هوادهی، هوای فشرده شده توسط دمنده ها با فشار زیاد از طریق لوله های رابط دیفیوزرها تقریباً از 30 سانتیمتری کف حوض هوادهی به درون فاضلاب تزریق می گردد. سپس حباب های ریز هوا در تماس با فاضلاب مسیر خود را به سمت سطح مایع طی می نمایند و در مسیر خود و در تماس با فاضلاب قسمتی از اکسیژن هوا در مایع حل می گردد و از این طریق نیاز میکروارگانیزم ها را به اکسیژن تامین می نماید.

از محاسن این سیستم هوادهی می‌توان به جذب مقدار زیادی از اکسیژن به علت طی مسیر طولانی توسط فاضلاب اشاره نمود.



شکل ۱-۲ دیفیوژر و نمای کلی در کف آن

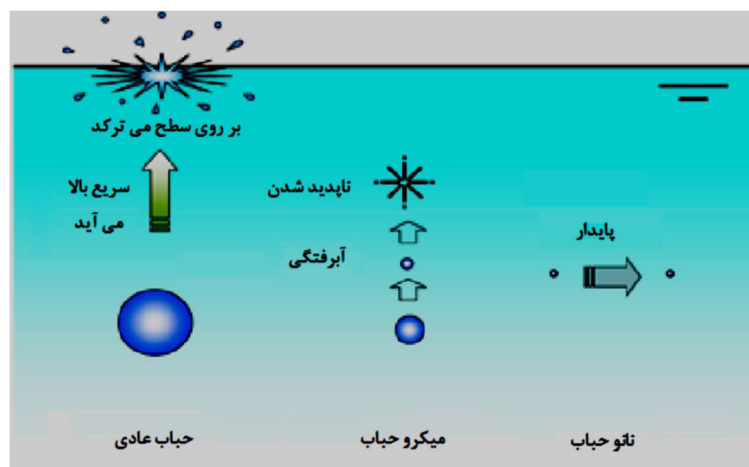
هوادهای عمقی انواع مختلفی داشته و به انواع حباب ریز، متوسط و حباب درشت تقسیم بندی می‌شود. نوع حباب ریز، حباب‌هایی به قطر تقریبی ۲-۲,۵ میلی‌متر به وجود می‌آورند. در حالی که دیفیوژرهای درشت حباب، حباب‌های کمتر ولی درشتتر (تا قطر ۲۵ میلی‌متر) تولید می‌نماید. هر دو نوع دیفیوژر دارای مزایا و معایبی هستند. از لحاظ انتقال اکسیژن، نوع حباب ریز به دلیل ایجاد مساحت بیشتری در واحد حجم هوا دارای راندمان بهتری هستند. با این وجود افت انرژی در اثر عبور هوا از روزنه‌های کوچک و فشار بیشتر هوا نهایتاً مقدار انرژی بیشتری را مصرف می‌کند به علاوه به منظور جلوگیری از گرفتگی سوراخ‌های ریز دیفیوژر، استفاده از فیلترهای مناسب ضروری است. دیفیوژر حباب درشت، هزینه حفظ و نگهداری و افت فشار کمتری داشته ولی بازده اکسیژن آنها ضعیف است.

۲-۶ میکرو-نانو حباب‌ها

۲-۶-۱ تعریف و ویژگی‌ها

فناوری نانو توانایی طراحی ساختارها را با دقت و ظرافت مولکولی اتمی فراهم می آورد. این به معنای مهندسی دقیق یک ساختار در حد میلیاردیم متر یا همان نانومتر است. ساختارهایی که با این دقت تهیه می شوند، خصوصیات ویژه و منحصر به فردی از خود نشان می دهند. انتظار می رود که تا سال 2050 میلادی، این فناوری بتواند چهره زندگی بشر را بطور کلی تغییر دهد. فناوری نانو در کنار فناوری زیستی و فناوری اطلاعات موج دیگری از انقلاب صنعتی را در جهان رقم خواهد زد.

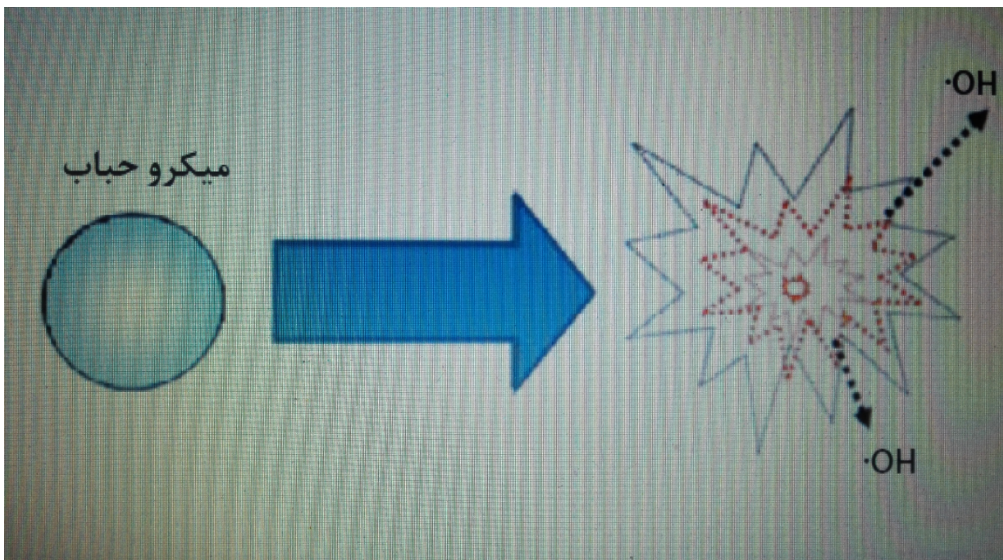
میکرو حباب ها^۱ و نانوحباب ها^۲، حباب های بسیار کوچکی از هوا هستند که به ترتیب دارای ابعاد 10 – 50 میکرومتر و کمتر از 200 نانومتر می باشند. میکرو حباب ها و نانوحباب ها هر یک رفتار منحصر به فردی از خود نشان می دهند و با توجه به این موضوع کاربردهای متفاوتی در تصفیه آب خواهند داشت. یک حباب معمولی ماکرو حباب، مسیری به سمت بالا را با سرعت زیاد طی می کند و پس از رسیدن به سطح آب متلاشی می شود (شکل ۲-۲). یک میکرو حباب نیز مسیری به سمت بالا را طی می کند با این تفاوت که معمولا در داخل آب متلاشی می شود (شکل ۲-۲). همچنین یک نانوحباب 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 (فریدی و سروری، ۱۳۹۴).



Micro Bubbles
Nano Bubbles

شکل ۲-۲ نحوه حرکت حباب عادی، حباب میکرو، حباب نانو در آب [Arefi et al, 2016]

میکرو حباب ها بیشتر جهت تخریب آلاینده ها مورد استفاده قرار میگیرد چرا که زمانی که میکرو حباب در میانه راه متلاشی شده منجر به تولید رادیکال های $\cdot\text{OH}$ و موج شوک در آن ناحیه می گردد (شکل ۲-۳). ترکیدن میکرو حباب میتواند منجر به متلاشی شدن آلاینده های آلی محلول در آب مثل آفتکش ها شود. همچنین ترکیدن میکرو حباب ها میتواند به میکروب زدایی 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 ها در بیشتر موارد هوا و یا اکسیژن می باشد اما استفاده از گاز ازن نیز جهت تولید میکرو حباب ها، تاثیرات قابل توجهی در رفع آلودگی آب خواهد داشت.

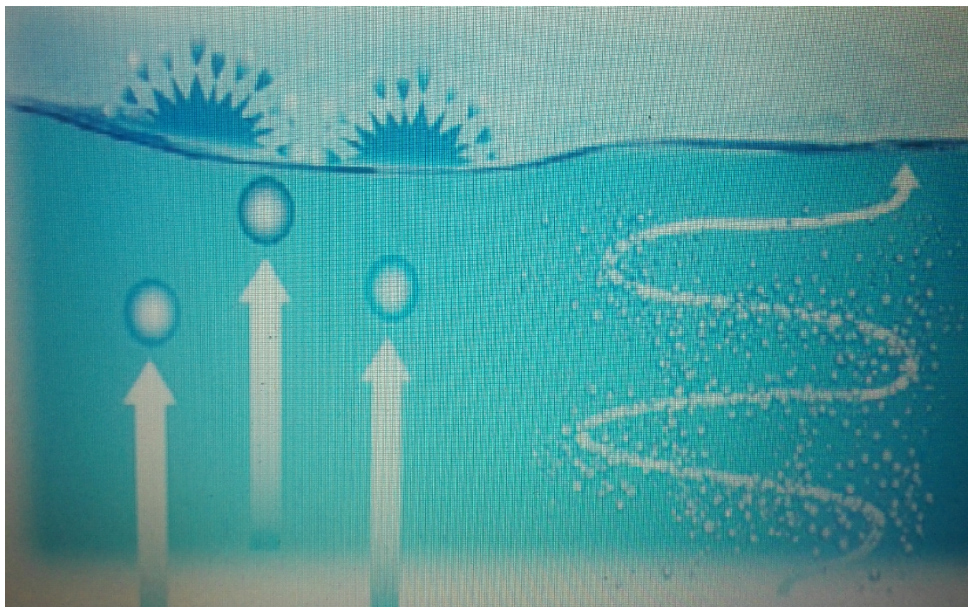


شکل ۲-۳ تاثیر میکرو حباب ها در رفع آلاینده های آلی و میکروبی

نانو حباب ها بر خلاف 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 جابجایی ذرات معلق و آلاینده های موجود در آب بسیار مناسب باشند. نانو حباب ها در مقایسه با حباب های معمولی چندین مزیت دارند از جمله:

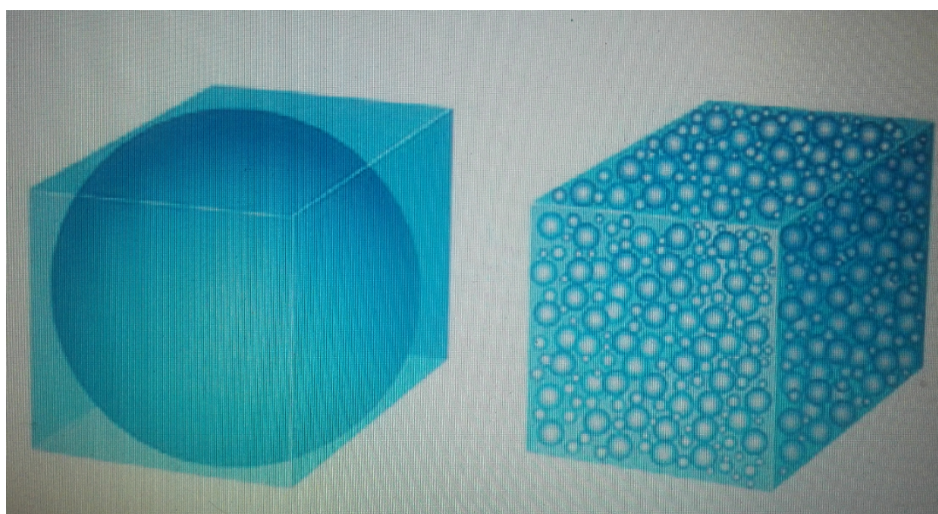
الف) نانو حباب ها گستره بیشتری را پوشش می دهند: حباب های معمولی با سرعت به سمت

بالا حرکت می کنند و ذرات معلق که در مسیر مستقیم سر راه آنها قرار می گیرد را میتوانند با خود به سطح بیاورند. اما نانوحباب ها با همان حجم از هوا، به صورت مارپیچی حرکت کرده و محدوده بسیار زیادی را پوشش می دهند (شکل ۲-۴).



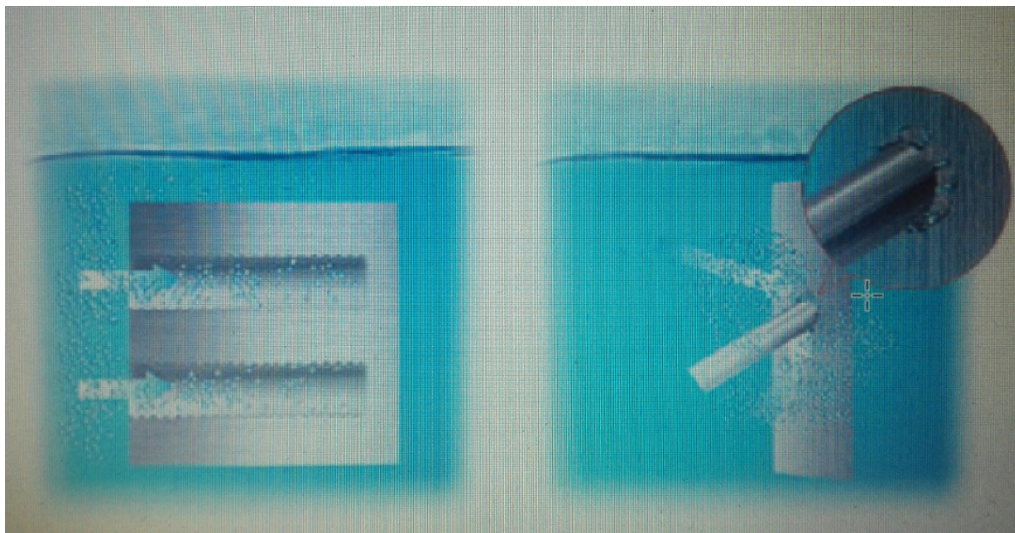
شکل ۲-۴ نحوه حرکت نانوحباب ها و حباب های معمولی

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 ۲-۵).



شکل ۲-۵ نسبت سطح به حجم بالای نانوحباب ها در مقایسه با حباب معمولی

ت) توانایی پاک کنندگی سطوح و منافذ: نانوحباب ها میتوانند در جهت پاکسازی و رفع آلودگی های تاسیسات زیر آب موثر واقع شوند. نانوحباب ها میتوانند در جهت های مختلف (نه تنها پایین به بالا) حرکت کنند و به منافذ ریز نیز ورود پیدا کنند. با این ویژگی، میتوانند آلودگی های متصل به سطوح و درزها در زیر سطح آب را جدا کرده و با خود حمل کنند (شکل ۲-۶). این رسوبات و آلودگی ها که محل مناسبی برای رشد عوامل بیماری زا می باشد. به صورت ویژه میتوان نانوحباب ها را جهت رفع رسوبات از روی منافذ غشاهای فیبری و یا غشاهای نانو فیلتراسیون مورد استفاده قرار داد. این فناوری به صورت چشمگیری منجر به افزایش طول عمر و کارکرد غشاء می شود (فریدی و سروری، ۱۳۹۴).



شکل ۲-۶ میکرونانوحباب ها لوله برگشت آب مخزن انحلال گاز

۲-۶-۲ روش های تولید میکرو و نانو حباب

برای تولید میکرو و نانوحباب ها روش های متعددی وجود دارد، دو روشی که نسبت به روش های دیگر بیشتر مورد توجه است روش رفع فشار و روش دوران آب -گاز (جریان مایع مارپیچی) می باشد. در روش رفع فشار، گاز را با فشار زیاد درون یک مخزن پر از آب حل می کنند تا شرایط فوق اشباع

به وجود آید . سپس آب فوق اشباع را در استخر مد نظر رها می کنند (شکل ۲-۷). در روش دوران آب - گاز، گاز معمولی به داخل آب تزریق می شود تا حباب معمولی را تولید کند سپس حباب ها به صورت گردابی^۷ درون لوله دوران پیدا می کنند تا به حباب های ریزتر میکرو و یا نانو تبدیل شوند. در برخی موارد نانوحباب را میتوان با روش های الکتروشیمیایی تولید کرد و با اعمال مدام امواج فراصوت، از سطح الکتروود جدا نمود (فریدی و سروری، ۱۳۹۴).



شکل ۲-۷ دستگاه تولید نانوحباب با روش رفع فشار

۲-۶-۳ مطالعات انجام شده در راستای استفاده از تکنولوژی میکرو و نانو حباب ها در

تصفیه آب و فاضلاب

در چند سال گذشته توجه زیادی به کاربرد میکرو حباب ها و نانوحباب ها برای تصفیه آب و فاضلاب به دلیل توانایی آنها در تولید رادیکال های آزاد واکنش پذیر، شده است. همچنین از میکرو نانو حباب ها برای سم زدایی از آب استفاده می شود (Yamasaki, Sakata et al. 2010).

لی^۸ و همکاران در سال ۲۰۰۹ با بررسی اثر میکرو حباب در فرآیند انعقاد و شناورسازی فاضلاب

رنگی به این مهم دست یافتند که میکرو حباب ها می توانند نرخ انتقال اکسیژن بالاتری را داشته باشند. به طوری که ضریب حجمی انتقال اکسیژن میکرو حباب ۱,۱۷۵۴ بر دقیقه و در حباب های معمولی هوا ۰,۷۵۳۵ بر دقیقه است. بنابراین میکرو حباب می تواند به میزان انتقال گاز بالاتری (تقریباً ۱,۶ برابر بیشتر) نسبت به حباب معمولی برسد (Liu, Wang et al. 2010).

با توجه به خصوصیات ویژه ای که میکرو حباب و نانوحباب از خود نشان می دهند باعث افزایش اکسیژن در آب و محیط های آبی در نتیجه افزایش راندمان اکسیژن دهی در محیط های آبی می شوند. از این رو متعاقباً سبب افزایش ظرفیت تصفیه خانه های آب و فاضلاب، کاهش مصرف انرژی و افزایش بازدهی از طریق حذف شکل های متعارف هوادهی می گردند (فریدی و سروری، ۱۳۹۴).

فرایند تولید نانوحباب کم هزینه می باشد و ادغام فرایند نانوحباب با دیگر فرایندهای مرسوم تصفیه آب می تواند علاوه بر کاهش هزینه ها، بازدهی کار را به طور قابل توجهی افزایش دهد. ادغام فرایند تولید نانوحباب ها با فرایند لخته سازی 40 درصد بازده کار نسبت به روش های لخته سازی /شناورسازی مرسوم را افزایش می دهد (فریدی و سروری، ۱۳۹۴).

به عنوان مثال جهت حذف ذرات معلق موجود در پساب صنایع پولیش شیمیایی - فیزیکی، هزینه های فرایند انعقاد معمولی نسبت به فرایند ترکیبی انعقاد/نانوحباب برای رسیدن به یک بازده معین بیشتر خواهد بود (جدول ۱-۲).

گزینه ها	فرایند انعقاد معمولی	فرایند ترکیبی انعقاد/نانوحباب
هزینه مواد شیمیایی منعقد کننده	۱,۲	۰,۳
هزینه برق مصرفی	۰,۱۸	۰,۱۵
هزینه تعمیر و نگهداری	۰,۲۰	۰,۱۵
هزینه پرسنل	۰,۱۵	۰,۱۵
مجموع هزینه های عملیاتی	۱,۷۳	۰,۷۵

جدول ۱-۲. مقایسه هزینه ها جهت رفع ذرات معلق پساپ صنایع مسطح سازی شیمیایی -

فیزیکی بر حسب دلار برای هر مترمکعب.

۷-۲ مطالعات ردیاب انجام شده به صورت میدانی در حوضچه های تثبیت فاضلاب

ردیاب ماده یا انرژی است که توسط آب حمل شده و اطلاعاتی راجع به مسیر، جهت، نرخ جریان آب و انتقال آلاینده ها به وسیله آب را ارائه می دهد. به دلیل قابل مشاهده بودن، رنگ ها کاربرد فراوانی به عنوان ماده ردیاب دارند. یکی از مشهورترین رنگ هایی که به عنوان ردیاب در مطالعات هیدرولیکی تاسیسات آب و فاضلاب استفاده می شود، رودامین است. رودامین علاوه بر قابلیت مشاهده بصری، به خاطر عدم جذب در مطالعات پراکندگی استفاده می شود. در پژوهش لیزما از رودامین به عنوان ردیاب و از فلورومتر برای اندازه گیری غلظت ردیاب در خروجی استفاده شده است. فلورومتر کالیبره می شود. در واقع کالیبراسیون به طور موثر با کاهش غلظت زمینه (با ست کردن غلظت آب درون حوضچه بر روی صفر) انجام شده است (Lizima 2013).

به منظور تفسیر داده های ردیاب، اندازه گیری جریان ورودی و خروجی ضروری است. بنابراین

لیزما با ثبت زمان از لحظه ورود جریان به سطل تا زمانی که سطل باید خالی شود و بعلاوه با داشتن حجم ذخیره شده در سطل، نرخ جریان را اندازه گیری کرد. این روند دوبار دیگر هم برای اندازه گیری دقیق نرخ جریان انجام شد (Lizima 2013).

۲-۸ بررسی عملکرد هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب

با توجه به اهمیت و همچنین اقتصادی بودن استفاده از حوضچه های تثبیت فاضلاب در این راستا مطالعات زیادی انجام شده است که در این باره می توان به موارد زیر اشاره کرد.

ودد^۱ و همکاران در سال ۱۹۹۵ با توجه به این که روش های طراحی سنتی و مرسوم مشکلات هیدرودینامیکی از جمله مسیر میان بر (عبارت مسیر میان بر دارای تعریف دقیق و فنی نیست اما معمولا برای توصیف وضعیتی که در آن بخش از جریان در زمان بسیار کم تر از زمان ماند خارج می شود استفاده می گردد) را حل نمی کنند و قادر به پیش بینی تاثیر اقداماتی نظیر استفاده از دیوار های میانی یا تغییر مکان موقعیت ورودی و خروجی برای بهبود عملکرد حوضچه ها نمی باشند. برای این منظور به بررسی هیدرودینامیک چهار سیستم حوضچه تثبیت فاضلاب با CFD پرداخته شد. در این مطالعه حوضچه ها به صورت دو بعدی در حالت پایا با رژیم جریان آرام در شرایط ایزوترمال شبه سازی شد. چهار حوضچه تثبیت فاضلاب به این شرح، حوضچه بدون دیواره میانی، حوضچه با یک دیواره میانی در نزدیکی ورودی جریان، حوضچه با یک دیواره میانی در نزدیکی خروجی جریان، حوضچه با یک دیواره میانی در مرکز حوضچه شبه سازی شدند.

حوضچه به صورت دو بعدی به طوری که ورودی در گوشه بالایی سمت چپ و خروجی در گوشه پایین سمت راست ولقع شده شبیه سازی شدند. مناطق مرده به طور عمده در گوشه های مقابل ورودی و خروجی در گوشه مقابل ورودی و خروجی در حوضچه های بدون دیوار میانی ایجاد شد. دیوار میانی در نزدیکی ورودی باعث ایجاد جت مایع به سمت خروجی و افزایش حجم منطقه مرده در حوضچه

می شود، که عمدتاً ناشی از تشکیل منطقه مرده و رکود در پشت دیواره میانی است. همچنین دیواره میانی که در نزدیکی خروجی قرار دارد مسیر ناشی از اثر جت را کاهش می دهد. (Wood, Greenfield et al. 1995).

در سال ۲۰۰۰ پرسون^{۱۲} به ارزیابی پارامترهای هیدرولیکی سیزده حوضچه با طرح های مختلف پرداخت و اثر موقعیت قرارگیری مقطع ورودی و خروجی، استفاده از دیواره میانی، نسبت طول به عرض و هندسه حوضچه و موقعیت قرارگیری خاکریز سطحی بر روی عملکرد هیدرولیکی حوضچه ها را مورد بررسی قرار داد. همچنین مسیرهای میان بر و پارامترهای موثر بر عملکرد هیدرولیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نسبت طول به عرض، موقعیت ورودی و خروجی و خاکریزهای زیر سطحی تاثیر زیادی بر عملکرد هیدرولیکی حوضچه ها دارد. در این حالت ها یکی از مدل ها به گونه ای بود که پساب ورودی در کل عرض حوضچه وارد می شد که در این مورد شاخص اتصال کوتاه بیشتر از هندسه های دیگر محاسبه شده است. در حوضچه با هندسه غیر معمول و یا با یک جزیره در نزدیکی دیواره کناری، لزوماً منجر به کاهش کارایی هیدرولیک نسبت به اشکال اولیه نمی شود. همچنین نتایج نشان داد که یک جزیره در جلوی ورودی، عملکرد هیدرولیکی را افزایش می دهد. در واقع با افزایش نسبت طول به عرض، متوسط زمان ماند و مقدار حجم موثر افزایش می یابد و منطق مرده کاهش می یابد (Persson 2000).

شیلتون^{۱۳} و هریسون^{۱۴} در سال ۲۰۰۳ به دستور العمل ها برای بهبود طراحی هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب پرداختند. با توجه به اینکه رفتار هیدرولیکی حوضچه ها تحت تاثیر پیکربندی موقعیت ورودی و خروجی، دیواره میانی، باد است. اما اطلاعات طراحی مربوط به این عوامل هنوز بسیار محدود است. در این مطالعه به مروری بر توسعه دستور العمل ها برای بهبود طراحی

Persson
Shilton
Harrison

هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب پرداخته شد (Shilton and Harrison 2003).

بر اساس نتایج، طراحی ورودی می تواند تاثیر قابل توجهی بر رژیم جریان در یک حوضچه داشته باشد. موقعیت نادرست ورودی و خروجی می تواند مشکلات هیدرودینامیکی از قبیل ایجاد مسیرهای میان بر را تشدید کند. به عنوان مثال از ماهیت کار انجام شده در این پژوهش، استفاده از یک لوله افقی کوچک واقع در ورودی در مقایسه با طراحی عمودی ورودی است. در این مطالعه، آزمایش های گسترده ای در طیف وسیعی از تنظیمات پیکر بندی دیواره میانی انجام شده است. این پژوهش نشان داد که چگونه یک دیواره میانی کوتاه می تواند پیشرفت مشابهی نسبت به دیگر طرح های مرسوم و طولانی دیواره میانی ارائه دهد و به طور بالقوه باعث صرفه جویی قابل توجهی در هزینه ساخت دیواره میانی شود. برای طراحی دیواره میانی به شیوه مرسوم حداقل دو دیواره میانی توصیه می شود. برای مدل سازی حوضچه ها مشخص شد بیش از چهار دیوار میانی تنها به پیشرفت جزئی منجر می شود (Shilton and Harrison 2003).

ورودی عمودی می تواند وضعیت بهتری را نسبت به یک ورودی افقی ارائه دهد. با این حال ممکن است به دلیل ملاحظات بارگذاری و یا تاثیر باد همیشه بهترین گزینه برای طراحی نباشند. اما به طور کلی پیشنهاد می شود، با توجه دقیق به الگوهای جریان شکل گرفته در حوضچه از لوله های افقی استفاده شود. کنترل بهتر جریان را می توان با طراحی ورودی هوشمندانه و استفاده از دیوار میانی بدست آورد. با توجه به اینکه موقعیت خروجی تاثیر کمی بر الگوی جریان اصلی دارد، بنابراین پس از طراحی موقعیت ورودی و دیواره میانی می تواند به عنوان یک عملکرد ثانویه در نظر گرفته شود که برای رسیدن به حداکثر راندمان موقعیت خروجی می تواند در مناطق مرده خارج از الگوی جریان قرار گیرد (Shilton and Harrison 2003).

هدف اصلی شیلتون و هریسون در پژوهش خود ارائه برخی یافته های کلیدی در توسعه دستورالعمل ها، برای بهبود طراحی هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب است. این دستورالعمل

ها برای کمک به علم در زمینه ی طراحی هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب است. همان طور که توسط محققانی مانند وود و همکاران در سال ۱۹۹۵ برخی از آنها شناسایی شده اند. با این وجود اعتقاد بر این است که توسعه این دستورالعمل ها سهم مهمی در پر کردن شکاف های علمی در این زمینه، تحقیقات بیشتر و ارائه ابزار های علمی برای طراحی مهندسان که هنوز در این زمینه مورد نیاز است (Shilton and Harrison 2003).

در سال ۲۰۱۲ لیزما عملکرد هیدرولیکی سیستم حوضچه ی تثبیت فاضلاب واقع در بولیوی^{۱۵} مورد بررسی قرار داد. او علاوه بر آزمایشات میدانی ردیاب در حوضچه، آن را به صورت دو بعدی مدل سازی کرد. با توجه به اینکه این حوضچه در سال ۲۰۰۶ به بهره برداری رسیده است بنابراین هیچ لجنی در آن انباشته نشده بود. او در سال ۲۰۱۲ به برآورد حجم لجن انباشته شده در حوضچه پرداخت. سپس با مقایسه مدل سازی این دو حالت به نتایج ذیل دست یافت. با توجه به اینکه انباشت لجن ظرفیت تصفیه را کاهش می دهد اما اثرات دیواره میانی را ایجاد می کند که باعث می شود رفتار جریان به جریان پلاگ راکتور نزدیک شود و در نتیجه کارایی تصفیه افزایش یابد در واقع نتایج بدست آمده از کار وی اهمیت دیوار میانی را نشان می دهد (Lizima 2013).

اودراگو^{۱۶} و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی تاثیر لایه های لجن بر روی عملکرد هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب پرداختند. با توجه به اینکه بهبود عملکرد هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب علاوه بر حفظ سلامت محیط زیست منجر به دست یابی به یک منبع آب پایدار، از پساب تصفیه شده جهت استفاده در کشاورزی و دیگر مصارف می گردد. بنابراین برای استفاده مجدد از پساب حوضچه های تثبیت فاضلاب درک بهتر از عوامل موثر بر عملکرد هیدرولیکی سیستم مورد نیاز است. یکی از عوامل تاثیر گذار بر حوضچه های تثبیت فاضلاب انباشت لجن است که حجم حوضچه ها را تغییر می دهد. اگر چه انباشت لجن ظرفیت تصفیه را کاهش می دهد اما ممکن است اثرات دیواره ی میانی را

ایجاد کند که باعث می شود رفتار جریان به جریان پلاگ راکتور نزدیک شود. در نتیجه کارایی تصفیه افزایش می یابد. در این مطالعه چهار حوضچه تثبیت فاضلاب با حجم و توزیع لجن مختلف مورد بررسی قرار گرفت، تجزیه و تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی به منظور بررسی اثر شکل لایه لجن بر روی عملکرد هیدرولیکی حوضچه های اختیاری که معمولاً در بسیاری از جوامع کوچک و در حال توسعه در سراسر جهان استفاده می شوند، انجام شد. نتایج نشان داد که توزیع و حجم لجن تاثیر قابل ملاحظه ای در کارایی و ظرفیت تصفیه فاضلاب دارد. در واقع نتایج بدست آمده در این مطالعه اهمیت کاربرد دیواره میانی را نشان می دهد (Ouedraogo, Zhang et al. 2016).

در سال ۱۳۹۷ خانم خزلی با استفاده از CFD اثر توزیع کننده های عمقی بر روی عملکرد هیدرولیکی حوضچه های تثبیت فاضلاب را مورد بررسی قرار داد. خانم خزلی در پژوهش خود چهار حوضچه تثبیت فاضلاب با آرایش توزیع کننده های عمقی مختلف به منظور ایجاد مومنتوم برای عملیات هوادهی از کف را مورد بررسی قرار داد. هندسه اول فاقد توزیع کننده عمقی بود. هندسه دوم ۲۸ توزیع کننده و هندسه سوم ۵۵ و در هندسه چهارم ۱۶۰ توزیع کننده عمقی در نظر گرفتند. به منظور شبه سازی از نرم افزار Open Foam استفاده کردند که به صورت عددی با جریان پایا و رژیم آشفتنه و استفاده از مدل آشفتگی K-ε شبیه سازی شده است. نتایج نشان داد بکارگیری توزیع کننده های عمقی در حوضچه های تثبیت فاضلاب، تاثیر قابل توجهی در کارایی و راندمان هیدرولیکی و یکنواختی پخش در جریان حوضچه ها دارد.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

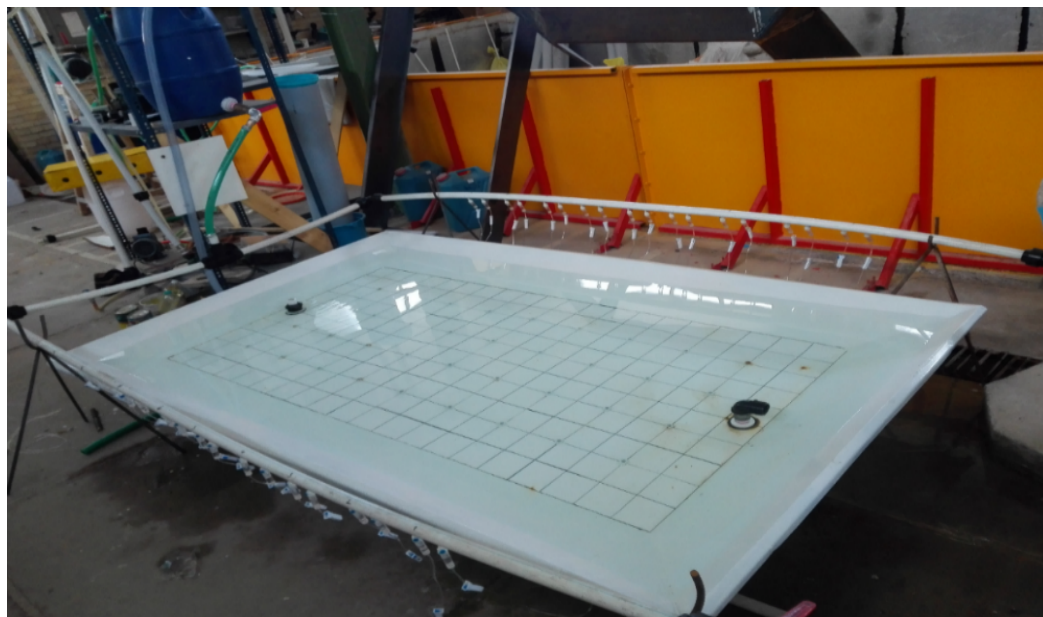
برای انجام این تحقیق، مطالعات به صورت آزمایشگاهی انجام شد. بنابراین ساخت مدل آزمایشگاهی کارا که بتواند، پاسخگوی اهداف مورد نظر این پژوهش باشد در دستور کار قرار گرفت. قبل از ساخت مدل آزمایشگاهی، بررسی دقیقی از مطالعات آزمایشگاهی و عددی که تا حدودی نزدیک و مرتبط به تحقیق حاضر بود، انجام شد. سپس ابعاد مدل بر اساس اهداف مورد نظر تحقیق و تجهیزات مورد نیاز برای ساخت آن، بر اساس جنس مصالح موجود در بازار تعیین شدند. در این بخش ابتدا مدل آزمایشگاهی و تجهیزات مورد نیاز ارائه شده و سپس به نحوه ی انجام آزمایش پرداخته شده است و در آخر نحوه جمع آوری داده ها و پردازش تصویر توضیح داده شده است.

۳-۲ مدل آزمایشگاهی و تجهیزات آن

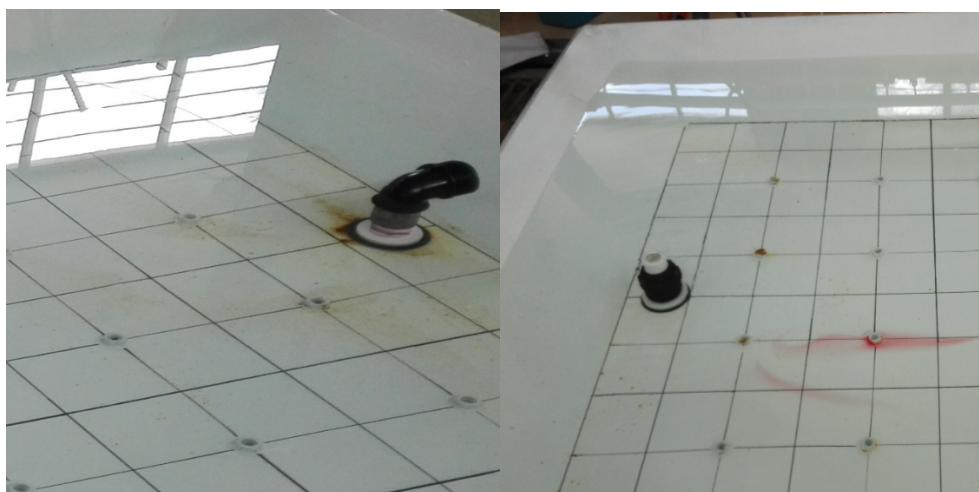
برای انجام تحقیقات آزمایشگاهی این پژوهش، با توجه به اینکه از نتایج حاصله از این تحقیق برای اجرای طرحی مشابه در تصفیه خانه شاهرود قرار است بهره گرفته شود، نیاز به یک حوضچه با ابعاد کف 1×2 متر که دیواره های آن به صورت قائم و زاویه 30° درجه با افق طراحی شده است (سعی شده است ابعاد به ابعاد حوضچه های تثبیت فاضلاب شاهرود شبیه باشد تا بتوان نتیجه این مدل آزمایشگاهی را به صورت عملی مورد استفاده قرار داد)، که در هر دو صورت ارتفاع دیواره 20 سانتی متر است (شکل ۳-۱). جنس این حوضچه از ورق آهنی با ضخامت 2 میلیمتر می باشد که توانایی جوش پذیری و تحمل وزن آبی که درون آن قرار میگیرد را داشته باشد. دیواره ی با زاویه 30° درجه با افق ابتدا به کف جوش و آب بندی شده است و برای انجام آزمایش با دیواره قائم بدون جدا کردن دیواره قبلی آن را در کف گذاشته و با چسب می چسبانیم (آب بندی در این حالت مهم نیست). این حوضچه مانند مدل های واقعی آن دارای یک ورودی اصلی و یک خروجی اصلی است که هر دوی آن ها در وسط و چسبیده به دیواره ی یک متری می باشند و جهت حرکت جریان اصلی در طول بزرگ حوضچه (دو متر) است. ورودی جریان اصلی از کف استخر به وسیله لوله ای به قطر 2 اینچ، به صورت قائم، 5

سانتی متر بالاتر از سطح آب درون حوضچه وارد می شود به صورتی که در شکل هم دیده می شود آبشار و جت هنگام ورود رخ ندهد و ایجاد تلاطم در سطح آب ننماید. این به این خاطر است که از بر هم زدن جریان توسط ورودی جلوگیری شود و تاثیری در روند آزمایش نداشته باشد. خروجی حوضچه مانند ورودی از کف به وسیله لوله ای به قطر ۲ اینچ صورت میگیرد که در بالای لوله از یک زانو (برای تبدیل خروجی افقی به قائم) استفاده می شود که از حرکت گردابه ای در هنگام خروج و به طبع از دخالت خروجی در روند آزمایش و بر هم زدن آب درون حوضچه جلوگیری کند (شکل ۳-۲). برای ورودی آب اصلی به درون استخر از یک منبع بزرگ که به وسیله یک شیر فلکه و شلنگ به ورودی متصل است استفاده می شود. با این کار دبی جریان ورودی ثابت خواهد بود. میزان دبی ورودی و خروجی به حوضچه در زمانی که هنوز تزریق صورت نگرفته است برابر خواهد بود و برای بدست آوردن دبی ورودی، بعد از یکنواخت شدن خروجی آب، دبی خروجی را اندازه گیری می شود. این حوضچه به مشابه حوضچه های تثبیت فاضلاب معمول که با دیواره های بتنی (قائم) و دیواره ای خاکی (۳۰ درجه با افق) طراحی و ساخته شده است. در کف این استخر ۳۶ سوراخ به فواصل ۲۰ سانتی متری از هم و دیواره ها ایجاد گردید و پس از آب بندی سوراخ ها با مهره و واشر لاستیکی و پستونک های فولادی به وسیله شیلنگ آنژیوکت به خود آنژیوکت ها متصل شدند، یعنی هر یک از سوراخ های ایجاد شده در کف به یک آنژیوکت متصل شد که به طور جداگانه بتوان دبی آن را کنترل و در صورت نیاز قطع نمود. آنژیوکت ها را به وسیله سوراخ کردن روی یک لوله قطور (به نسبت دبی آنژیوکت ها) به ورودی جریان حاوی نانوحباب متصل می کنیم که به علت قطور بودن لوله ی مذکور فشار رسیده به تمام آنژیوکت ها برابر بوده و دچار افت فشار نخواهد شد (شکل ۳-۴). این لوله قطور در دو طرف استخر کشیده شده است و روی پایه هایی قرار گرفته است که از سطح آب درون حوضچه بالاتر باشد، با این کار نانو حباب از کف به واسطه اختلاف هد موجود به راحتی وارد حوضچه می شود. خود لوله قطور هم به منبعی ۶۰ لیتری حاوی نانو حباب متصل است که در تراز بالاتری نسبت به لوله قرار دارد و به وسیله اختلاف هد آب حاوی نانوحباب (۲ متر) به راحتی وارد لوله قطور می شود. از آنجا که آب حاوی نانوحباب، با چشم

غیر مسلح قابل تمایز از آب معمولی نیست، برای تمایز آن از آب و دیدن مسیر حرکت و چگونگی پخش آن درون حوضچه به منبع حاوی نانوحباب از رنگ خوراکی استفاده می گردد. با توجه به آزمایشی که به کمک دکتر قلی پور و در آزمایشگاه ایشان به وسیله پرتوی گاما انجام شد و چگالی آب معمولی با آب حاوی نانوحباب مقایسه گردید، مشخص شد که چگالی این دو (آب معمولی با آب حاوی نانوحباب) تقریباً برابر یگدیگر بوده و عملاً برای انجام این آزمایش می توان به جای نانو حباب از آب معمولی که خواص فیزیکی آن با آب حاوی نانوحباب یکی است استفاده نمود. قبل از هر آزمایش در بشکه ۶۰ لیتری حاوی آب نانو حباب دار، ۵۰ سی سی رنگ خوراکی قرمز ریخته می شود. به علت کم بودن غلظت رنگ در منبع فرض می شود جرم حجمی و دیگر خواص آب تغییری نمی کند. از آنجایی که در این پژوهش برای شناسایی مسیر حرکت نانو حباب و میزان یکنواختی پخش آن در حجم حوضچه قرار است از فن پردازش تصویر استفاده شود، برای ضبط و ثبت این فرایند از یک دوربین عکاسی دیجیتال (Nikon D7100) با رزولوشن 6000×3368 پیکسل که دارای قابلیت عکس برداری در فواصل زمانی مشخص است، استفاده می شود. بهترین نمایی که می توان برای پردازش تصویر داشت نما از بالای حوضچه است، با توجه به سفید بودن رنگ کف حوضچه و قرمز بودن آب حاوی نانوحباب و جهت عکس برداری مشکلی با نور محیط وجود ندارد. ولی به علت نسبتاً طولی بودن حوضچه امکان عکس برداری از فواصل نزدیک وجود ندارد چرا که این کار باعث ایجاد انحنای در قسمت های دور دست شده و نتایج را تحت تاثیر قرار می دهد. از این رو باید دوربین در حد امکان در بالا (دور از سطح آب حوضچه) قرار گیرد. به این منظور با استفاده از لوله های داربست و ابزار موجود در آزمایشگاه دوربین ۲ متر و ۷۰ سانتی متر بالاتر از تراز سطح آب حوضچه قرار داده شد. برای بدست آوردن نتایج بهتر از پردازش تصویر کف حوضچه با ابعاد ۱۰ سانتی متری مش بندی شد، برای این منظور از رنگ مشکی استفاده می شود که کاملاً قابل مشاهده باشد (شکل ۳-۳). البته به علت وجود پنجره زیاد در آزمایشگاه و تابش خورشید به داخل محیط امکان عکس برداری در نتیجه انجام آزمایش در تمام ساعات روز وجود ندارد.



شکل ۱-۳ نمایی کلی از حوضچه و تجهیزات مورد استفاده در آزمایش



شکل ۲-۳ تصویر ورودی و خروجی اصلی حوضچه



شکل ۳-۳ نمایی از مش بندی کف به ابعاد ۱۰ سانتی متر



شکل ۳-۴ تصویری از جا نمایی آنژیوکت ها برای تنظیم دبی از کف

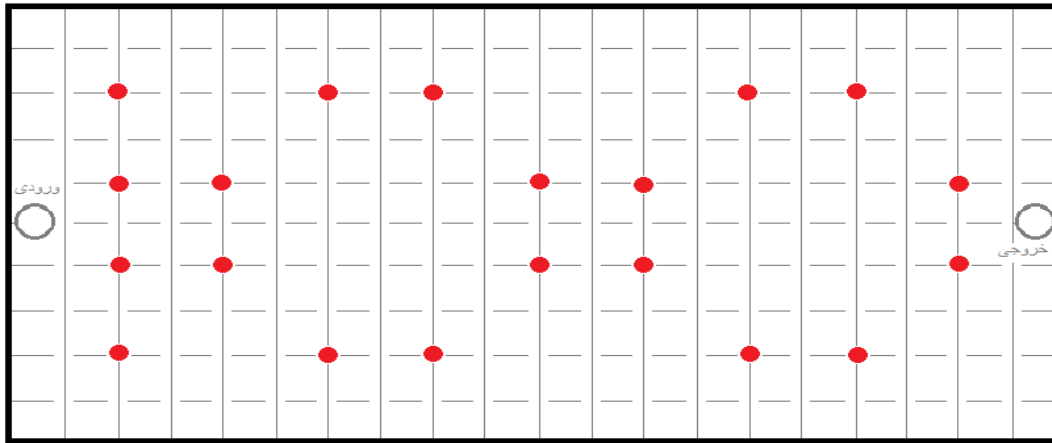
۳-۳ روش انجام آزمایش ها

در این پژوهش به بررسی عملکرد هیدرولیکی در اثر تعبیه توزیع کننده های عمقی در کف

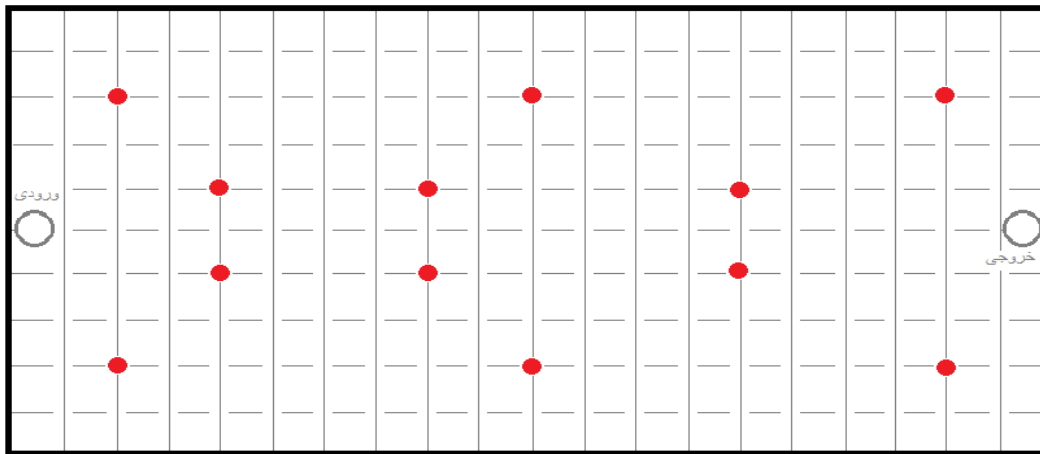
حوضچه اختیاری مذکور پرداخته می شود، با توجه به خواص نانوحباب ها و مطالب ارائه شده در فصل دوم، نانوحباب ها نیاز به اکسیژن که فاکتور بسیار مهمی در تصفیه فاضلاب با استفاده از حوضچه های تثبیت فاضلاب است را تامین می کنند، بنابراین با پخش نانوحباب توسط توزیع کننده های تعبیه شده در کف حوضچه انتظار می رود که اختلاط در جریان بیشتر گردد و از ایجاد مناطق رکود در حوضچه ممانعت شود و به طور کلی پخش یکنواخت تر جریان تاثیر مستقیم بر عملکرد هیدرولیکی را به همراه داشته باشد.

برای انجام این آزمایش، با توجه به نسبت ابعاد حوضچه آزمایشگاه نسبت به حوضچه های موجود در تصفیه خانه فاضلاب شاهرود، دبی ورودی اصلی حوضچه در دو حالت با اندازه های ۳،۲ مترمکعب بر روز و ۲،۳ مترمکعب بر روز مورد مطالعه قرار گرفت. دبی از کف نیز یک دهم دبی اصلی یعنی به ترتیب ۰،۳۲ مترمکعب بر روز و ۰،۲۳ مترمکعب بر روز فرض شد (منظور از دبی از کف، مجموع دبی کل سوراخ های موجود در کف است، که جدا از اینکه با توجه به شرایط آزمایش چند سوراخ از کف در حال تزریق نانوحباب می باشند، دبی ورودی از کف برابر یک دهم دبی ورودی اصلی باشد). برای اندازه گیری دبی ورودی اصلی، بعد از پر شدن حوضچه، از طریق اندازه گیری آب خروجی دبی بدست می آید و با شیر موجود در بین منبع آب و حوضچه می توان دبی را به دبی مد نظر رساند. برای اندازه گیری دبی از کف، دبی عبوری از یک آنژیوکت را اندازه گیری می شود و در تعداد سوراخ های موجود ضرب می گردد (باید با دقت زیاد دبی تمام آنژیوکت ها را برابر کرد).

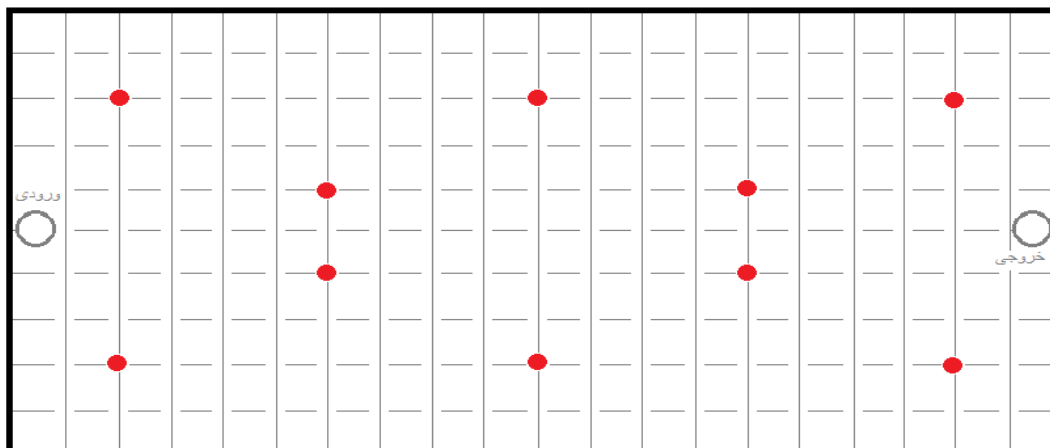
در هر آزمایش اولین گام تنظیم دبی ها می باشد. بعد از تنظیم آنها برای رسیدن به بهترین حالت تزریق، به نحوی به بیشترین اختلاط صورت گرفته و کمترین نقطه مرده وجود داشته باشد، باید آرایش ورودی از کف مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد. به این منظور با دبی های زیاد و آرایش های فراوانی آزمایش صورت گرفت که بسیاری از آنها نتیجه مورد نظر را به همراه نداشتند. در اینجا در شکل های ۳-۵ تا ۹-۵ مواردی که نتایج آنها نزدیک به هدف مورد مطالعه بود آورده شده است.



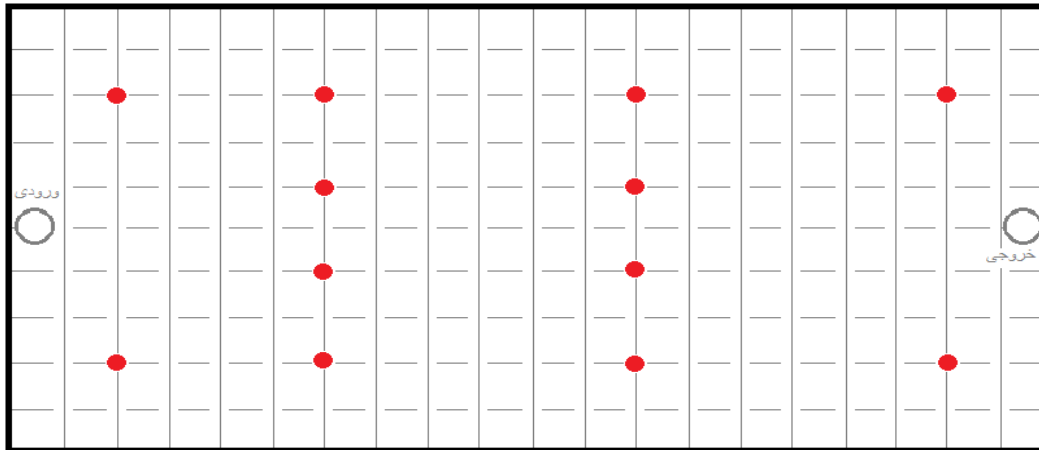
شکل ۳-۵ آرایش ورودی های نقطه ای با ۲۰ ورودی از کف



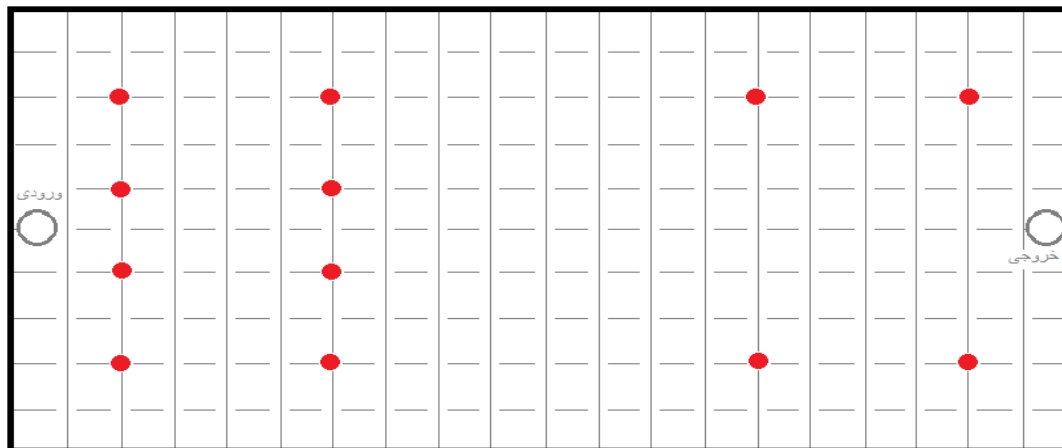
شکل ۳-۶ آرایش ورودی های نقطه ای با ۱۲ ورودی از کف



شکل ۳-۷ آرایش ورودی های نقطه ای با ۱۰ ورودی از کف



شکل ۳-۸ آرایش ورودی های نقطه ای با ۱۲ ورودی از کف



شکل ۳-۹ آرایش ورودی های نقطه ای با ۱۲ ورودی از کف

با توجه به اینکه انواع آرایش ها با دو دبی گفته شده، در دو مدل حوضچه با دیواره قائم و دیواره ۳۰ درجه با افق مورد بررسی قرار می گیرد. شرایط آزمایش ها در جدول ۳-۲ آمده است.

شماره آزمایش	نوع دیواره	تعداد ورودی از کف	دبی (مترمکعب بر روز)	آرایش ورودی ها
۱	۳۰ درجه	۲۰	۳,۲	
۲	۳۰ درجه	۱۲	۳,۲	
۳	۳۰ درجه	۱۰	۳,۲	
۴	۳۰ درجه	۱۲	۳,۲	
۵	۳۰ درجه	۱۲	۳,۲	
۶	۳۰ درجه	۱۲	۲,۳	
۷	قائم	۱۲	۲,۳	
۸	قائم	۱۲	۳,۲	
۹	قائم	۱۲	۲,۳	
۱۰	قائم	۱۰	۲,۳	
۱۱	قائم	۱۰	۲,۳	
۱۲	قائم	۱۲	۳,۲	

جدول ۳-۱. شرایط و نحوه آزمایش ها بصورت خلاصه

۳-۴ جمع آوری داده ها و پردازش تصویر

همانطور که قبلا گفته شد شرایط نوری آزمایشگاه به نحوی تنظیم می شود که انعکاس نور های جانبی در حوضچه وجود نداشته باشد. فاصله دوربین از حوضچه به شکلی تنظیم می شود که در فواصل نسبت به مرکز حوضچه انحنای وجود نیاید. بنابراین پس از آزمون های حساسیت (سعی و خطا)، دوربین در فاصله ۲,۷ متری از سطح حوضچه قرار میگیرد و سایر پارامترهای دوربین با مقادیر: فاصله کانونی: ۴۰ میلی متر، سرعت شاتر: ۰,۳۳ ثانیه، دیافراگم: $f/8$ ، ایزو ۳۲۰ و وایت بالانس فلورسنت تنظیم می شود. با شروع فرآیند آزمایش، پخش نانوحباب از کف و مسیر حرکت آن در فواصل زمانی ۱۰ ثانیه توسط دوربین با رزولوشن 6000×3368 پیکسل عکس برداری می شود. تصاویر گرفته شده در قالب فرمت های RAW و JPG ذخیره می شوند. برای استخراج پارامترهای مورد نظر، عکس های بدست آمده از تصاویر دیجیتال به صورت خودکار آنالیز شدند. برای این منظور، الگوریتم پیشنهادی در نرم افزار متلب پیاده سازی شد که در آن مراحل زیر انجام گرفت:

الف) پیش پردازش

هدف از این مرحله، حذف خودکار نواحی خارج حوضچه می باشد که بر روی غلظت رنگ متوسط اثر گذاشته و آن را دستخوش تغییر می کند.

ب) استخراج داده ها

با توجه به اینکه در دستگاه رنگ HSV فام رنگ از خلوص و روشنایی مجزا شده است برای تشخیص غلظت رنگ در هر نقطه، به جای دستگاه رنگ RGB، از این فضای رنگ استفاده شده است. در مدل HSV کانال H معرف فام رنگ (طول موج رنگ)، کانال S معرف خلوص (غلظت) رنگ و کانال V معرف مقدار (پرنگی) رنگ است. بنابراین با اندازه گیری پارامتر S، که همان غلظت رنگ است بدست می آید. به این منظور کف حوضچه را به مربع های کوچک تر تقسیم می کنیم (مربع هایی با ابعاد ۱۰ سانتیمتری) و میزان غلظت رنگ قرمز را درون هر کدام به صورت متوسط بدست می آوریم تا بتوان

میزان یکنواختی پخش را در کل حوضچه مورد بررسی قرار داد.

ج) پردازش کل داده ها

این عملیات در مراحل (الف) و (ب) به صورت خودکار برای تمام تصاویر به دست آمده از فرآیند آزمایش انجام شد و داده های بدست آمده پس از زمان مشخص برای تمامی آزمایش ها، مرتب و رسم شدند.

کد نویسی انجام شده در برنامه متلب برای پردازش تصاویر در پیوست ۱ آورده شده است.



شکل ۳-۱۰ دوربین Nikon D 7100

فصل چهارم

تحلیل و بررسی نتایج

آزمایش‌ها

شناخت رفتار هیدرولیکی در تعیین خصوصیات حوضچه تثبیت فاضلاب بسیار مهم است. زیرا هیدرودینامیک حوضچه نقش اساسی در راندمان تصفیه فاضلاب دارد. به طوری که کاهش انباشت حجم لجن در کف حوضچه و همچنین کاهش اتصال کوتاه در حوضچه موجب افزایش عملکرد هیدرولیکی خواهد شد.

یکی از راهکارهای افزایش عملکرد هیدرولیکی استفاده از توزیع کننده های عمقی است که باعث اختلاط بیشتر جریان در حوضچه و جلوگیری از انباشت لجن در کف حوضچه می شود در نهایت منجر به افزایش راندمان هیدرولیکی حوضچه می گردد.

مرور منابع علمی در فصل دوم نشان داد که اغلب مطالعات آزمایشگاهی و عددی قبلی، تفکرات برای افزایش راندمان هیدرولیکی حول محور، دیواره های میانی و تمرکز بر محل قرار گرفتن ورودی و خروجی اصلی بوده است. در این پژوهش با استفاده از توزیع کننده های عمقی که آب حاوی نانوحباب را تزریق می کنند، ضمن افزایش راندمان هیدرولیکی، عملیات اکسیژن دهی نیز همزمان انجام می شود. در این فصل به نتایج بدست آمده برای مدل های آزمایشگاهی با دیواره ۳۰ درجه با افق و دیواره قائم، با دبی های مختلف و آرایش های ورودی از کف مختلف آورده شده است. نتایج بدست آمده مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. با توجه به اهداف این تحقیق بهترین حالات تزریق نانوحباب از کف در شرایط آزمایشگاهی آورده شده است.

۴-۲ آزمون های انجام شده

همانطور که در فصل سوم اشاره شد، آرایش های مختلفی برای تزریق از کف در نظر گرفته شد و مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت تا بهینه ترین حالت با کمترین دبی از کف و بیشترین دبی از ورودی اصلی (که بتواند با میزان اکسیژن موجود، به مقدار کافی در حوضچه باقی بماند تا میکروارگانیسم ها فعالیت خود رو انجام دهند) بدست آید. همان گونه که قابل تصور و منطقی بنظر می رسد، با افزایش

ورودی های کف، به گونه که در تمام نقاط کف، ورودی وجود داشته باشد، مسلماً توزیع یکنواخت تر خواهد بود ولی با توجه به محدود بودن دبی مجموع ورودی های کف و نیاز به حداقل دبی برای هر ورودی (تا از گرفتگی و بند شدن ورودی جلوگیری کند)، باید به آرایشی رسید که با کمترین ورودی و با استفاده حرکت جریان اصلی و پخش و کنترل ممنوم و جلوگیری از اتصال کوتاه، توزیع یکنواخت نانو حباب از کف صورت گیرد.

در ابتدا آزمون را بدون توزیع کننده از کف انجام می شود، که در این حالت در وسط ورودی جریان یک مسیر با سرعت بالا از مقطع ورودی به خروجی شکل می گیرد بعلاوه جریان در این مسیر به علت سرعت بالا قادر به حمل ذراتی مثل مواد جامد معلق سریع تر از قسمت های دیگر است به این پدیده اتصال کوتاه یا مسیر میان بر گفته می شود. وقوع این پدیده یکی از عوامل موثر بر عملکرد هیدرولیکی پایین است. بسیاری از تحقیقات صورت گرفته تاکنون برای این بوده که بتوانند بر این اتصال کوتاه فائق بیایند و اکسیژنی که معمولاً تا کنون از ورودی اصلی به حوضچه ها تزریق شده است، به سرعت و بدون در برگرفتن تمامی حوضچه و توزیعی یکنواخت (پیش از آنکه تمام میکروارگانیسم ها بتوانند از اکسیژن موجود به میزان کافی استفاده کنند) از حوضچه خارج نگرند.

برای هر آزمایش ۱۰ عکس در ده زمان مختلف (۹ دقیقه، ۱۸ دقیقه، ۲۷ دقیقه، ...، ۹۰ دقیقه) توسط برنامه متلب پردازش شد و نتیجه هر عکس به صورت یک فایل اکسل با ۱۰ سطر و ۲۰ ستون می باشد که اعداد هر یک از سلول های این فایل، غلظت میانگین یک مربع ده در ده متناظر با مربع های کف حوضچه که با مش بندی مشخص شده بود می باشد. بعد از نرمال سازی و بی بعد کردن این اعداد (با تقسیم کردن هر عدد به ماکزیمم هر سطر و ستون)، میانگین هر سطر و ستون و انحراف معیار^۱ هر یک را بدست آورده و نمودار مربوطه را رسم شده است.

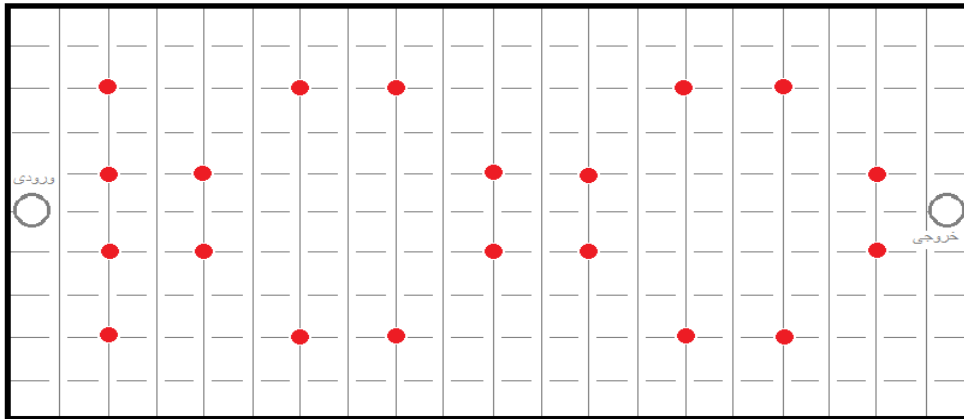
۴-۲-۱ حوضچه با دیواره ۳۰ درجه با افق

^۱ Standard Deviation (std)

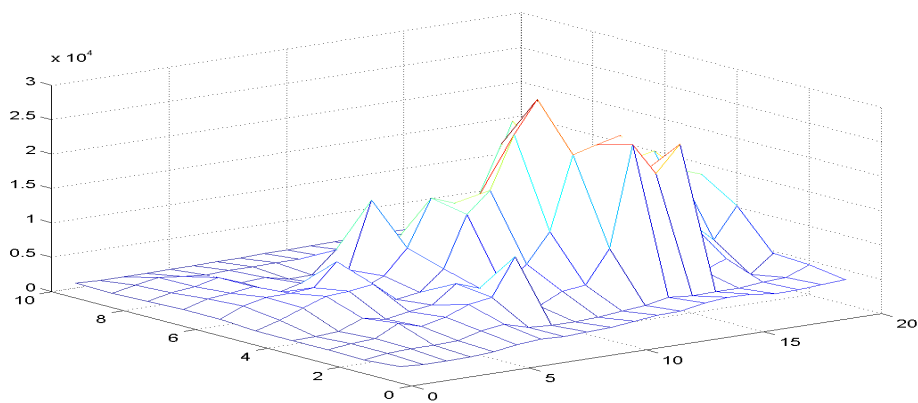
این مدل با دو دبی ورودی اصلی و تعداد ورودی نقطه ای از کف مختلف (۲۰ ورودی، ۱۸ ورودی، ۱۲ ورودی و ۱۰ ورودی) در ۶ نمونه اصلی مورد بررسی قرار می گیرد که در تمامی حالت ها مجموع دبی ورودی از کف برابر ۰.۱ ورودی اصلی بوده است. با توجه به اینکه بهترین نتایج در حالت ۱۰ ورودی و ۱۲ ورودی از کف بدست آمده است، بیشترین آزمایشات در این حالت صورت گرفته است. در طول هر آزمایش تمامی دبی ها (دبی اصلی و دبی ورودی ها کف) ثابت قرار داده شده است و مدت زمان هر آزمایش یک ساعت و نیم بوده است که در این مدت روند حرکت نانوحباب (آب حاوی رنگ قرمز) در حوضچه توسط دوربین ثبت شده است و بعد از آن برای بهتر درک کردن روند حرکت با استفاده از فن پردازش تصویر گراف هایی تهیه گردیده است و از اطلاعات خروجی متلب، غلظت رنگ موجود در هر نقطه از حوضچه در هر زمان بدست آمده است که با استفاده از این اطلاعات (غلظت ها) و بررسی روند تغییر غلظت در سه سطر (بالا، پایین و وسط) و سه ستون (راست، چپ و وسط) از حوضچه در ۱۰ زمان مختلف (هر ۹ دقیقه) برای هر آزمایش و رسم نمودار آن ها می توان میزان یکنواختی پخش در حجم حوضچه را بررسی کرد. برای هر یک از ۶ آزمایش صورت گرفته در این بخش یک عکس از نحوه ی آرایش و رودی های کف، یک گراف از میزان غلظت در هر نقطه بعد از یک ساعت و نیم و عکس حوضچه در پایان آزمایش (بعد از یک ساعت و نیم) آورده شده است. همان طور که قبلا گفته شد، کف حوضچه با استفاده از مربع های ۱۰ سانتیمتری مش بندی شد، یعنی کف حوضچه در طول به ۱۰ مربع و در عرض به ۲۰ مربع تقسیم شده است. با در نظر گرفتن سه سطر (سطر دوم و پنجم و نهم) و سه ستون (ستون دوم و دهم و نوزدهم) برای کل حوضچه، برای هر یک از این سطر و ستون ها، دو نمودار رسم گردیده است. اولی نمودار غلظت رنگ برای هر یک از سطر یا ستون ها می باشد که در سه زمان ۹ و ۴۵ و ۹۰ دقیقه بعد از شروع آزمایش رسم شده است. دومی نمودار میانگین و انحراف معیار غلظت برای هر یک از سطر و ستون ها می باشد. بعد از بدست آوردن غلظت هر یک از سطر یا ستون ها، در فواصل ۹ دقیقه ای در طول آزمایش، میانگین غلظت و انحراف معیار هر یک را بدست آورده و نمودار میانگین و انحراف معیار هر سطر یا ستون را رسم شده است. (از آوردن شکل ها و

نتایجی که یکنواختی نسبی توزیع نانوحباب در حوضچه صورت نگرفته است، خوداری شده است).

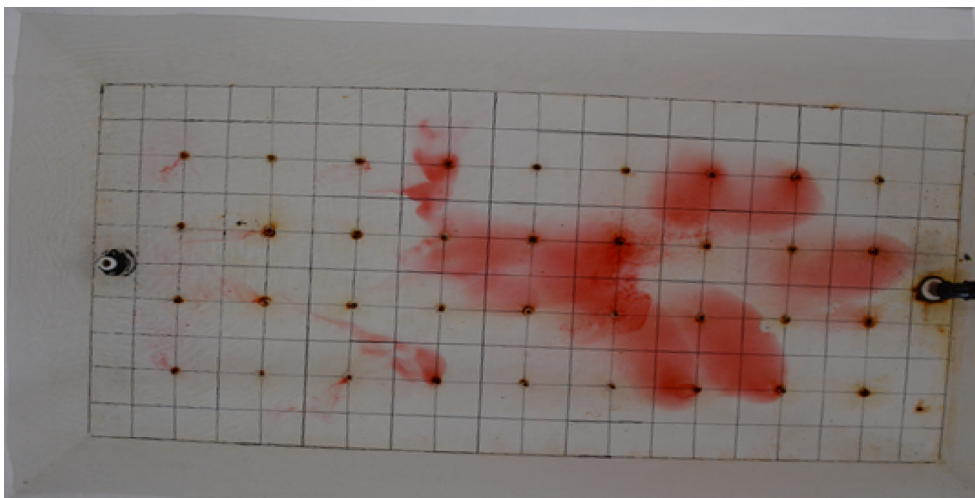
آزمایش شماره ۱:



شکل ۴-۱-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۱

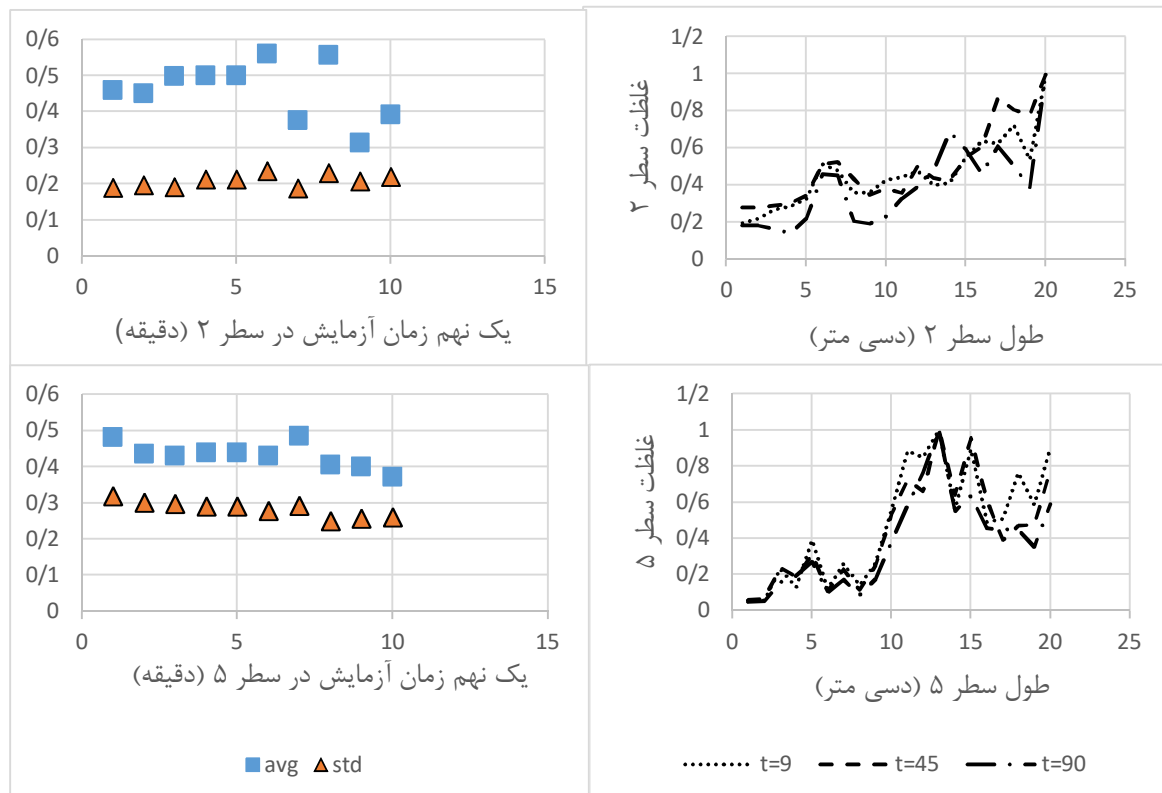


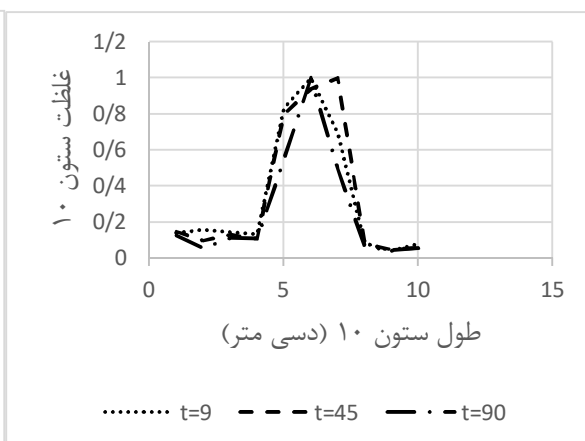
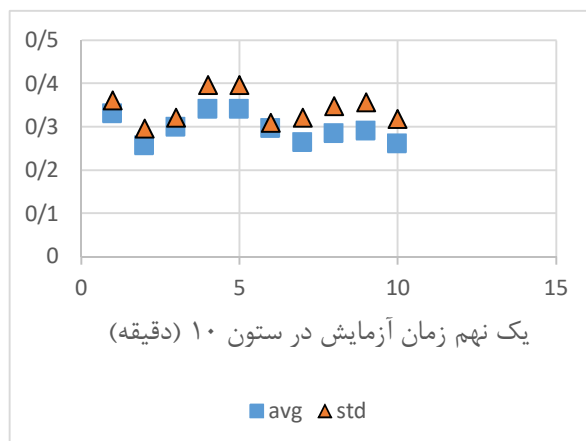
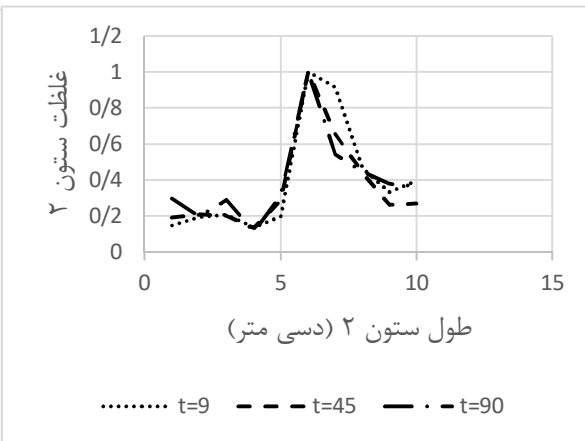
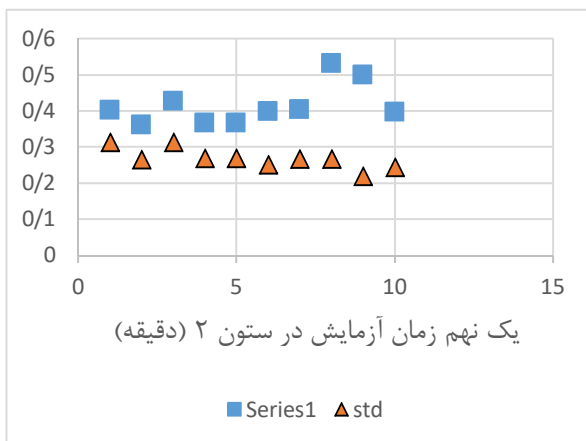
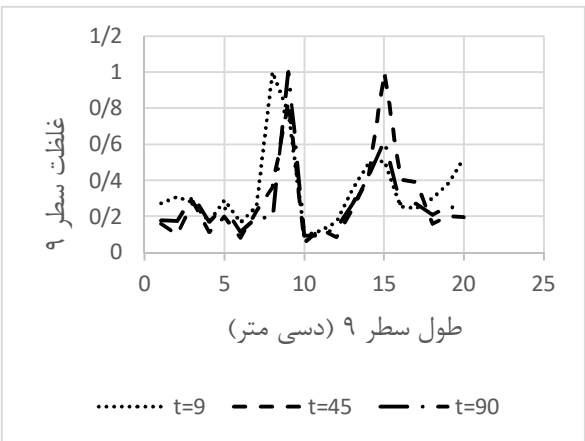
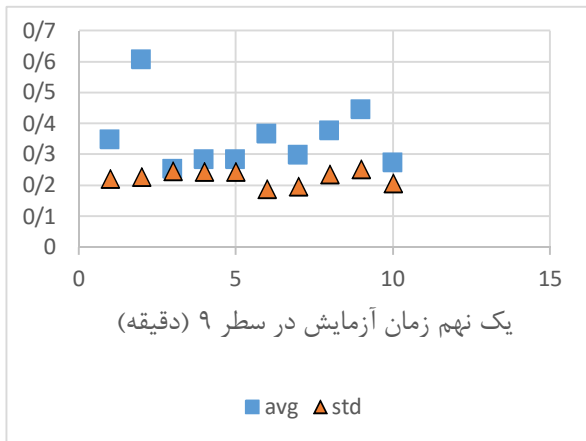
شکل ۴-۱-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

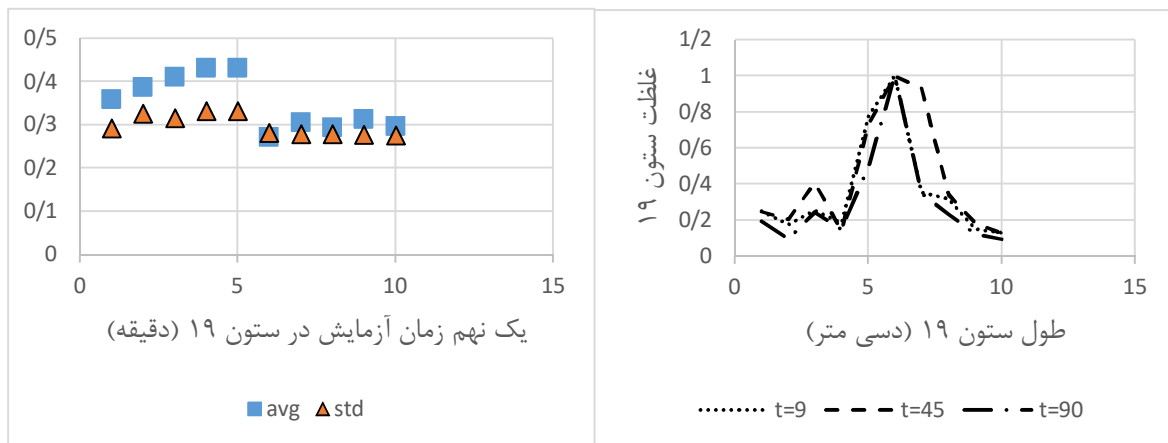


شکل ۴-۱-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۳,۲ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره ۱

برای انجام فرایند تصفیه در حوضچه های تثبیت فاضلاب، نمی توان دبی ورودی را از حدی بیشتر کرد که میکروارگانیزم ها زمان کافی برای انجام فعالیت خود را نداشته باشند (زمان ماند). همانطور که در شکل ۴-۱ دیده می شود، به دلیل اینکه تعداد سوراخ ها زیاد است دبی ورودی از هر نقطه کف خیلی کم بوده (مجموع دبی های کف ۰,۱ دبی ورودی اصلی است) که این باعث شده است در یک سوم ابتدایی حوضچه نزدیک ورودی به علت سرعت بالا، نانوحباب خروجی به محض ورودی به حوضچه با جریان اصلی حوضچه حمل گردد و فرصت پخش مناسب در این قسمت به وجود نمی آید. هر چه به سمت خروجی حرکت می کنیم با توجه به اینکه سرعت کمتر می شود، نانوحباب در اطراف ورودی خود در کف کمی پخش می شود ولی نقاط مرده ای که به آنها اکسیژن (نانوحباب) نمی رسد زیاد بوده و این مدل آرایش با این تعداد سوراخ راندمان خوبی برای پخش اکسیژن نمی دهد. در گراف بالا نیز کم بودن غلظت در بخش کثیری از حوضچه مشهود است (با کم شدن دبی اصلی، دبی از کف هم کم شد و دوباره همین شرایط تکرار شد).

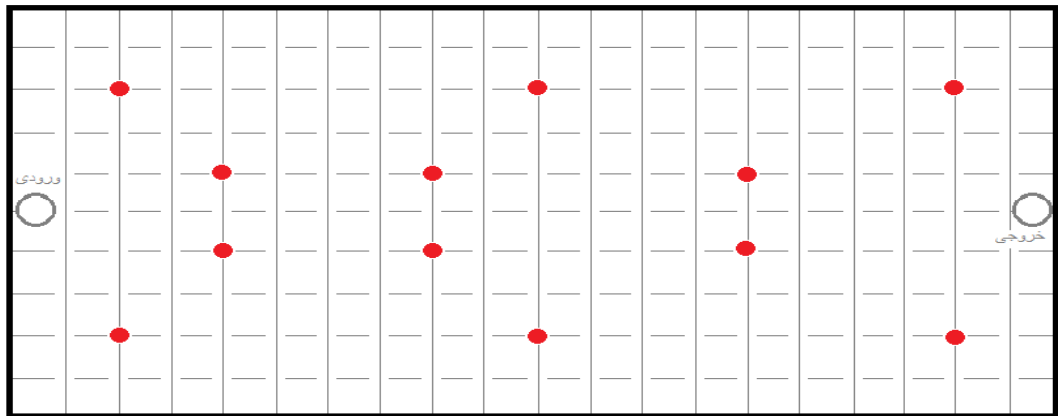




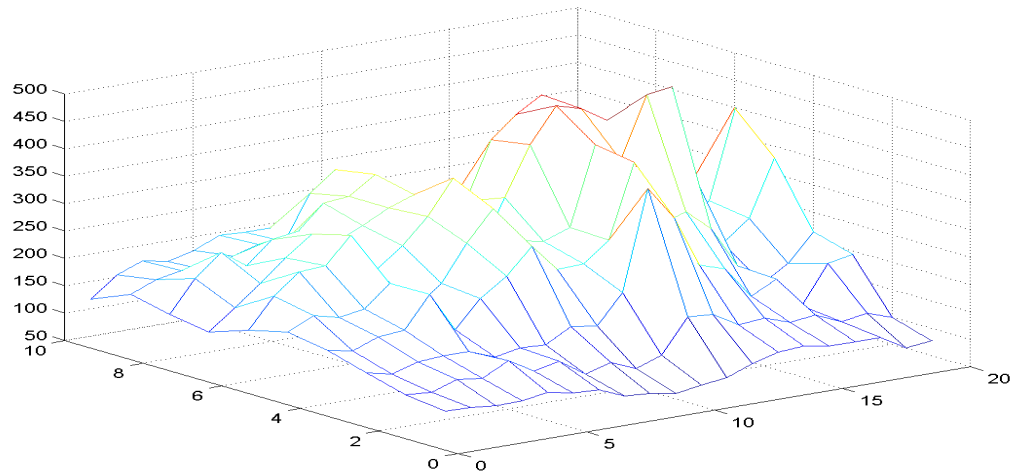


همان طور که در نمودارها مشاهده می شود، با گذر زمان (۹ و ۴۵ و ۹۰ دقیقه)، نمودارها غلظت های یکنواخت تری را در سطر و ستون های مختلف نشان نمی دهند و میانگین غلظت حوضچه نیز با گذشت زمان رو به افزایش نمی باشد.

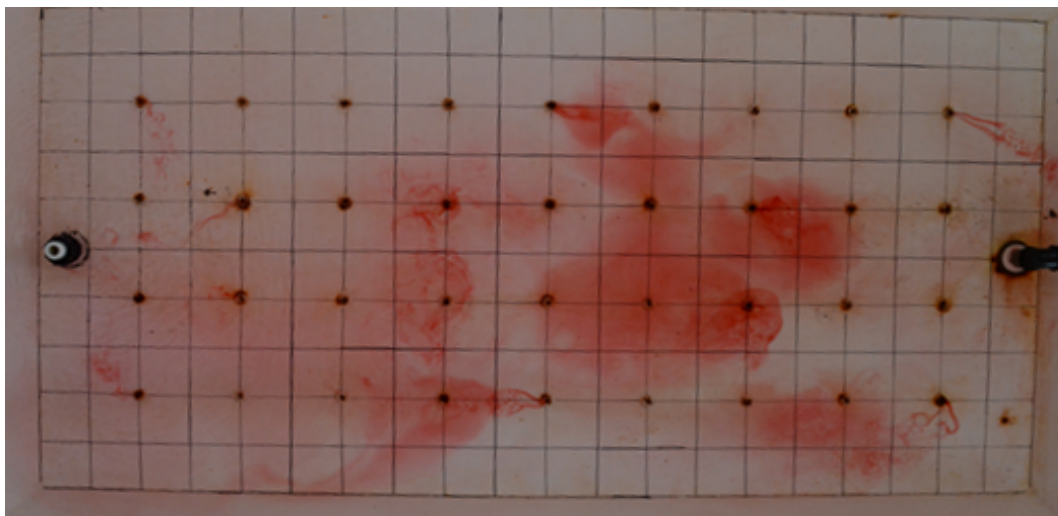
آزمایش شماره ۲:



شکل ۴-۲-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۲



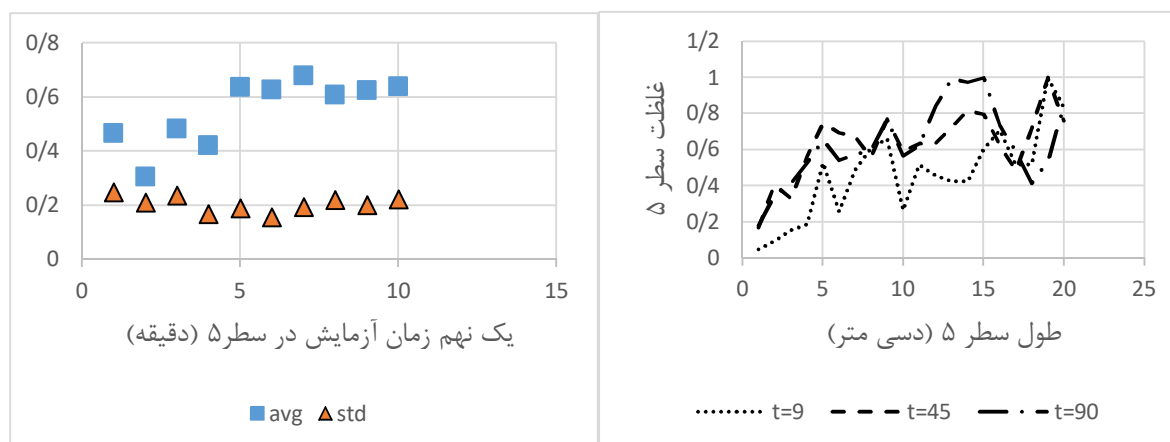
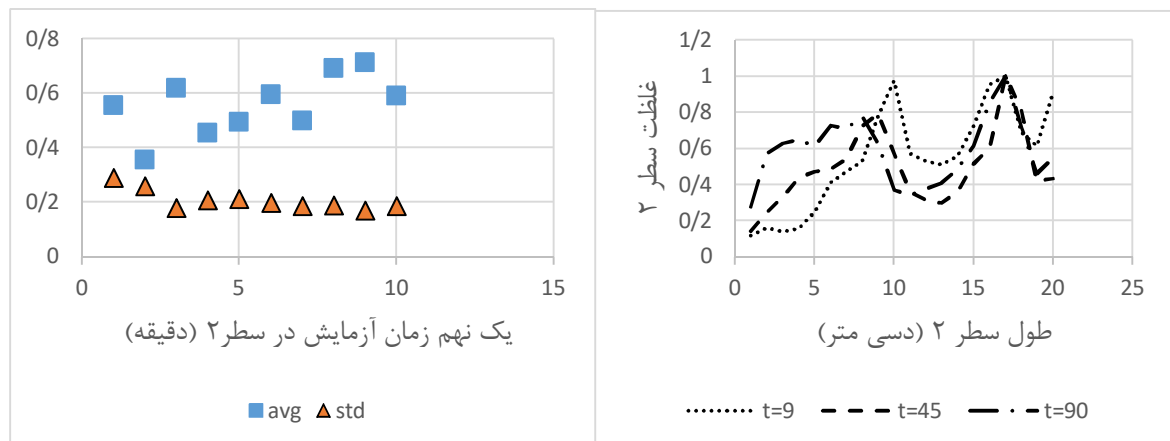
شکل ۴-۲-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

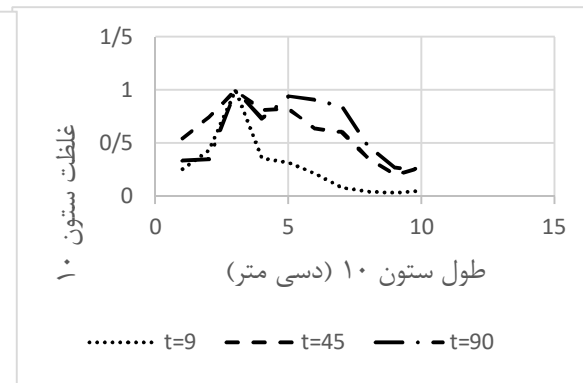
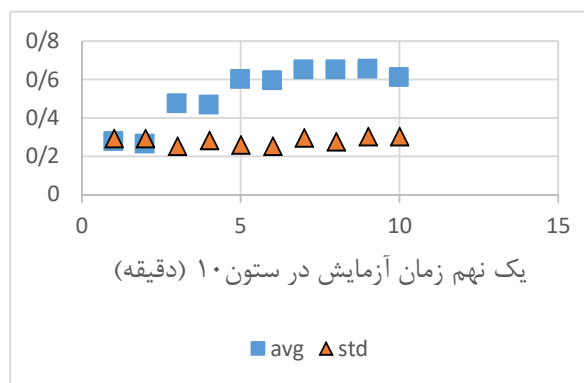
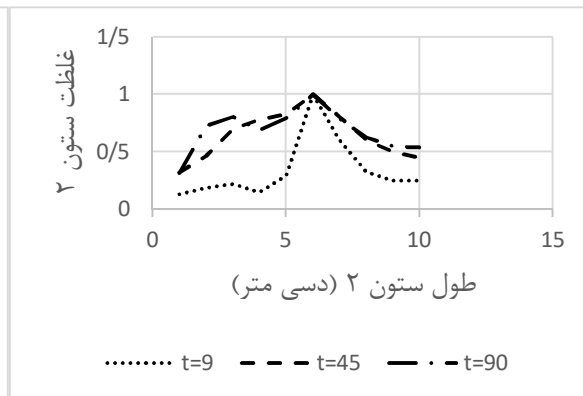
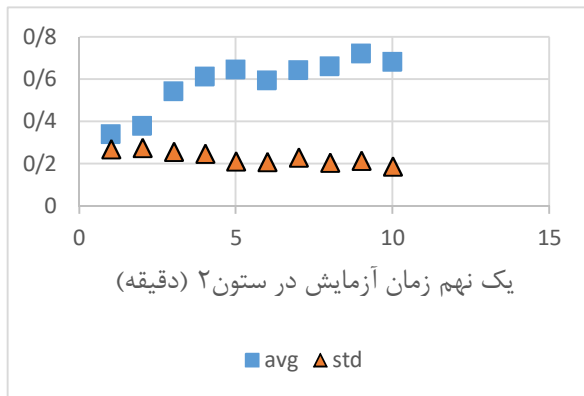
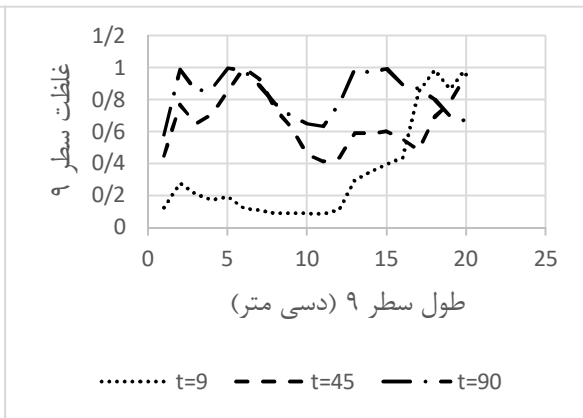
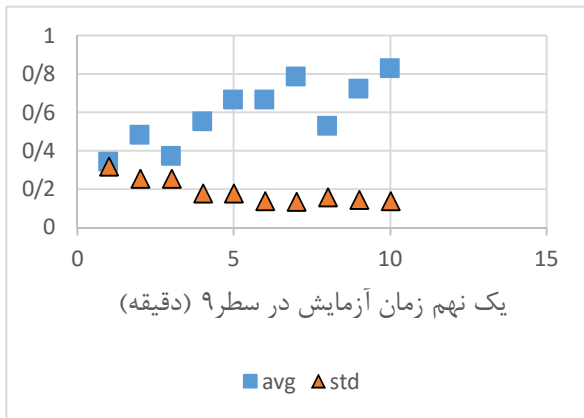


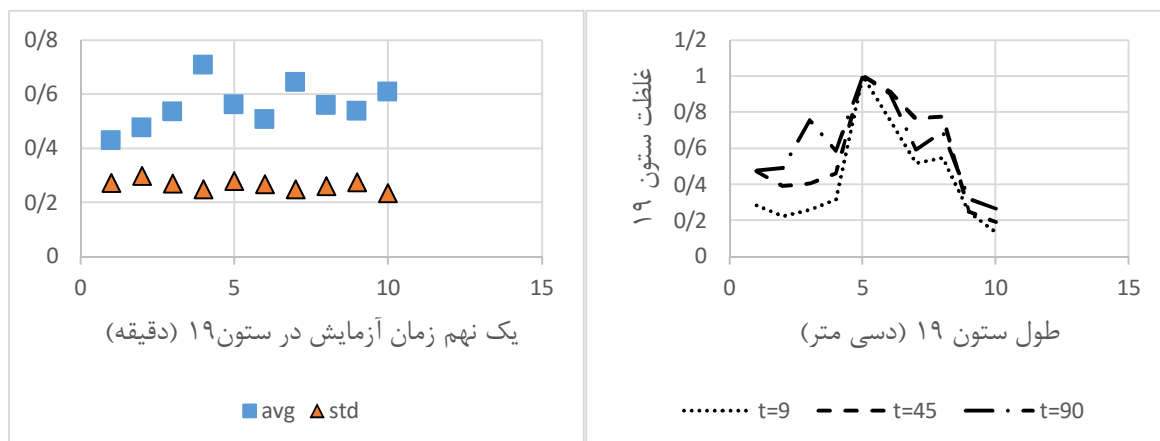
شکل ۴-۲-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۳,۲ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره ۲

در مدلی که در شکل ۴-۲ دیده می شود با توجه به اینکه تعداد ورودی های کف حوضچه کم شده است سهم هر یک از آنها از دبی بیشتر شده است. در این مدل هر چند مانند مدل شکل ۴-۱ عمل پخش در یک سوم ابتدایی حوضچه نزدیک به ورودی به خوبی انجام نشده است ولی می توان گفت غلظت نانوحباب در این مدل در همه ی حجم حوضچه وجود دارد که میزان آن در همه ی نقاط با هم یکسان نیست.

نکته جالبی که در این مدل مشاهده شد، حرکت چرخشی ساعتگردی است که در حوضچه اتفاق افتاده است و باعث حمل و پخش نانو حباب در خیلی از قسمت ها شده است. در نتیجه در این مدل به دلیل اینکه ورودی ها کمتر بوده و سرعت در حوضچه بیشتر شده است بر خلاف انتظار به علت چرخش، پخش نانوحباب بهتر صورت گرفته است و نقاط مرده کمتری نسبت به آزمایش شماره ۱ داریم.

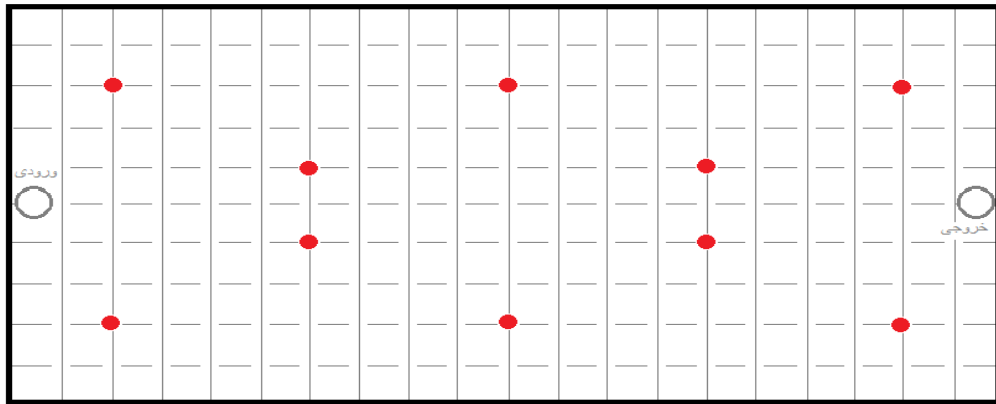




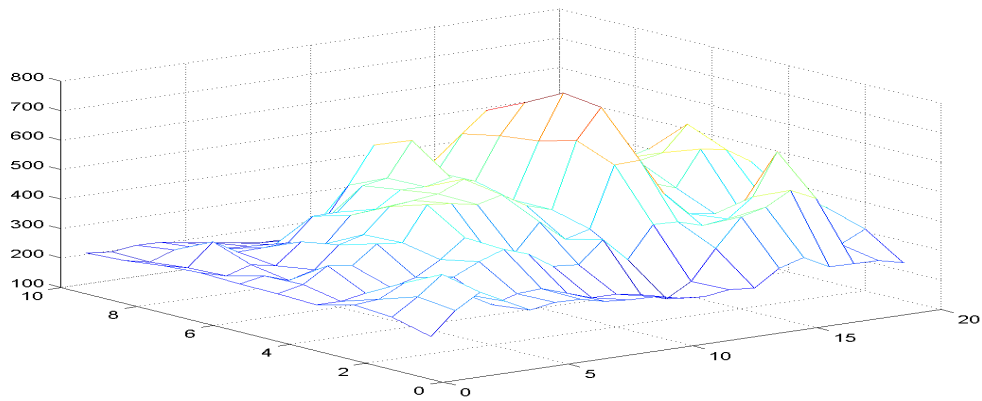


با توجه به نمودارها، بجز سطر ۲ (قسمت بالایی حوضچه) و ستون ۱۹ (ستون نزدیک خروجی) که با گزشت زمان غلطت در آنها افزایش چشم گیری نداشته و به یکنواختی نرسیده است، در دیگر سطر و ستون ها به خصوص سطر ۹ (پایین حوضچه) و ستون ۲ (ستون نزدیک ورودی)، با گذر زمان در طول آزمایش علاوه بر افزایش میانگین غلطت در این سطر و ستون ها، غلطت در آن ها یکنواخت تر شده است که توزیع بهتری نسبت به حالت قبل (آزمایش شماره یک) می باشد ولی هنوز حجم مرده قابل توجهی در این مدل دیده می شود.

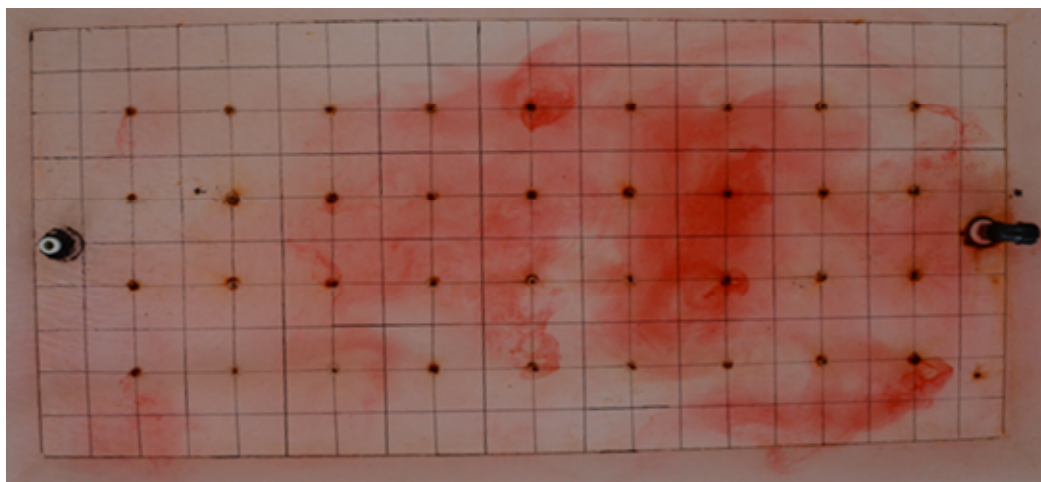
آزمایش شماره ۳:



شکل ۴-۳-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۳

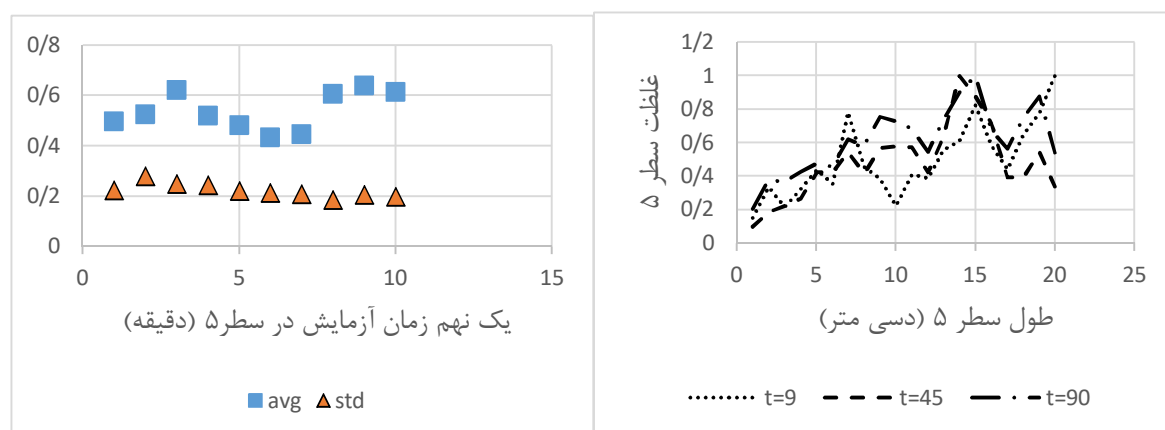
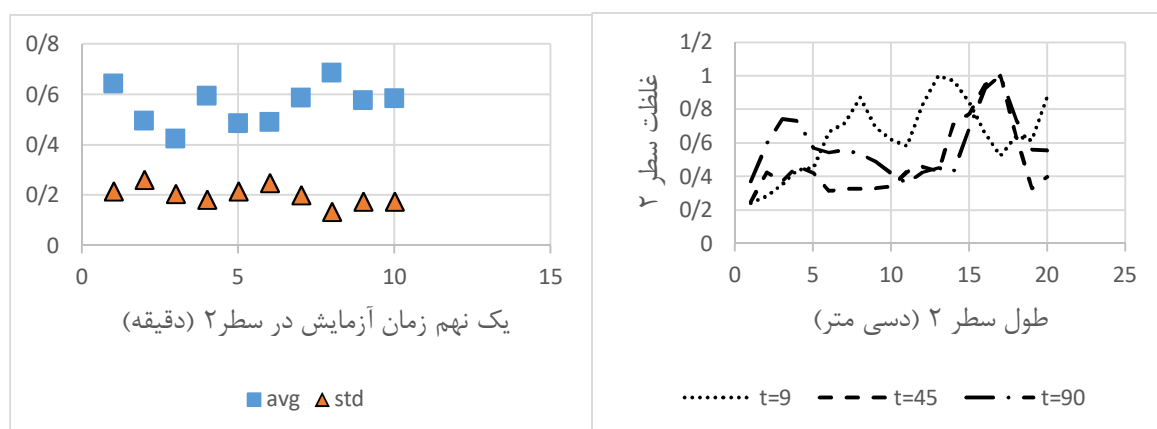


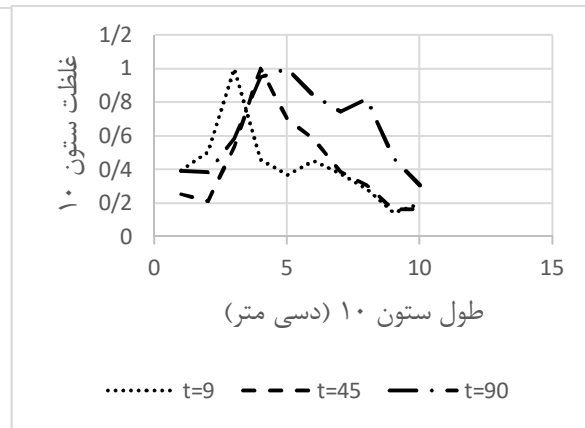
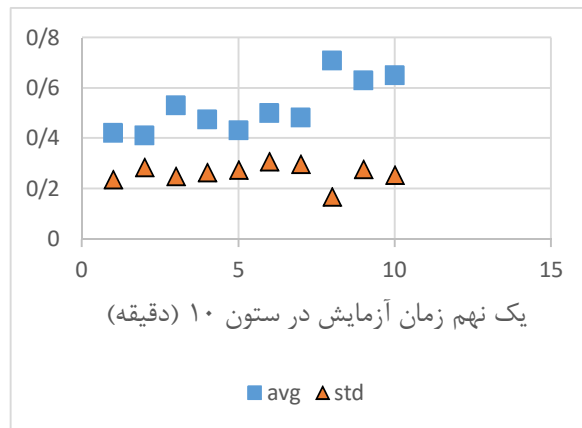
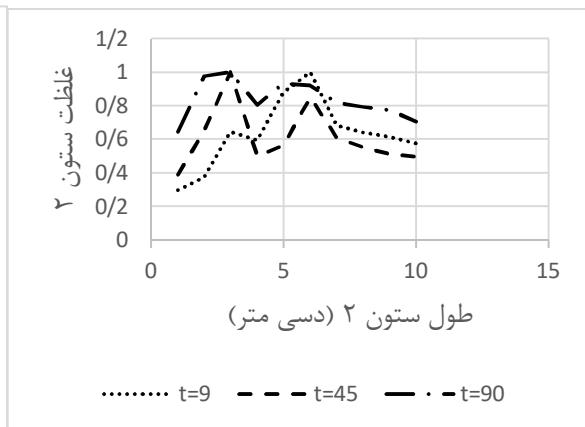
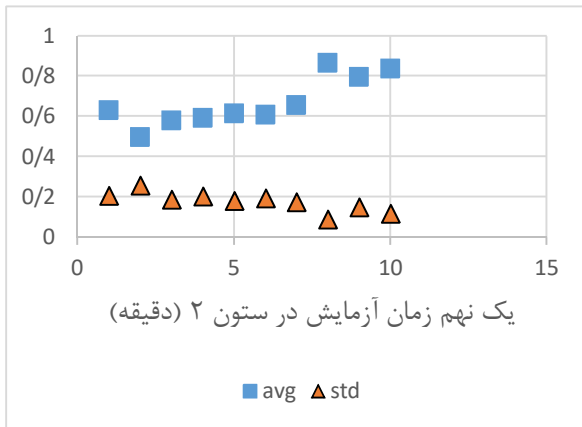
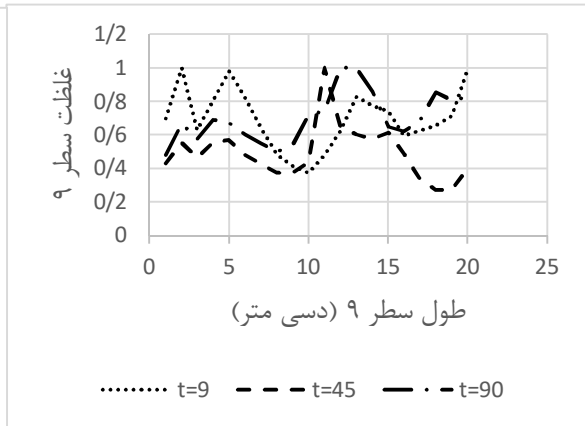
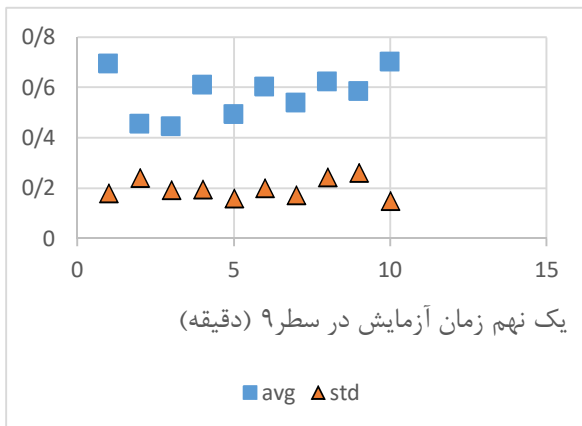
شکل ۴-۳-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

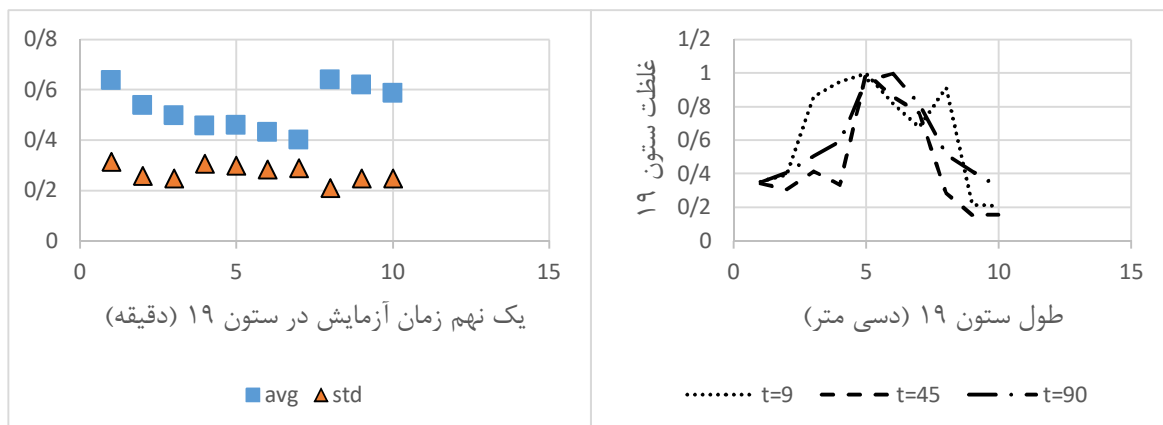


شکل ۴-۳-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۳,۲ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره ۳

در مدلی که در شکل ۳-۴ مشاهده می شود، از ۱۰ ورودی از کف استفاده شده است با همان شرایط قبلی. در این مدل مانند مدل شکل ۲-۴، نانوحباب در کل حجم حوضچه وجود دارد ولی غلظت آن در تمام نقاط یکسان نیست. در این مدل هم یک چرخش ساعتگرد بوجود آمده این که به عمل پخش نانو حباب کمک می کند. در نقطه بالا سمت چپ (بالای ورودی اصلی) به علت وجود ورودی اصلی و جهت چرخش، غلظت نانوحباب در اینجا کمتر بوده است. لازم به ذکر است که به دلیل ورودی های کف کمتر در این مدل، سرعت در حوضچه بیشتر شده است و این باعث شده است که علاوه بر چرخش ساعتگردی که در کل حوضچه وجود دارد، در نیمه سمت راست حوضچه نیز یک چرخش ساعتگرد دیگر رخ دهد که این موضوع باعث کم شدن غلظت در بخش میانی پایین حوضچه و کم شدن غلظت در خط میانی حوضچه (مرز چرخش دوم) گردد.

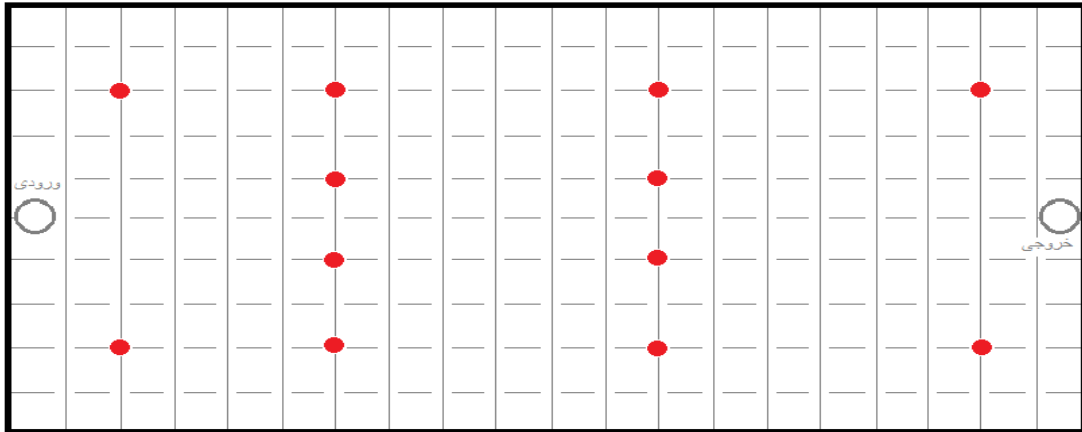




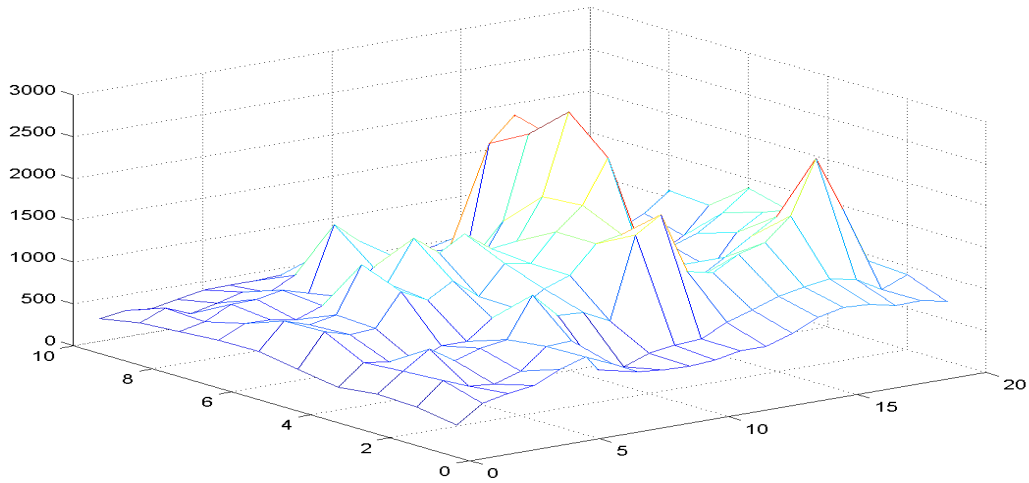


به علت وجود چرخش های جریان در حجم حوضچه که در بالا گفته شد، با گذر زمان در آزمایش، غلظت ها با یک روند ثابت و رضایت بخش افزایش پیدا نکرده است و در اکثر موارد بجز ستون ۲ که از روند توزیع خوبی برخوردار بوده است، میانگین غلظت کم و زیاد می شود و نمودارها توزیع یکنواختی را نشان نمی دهند.

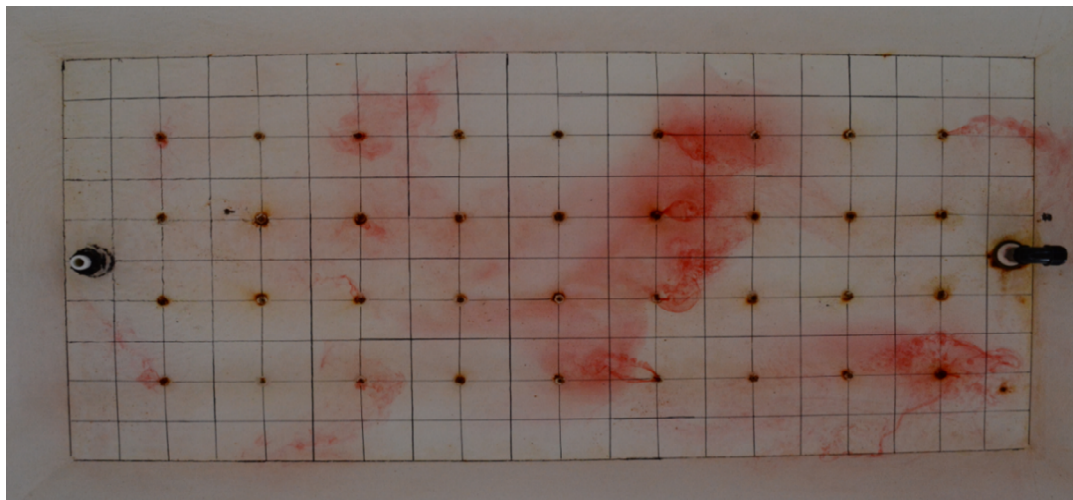
آزمایش شماره ۴:



شکل ۴-۴-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۴



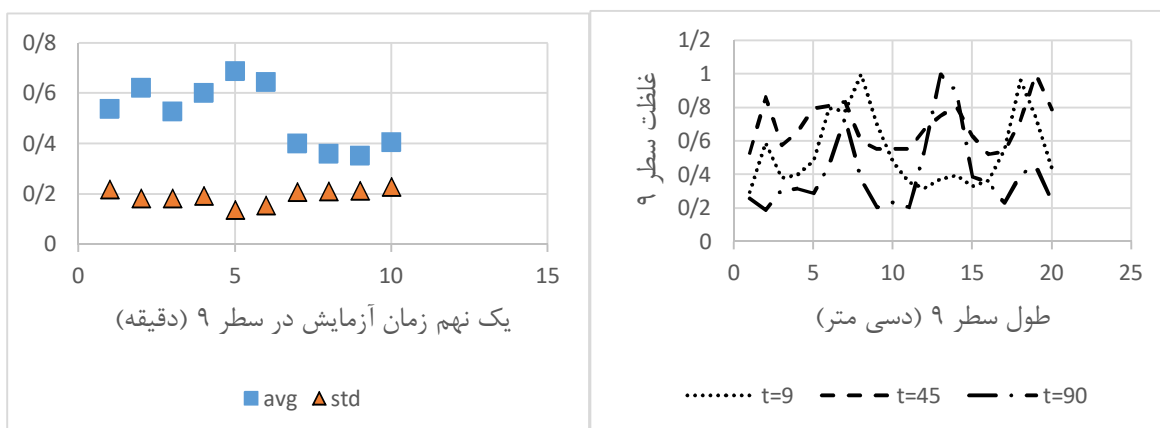
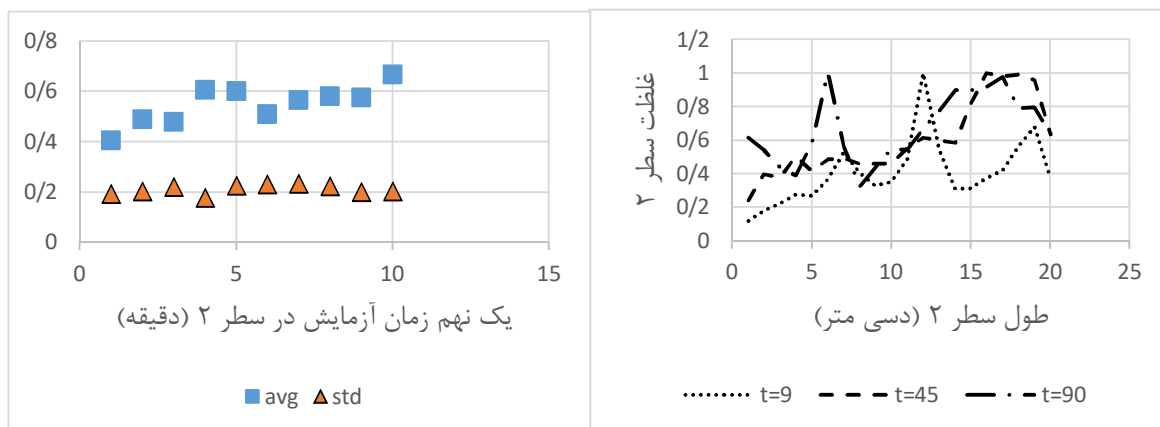
شکل ۴-۴-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

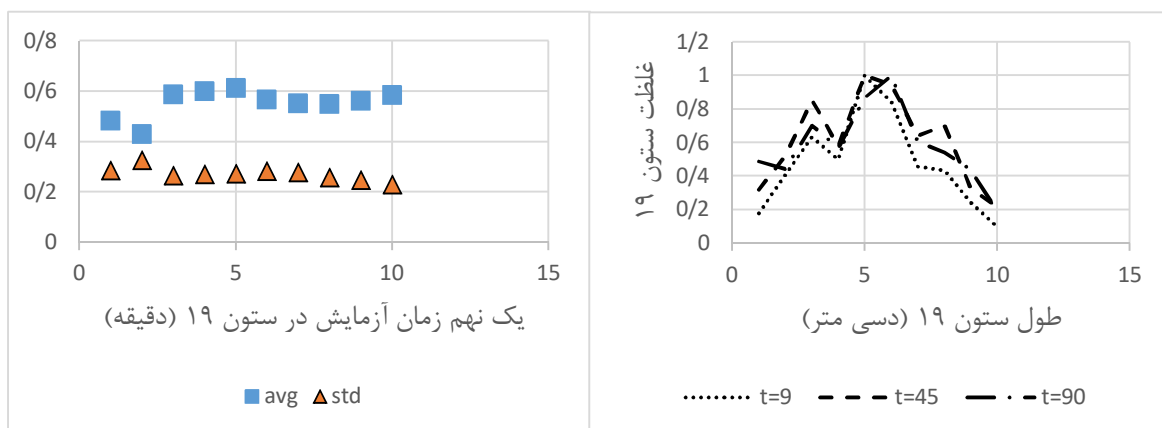
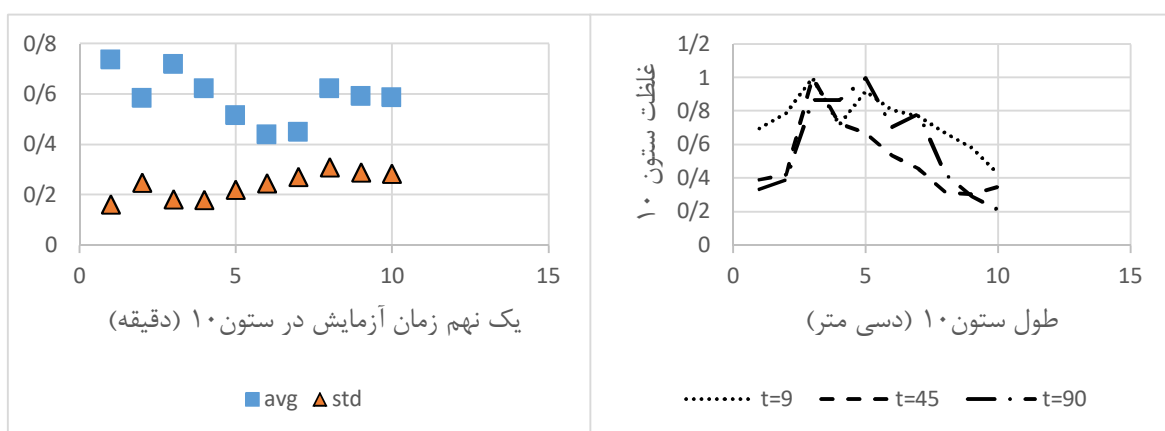
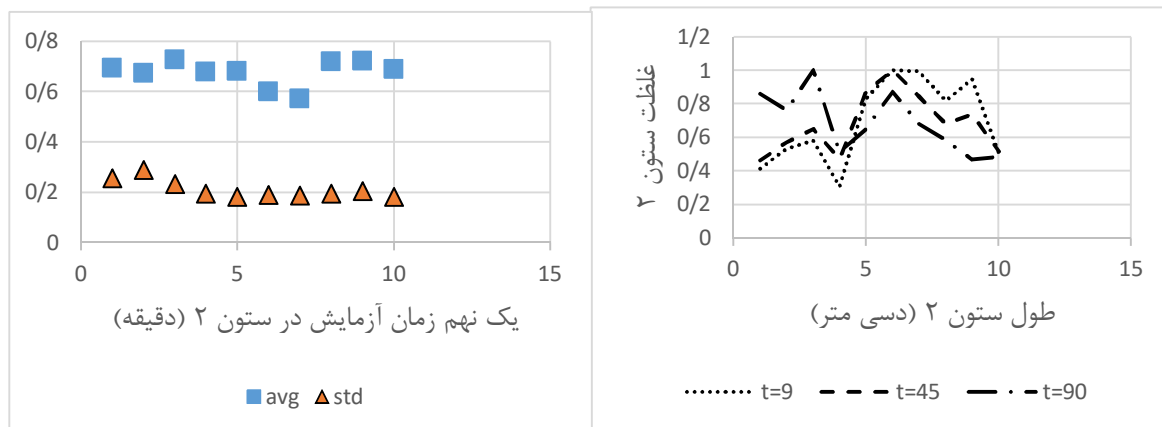


شکل ۴-۴-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۳,۲ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره ۴

در شکل ۴-۴ مدل بعدی را میبینیم که با وجود ۱۲ ورودی از کف توزیع یکنواختی از نانوحباب وجود ندارد. در این مدل به علت سرعت زیادی که در حوضچه به وجود آمده است غالب جریان از ورودی به سمت خروجی بوده و غلظت نانوحباب در نیمه سمت چپ حوضچه بسیار کم است و با وجود چرخش کمی که در این مدل بوجود آمده است فقط در قسمت میانی غلظت زیاد بوده و حتی در نزدیک خروجی نیز میزان غلظت نانوحباب کم بوده و توزیع مناسبی صورت نگرفته است.

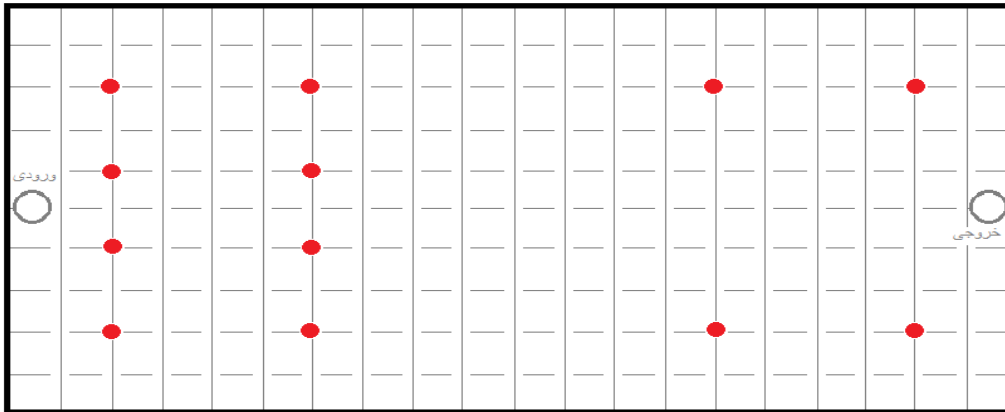
از مقایسه این مدل با مدل شکل ۴-۲ (آزمایش شماره ۲) می توان دریافت که آرایش و مکان قرار گرفتن ورودی های کف در سرعت حرکت فاضلاب ورودی و توزیع نانوحبابی که از کف تزریق می شود بسیار تاثیر گذار بوده وهیدرودینامیک حوضچه را کاملا متاثر از خود می کند.



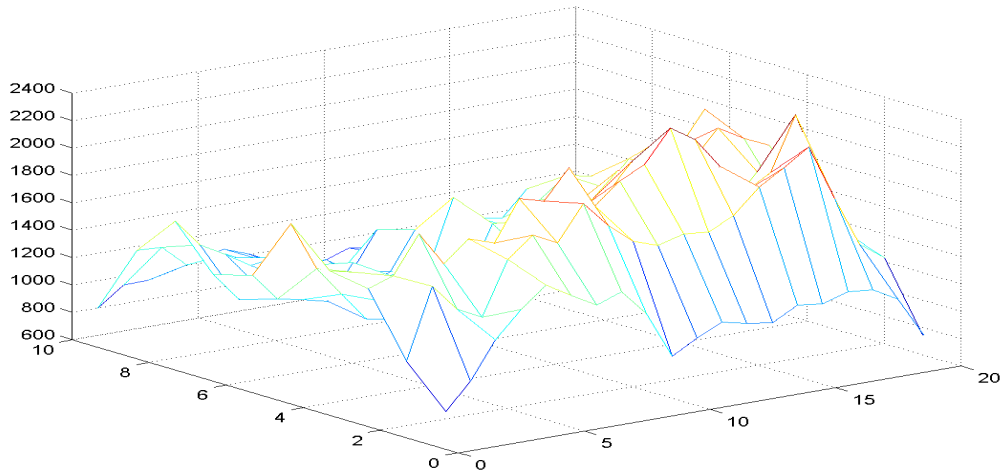


همان طور که گفته شد در آزمایش شماره ۴ توزیع و پخش نانوحباب به خوبی صورت نگرفته است و این امر در نمودارها نیز به وضوح دیده می شود که غلظت ها در زمان های مختلف و در نقاط مختلف به یکنواختی نرسیده است و نمودارها با گذشت زمان به حالت نرمالی نرسیده است.

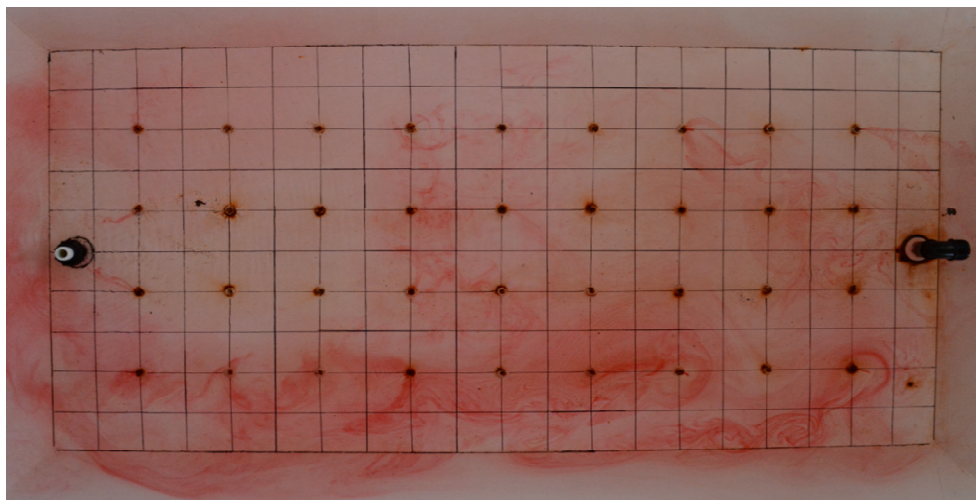
آزمایش شماره ۵:



شکل ۴-۵-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۵



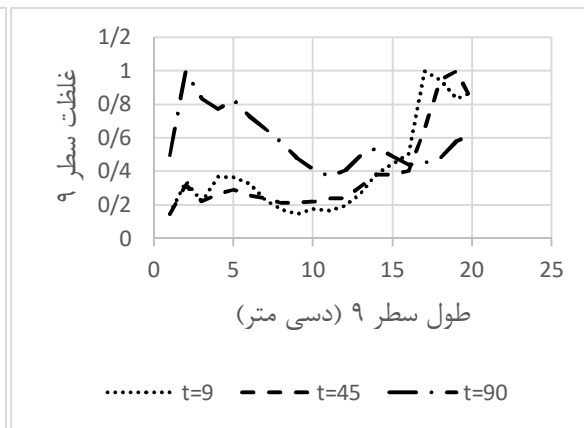
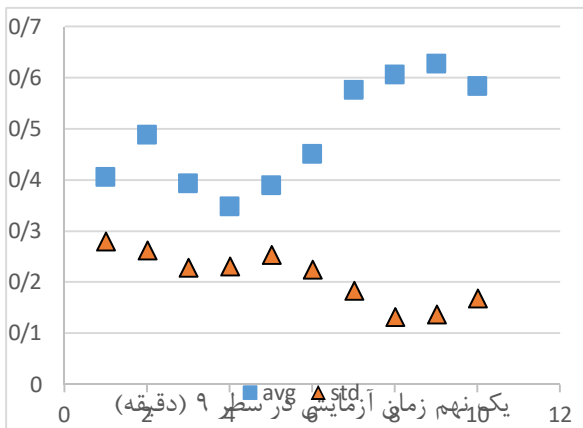
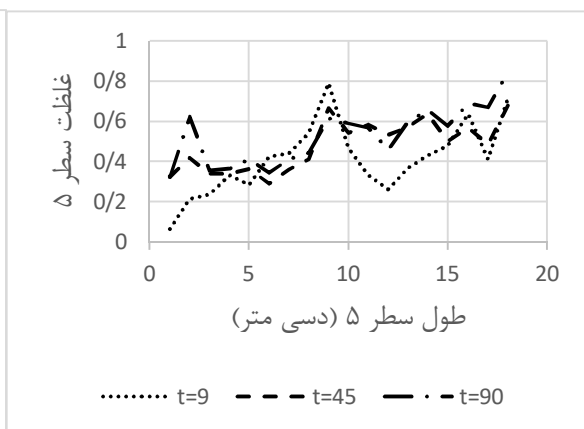
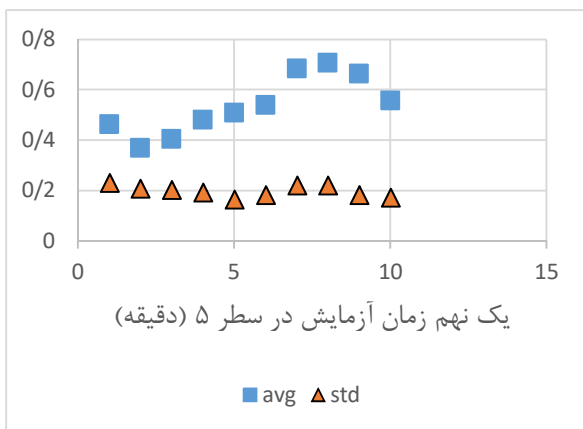
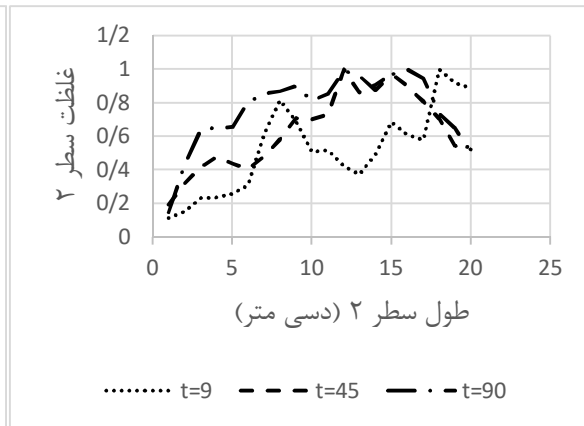
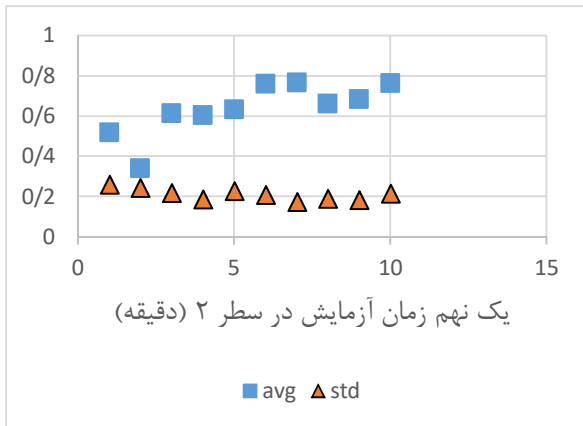
شکل ۴-۵-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

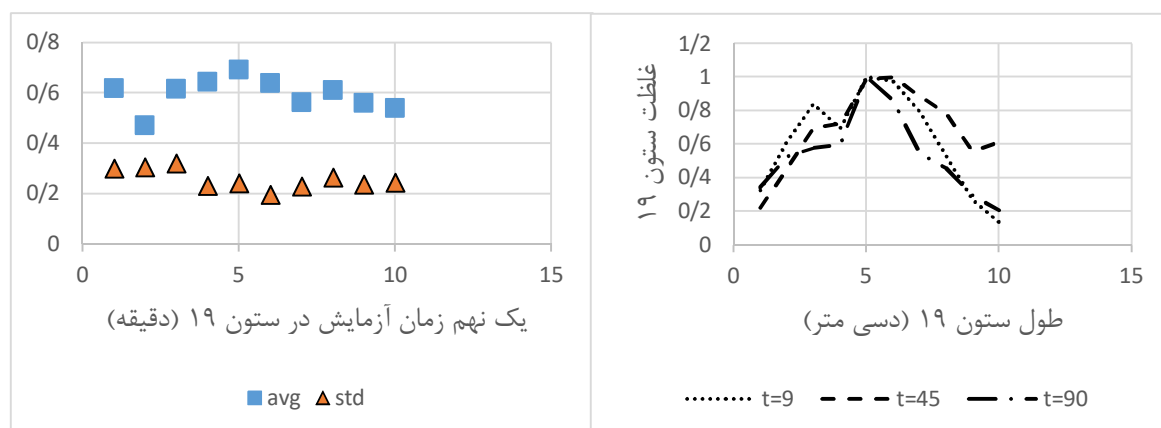
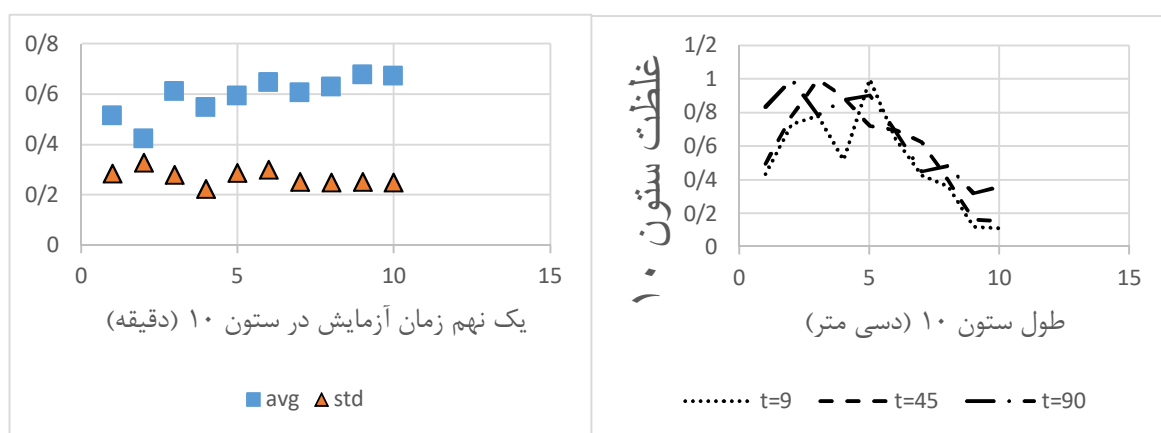
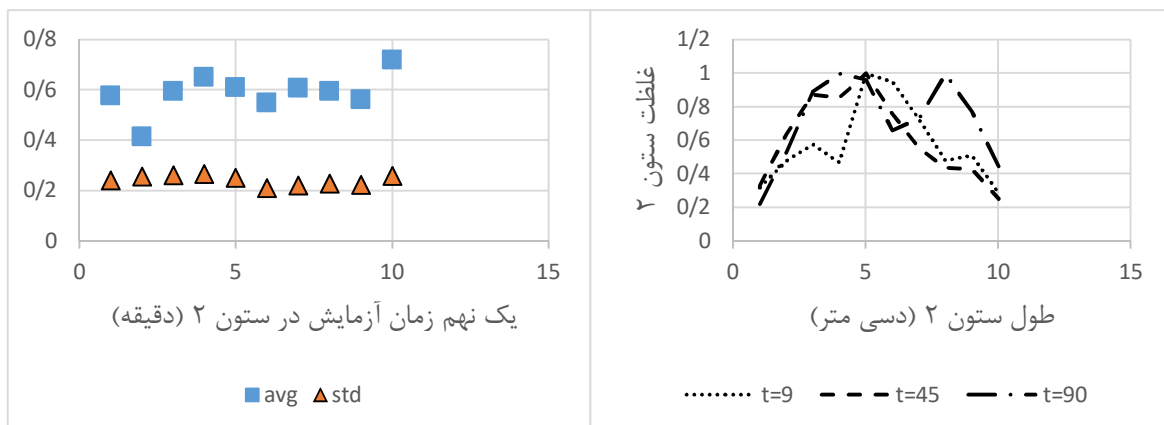


شکل ۴-۵-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۳,۲ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره ۵

در مدل شکل ۴-۴ آرایش ورودی های کف در دو طرف حوضچه متقارن بودن و نتیجه ی مطلوبی از آن بدست نیامد در نتیجه در مدل شکل ۴-۵ کمی ورودی های نانو حباب از کف را در سمت راست (ورودی اصلی) بیشتر کرده و در سمت چپ (خروجی) از میزان آنها کاسته ایم (این عمل با آرایش های بسیار زیادی انجام شد که بهترین حالت آن را در اینجا آورده شده است).

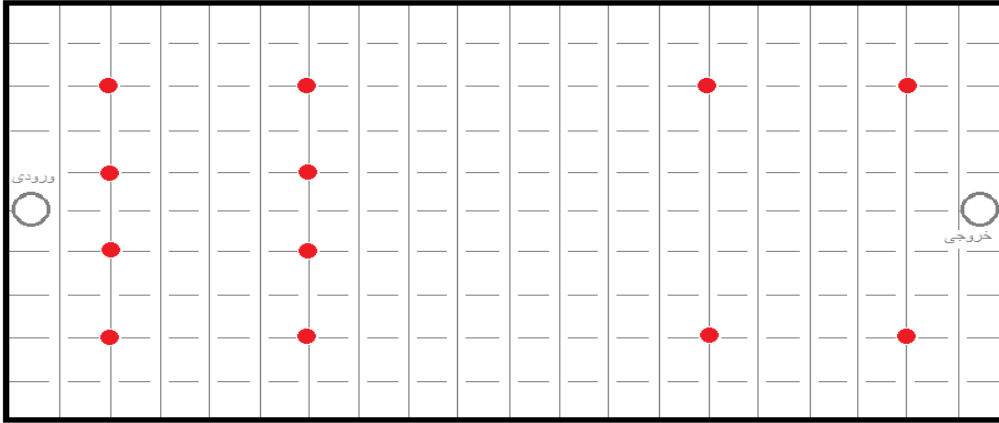
در این مدل توزیع یکنواختی تری نسبت به تمام مدل های قبلی وجود دارد، در مدل شکل ۴-۳ (آزمایش شماره ۳) نانوحباب در کل حجم وجود داشت ولی غلظت آن در کل حجم یکنواخت نبود. در این مدل غلظت در نیمه پایین حوضچه بیشتر از غلظت نانوحباب در نیمه بالایی می باشد ولی میزان غلظت در تمام نقاط قابل قبول به نظر می رسد. چرخش ساعتگرد موجود در این مدل غالب جریان را در برگرفته است و تاثیر ورودی و ایجاد یک مسیر مستقیم به خروجی جلوگیری کرده است و در نتیجه حتی در حجم موجود در قبل ورودی اصلی (که بیشتر آن روی دیواره است) غلظت قابل توجهی از نانو حباب مشاهده می شود. این جریان چرخشی باعث شده است که نانوحباب تزریقی از کف در این چرخش گیر کرده و با آن هم سو شود و تمام حجم حوضچه را در بر بگیرد ولی به علت اینکه بیشتر جریان ورودی در این حالت به سمت بالا هدایت می شود تا در چرخه قرار گیرد، در قسمت بالا ی حوضچه غلظت نانو حباب کمتر می باشد.



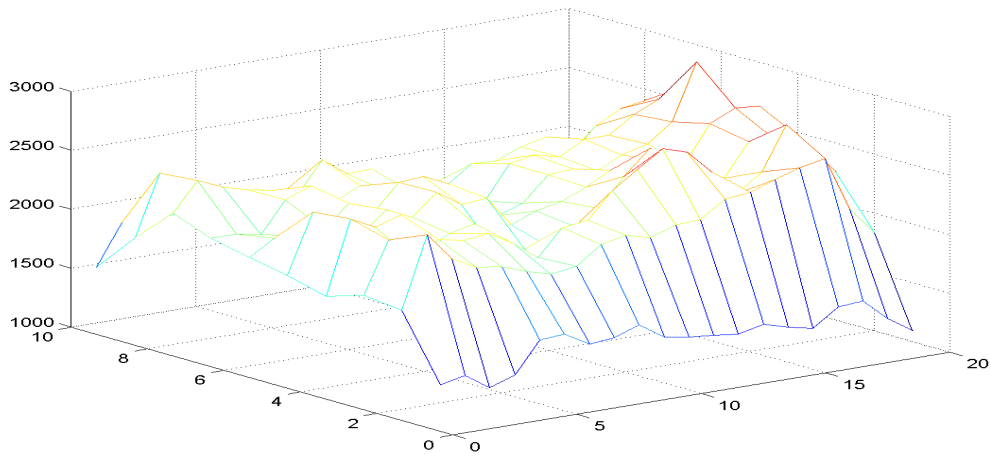


در این مدل، سطر ۲ (بالای حوضچه) با گذشت زمان به یکنواختی بهتری رسیده است در حالی که در سطر ۹ (پایین حوضچه) با وجود غلظت بیشتر ولی توزیع یکنواخت نشده است. در ستون ها نیز به علت اینکه بالا و پایین حوضچه از لحاظ غلظت تفاوت زیادی دارند، یکنواختی توزیع را نشان نمی دهند.

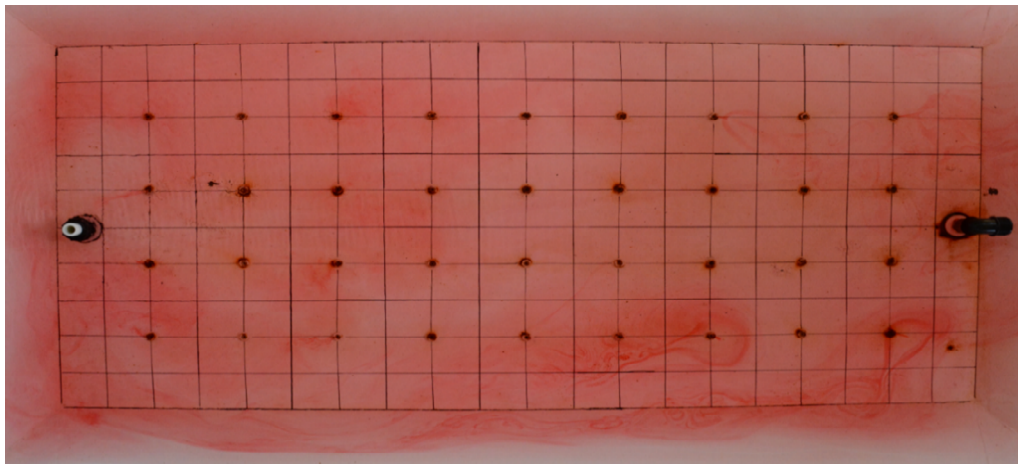
آزمایش شماره ۶:



شکل ۴-۶-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۶

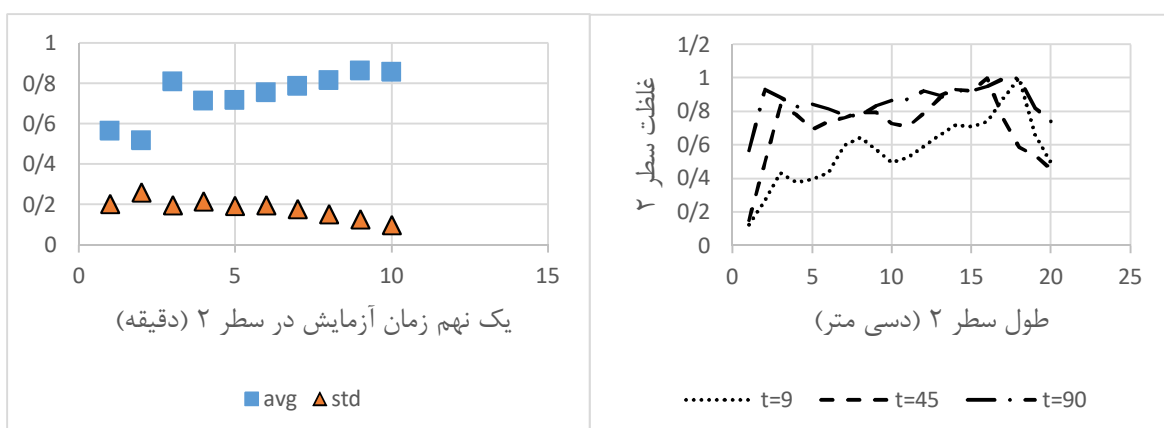


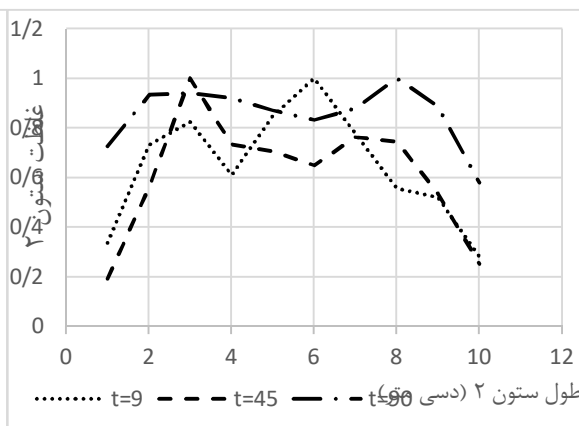
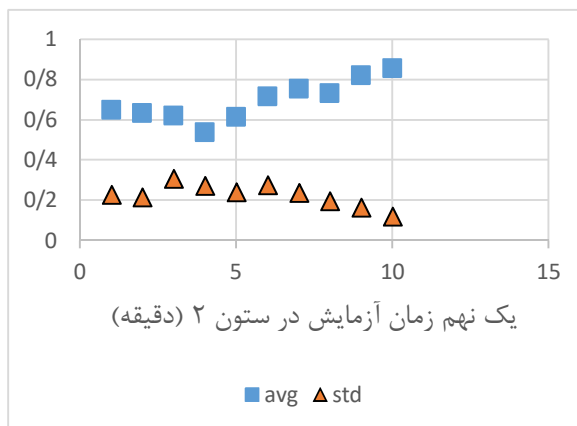
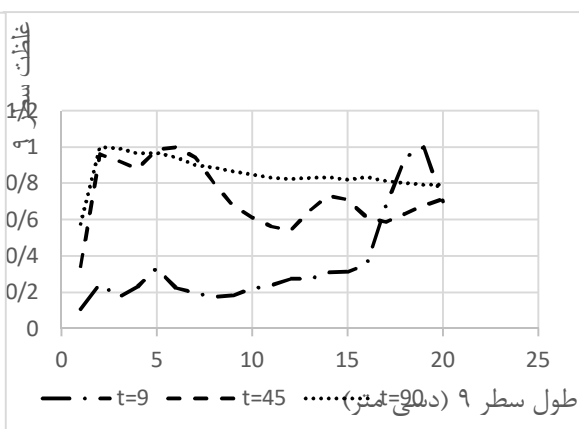
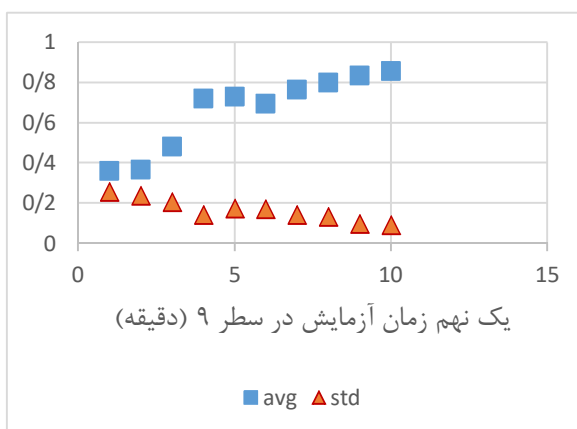
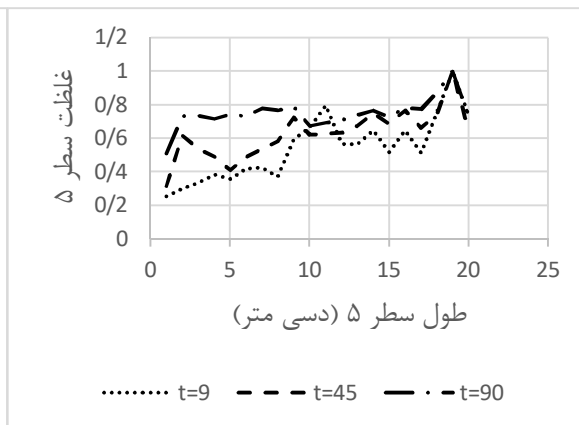
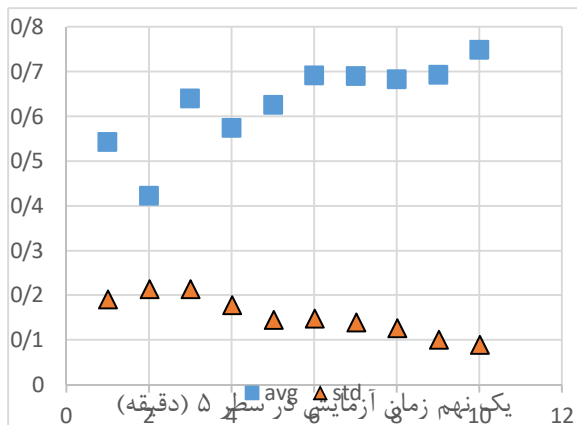
شکل ۴-۶-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

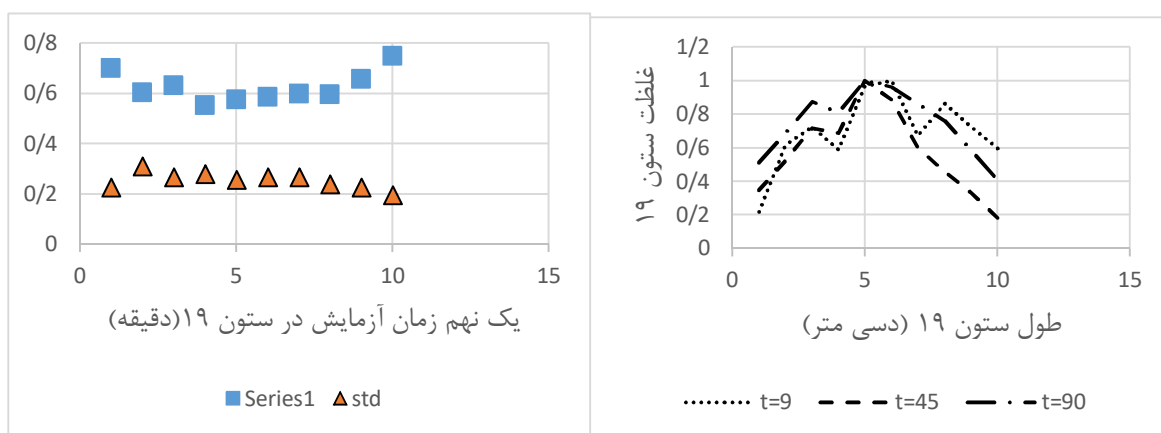
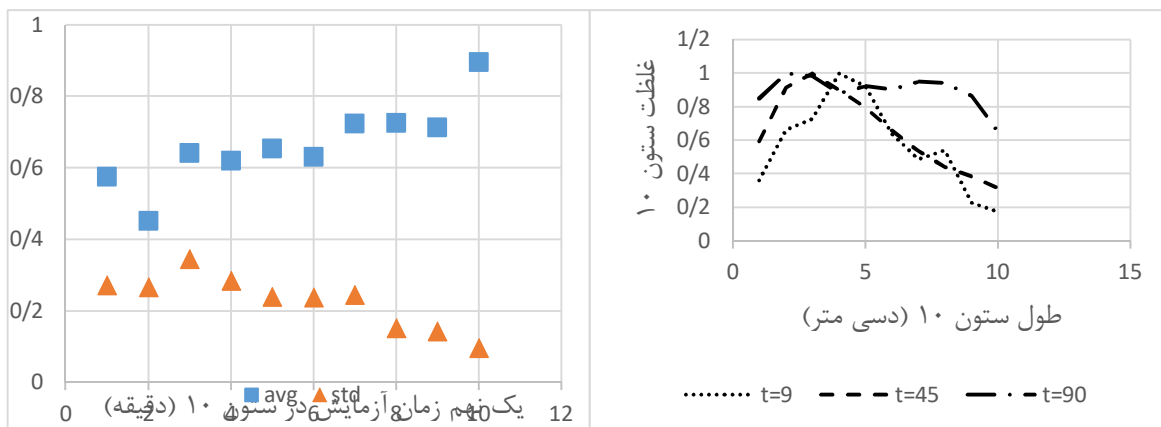


شکل ۴-۶-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۲,۳ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره ۶

همان طور که در شکل ۴-۵ دیده می شود وجود دو ردیف ورودی از کف (۸ ورودی) در نزدیکی ورودی اصلی جریان ضمن کنترل سرعت جریان اصلی به سمت خروجی، توانسته نانو حباب های تزریقی را با خود حمل کند و توزیع نسبتا یکنواختی را به همراه داشته باشد. با این حال با توجه به دبی در نتیجه سرعت ورودی فاضلاب باز هم در قسمت بالایی حوضچه غلظت نسبت به باقی حجم حوضچه کمتر است. برای حل این مشکل با توجه به آرایش مناسبی که در کف بدست آمده است در مدل شماره ۶ (شکل ۴-۶) دبی ورودی را از ۳,۲ مترمکعب بر روز به ۲,۳ مترمکعب در روز کاهش دادیم و مجموع دبی های ورودی از کف را نیز برابر ۰,۱ دبی اصلی یعنی ۰,۲۳ مترمکعب در روز قرار دادیم. با کم کردن دبی های ورودی همان گونه که در شکل ۴-۶ دیده می شود به نتایج بهتر و یکنواختی خوبی رسیدیم. در این مدل با دبی کمتر به دلیل بودن سرعت در بخش ورودی، سرعت قرار گیری فاضلاب در چرخه بوجود آمده کمتر شده است و فرصت اینکه با نانو حباب موجود و نانوحبابی که از کف وارد می شود مخلوط شود. در نتیجه قسمت بالایی حوضچه که قبلا از غلظت کمتری برخوردار بود اینک با بقیه حجم حوضچه یکنواخت شده است.







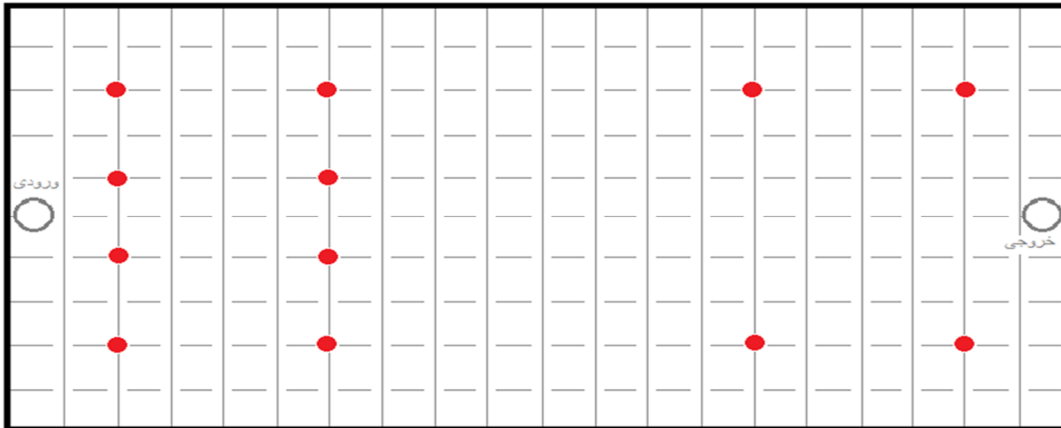
در آزمایش شماره ۶ با کم کردن دبی های ورودی در تمام سطر و ستون ها توزیع نسبتاً یکنواختی دیده می شود. در نمودار تمام سطر و ستون ها با گذشت زمان توزیع حالت بهتری به خود گرفته است (نمودار از شکستگی های زیاد به سمت خط راست شدن پیش می رود). همچنین دیده می شود که هرچه از دقیقه ۹ به سمت دقیقه ۹۰ پیش می رویم، میانگین غلظت ها افزایش یافته است و انحراف معیار کاهش پیدا کرده است که این نتیجه مطلوب و توزیع یکنواخت نانوحباب در حجم حوضچه را نشان می دهد.

۴-۲-۲ حوضچه با دیواره قائم

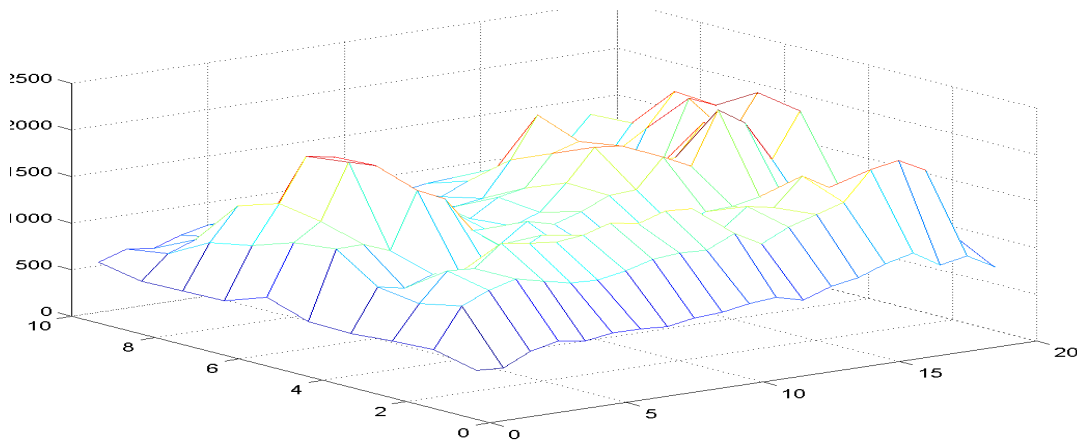
در این حالت اثر دیواره بر توزیع نانوحباب تزریق شده از کف در حجم حوضچه تثبیت فاضلاب

مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه در حوضچه های تثبیت فاضلابی که جنس حوضچه از بتن باشد، دیواره ها قائم خواهد بود، در اینجا از دیواره قائم استفاده شده است. در حوضچه ها با دیواره قائم از دو دبی ورودی اصلی استفاده شده است و با توجه به نتایجی که در حالت قبل بدست آمده است از تعداد ورودی کف ۱۰ و ۱۲ استفاده گردیده شد. مجموع دبی های ورودی از کف برابر ۰,۱ دبی ورودی اصلی بوده و زمان انجام آزمایش مانند حالت قبل یک ساعت و نیم می باشد. در این مدت روند حرکت نانوحباب (آب حاوی رنگ قرمز) در حوضچه توسط دوربین ثبت شده است و بعد از آن برای بهتر درک کردن روند حرکت با استفاده از فن پردازش تصویر گراف هایی تهیه گردیده است. در شکل های زیر مدل به همراه عکس حوضچه پس از یک ساعت و نیم تزریق از کف به همراه گرافی که میزان غلظت نانوحباب در هر قسمت از حوضچه را نشان می دهد، نمایش داده شده است. در حوضچه با دیواره قائم سعی شده است از آرایش هایی که در حالت دیواره ۳۰ درجه استفاده نشده است ولی روند اجرایی آنها در تصفیه خانه آسان تر است نیز استفاده گردد و مورد بررسی قرار گیرند.

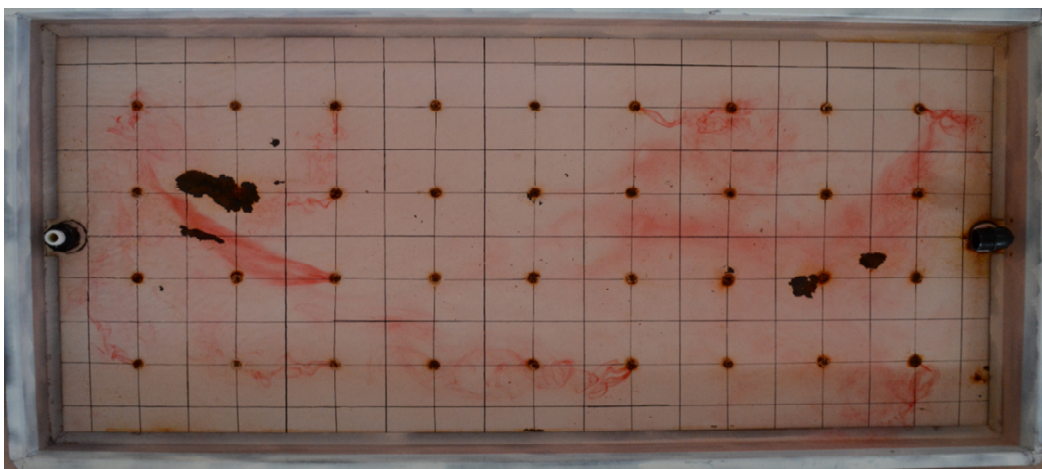
آزمایش شماره ۷:



شکل ۴-۷-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۷

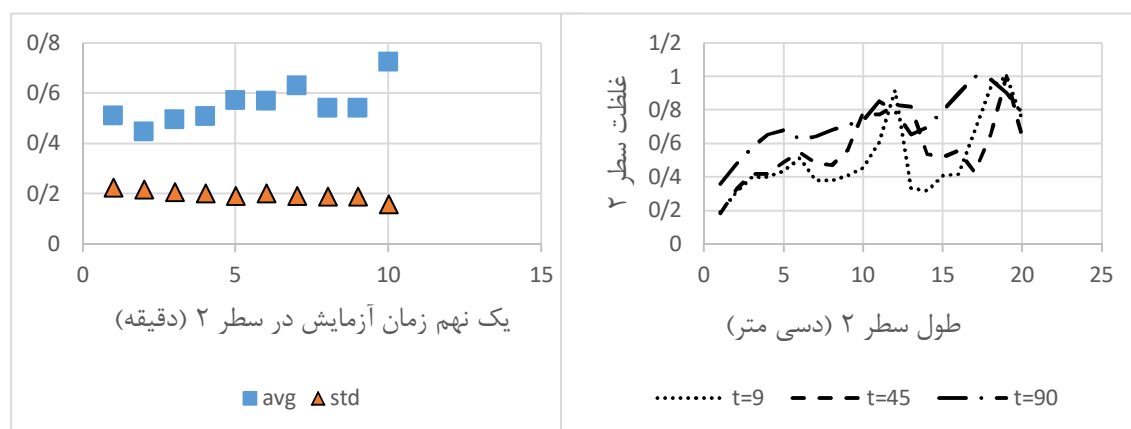


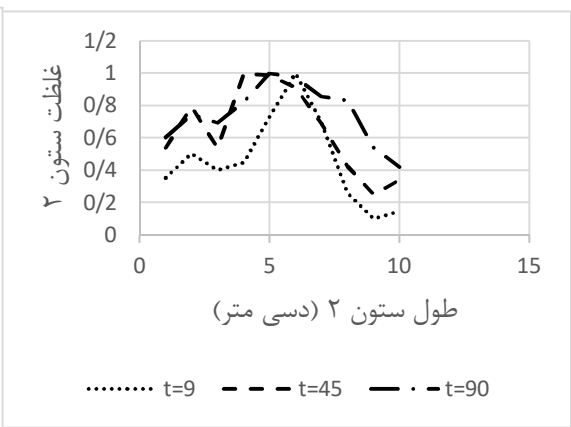
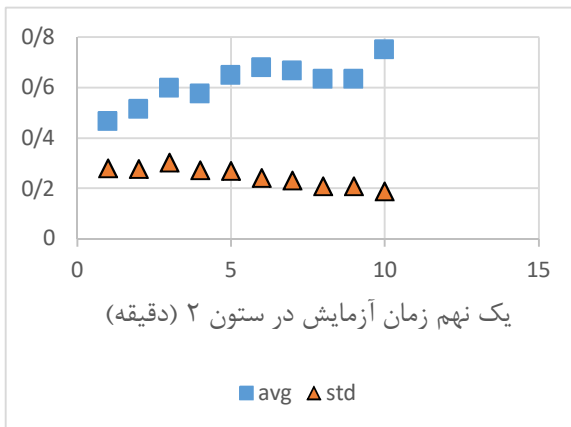
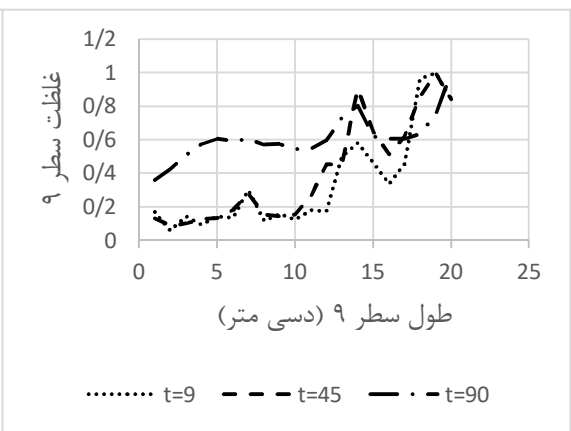
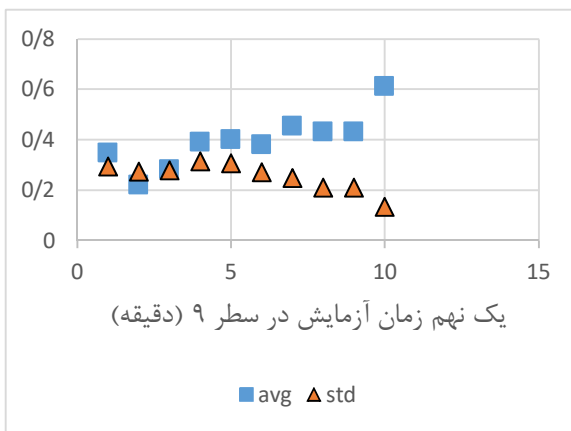
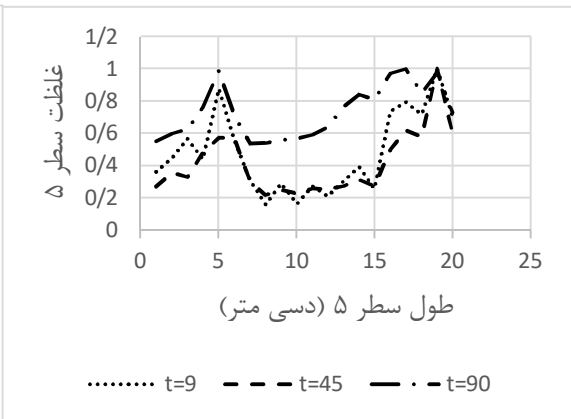
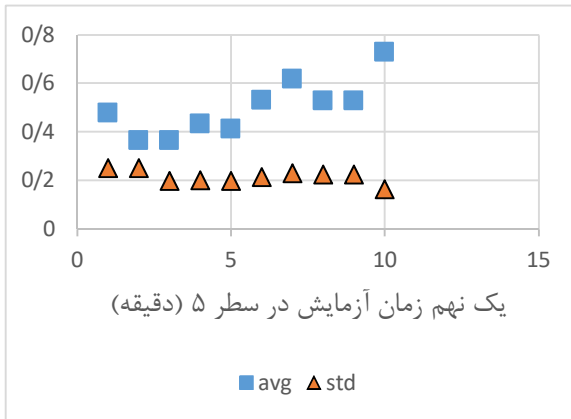
شکل ۴-۷-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

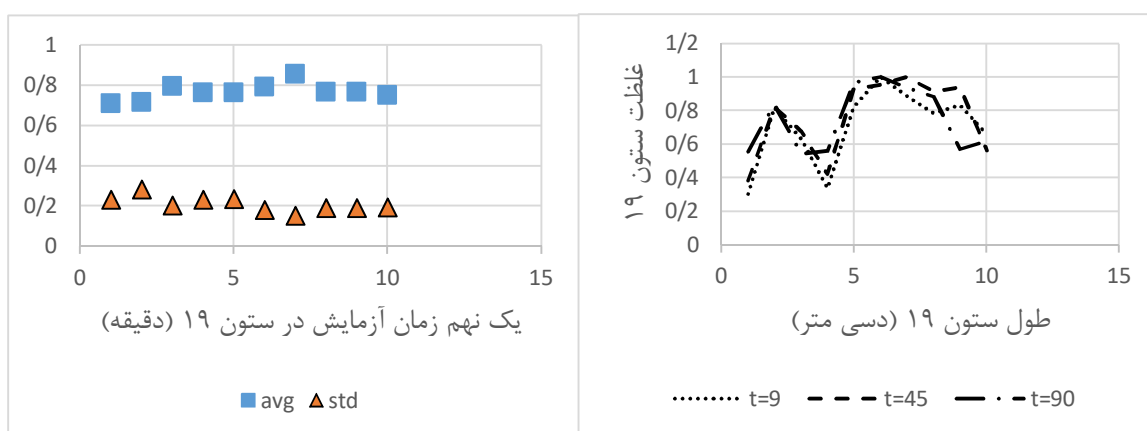
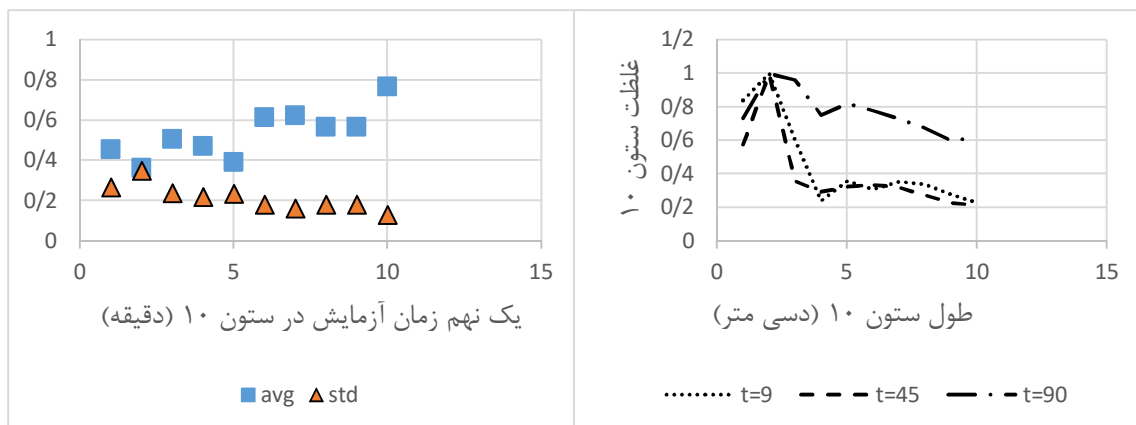


شکل ۴-۷-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۲,۳ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره ۷

در مدل آزمایش شماره ۷ (شکل ۴-۷) از مدل مشابه در آزمایش شماره ۶ (شکل ۴-۶) و با همان دبی استفاده شده است ولی نتیجه ای که در این مدل بدست آمده است از یکنواختی و توزیع مناسب برخوردار نیست. در این مدل چرخش ساعتگرد در حوضچه شکل گرفته است ولی با توجه به عوض شدن دیواره های حوضچه، که می توان گفت از عرض حوضچه در سطح فاضلاب کاسته شده است، این چرخش نتوانسته باعث توزیع یکنواخت نانوحباب در حجم حوضچه گردد. در مدل شماره ۷ نانوحباب تزریق شده از کف در تمام حجم حوضچه قرار دارد ولی غلظت آن جز در نزدیک ورودی های کف، کم می باشد و این نشان دهنده ی این است که نانوحباب تزریقی سریع در مسیر جریان اصلی حرکت فاضلاب قرار میگیرد و با آن خارج می شود قبل از اینکه فرصت کافی برای پخش در حجم حوضچه را داشته باشد.

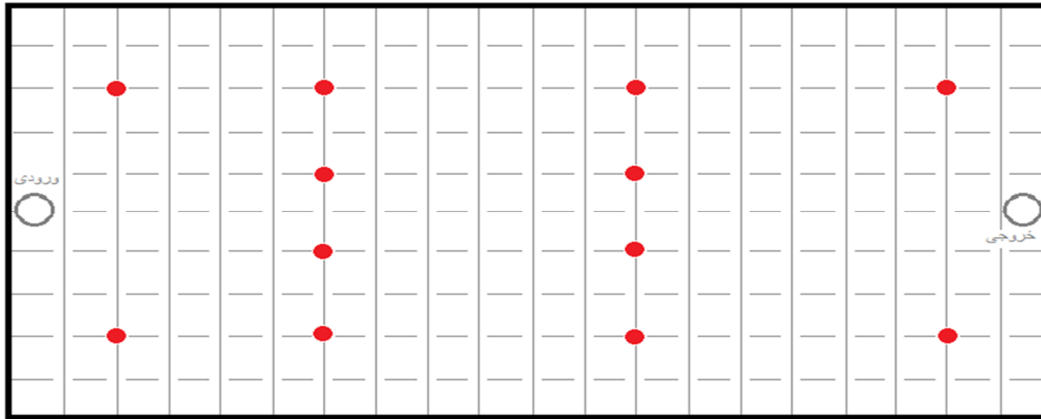




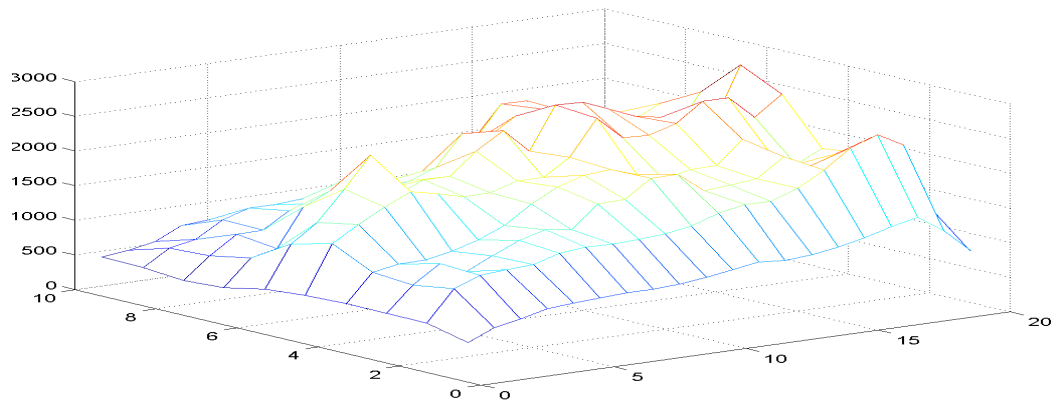


با بررسی نمودارها در این مدل درمیابیم که با توجه به مطالب قبل، بجز ستون ۲ و ۱۹ که در قسمت ورودی و خروجی حوضچه قرار دارند، در دیگر قسمت ها توزیع نسبتاً خوبی شکل گرفته است و با گذر زمان به یکنواختی نزدیک شده است. می توان نتیجه گرفت که در این مدل اگر زمان انجام آزمایش را افزایش دهیم، احتمالاً به نتیجه یکنواخت تری خواهیم رسید. البته کماکان در ورودی و خروجی مشکل توزیع وجود خواهد داشت. با وجود اینکه غلظت ها در این مدل کمتر می باشد ولی با توجه به اینکه در هر مدل غلظت هر نقطه در سطر یا ستون با ماکزیمم آن سطر و ستون مقایسه می شود، توزیع یکنواخت بوده است.

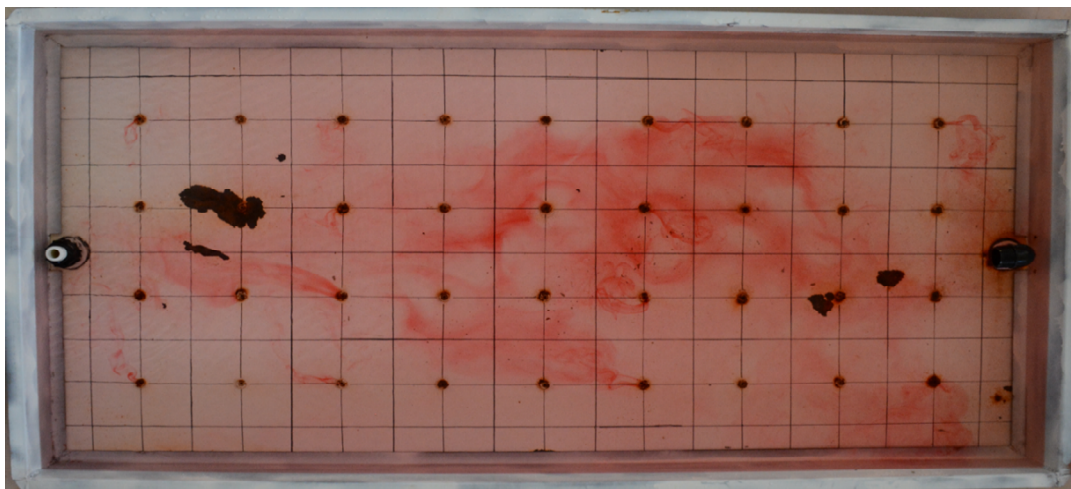
آزمایش شماره ۸:



شکل ۴-۸-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۸

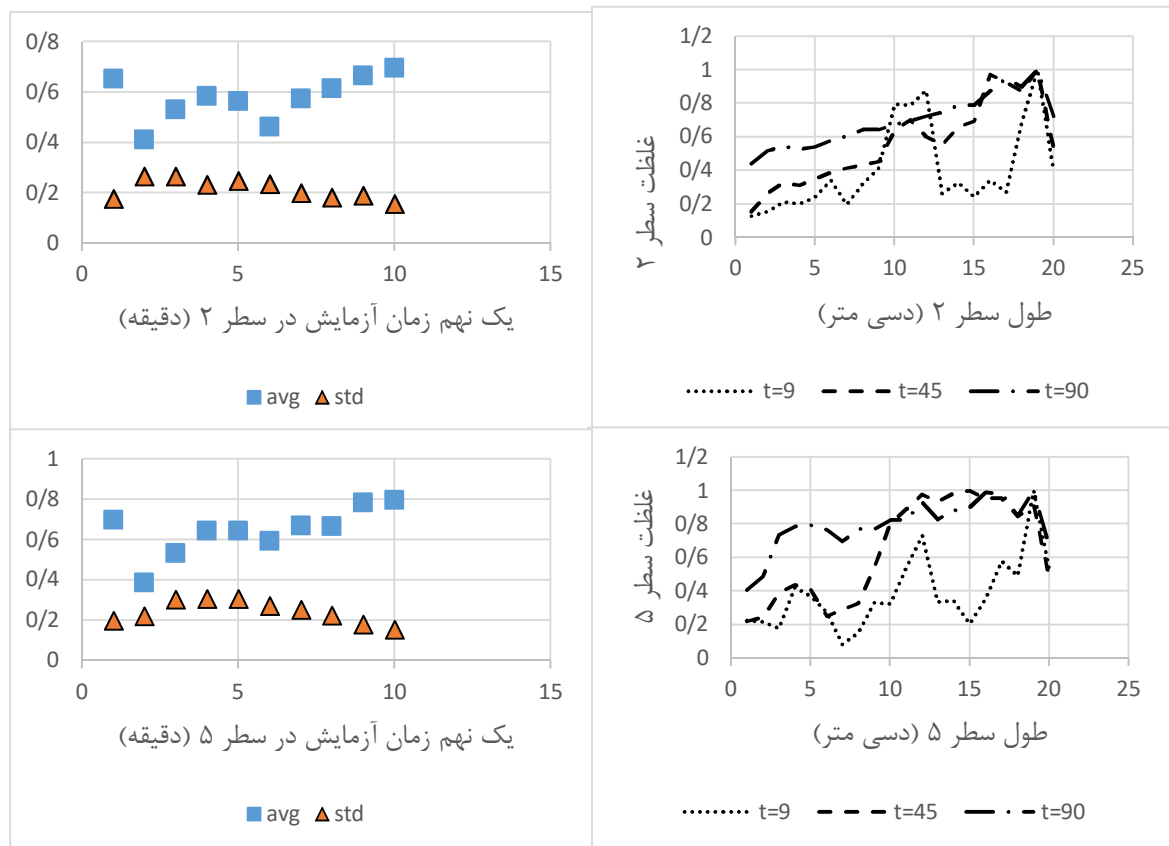


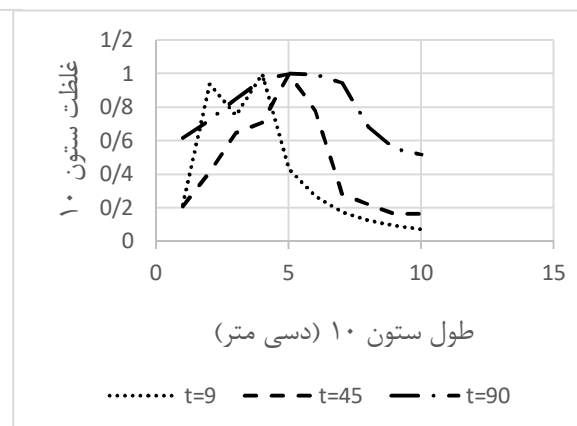
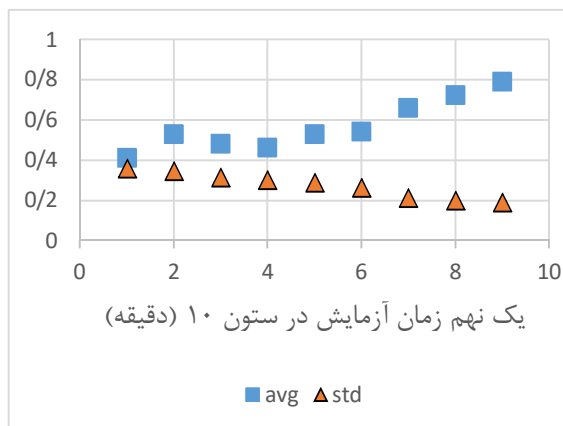
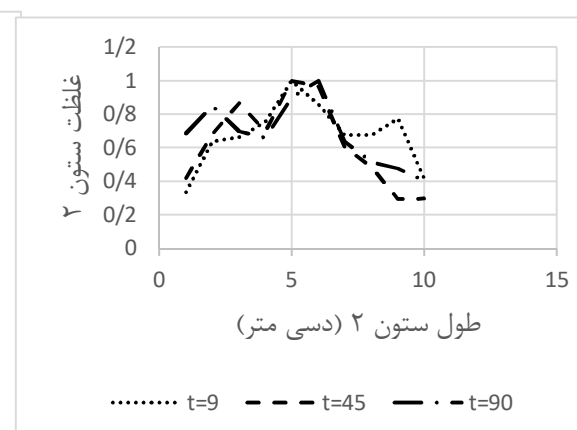
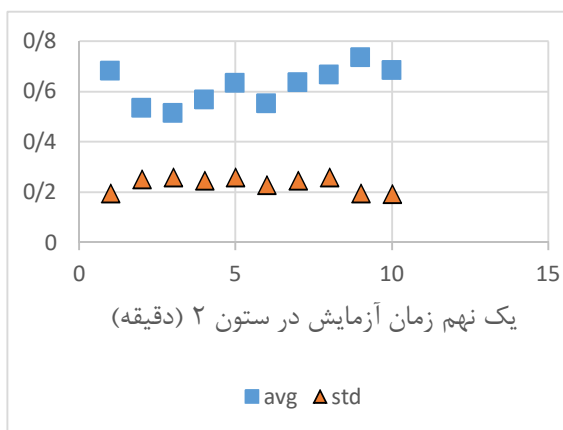
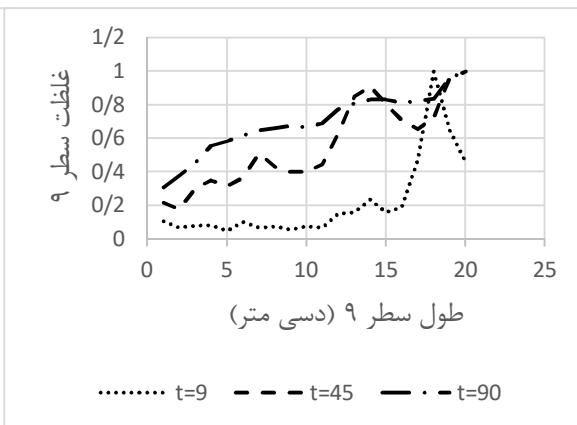
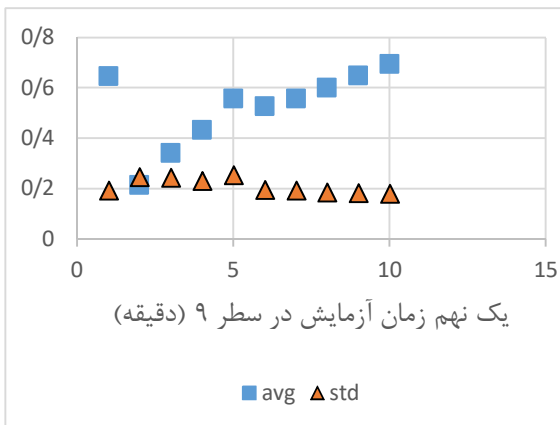
شکل ۴-۸-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

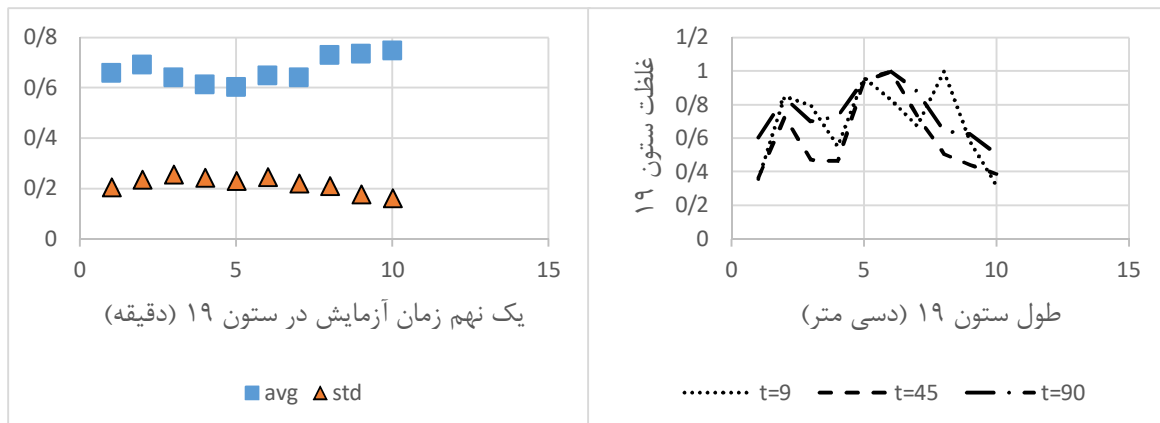


شکل ۴-۸-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۳,۲ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره ۸

در مدل شماره ۸ همانطور که در چیدمان آرایش دیده می شود سعی شده بیشتر ورودی ها در یک خط قرار گیرند (برای اجرای آسان تر). در این مدل غلظت در وسط حوضچه زیاد بوده و در نیمه سمت راست حوضچه کمتر است. در این حالت بیشتر نانوحباب تزریق شده همراه با جریان ورودی به سمت خروجی حرکت می کنند و فقط در خط ورودی از کف وسط حوضچه با کم شدن سرعت جریان کمی توزیع می شوند ولی در نزدیکی دیواره ها به خصوص دیواره بالایی غلظت نانوحباب کم می باشد. با اینکه در این مدل نانوحباب در کل حجم حوضچه وجود دارد ولی میزان غلظت آن خیلی متفاوت است که می توان گفت علت اصلی آن سرعت زیاد جریان ورودی اصلی است.

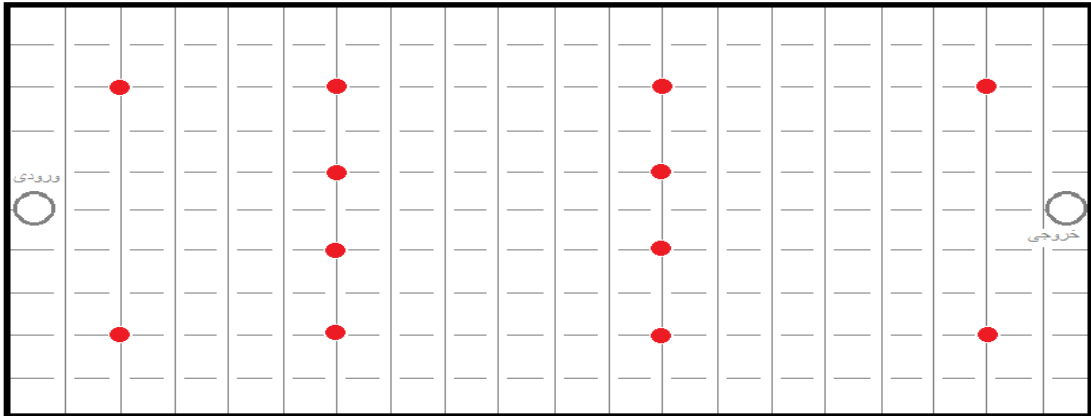




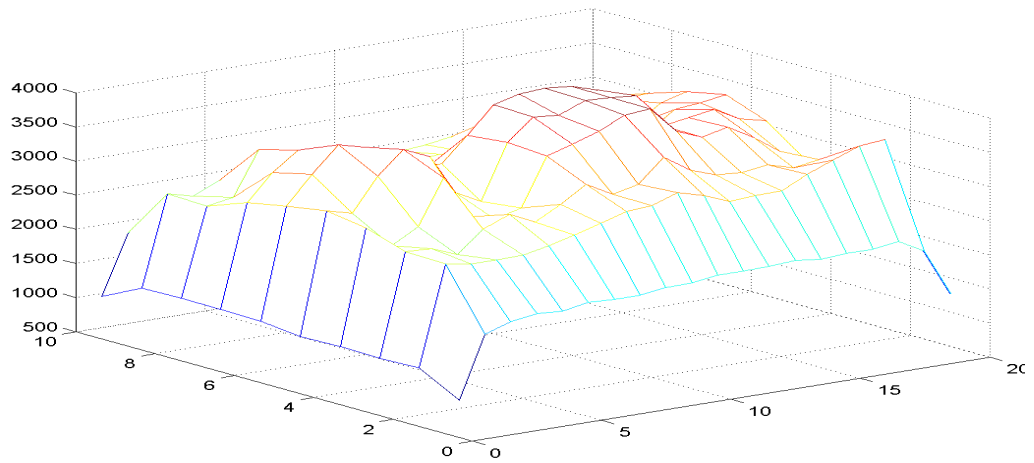


همان گونه که قبلا گفته شد، در نمودار های سطری چون توزیع یکنواخت بوده است (نسبت به همان سطر)، نمودار ها با گذر زمان به سمت خط راست حرکت کرده که حاکی از توزیع یکنواخت در سطر ها می باشد. ولی در ستون ها به علت تفاوت غلظت در بالا و پایین حوضچه نمودارها توزیع یکنواختی را نشان نمی دهند(البته در ستون ۱۰ به علت غلظت زیاد در مرکز حوضچه، توزیع یکنواخت شده است).البته تقریبا در همه ی حجم حوضچه با گذشت زمان میانگین غلظت در حال افزایش است. در نتیجه با کم کردن دبی اصلی یا زیاد کردن زمان به نتیجه بهتری خواهیم رسید.

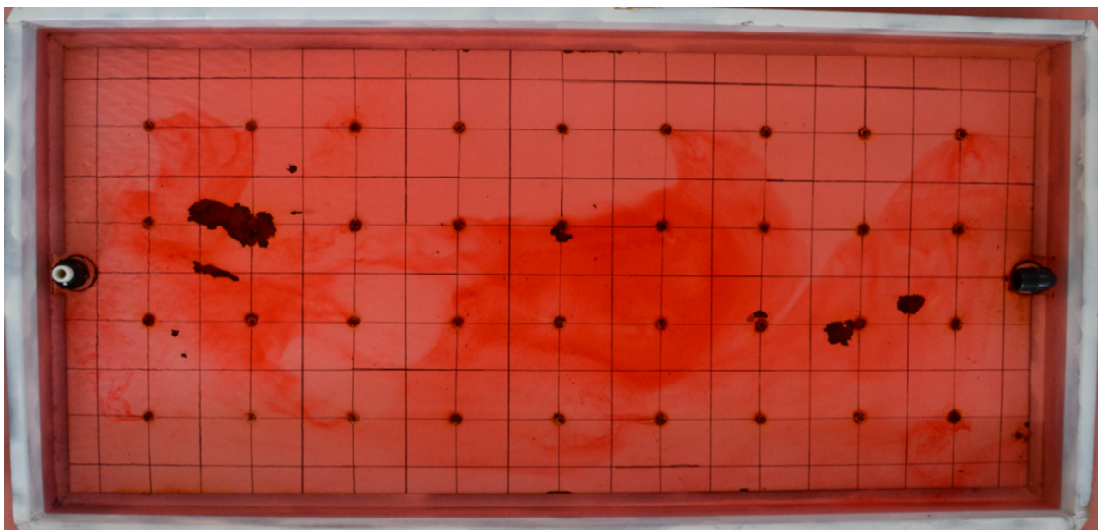
آزمایش شماره ۹:



شکل ۴-۹-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۹



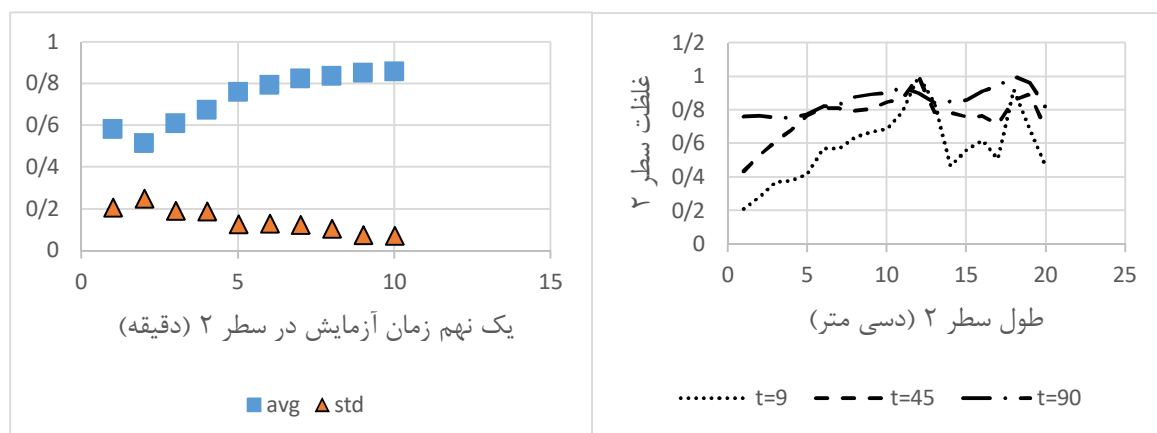
شکل ۴-۹-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

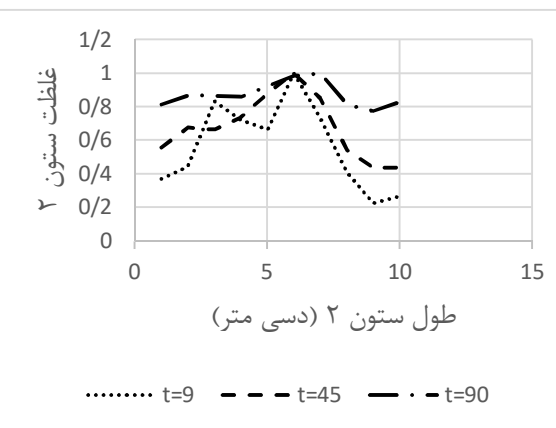
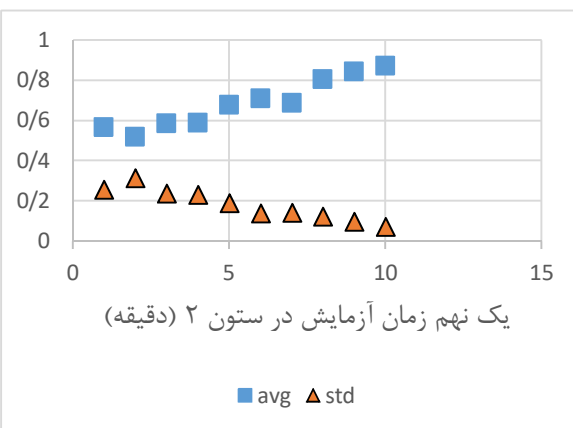
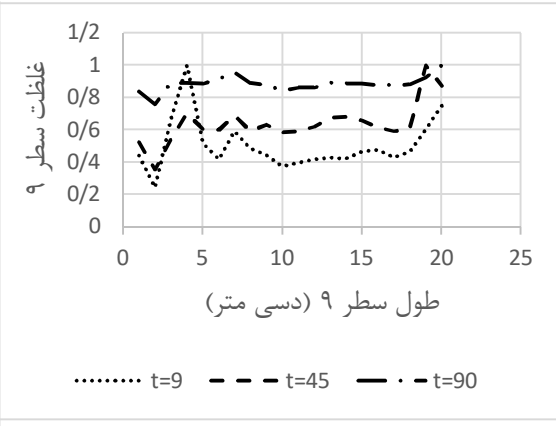
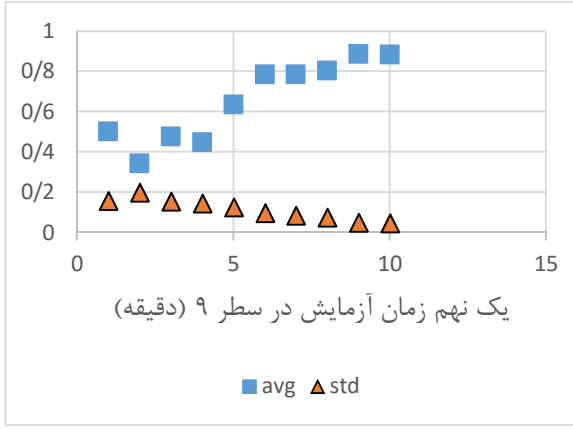
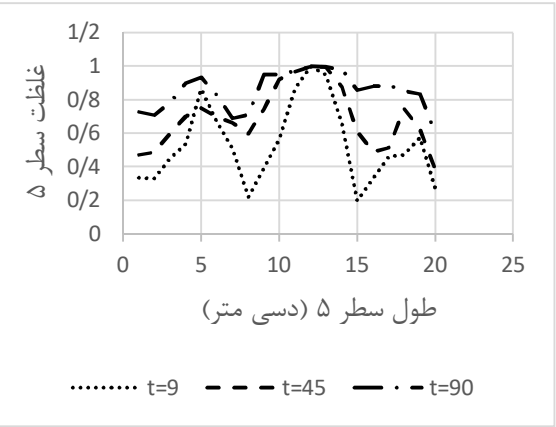
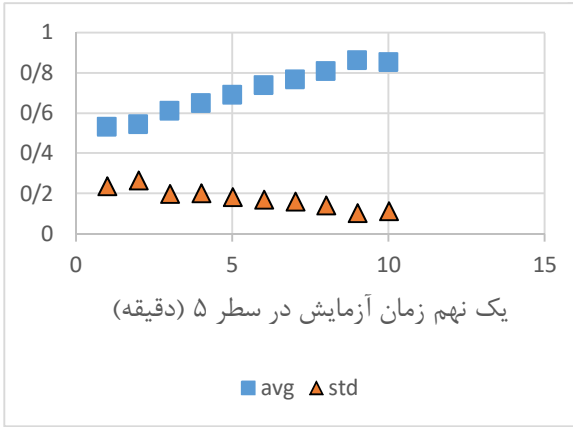


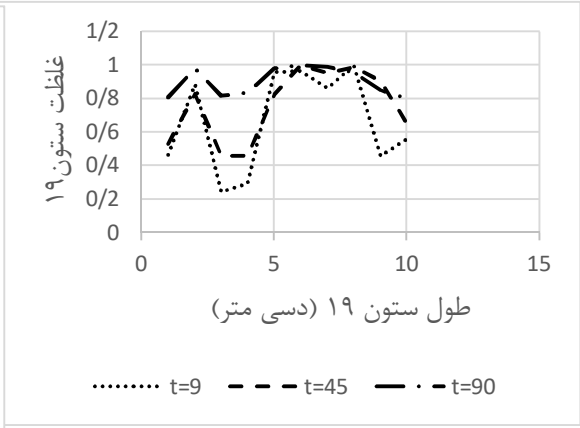
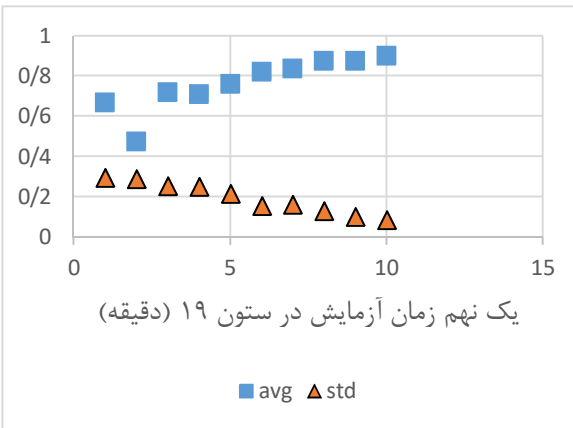
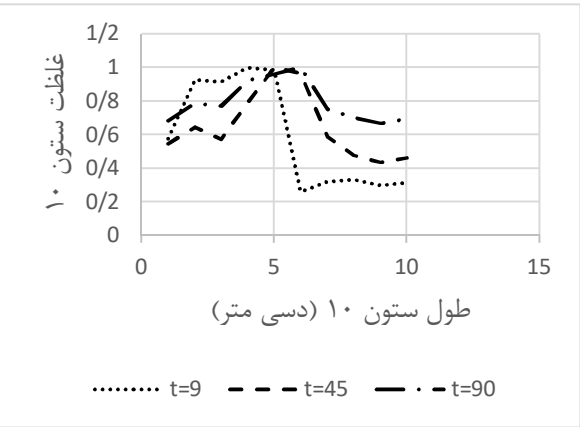
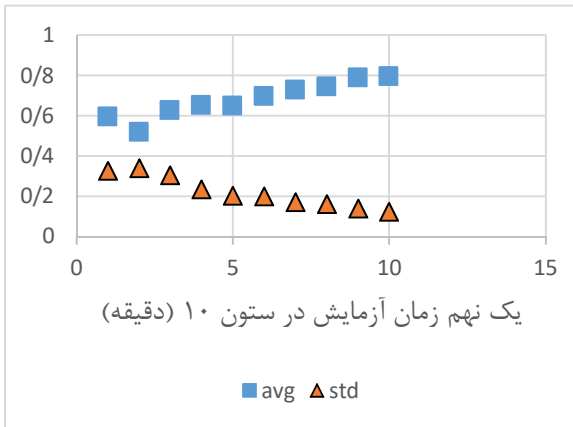
شکل ۴-۹-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۲,۳ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره ۹

با توجه به نتایجی که در مدل شماره ۸ بدست آمد، در مدل شماره ۹ (شکل ۴-۹) از همان آرایش ورودی های کف با دبی ۲,۳ مترمکعب در روز استفاده شد که در این حالت به علت سرعت کمتر جریان ورودی اصلی، نانوحباب در حجم حوضچه توزیع یکنواخت تری داشت. در این مدل چرخش کلی در حوضچه به وجود نیامده است که میتواند به علت وجود دیواره های قائم باشد و شاهد ایجاد سه چرخش در نزدیکی ورودی اصلی، در قسمت میانی حوضچه و نزدیک خروجی هستیم. در این قسمت ها غلظت نانو حباب بیشتر است. با اینکه در تمام حجم حوضچه غلظت نانوحباب وجود دارد و نسبت به مدل ۸ این غلظت یکنواخت تر است ولی در بعضی قسمت غلظت نانوحباب بیشتر است.

در مدل آزمایش شماره ۹ با وجود غلظت های مختلف در حجم حوضچه، نانوحباب تزریقی توانسته است مدت بیشتری در حوضچه بماند و تمام حجم حوضچه را پوشش دهد. ورودی های کف توانسته اند با این آرایش از حرکت مستقیم فاضلاب از ورودی به خروجی جلوگیری نمایند و آن را به سمت دیواره ها حرکت دهند که باعث پخش نسبتاً خوب نانوحباب در حجم حوضچه شده است و میکروارگانیسم ها نیز با این شرایط (زمان و اکسیژن کافی برای فعالیت) می توانند به نحو مناسبی فعالیت خود را انجام دهند و فاضلاب ورودی بعد از حرکت در نواحی زیادی از حوضچه و گذراندن زمان کافی در آن، از حوضچه خارج می شود که اثر بسیار مطلوبی در تصفیه فاضلاب دارد.

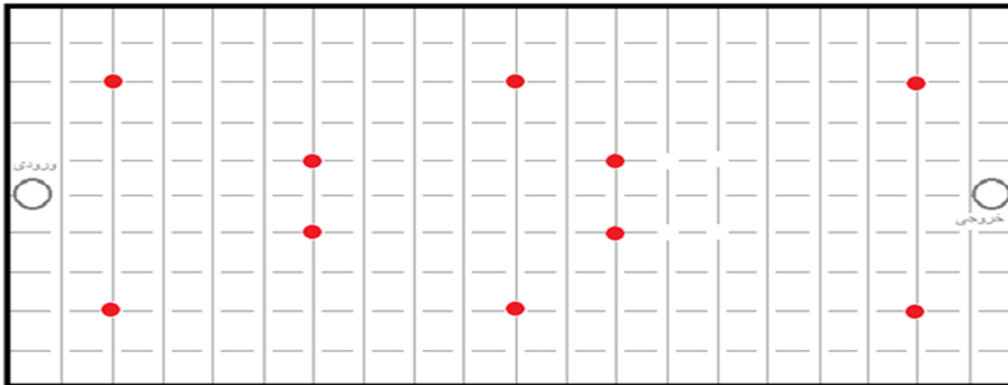




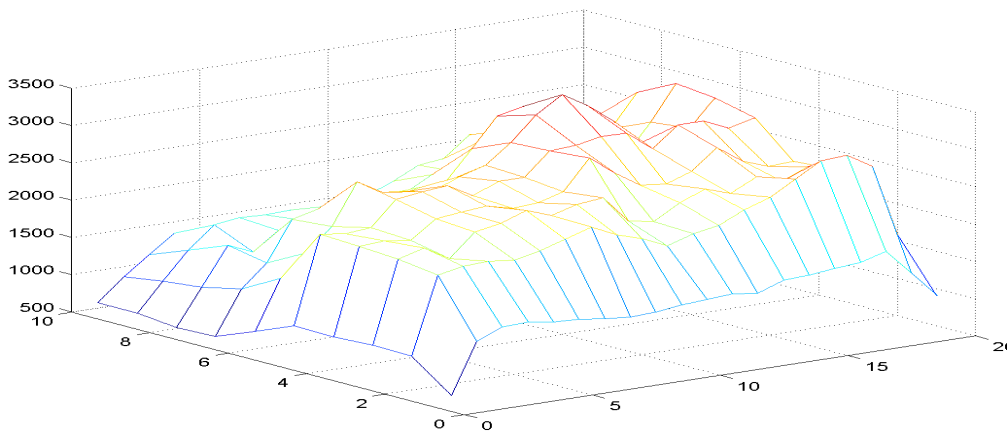


از نمودارهای حاصله از آزمایش شماره ۹ کاملاً واضح است که توزیع در تمام حجم یکنواخت بوده است و با گذشت زمان میانگین غلظت افزایش یافته است و انحراف معیار کاهش پیدا کرده است.

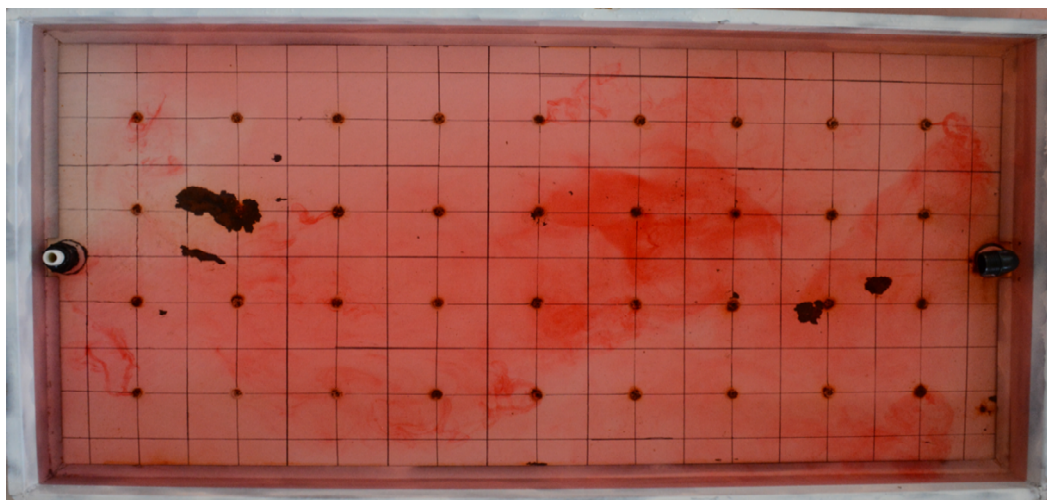
آزمایش شماره ۱۰:



شکل ۴-۱۰-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۱۰

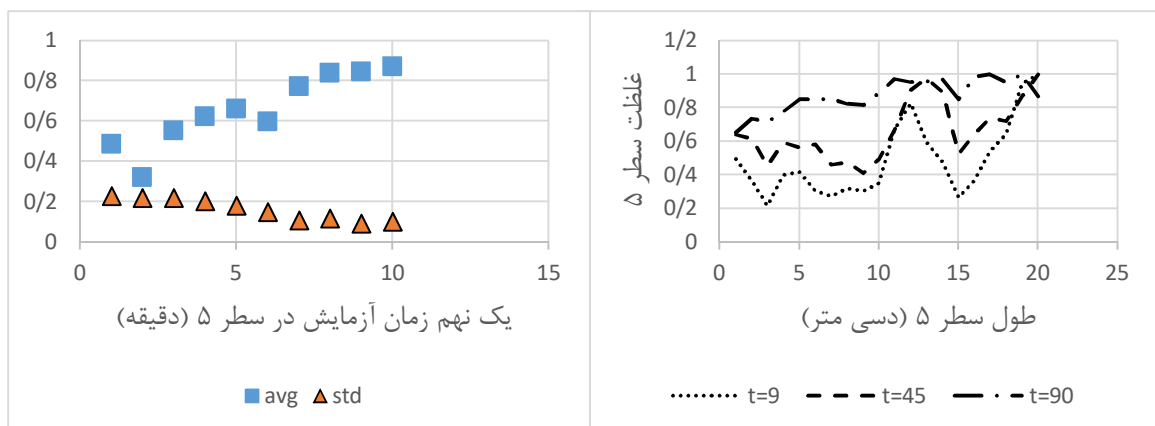
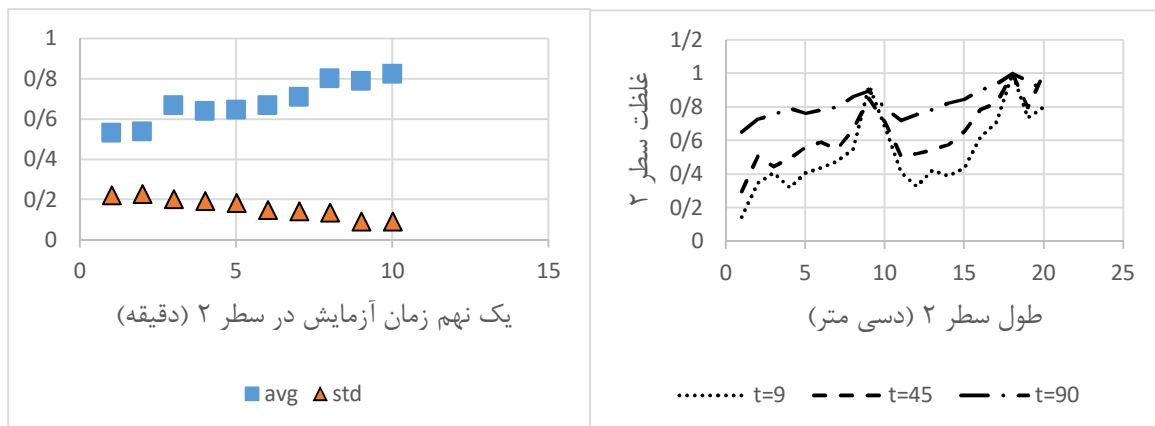


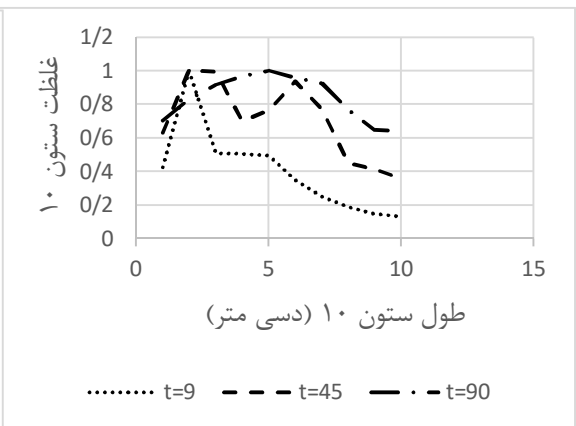
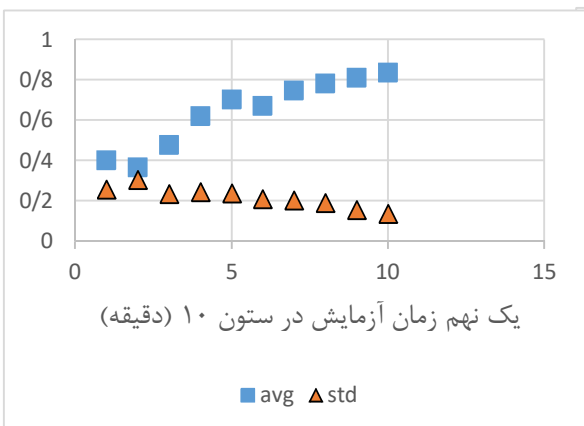
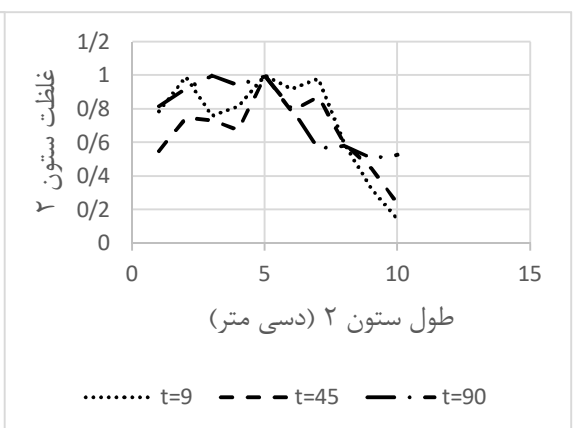
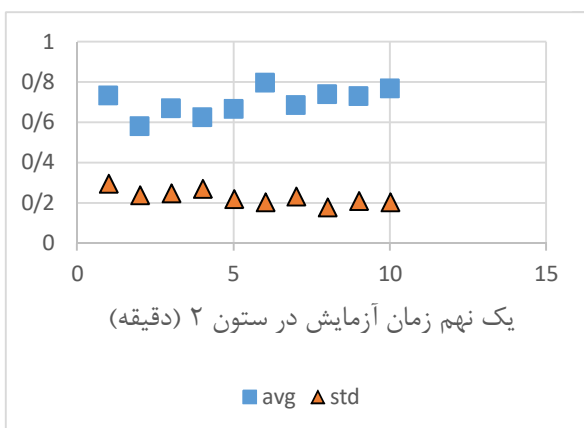
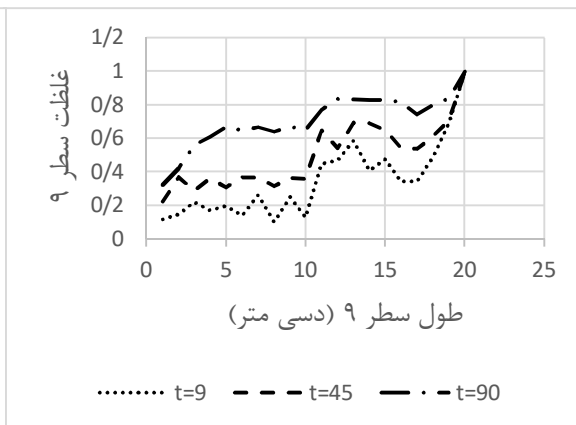
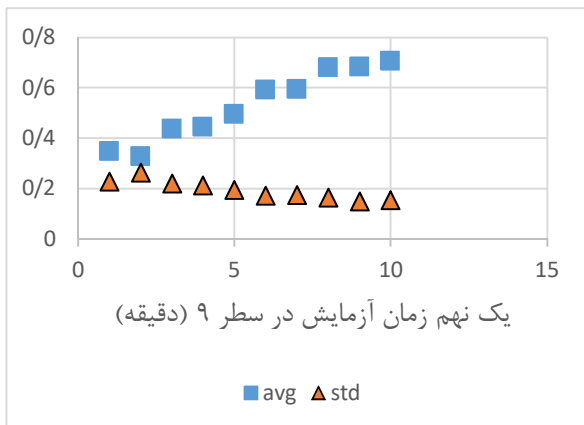
شکل ۴-۱۰-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

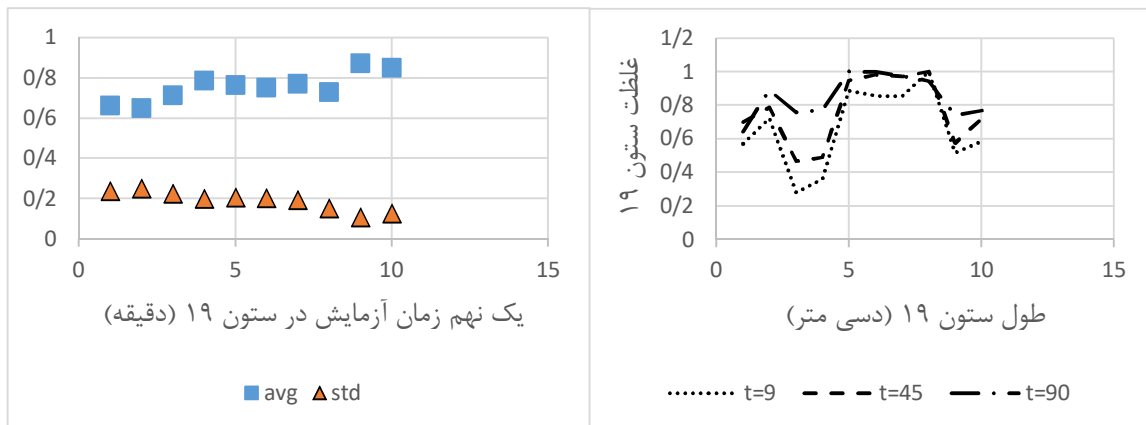


شکل ۴-۱۰-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۲,۳ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره ۱۰

در مدل شکل ۴-۱۰ تزریق نانوحباب از کف به صورت خطی انجام نشده است و در ورودی ها در کف حوضچه پخش شده اند. این مدل توزیع نسبتاً یکنواختی از نانوحباب در حجم حوضچه دارد ولی باز هم غلظت ها با هم برابر نیستند. مهم ترین مشکلی که در این آرایش وجود دارد وجود قسمتی در بالای ورودی اصلی است که نسبت به دیگر مناطق حوضچه غلظت نانوحباب در آن خیلی کمتر است و این بدین معنا است که یا در این منطقه یک ناحیه مرده وجود دارد که نه نانوحباب تزریق شده از کف در آن حرکت می کند و نه فاضلاب، یا در اثر چرخش به وجود آمده در حوضچه، فاضلاب ورودی به محض ورود به حوضچه در چرخه قرار می گیرد و به سمت بالا می رود و این کم بودن غلظت نانوحباب به دلیل وجود فاضلاب ورودی است.

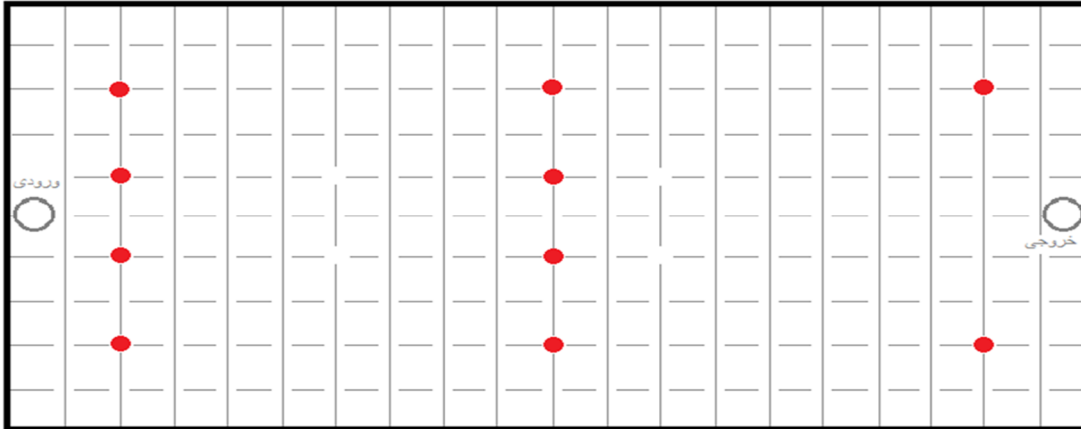




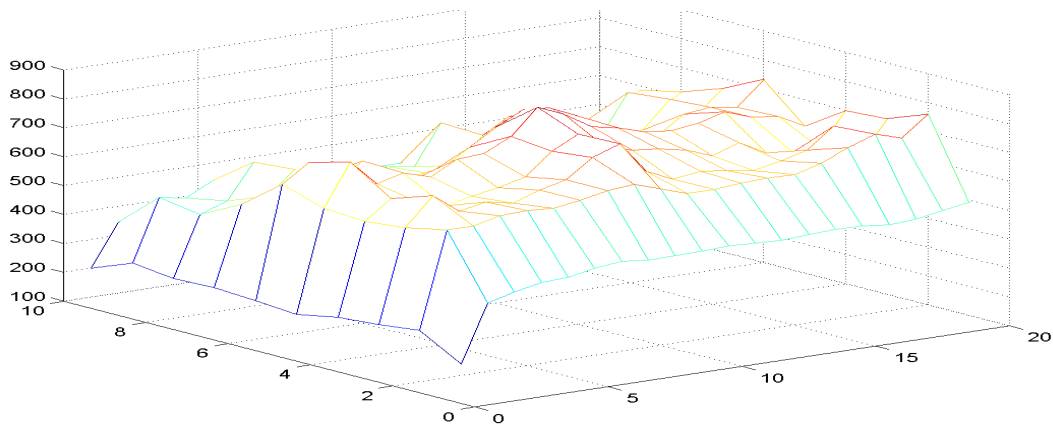


در این مدل نیز توزیع به صورت یکنواخت شکل گرفته است و فقط در ستون ۲ به علت کم بودن غلظت نانو حباب در گوشه بالا سمت راست حوضچه که قبلا گفته شد، نمودار توزیع یکنواختی را نشان نمی دهد. در دیگر نقاط نمودار به صورت کامل نشان دهنده این است که غلظت در حوضچه به سمت یکنواخت شدن پیش می رود (با حرکت از دقیقه ۹ به سمت دقیقه ۹۰، نمودار به سمت خط راست پیش می رود و در نمودار دیگر میانگین غلظت افزایش یافته و انحراف معیار کاهش می یابد).

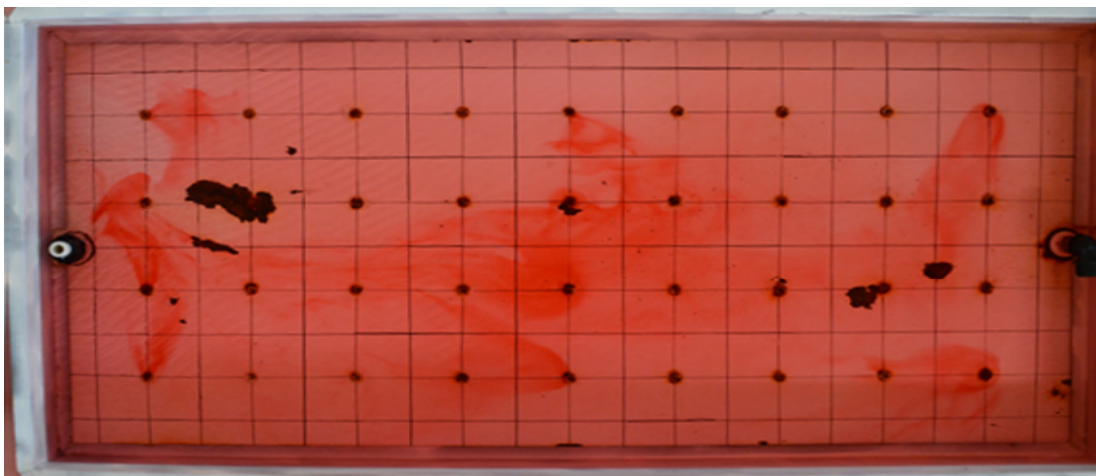
آزمایش شماره ۱۱:



شکل ۴-۱۱-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۱۱

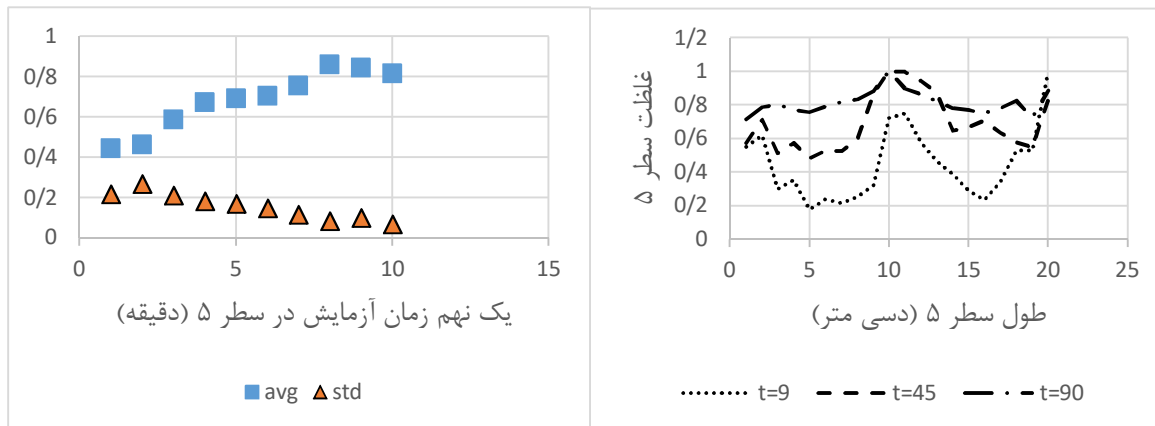
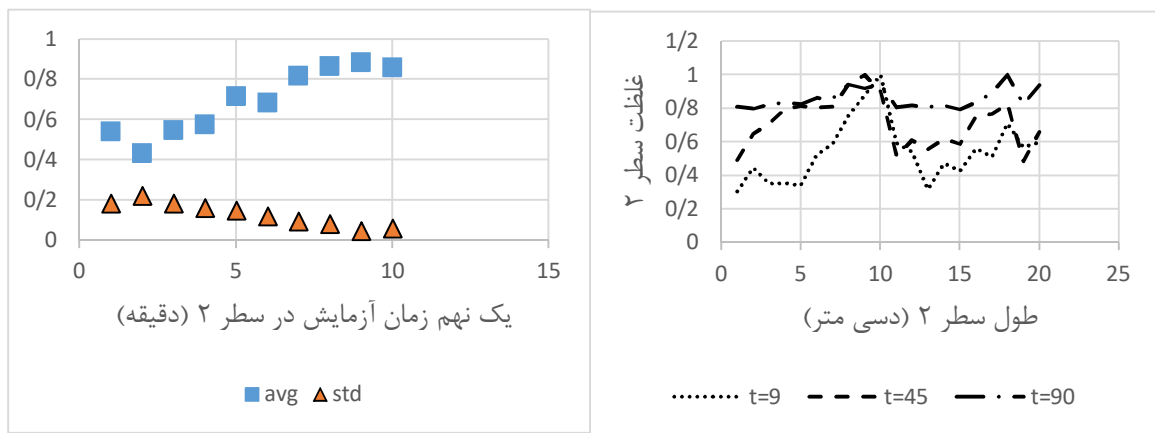


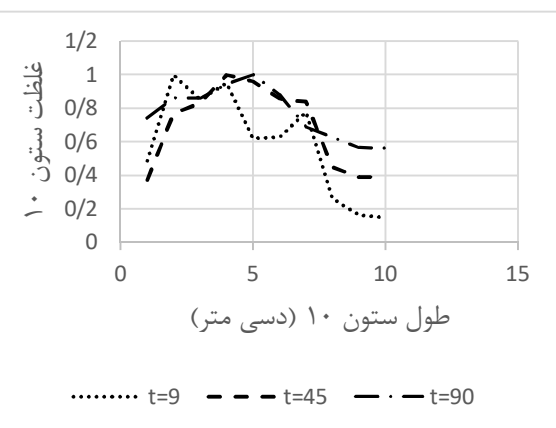
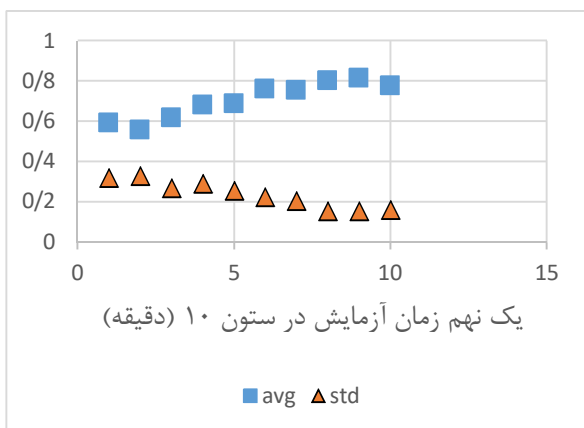
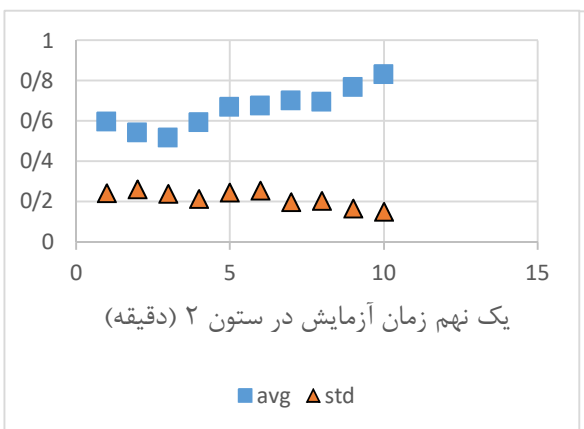
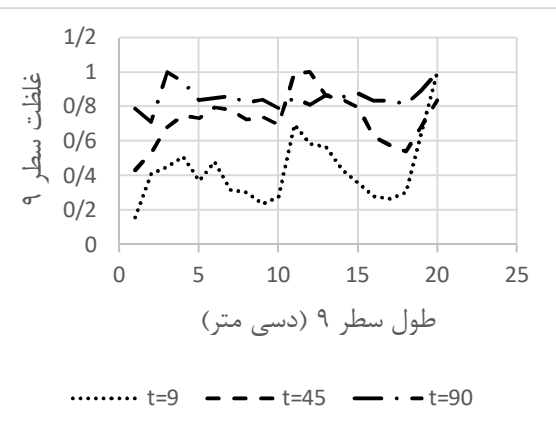
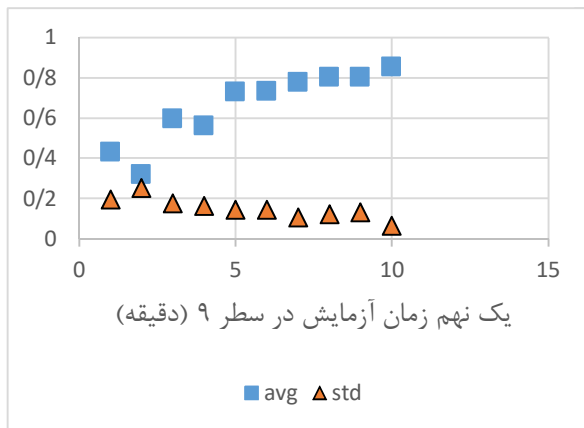
شکل ۴-۱۱-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

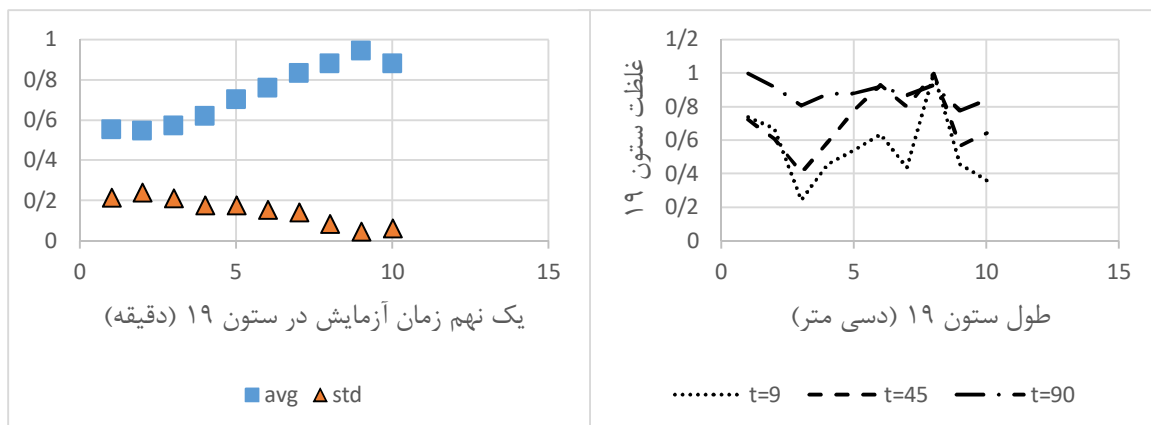


شکل ۴-۱۱-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۲,۳ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره

در مدل شماره ۱۱ (شکل ۴-۱۱) ورودی های کف را در سه راستا (در نزدیک ورودی اصلی، در وسط و در نزدیکی خروجی) قرار داده ایم. در نزدیک خروجی به علت حمل نانوحباب توسط جریان اصلی به این سمت از دو ورودی استفاده شده است. غلظت نانوحباب بجز در اطراف ورودی های کف که بیشتر است، در بقیه حجم تقریباً یکنواخت توزیع شده است و همه حجم را در بر گرفته است.

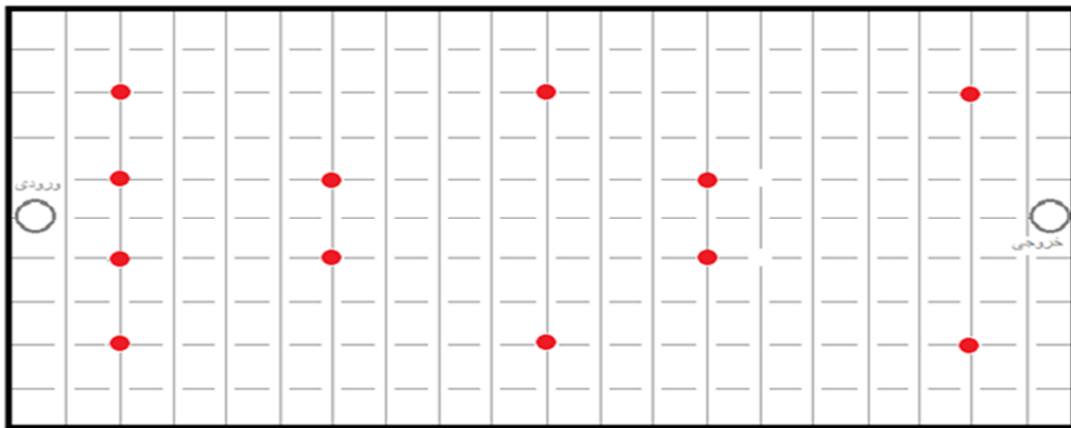




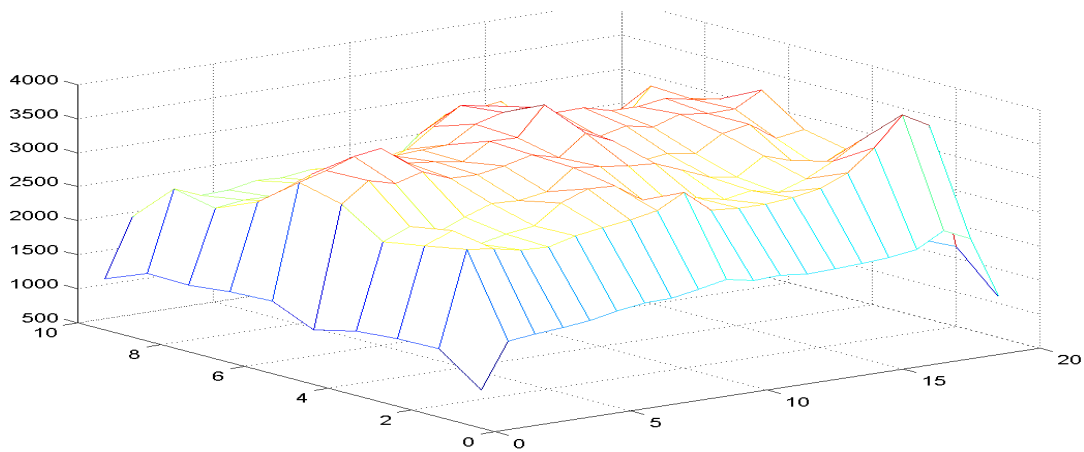


در این مدل به علت سرعت پایین ورودی اصلی، غلظت در ابتدا در ورودی های کف زیاد بوده است که با گذر زمان در حجم حوضچه پخش شده است و توزیع نسبتاً یکنواختی را به وجود آورده است. که این توزیع در سطر ها وضعیت بهتری دارد ولی به علت تفاوت غلظت در بالا و پایین حوضچه در ستون ها یکنواختی خوبی دیده نمی شود.

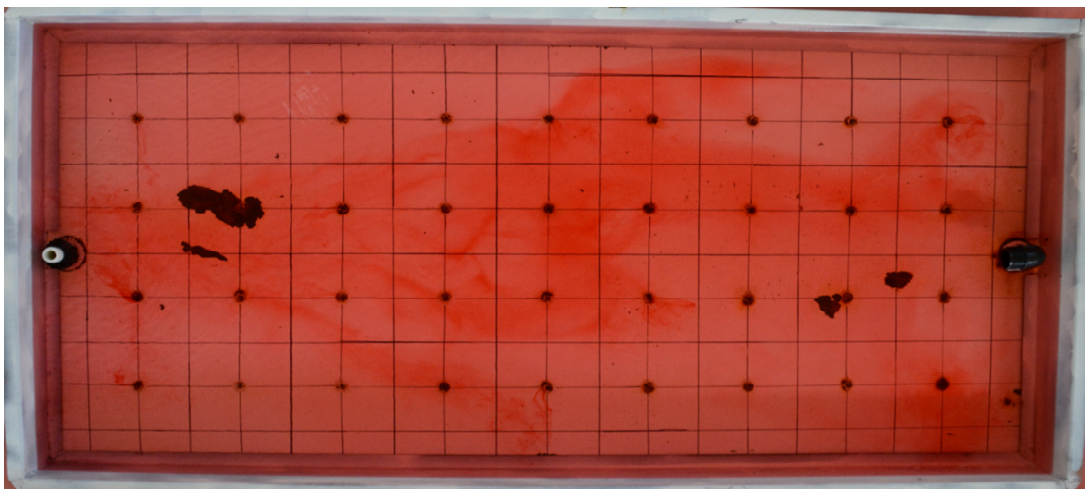
آزمایش شماره ۱۲:



شکل ۴-۱۲-الف) آرایش ورودی های کف برای آزمایش ۱۲

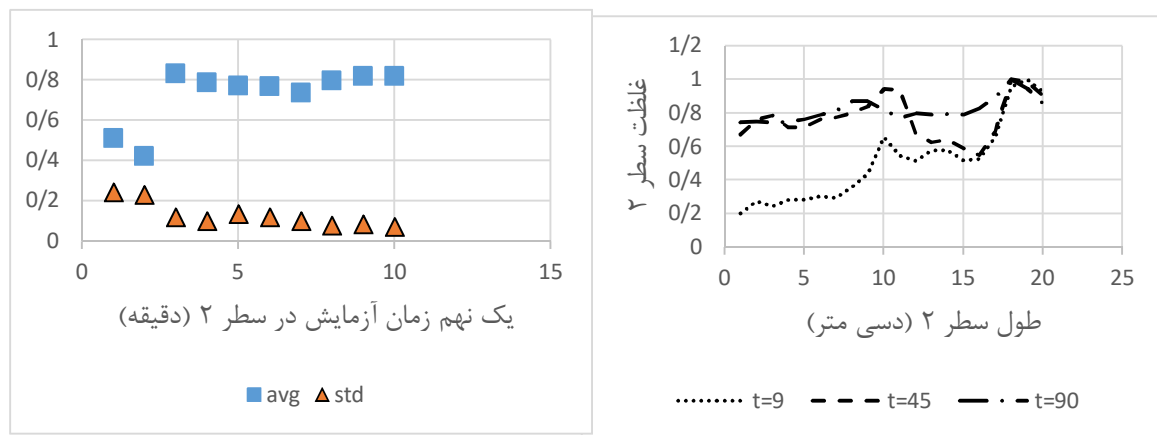


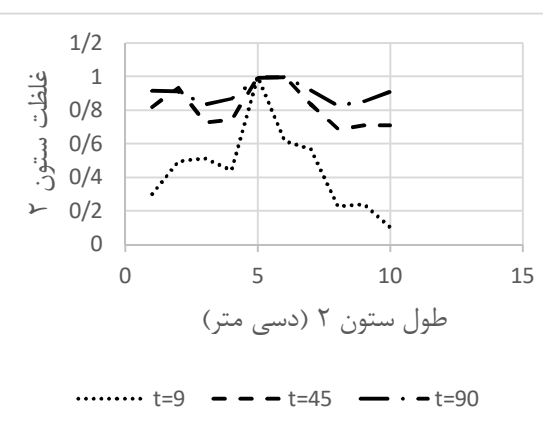
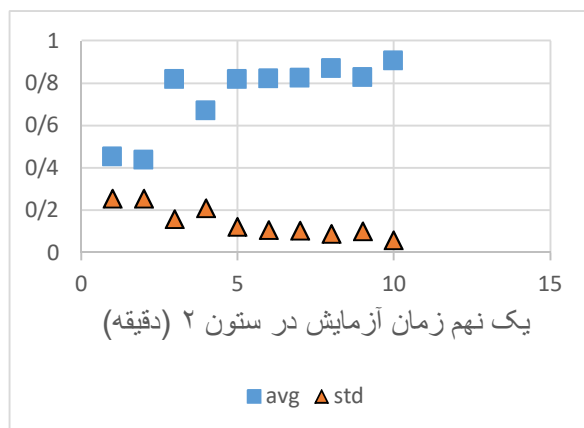
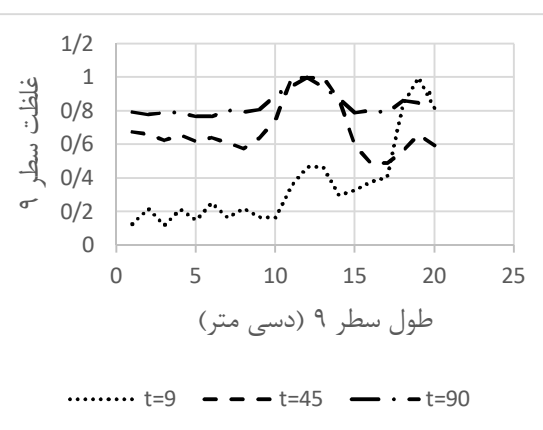
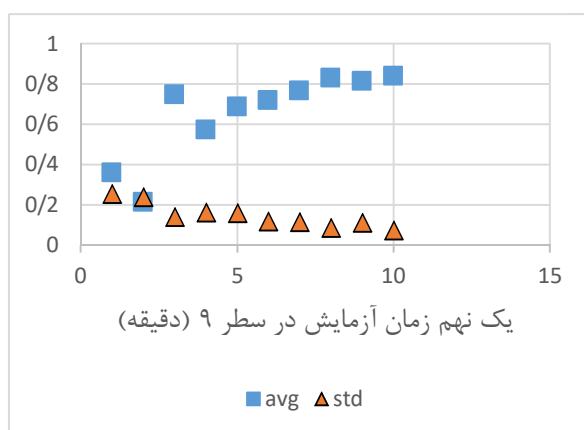
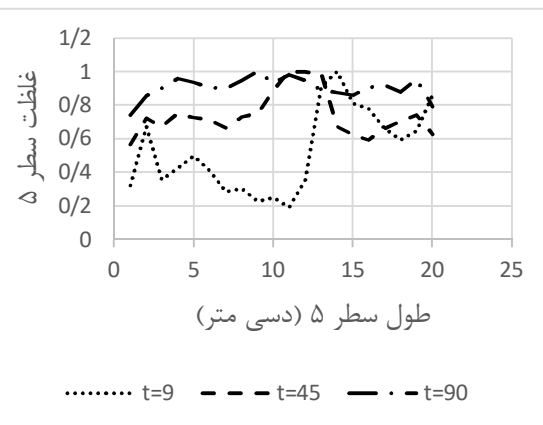
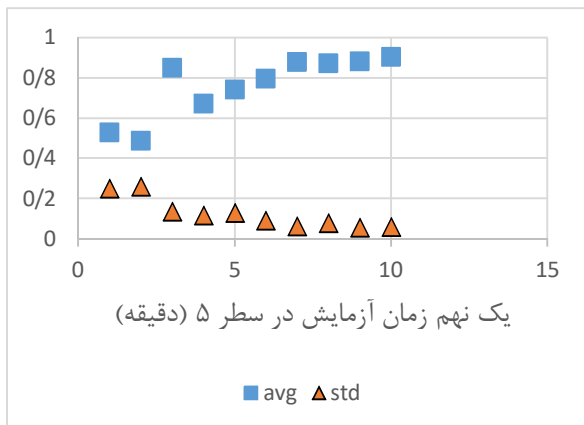
شکل ۴-۱۲-ب) گراف میزان غلظت نهایی نانوحباب

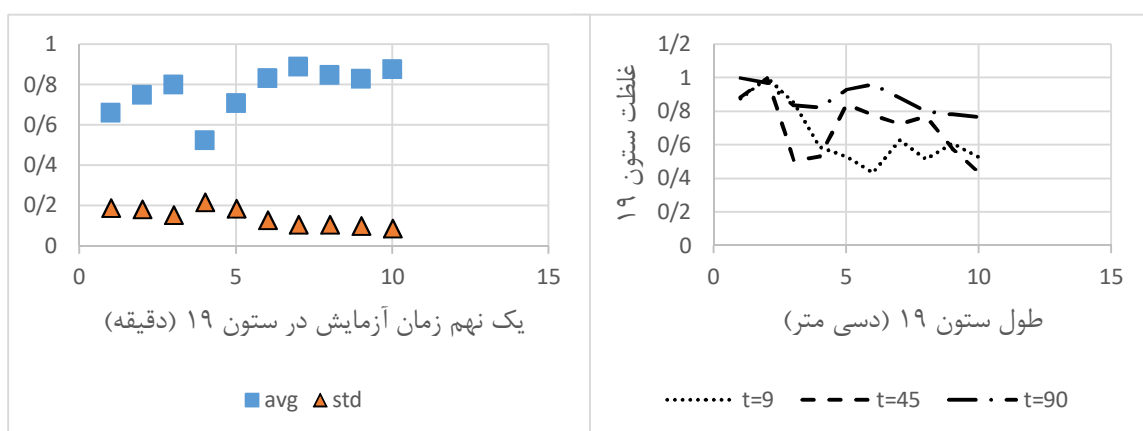
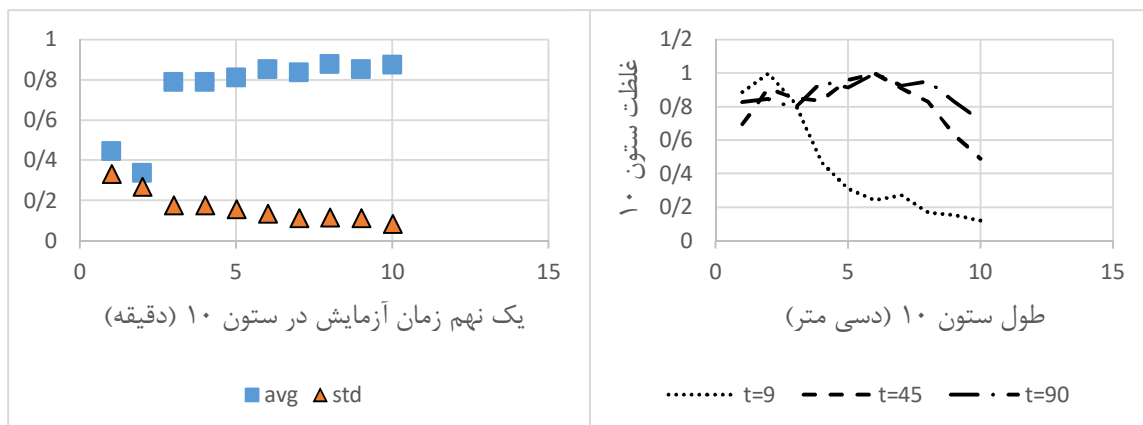


شکل ۴-۱۲-ج) تصویر نهایی پخش نانوحباب با دبی ۳,۲ مترمکعب بر روز در آزمایش شماره

مدل شماره ۱۲ (شکل ۴-۱۲) را شبیه مدل شماره ۱۰ (شکل ۴-۱۰) انتخاب کرده ایم و دو ورودی از کف در نزدیک ورودی اصلی به آن اضافه کرده ایم و دبی ورودی اصلی را به ۳,۲ مترمکعب در روز افزایش داده ایم. همانطور که دیده می شود در این حالت نسبت به مدل شماره ۱۰ توزیع یکنواخت تری داریم و ناحیه مرده در این حالت به وجود نیامده است. با وجود سرعت بالای ورودی اصلی، به علت وجود ورودی های کف زیاد در نزدیک ورودی اصلی توزیع به خوبی انجام شده است و این نشان دهنده این موضوع است که ورودی های کف توانسته اند سرعت ورودی اصلی را کنترل کرده و آن را به سمت دیواره ها هدایت کنند. در عین حال جریان ورودی اصلی توانسته نانوحباب های تزریقی از کف را با خود حمل نماید و به توزیع هرچه بهتر آن در حجم حوضچه کمک کند.







همان طور که در بالا گفته شد و از نمودارها کاملا استنباط می گردد، توزیع در این مدل، با گذر زمان به سمت یکنواختی کامل حرکت می کند (نمودار غلظت در دقیقه ۹۰ در اکثر سطر و ستون ها به خط راست خیلی نزدیک شده است).

۳-۴ نتایج و بحث

نانوحباب ها با تزریق در محیط های آبی جریان را دو فازی نمی کنند و با توجه به اندازه گیری های رادیوگرافی انجام شده بر روی خواص نانوحباب ها، مقدار چگالی و لزجت آن ها نسبت به خواص فیزیکی آب تغییری خاصی نکرده است. در نتیجه به لحاظ هیدرولیکی تفاوتی بین آب تزریقی (آب

قرمز) در این آزمایش با تزریق نانوحباب ایجاد نمی گردد.

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات تزریق نانوحباب از کف تاثیر بسیار مثبتی دارد که موجب اختلاط بیشتر جریان در حوضچه می شود و از تشکیل نواحی مرده جلوگیری میکند و باعث می شود پخش جریان در حوضچه یکنواخت تر شود و با رسیدن اکسیژن کافی از طریق تزریق نانوحباب و خواص ویژه آن، همزمان اکسیژن به حد اشباع نزدیک می شود و عملکرد زیست محیطی کاملاً متفاوت می شود.

نتایج بدست آمده از نحوه آرایش ورودی های کف و شکل دیواره حوضچه گویای این امر است که هر چند تزریق از کف اثرات مثبتی در هیدرودینامیک حوضچه می گذارد ولی این اثرات بسیار تاثیر پذیر از آرایش ورودی های کف می باشد. در این پژوهش بهترین آرایش ها برای دیواره های مختلف حوضچه و با دبی های مختلف آورده شد که بسته به شرایط اجرا قابل استفاده می باشند.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

در این فصل به بیان نتایج به دست آمده از این پژوهش پرداخته می شود. از آنجایی که هدف از انجام این پژوهش، بررسی آزمایشگاهی اثر نانوحباب تزریق شده به صورت نقطه ای از کف حوضچه تثبیت فاضلاب به صورت توزیع یکنواخت است، نحوه پخش نانوحباب در جریان فاضلاب توسط توزیع کننده های عمقی تعبیه شده در کف حوضچه، با آرایش های و دبی ها و دیواره های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می توان به طور خلاصه گفت:

- بهترین نحوه آرایش در سامانه توزیع با دیواره ۳۰ درجه با افق، آزمایش شماره ۶ است. در این مدل بعد از گذشت یک ساعت و نیم از شروع آزمایش، نانوحباب تزریق شده از کف در کل حجم حوضچه به صورت یکنواخت توزیع شده است. نمودار میانگین غلظت در زمان های مختلف در نقاط مختلف این مدل نشان می دهد که هر چه به انتهای آزمایش نزدیک می شویم، غلظت میانگین یکنواخت تر می شود.
- بهترین نحوه آرایش در سامانه توزیع با دیواره قائم، آزمایش شماره ۱۱ برای دبی ۲،۳ مترمکعب در روز و آزمایش شماره ۱۲ برای دبی ۳،۲ مترمکعب در روز می باشد.
- با توجه به اینکه در همه شرایط مجموع دبی های ورودی از کف برابر ۰،۱ دبی ورودی اصلی می باشد، با زیاد شدن تعداد ورودی ها از کف، به علت کاهش دبی هر یک از نقاط، همانگونه که در آزمایش شماره ۱ دیده می شود، ورودی های کف قادر به کنترل و پخش جریان ورودی اصلی نبوده و جریان از ورودی اصلی تقریباً بدون پخش از خروجی خارج شده و نانوحباب تزریقی را نیز قبل از آنکه بتواند به اندازه کافی در حوضچه حضور داشته باشد تا میکروارگانیسم ها بتوانند فعالیت خود را انجام دهند، با خود به خارج حوضچه حمل می کند.
- با کاهش دبی ورودی اصلی به یکنواختی بهتری در توزیع دیده می شود که به علت

کاهش سرعت در حوضچه بوده است ولی همان طور که در آزمایش شماره ۱۲ می بینیم با آرایش مناسب با دبی بالا نیز به توزیع یکنواخت در حجم حوضچه می رسیم.

۲-۵ پیشنهادات برای انجام مطالعات آتی

برای تحقیق های آینده موارد زیر پیشنهاد می شود:

۱. مدل سازی عددی نتایج به دست آمده از روش آزمایشگاهی
۲. بررسی اثر موقعیت مقاطع ورودی های مختلف، توام با توزیع کننده های عمقی
۳. بررسی عملکرد جت های تزریق به جای توزیع کننده های متعدد
۴. این آزمایش با دبی ورودی از کف برابر با دبی اصلی و نصف دبی اصلی انجام شود.

پیوست ۱

کد نویسی انجام شده در برنامه متلب:

```
clear all;
close all;
clc;
for k=1:5
path=strcat(strcat(strcat(strcat('G:\aks\6\' ,int2str(k)), '\
'),int2str(k)), '\');
DIR=dir(path);
Saturation=zeros(10,20);
for i=3:4
im=imread(strcat(path,DIR(i).name));
im=imrotate(im,-2);
im=im(902:3187,215:4726,:);
imhsv=rgb2hsv(im);
figure;imshow(im);
figure;imshow(imhsv(:,:,2));
v=imhsv(:,:,2);
[vx,vy]=size(v);
Dx=floor(vx/10);
Dy=floor(vy/20);
for m=1:10
    for n=1:20
        Saturation(m,n)=sum(sum(v((m-1)*Dx+1:m*Dx,(n-
1)*Dy+1:n*Dy)));
    end
end
fig = figure; mesh(Saturation);
saveas(fig,strcat(strcat(path,strcat('S_',int2str(i))),'.png'));
% figure;imshow(imresize(Saturation,10),[]);
save(strcat(path,strcat('S_',int2str(i))), 'Saturation');
end
end
```

منابع و مراجع

حسینیان، م، (۱۳۸۲). اصول طراحی تصفیه خانه های فاضلاب شهری و پساب صنعتی، انتشارات شهر آب و آیندسازان.

شریعت پناهی، م، (۱۳۹۱). اصول کیفیت آب و فاضلاب، دانشگاه تهران، موسسه انتشارات و چاپ.

علوی مقدم، م، ش، (۱۳۹۲). تصفیه فاضلاب: مفاهیم، روش های فیزیکی و شیمیایی تصفیه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

ندافی، ک، نبی زاده نودهی. ر (۱۳۷۵). برکه های تثبیت فاضلاب: اصول طراحی و اجرا، موسسه علمی فرهنگی نصر.

فریدی، ا، سروری، م، (۱۳۹۴). میکرو/نانو حباب در صنعت آب و فاضلاب، مجموعه گزارش های صنعتی نانو، گزارش شماره ۵۷، ستاد ویژه فناوری نانو.

خزلی، م، (۱۳۹۷). بررسی عددی توزیع جریان ورودی های نقطه ای در مخازن رو باز مطالعه موردی تزریق نانوحباب در حوضچه های تثبیت فاضلاب، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مظفری نائینی، ر، (۱۳۹۲)، بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک میکرو-نانو حباب هوا، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

Agarwal, A., Ng, W. J., & Liu, Y. (2011). Principle and application of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere*, 84(9), 1175-1180.

Alvarado, A., Sanchez, E., Durazno, G., Vesvikar, M., & Nopens, I. (2012b). CFD analysis of sludge accumulation and hydraulic performance of a waste stabilization pond. *Water Science and Technology*, 66(11), 2370-2377.

Alvarado, A., S. Vedantam, P. Goethals and . Nopens (2012a). "A compartmental mode to describe hydraulics in a full-scale waste stabilization pond." *Water research* 46(2): 521-530.

Atkins, P., & De Paula, J. (2006). *Physical Chemistry: Thermodynamics, structure, and change* 8th ed: Oxford: University Press.

Bergman, D. (2012). Study of the coupled interaction between the wake's transient behavior and pressure surfaces upstream using Detached Eddy Simulation.

Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D.W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012).

DeCoursey, W. (2003). *Statistics and probability for engineering applications*: Elsevier .

DeMoyer, C.D., Schierholz, E. L., Gulliver, J. S., & Wilhelms, S. C. (2003). Impact of bubble and free surface oxygen transfer on diffused aeration systems. *Water research*, 37(8), 1890-1904.

Eddy, M. (1979). *Wastewater Engineering- Treatment, Disposal , Reuse INC*, 473.

Fischer, H .B., List, J. E., Koh, C. R., Imberger, J., & Brooks, N. H. (2013). *Mixing in inland and coastal waters* :Elsevier.

Li, P., Takahashi, M., & Chiba, K. (2009). Enhanced free-radical generation by shrinking microbubbles using copper catalyst, *Chmosphere*, 77(8), 1157-1160.

Liu, S., Wang, Q., Ma, H., Huang, P., Li, J., & Kikuchi, T. (2010). Effect of micro bubbles on coagulation flotation process of dyeing wastewater. *Separation and purification Technology*, 71(3), 337-346.

Lizima, L. (2013). Hydraulic evaluation of a community managed wastewater stabilization pond system in Boliv. Master's Thesis, University of South Florida.

Mara, D.(2013). Domestic wastewater treatment in developing countries: Routledge.

Mara, D. D., & Pearson, H. (1987). Waste stabilization ponds: design manual for Mediterranean Europe *Waste stabilization ponds: design manual for Mediterranean Europe*: World Health Organization. Regional Office for Europe.

Metcalf, F. (2003). Waste water engineering: treatment and reuse. 4th edn. Revised by Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD:McGraw-Hill, New York.

Muga, H. E., & Mihelcic, J. R. (2008). Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of environmental management*, 88(3),437-447.

Ouedraogo, F. R., Zhang, J., Cornejo, P. K., Zhang, Q., Mihelcic, J. R., & Tejada-Martinez, A. E. (2016). Impact of sludge layer geometry on the hydraulic performance of a waste stabilization pond. *Water research*, 99,253-262.

Passos, R. G., von Sperling, M., & Ribeiro, T. B. (2014). (Hydrodynamic evaluation of a full-scale facultative pond computational fluid dynamics (CFD) and field measurements. *Water Science and Technology*, 70(3), 569.

Persson, J., Somes, N. L. G., & Wong, T. H. F.(1999). Hydraulic efficiency of constructed wetlands and ponds. *Water science and technology*, 40(3), 291-299

Persson, J.(2000). The hydraulic performance of ponds of various layouts. *Urban Water*, 243-250.

Peterson, E. L., J. A. Harris and L. C. Wadhwa (2000). "CFD modelling pond dynamic processes." *Aquacultural Engineering* **23** (1-3):61-93.

Shilton, A.(2000). Potential application of computational fluid dynamics to pond design. *Water Science and Technology*, 42 (10-11),327.

Shilton, A., & Harrison, J. (2003). Development of guidelines for improved hydraulic design of waste stabilisation ponds. *Water Science and Technology*, 48(2), 173-180.

Shilton, A., Kreeghr, S., & Grigg, N.(2008). Comparison of computation fluid dynamics simulation against tracer data from a scale model and full-sized waste stabilization pond. *Journal of Environmental Engineering*, 134(10), 845-8500

Sanieinejad, M. (2009). Fundamentals of turbulent flows and turbulence modeling. *Daneshnegar, Tehran*.

Stamou, A., E. Adams and W. Rodi (1989). "Numerical modeling of flow and settling in primary rectangular clarifiers." *Journal of hydraulic research* 27(5): 665-682.

Takahashi, M. (2005). Potential of microbubbles in aqueous solutions: electrical properties of the gas-water interface. *The journal of Physical Chemistry B*, 109(46), 21858-21864.

Takahashi, M. (2009). Base and technological application of micro-bubble and nano bubble. *Materials Integration*, 22(5), 2-19.

Takahashi, M., Chiba, K., & Li, P. (2007). Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus. *The Journal of Physical Chemistry B*, 111 (6), 1343-1347.

Takahashi, E .L., Shields Jr , F. D., & Schroeder, P. R. (1987). Residence time distributions of shallow basins. *Journal of Environmental Engineering*, 113(6), 1319-1332.

Tsuge, H. (2014). *Micro-and nanobubbles*: Pan Stanford.

Ushikubo, F. Y., Furukawa , T., Nakagawa, R Enari, M., Makino, Y., Kawagoe, Y., Oshita, S. (2010). Evidence of the existence and the stability of nano-bubbles in water. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 361(1-3), 31-37.

Verbyla, M. E., Oakley, S. M., Lizima, L. A., Zhang, J., Iriarte, M.M Tejada-Martinez, A. E.M & Mihelcic, J. R.(2013a). Taenia eggs in a stabilization pond system with poor hydraulics: concern for human cysticercosis *Water Science and Technology*, 68(12),2698.

Verbyla, M. E., Oakley, S. M., & Mihelcic, J. R. (2013b). Wastewater infrastructure for small cities in an urbanizing world: integrating protection of human health and the environment with resource recovery and food security. *Environmental science & technology*, 47(8), 3598-3605.

Versteeg, H. and W. Malalasekera (1995). "Computational fluid dynamics." The

finite volume method.

Wood, M., Greenfield, P., Howes, T., Johns, M., & Keller, J. (1995). Computational fluid dynamic modeling of wastewater ponds to improve design. *Water Science and Technology*, 31 (12), 111-118.

Wood, M., Howes, T., Keller, J., & Johns, M. (1998). Two dimensional fluid dynamic models for waste stabilization ponds. *Water research*, 32(3), 958-963.

Wood, M., Greenfield, P., Howes, M. Johns and J. Keller (1995). "Computational fluid dynamic modelling of wastewater ponds to improve design." Water Science and Technology 31(12): 111-118.

Yamasaki, K., Sakata, K., & Chuhjoh, K. (2010). Water treatment method and water treatment system: Google Patents.

Yamasaki, K., Sakata, K., & Chuhjoh, K. (2009). Wastewater treatment equipment and method of wastewater treatment: Google Patents.

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of deep Distributor on the hydraulic performance of Wastewater Stabilization Pond. For this purpose, computational fluid dynamics (CFD) models have been used to analysis hydrodynamic of the ponds. In this study, four Wastewater Stabilization Pond with different formation was designed to create a momentum for aeration from the floor. The first geometry had not a deep distributor, but other geometries had 28, 55, and 160 distributors, respectively. The cross-section area, the volume of the ponds, and the input flow were considered the same in all conditions. For numerical simulating, OpenFoam has been used which is open-source software. In this simulation, a constant flow, turbulent regime and the K- ϵ turbulence model had been used. The results showed that the use of deep distributors in sewage stabilization basins has a significant effect on the efficiency and hydraulic performance of the basins. The analysis of the residence time distribution (RTD) curves illustrated that the use of deep distribution leads to uniformity of distribution in the flow of the basin. In fact, by mixing the flow more and preventing the formation of intermediate paths, the flow behavior becomes closer to the reactor plug flow, thereby increasing the purification efficiency in the pond. On the other hand, due to the direct effect of the flow pattern on how the sludge accumulation in the pond, as a result of an increase in effective volumes the use of distributors will reduce dead areas, so the purification capacity increases. According to the results obtained from this study, the use of deep distributor systems and micro-nano bubble injection in the pond can improve the hydraulic performance and ultimately improve the purification efficiency.

Keywords: Wastewater Stabilization Pond, Deep Distributor, Micro-Nano bubble, bubble,.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Water Engineering and Hydraulic Structures

**Laboratorial investigation on the point input flow in open
reservoir a case study on injection of micro nanobubbles in sewage
stabilization basin**

By: Behnam Feyzabadi

Supervisors:

Dr. Seyed Fazoallah Saghravani

Advisor:

Dr. Alireza Ahmadifard

September 2019