

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی

استفاده از میکرو نانو حباب ازن برای گندزدایی آب آشامیدنی

نگارنده:

مصطفی محمدی مقدم

استاد راهنما:

دکتر سید فضل الله ساغروانی

بهمن ۱۳۹۸

شماره: ۴۵۱
تاریخ: ۹۸/۱۱/۲۹

باسمه تعالی



فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای مصطفی محمدی مقدم با شماره دانشجویی ۹۶۱۳۴۳۴ رشته عمران گرایش آب و سازه های هیدرولیکی تحت عنوان استفاده از میکرو نانو حباب اوزون برای گندزدایی آب آشامیدنی که در تاریخ ۹۸/۱۱/۰۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ☐ (ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۹ ☐
 ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹ ☐ (د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹ ☐
 ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
 نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد اهنمای اول	دکتر سید فضل الله ساغروانی	دانشیار	
۲- استاد اهنمای دوم			
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی گلی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر احمد احمدی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر بهناز دهرآزما	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا نادری
 آموزش تحصیلات تکمیلی
 تاریخ و امضاء:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به:

مقدس‌ترین واژه‌ها در لغت‌نامه دلم،

همسر فداکارم

مادر مهربانم

پدر، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

تشکر و قدردانی:

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر ساغروانی بابت راهنمایی پروژه و در اختیار گذاشتن امکانات آزمایشگاهی کمال تشکر را دارم. جناب آقای مهندس سلطانی ریاست محترم تصفیه‌خانه شماره سه مشهد و مهندس حقیقی مدیر محترم تصفیه خانه بابت حمایت بی دریغ و راهنمایی پروژه و در اختیار گذاشتن تجهیزات سپاس گزارم.

تعهد نامه

اینجانب مصطفی محمدی مقدم دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه استفاده از میکرو نانو حباب ازن برای گندزدایی آب آشامیدنی تحت راهنمایی دکتر سید فضل‌الله ساغروانی متعهد می شوم:

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثر میکرو نانوحباب ازن بر کاهش بار میکروبی پساب شستشوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب شرب است. انتقال آب حاصل از شستشوی فیلترها به ابتدای خط فرایند تصفیه باعث افزایش میکروارگانیسم‌ها، بار میکروبی، کدورت، رنگ، مزه و در نهایت افزایش تعداد دفعات شستشو گردیده است. از این رو پیش تصفیه ای بر روی پساب فیلتر نیاز است. ترکیدن میکرو حباب می‌تواند منجر به متلاشی شدن آلاینده‌های آلی محلول در آب مثل آفت‌کش‌ها شود همچنین ترکیدن میکرو حباب‌ها می‌تواند به میکروزدایی آب کمک کرده و نسبت به روش‌های مرسوم مثل کلرزنی آب، کم‌هزینه‌تر بوده و اثرات جانبی ناچیزی خواهد داشت. گاز میکرو حباب‌ها در بیشتر موارد هوا و یا اکسیژن است اما استفاده از گاز ازن نیز جهت تولید میکرو حباب‌ها، تأثیرات قابل توجهی در رفع آلودگی آب خواهد داشت. جهت بدست آوردن تعداد باکتری‌های هتروتروف از روش پورپلیت و محیط کشت R2A Agar استفاده شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد استفاده از میکرو نانوحباب ازن تأثیر بسیار زیادی بر کاهش بار میکروبی (HPC) داشته است و توانسته تا ۹۷ درصد بار میکروبی را کاهش دهد. نتایج حاصل از بررسی جریان هیدرولیکی (مدل‌سازی با نرم‌افزار OpenFoam) نشان می‌دهد که هندسه استخر و محل خروجی و ورودی‌ها تأثیر زیادی بر عملکرد میکرو نانوحباب نمی‌گذارد. این کاهش و از بین رفتن بار میکروبی، سبب کاهش گرفتگی‌های فیلترهای شنی و در نتیجه کاهش تعداد دفعات شستشوی فیلترها و در نهایت کاهش هزینه تمام شده تصفیه آب می‌گردد.

کلید واژه‌ها: میکرو حباب، نانوحباب، فناوری حباب‌ها، باکتری‌های هتروتروف، OpenFoam

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- تعریف مسئله	۲
۳-۱- ضرورت انجام تحقیق:	۲
۴-۱- ساختار پایان نامه:	۳
۵-۱- اهداف کلی و جزئی این پایان نامه	۳
فصل ۲: مروری بر منابع	۵
۱-۲- مقدمه	۶
۲-۲- روند تصفیه آب شرب	۶
۱-۲-۲- صاف کردن یا فیلتراسیون	۷
۲-۲-۲- شستشوی فیلترها	۸
۳-۲-۲- اهمیت تصفیه میکروبی پساب حاصل از شستشوی فیلترها	۹
۳-۲- میکرو نانوحباب‌ها	۱۰
۱-۳-۲- تعریف و ویژگی‌ها	۱۰
۲-۳-۲- خلاصه‌ای از انواع روش‌های تولید میکرو-نانو حباب	۲۰
۴-۲- گاز ازن	۲۲
۱-۴-۲- تاریخچه و خصوصیات گاز ازن	۲۲
۲-۴-۲- بررسی خاصیت میکروبزدایی گاز ازن	۲۲
۵-۲- استفاده از گاز ازن به صورت میکرو نانوحباب	۲۳
۱-۵-۲- بررسی ویژگی‌های میکرو نانوحباب ازن	۲۳
۲-۵-۲- بررسی خاصیت میکروبزدایی میکرو نانوحباب ازن	۲۴
۶-۲- تئوری اندازه‌گیری باکتری‌های هتروتروف (HPC)	۲۴
۱-۶-۲- اهمیت بررسی بار میکروبی (HPC) در آب شرب	۲۴

۲۵	 ۲-۶-۲ انواع روش‌های شمارش بار میکروبی (HPC)
۲۶	 ۷-۲ مطالعات انجام‌شده در سال‌های اخیر پیرامون (HPC)
۲۶	 ۸-۲ نرم‌افزار OpenFOEM
۲۶	 ۱-۸-۲ کلیاتی درباره‌ی نرم‌افزار
۲۸	 ۲-۸-۲ نرم‌افزارهای منبع باز یا آزاد
۲۹	 ۹-۲ جمع‌بندی
۳۱	 فصل ۳: روش تحقیق
۳۲	 ۱-۳ مقدمه
۳۲	 ۲-۳ تجهیزات مورد‌استفاده در آزمایش
۳۲	 ۱-۲-۳ مولد میکرو نانوحباب ساز
۳۳	 ۲-۲-۳ مولد ازن ژنراتور COG 5
۳۴	 ۳-۳ تجهیزات و روش مورد‌استفاده در آزمایش HPC
۳۴	 ۱-۳-۳ روش کشت پورپلیت
۳۵	 ۲-۳-۳ محیط کشت R2A Agar
۳۶	 ۳-۳-۳ آماده‌سازی محیط کشت
۳۷	 ۴-۳-۳ شمارش کلنی‌ها
۳۸	 ۴-۳ مشخصات هندسی استخر مورد‌مطالعه
۴۰	 ۵-۳ شرح انجام آزمایش‌های کاهش HPC با استفاده از میکرو نانوحباب
۴۰	 ۶-۳ مدل‌سازی هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار OpenFOAM
۴۰	 ۱-۶-۳ سیستم محاسباتی مورد‌استفاده در این پژوهش
۴۱	 ۲-۶-۳ نرم‌افزار OpenFOAM
۴۲	 ۳-۶-۳ پیش‌پردازش
۴۳	 ۴-۶-۳ پردازش
۴۴	 ۵-۶-۳ جزئیات حل گر انتخابی
۴۶	 ۶-۶-۳ مروری بر روش‌های RANS
۴۶	 ۷-۶-۳ مدل استاندارد K-ε

۴۷	۳-۶-۸- تعیین ضرایب موجود در مدل استاندارد K-ε
۴۹	فصل ۴: تحلیل نتایج به دست آمده از تحقیق
۵۰	۴-۱- مقدمه
۵۱	۴-۲- مدل سازی مسئله در نرم افزار OpenFoam
۵۳	۴-۲-۱- نتایج حاصل از مدل سازی هیدرولیکی استخر آب ریکآوری
۵۵	۴-۳- اثر میکرو نانو حباب ازن بر کاهش جمعیت باکتری های هتروتروف
۵۵	۴-۳-۱- هندسه اول
۵۹	۴-۳-۲- هندسه دوم
۶۳	۴-۳-۳- هندسه سوم
۶۷	۴-۴- مقایسه درصد حذف جمعیت باکتری های هتروتروف در سه هندسه
۶۹	۴-۵- تزریق هوا به جای اکسیژن به مولد ازن ژنراتور
۷۵	فصل ۵: نتیجه گیری- و پیشنهادها برای مطالعات بعدی
۷۶	۵-۱- نتیجه گیری
۷۷	۵-۲- پیشنهاد برای تحقیقات آینده
۷۹	فصل ۶: فهرست مراجع
۸۰	منابع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲-۱- منحنی صعود حباب ها ۱۱
- شکل ۲-۲-۲- شماتیکی از افزایش سطح مشترک با کاهش قطر حباب ۱۲
- شکل ۳-۲-۳- تغییر سرعت بالا آمدن با شعاع حباب در آب خالص و آب آلوده ۱۴
- شکل ۴-۲-۴- شماتیک حضور یک ذره خنثی در الکترولیت ۱۶
- شکل ۵-۲-۵- چگونگی افزایش انحلال گازها با افزایش فشار ۱۹
- شکل ۶-۲-۶- گام های اصلی در مدل سازی عددی مسئله ۲۸
- شکل ۱-۳-۱- دستگاه میکرو نانو حباب ساز شرکت میناب نو فناوران ۳۲
- شکل ۲-۳-۲- دستگاه ازن ژنراتور COG5 ۳۳
- شکل ۳-۳-۳- محیط کشت R2A Agar ۳۶
- شکل ۴-۳-۴- آماده سازی و همدمایی محیط کشت برای انجام آزمون توسط بن ماری ۳۷
- شکل ۵-۳-۵- دستگاه شمارشگر کلنی یا شمارش کلنی ۳۸
- شکل ۶-۳-۶- شماتیک حجم محدود استخر مورد مطالعه ۳۹
- شکل ۷-۳-۷- تصویر واقعی استخر مورد مطالعه ۳۹
- شکل ۱-۴-۱- جریان واقعی شکل گرفته در در استخر پساب شستشوی فیلتر ها ۵۰
- شکل ۲-۴-۲- شماتیک هندسه اول استخر ۵۱
- شکل ۳-۴-۳- شماتیک هندسه دوم استخر ۵۲
- شکل ۴-۴-۴- شماتیک هندسه سوم استخر ۵۲
- شکل ۵-۴-۵- روند هیدرولیکی جریان میناب در هندسه اول ۵۳
- شکل ۶-۴-۶- روند هیدرولیکی جریان میناب در هندسه دوم ۵۴
- شکل ۷-۴-۷- روند هیدرولیکی جریان میناب در هندسه دوم ۵۴
- شکل ۸-۴-۸- شماتیک هندسه اول (تزریق ازن) ۵۵
- شکل ۹-۴-۹- شماتیک هندسه دوم (تزریق ازن) ۵۹
- شکل ۱۰-۴-۱۰- شماتیک هندسه سوم (تزریق ازن) ۶۳
- شکل ۱۱-۴-۱۱- مقایسه درصد حذف جمعیت باکتری های هتروتروف در سه هندسه مختلف ۶۷
- شکل ۱۲-۴-۱۲- شماتیک هندسه دوم در تزریق هوا به جای ازن ۶۹
- شکل ۱۳-۴-۱۳- نمودار درصد حذف جمعیت باکتری های هتروتروف ۷۳

فهرست جداول

جدول ۱-۲- رفتار پایداری ذرات در بازه‌های پتانسیل زتای آن‌ها برگرفته از (Greenwood and Kendall 1999).....	۱۷
جدول ۱-۳- مشخصات دستگاه ازن ژنراتور COG 5.....	۳۳
جدول ۲-۳- مراحل انجام آزمایش‌ها.....	۴۰
جدول ۳-۳- مشخصات رایانه مورد استفاده در این پژوهش.....	۴۱
جدول ۴-۳- روش‌های گسسته سازی و حل معادلات در openfoam.....	۴۶
جدول ۵-۳- ضرایب مورد استفاده در معادله‌های مدل استاندارد K-ε.....	۴۷
جدول ۱-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه اول.....	۵۶
جدول ۲-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه اول.....	۵۷
جدول ۳-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه اول.....	۵۸
جدول ۴-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه دوم.....	۶۰
جدول ۵-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه دوم.....	۶۱
جدول ۶-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه دوم.....	۶۲
جدول ۷-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه سوم.....	۶۴
جدول ۸-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه سوم.....	۶۵
جدول ۹-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه سوم.....	۶۶
جدول ۱۰-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه دوم.....	۷۰
جدول ۱۱-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه دوم.....	۷۱
جدول ۱۲-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه دوم.....	۷۲

فصل ۱: کلیات

۱-۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت فناوری و صنعت، افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی مصرف سرانه آب و به تبع آن کاهش منابع آب و کاهش بارش نزولات آسمانی تأمین آبی سالم و پاک به امری جدی برای جوامع تبدیل شده است. از این رو نیاز به توسعه فرآیندهای تصفیه آب با کارایی بالا و سرعت فرآیندی زیاد و هزینه کم در سراسر جهان احساس می‌شود. بر همین اساس در سال‌های اخیر، فناوری میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها در حوزه‌های مختلف علمی علی‌الخصوص بحث‌های تصفیه آب، بسیار موردتوجه محققین قرار گرفته است.

هرچند آزمایش‌ها و تحقیقات پیرامون نانوفناوری از ابتدای دهه ۸۰ قرن بیستم به‌طور جدی آغاز شد؛ اما دستاوردهای ارزشمند نانو فناوری باعث گردید که این فناوری همچنان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اولویت‌های تحقیقاتی و یکی از فناوری‌های راهبردی دهه اول قرن بیست و یکم محسوب شود.

۱-۲- تعریف مسئله

در سال‌های اخیر به دلیل کمبود و کاهش منابع آبی در تصفیه خانه‌های آب شرب، جمع‌آوری و استفاده مجدد از پساب حاصل از شستشوی فیلترهای عمقی (شنی) رونق یافته است. اما این بازگرداندن پساب به ابتدای خط تصفیه باعث بوجود آمدن ایراداتی در سیستم‌های تصفیه شده است. از همین رو به بررسی اثر استفاده از میکرو نانو حباب ازن بر کاهش جمعیت باکتری‌های هتروتروف به عنوان پیش تصفیه‌ای بر روی استخر پساب فیلتر پرداخته شده است.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق:

با توجه به این مسئله که پساب حاصل از شستشوی فیلتر حاوی انواع میکروارگانیسم‌ها، باکتری‌ها و رنگ و مواد آلاینده است، انتقال این پساب فیلتر به ابتدای خط فرایند تصفیه آب شرب باعث افزایش میکروارگانیسم‌ها، از بین رفتن کیفیت، مزه و بوی نامطلوب، بالا رفتن کدورت و در نهایت افزایش

تعداد دفعات شستشو فیلتر ها شده است، که سبب افزایش هزینه های تمام شده تصفیه آب شده است. از این رو استفاده از پیش تصفیه ای قبل از ورود به فرایند تصفیه بر روی پساب فیلتر برای کاهش اثر این آلاینده‌گی‌ها الزامی است.

۴-۱- ساختار پایان نامه:

پایان نامه حاضر در پنج فصل به ترتیبی که در زیر می‌آید ساماندهی شده است:

فصل اول شامل مقدمه و کلیات تحقیق شامل بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق، سؤالات اصلی و اهداف کلی تحقیق است. در فصل دوم به بررسی و تحقیقات انجام شده توسط محققین قبلی و مبانی نظری تحقیق اشاره شده است. در ابتدای فصل به کلیاتی درباره میکرو نانوحباب‌ها و نقش ابعاد حباب‌ها بر خاصیت حباب‌ها پرداخته شده است. سپس به طور خلاصه انواع روش‌های تولید میکرو نانوحباب‌ها و مبانی نظری آزمایش‌ها آب و علی‌الخصوص بار میکروبی و روش‌های از بین بردن آن‌ها و در نهایت توضیحات در مورد نرم‌افزار مورد استفاده پرداخته شده است. در فصل سوم به بررسی مواد و روش‌های اندازه‌گیری و روش‌های آزمایشگاهی اختصاص دارد. در فصل چهارم به ارائه یافته‌ها و نتایج تحلیل و فصل پنجم نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای طرح‌های بعدی اشاره شده است.

۵-۱- اهداف کلی و جزئی این پایان نامه

هدف اصلی از این پژوهش بررسی روند کاهش بار میکروبی (HPC) توسط میکرو نانوحباب ازن بر آب حاصل از شستشوی فیلترهای شنی در تصفیه‌خانه آب و همچنین بررسی روند هیدرولیکی جریان شکل گرفته در استخر آب ریکآوری است. در این راستا، برای میل به هدف اصلی اهداف جزئی زیر مورد نظر قرار گرفته است.

۱- به دست آوردن بهترین روند هیدرولیکی (طرح اختلاط بهینه) با استفاده از نرم‌افزار

openFoam

۲- محاسبه غلظت بهینه از ازن مصرفی جهت بیشترین درصد کاهش باکتری‌های هتروتروف

فصل ۲: مروری بر منابع

۱-۲- مقدمه

در این تحقیق به بررسی کاهش بار میکروبی^۱ (HPC) آب شرب به کمک میکرو نانوحباب ازن پرداخته شده است که این فصل شامل چهار بخش اصلی است. بخش اول به کلیاتی درباره میکرو نانوحباب ها و همچنین خلاصه ای از انواع روش های تولید آن اشاره شده است. در بخش دوم تاریخچه و ویژگی های گاز ازن مطالعه شده است و خاصیت میکرو بزدایی گاز ازن توضیح داده شده است و در بخش سوم استفاده از گاز ازن به صورت میکرو نانوحباب محلول در آب برای کاهش بار میکروبی اشاره شده است. و در بخش آخر به بیان ویژگی های نرم افزار مورد استفاده جهت بررسی جریان هیدرولیکی ارائه شده است.

۲-۲- روند تصفیه آب شرب

تصفیه آب برای بشر دارای سابقه ای بسیار طولانی و قدیمی است. مورخین بر این عقیده اند که تاریخ تصفیه آب به حدود دو هزار سال پیش از میلاد مسیح می رسد. این مراحل تصفیه ای شامل جوشاندن و صاف کردن آب بوده است. وسایل اولیه تصفیه آب در منازل افراد مورد استفاده قرار می گرفت و تا حدود قرن اول میلادی هیچ نشانه ای دال بر وجود عملیات تصفیه ای بر روی آب مصرفی جامعه وجود نداشت. نکته ای که مسلم است این است که عملیات تصفیه آب در قرون وسطی دچار رکود گردید و مجدداً در قرن هیجدهم مورد توجه قرار گرفت. آب خام نیازمند طی نمودن مراحل مختلفی است تا به کیفیت مورد نظر جهت کاربری به عنوان آب آشامیدنی برسد. به عنوان مثال، مراحل لخته سازی، زلال سازی، حذف آهن و منگنز، فیلتراسیون، تنظیم PH، گندزدایی، کنترل طعم و بو، بخشی از این مراحل در تصفیه خانه های آب رایج است (امیری ۱۳۹۴).

¹ Heterotrophic plate counts

فرایندهای مرسوم در تصفیه آب و فاضلاب عبارت‌اند از (امیری ۱۳۹۴) :

- فرآیند انعقاد و لخته سازی
- فرآیند جذب سطحی
- فرآیند غشایی
- فرآیند تبادل یونی
- فرآیند اکسیداسیون شیمیایی
- فرآیند بیولوژیکی

۲-۱-۲- صاف کردن یا فیلتراسیون

صاف کردن یا فیلتراسیون، یک روش فیزیکی برای حذف ذرات معلق در هر مایع از جمله آب است. این ذرات معلق می‌توانند گل، رنگ، مواد آلی، پلانکتون، باکتری، ذرات حاصل از سختی گیری باشند. فیلترها را به دودسته می‌توان تقسیم نمود:

الف) **فیلترهای عمقی**^۱: عمل جدا شدن ذرات معلق از مایع در اعماق بستر انجام می‌شود، مثل فیلترهای ثقیلی یا فیلترهای فشاری

ب) **فیلترهای سطحی**^۲: عمل جدا شدن ذرات معلق از مایع فقط در عمق بسیار کم که همان سطح فیلتر است، انجام می‌شود مثل کاغذ صافی.

^۱ Deep bed filter

^۲ Surface filter

در تصفیه آب و فاضلاب، منظور از فیلتر، معمولاً فیلترهای عمقی است و فیلترهای سطحی مطرح در تصفیه آب و فاضلاب، بیشتر انواع غشاها هستند.

فیلترهای ثقلی معمولاً به صورت مکعب مستطیل شکل هستند هرچند که به صورت مدور هم وجود دارند. این فیلترها در فشار محیط کار می‌کنند و معمولاً در صنایعی که حجم زیادی از آب بایستی صاف شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً این فیلترها سیمانی بوده و عرض آن‌ها ۱/۵ تا ۱۰ متر و طول آن‌ها از چندین تا چند صد متر و ارتفاع آن‌ها سه تا پنج متر است.

مراحل اجرایی صاف‌سازی توسط فیلترهای عمقی شامل دو بخش سرویس‌دهی و شستشوی معکوس است. در تصفیه‌خانه‌های معمولی حدود ۲ تا ۳ درصد از حجم آب تصفیه‌شده صرف شستشوی فیلترها می‌شود که به صورت پساب شستشوی فیلترها درمی‌آید که به اختصار پساب فیلتر می‌نامند. این پساب فیلتر به طور معمول در چاه‌های جذبی دفع می‌شود. زمانی که افت فشار در صافی به دلیل گرفتگی منافذ صافی افزایش می‌یابد، فرایند شستشوی معکوس شروع می‌شود. معمولاً فرایند شستشوی معکوس به صورت هوا-آب است. ترکیب آب و هوا می‌تواند شرایط مطلوب را برای حذف ذرات فیلتر ایجاد کند. اصول این روش بر پایه نوسانات حباب، مخلوط کردن حباب‌ها و فشار زیاد حباب‌های هوا است که عملکرد شستشوی معکوس را بهبود می‌بخشد (امیری ۱۳۹۴).

۲-۲-۲- شستشوی فیلترها

تمیز کردن فیلترهای شنی سیستم تصفیه‌خانه به طور منظم به منظور جلوگیری از انسداد انجام می‌گیرد که این امر موجب افزایش عملکرد سیستم فیلتراسیون و تصفیه بهتر آب خواهد شد. آب خارج شده از شستشوی فیلترها در استخری جمع می‌شود که استخر ریکواری نامیده می‌شود. این آب معمولاً به وسیله چاه‌های نفوذی به زمین تزریق می‌شود (امیری ۱۳۹۴). امروزه در بسیاری از

تصفیه‌خانه‌های کشور به دلیل صرفه‌جویی در مصرف ، این آب از ابتدای خط به خط آب خام اضافه‌شده و مجدداً در فرایند قرار می‌گیرد.

۲-۳- اهمیت تصفیه میکروبی پساب حاصل از شستشوی فیلترها

میکروارگانیزم‌ها به‌طور گسترده‌ای در سیستم‌های تصفیه‌خانه‌های آب مانند تانک‌های ذخیره، سیستم های فیلترها و سطح داخلی لوله‌ها وجود دارند. رشد بیش‌ازحد و کنترل نشده میکروبی، نه‌تنها منجر به از بین رفتن کیفیت آب آشامیدنی، مزه و بوی نامطلوب و بالا رفتن کدورت می‌شود، بلکه همچنین باعث گرفتگی فیلترها، رسوب در فیلترها و خوردگی زیستی می‌شود (امیری ۱۳۹۴). با توجه به این‌که آب موجود در استخر جمع‌آوری پساب فیلترها حاوی این میکروارگانیزم‌ها و مواد آلاینده حاصل از تمیز کردن فیلترهای شنی است، بازگشت این آب به ابتدای خط تصفیه سبب می‌گردد که تعداد دفعات پاک‌سازی فیلترهای شنی به دلیل افزایش بار میکروبی، افزایش یابد. چنانچه بتوان بار میکروبی را کاهش داد کیفیت آب بازگشتی بهبود می‌یابد و درنتیجه فرایند شستشوی فیلترها کاهش می‌یابد، بنابراین تصفیه ارزان‌تر و راحت‌تر انجام خواهد شد (امیری ۱۳۹۴).

ازاین‌رو نیاز به پیش‌تصفیه‌ای در داخل استخر جمع‌آوری پساب فیلترها احساس می‌شود که این بار میکروبی را کاهش داده و روند تصفیه آب را تسهیل نماید.

۳-۲- میکرو نانوحباب‌ها

۳-۲-۱- تعریف و ویژگی‌ها

علی‌رغم آنکه تعریف و بیان خاصی از میکرو نانوحباب در دسترس نیست اما به‌طور کلی می‌توان گفت میکرو حباب‌ها^۱ و نانوحباب‌ها^۲ حباب‌های ریزی هستند که قطر آن‌ها به ترتیب ۱۰ تا ۵۰ میکرومتر و کمتر از ۲۰۰ نانومتر است (Agrawal 2011). در مقایسه با میلی حباب‌ها که قطر آن‌ها چندین میلی‌متر است، میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند که می‌تواند ناشی از اندازه کوچک آن‌ها باشد. از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها می‌توان به سطح ویژه زیاد (نسبت سطح کل به حجم یا وزن توده)، فشار درونی زیاد گازها در این حباب‌ها اشاره کرد که می‌تواند دلیلی بر ظرفیت بالای انحلال گاز این حباب‌ها در محلول پایه باشد. ثابت‌شده است که سطح خارجی میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها باردار است و در اثر اضمحلال میکرو حباب‌ها رادیکال‌های آزاد تولید می‌شوند.

با توجه به ویژگی‌های دینامیکی و فیزیکی سیالات، سرعت‌بالا آمدن این حباب‌ها در سیال پایه متفاوت ولی همواره بسیار کم است. همچنین شایان‌ذکر است که میکرو نانوحباب‌ها مقاومت اصطکاکی را کاهش می‌دهند (Tsuge 2014).

منحنی صعود حباب‌ها در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.

¹ Micro bubbles

² Nano bubbles



شکل ۱-۲- منحنی صعود حباب ها (Attard 2013)

حباب‌ها از نظر ساختاری به دودسته گاز-گاز، مایع-مایع و گاز-مایع تقسیم می‌شوند. و خود حباب‌های گاز-مایع به دودسته حباب‌های کروی و حباب‌های دیسکی تقسیم می‌شوند. و این دو نوع حباب در ساختار نانو به دو بخش صفر بعدی و دوبعدی شناخته می‌شود (Stachiotti and Sepliarsky 2000).

میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها حفره‌هایی حاوی گاز در محلول آبی هستند. علت تولید این حفره‌ها فرآیند کاویتاسیون هیدرودینامیکی در حضور نوکلی^۱ گازها با گاز هسته‌زایی شده در آب است. فرآیند هسته‌زایی در مایع سبب چرخش ذرات گاز در میدان داخلی هسته می‌شود که به نوبه خود باعث ایجاد میدان الکترواستاتیکی به دور هسته می‌گردد. این میدان الکترواستاتیکی با ذرات باردار دور هسته که تشکیل لایه دوگانه را داده‌اند به‌طور مداوم در تبادل شار الکتریکی ثابتی هستند. این افزایش یا کاهش تبادل شار الکتریکی و همچنین افت پتانسیل شیمیایی هسته، باعث رشد یا انقباض هسته و به تبع آن بزرگ‌تر یا کوچک‌تر شدن لایه دوگانه می‌گردد. بزرگ یا کوچک شدن لایه دوگانه باعث بزرگ یا کوچک شدن نیروی کشش سطحی می‌شود.

¹ Nuclei

به همین دلیل نانوحباب‌ها یا میکرو حباب‌ها به کمک انتشار ذرات و متناسب با مقدار پتانسیل اطراف محلول و مقدار پتانسیلی که باعث فوق اشباع و یا زیر اشباع شدن بشود، شروع به رشد کردن و یا کوچک شدن در طول زمان می‌کنند (Hampton and Nguyen 2010) و (Craig 2011) و (Attard 2013).

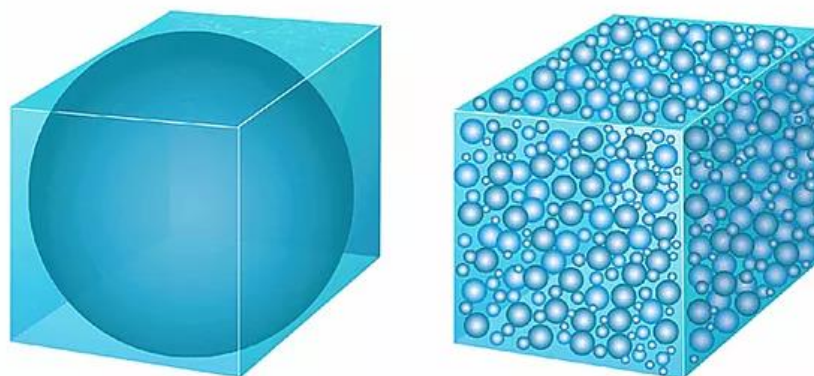
الف) سطح مشترک زیاد

میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها دارای سطح ویژه بالایی هستند. سطح مشترک، نسبت سطح‌روی حباب‌ها به واحد حجم تعریف می‌شود که برای حباب‌های کروی به قطر d_b عبارت است از:

$$a = \frac{\text{سطح}}{\text{حجم}} \quad (1-2)$$

$$a = \frac{\pi d_b^2}{\left(\frac{1}{6}\right)\pi d_b^3} = \frac{6}{d_b} \quad (2-2)$$

از آنجاکه سطح ویژه رابطه عکس با قطر حباب دارد، با کاهش قطر حباب سطح ویژه آن افزایش می‌یابد. با افزایش سطح، امکان تبادل گاز بین فازهای گاز - مایع افزایش می‌یابد (Li and Tsuge 2006).



شکل ۲-۲- شماتیکی از افزایش سطح مشترک با کاهش قطر حباب (Li and Tsuge 2006)

ب) فشار داخلی زیاد

اختلاف فشار داخلی و بیرونی میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها می‌تواند خیلی زیاد باشد. فشار گاز درون یک حباب بزرگ‌تر از فشار بیرون آن است مقدار آن تابع کشش سطحی مایع و قطر حباب است. فشار داخلی حباب‌ها از معادله یانگ- لاپلاس محاسبه می‌شود (Atkins, de Paula and Keeler 2006).

$$P_g = p_L + \frac{4\sigma}{d_b} \quad (۳-۲)$$

در این رابطه p_g فشار داخلی حباب، p_L فشار پیرامونی که همان فشار در محل حباب دو مایع است، σ کشش سطحی مایع و d_b قطر حباب است. همان‌گونه که از معادله (۳-۲) نتیجه می‌شود با افزایش کشش سطحی مایع یا کاهش قطر حباب، فشار داخلی حباب افزایش پیدا می‌کند.

به‌عنوان مثال اگر فرض شود که یک حباب به قطر یک میلی‌متر به تعدادی حباب به قطر ۱۰۰ نانومتر تبدیل شود. محاسبات ساده هندسی نشان می‌دهد که حجم هر حباب 10^{-12} (یک‌هزارم میلیارد) برابر حباب اولیه می‌شود و در نتیجه تعداد حباب‌ها 10^{12} (هزار میلیارد) برابر خواهد شد. درحالی‌که حجم گاز در مایع ثابت باقی‌مانده است، سطح کل تماس حباب‌ها با آب به ۱۰۰۰۰ (ده هزار) برابر افزایش می‌یابد. البته نکته اساسی فشار داخلی حباب‌هاست که آن‌ها هم به‌صورت نظری تا ۱۰۰۰۰ (ده هزار) برابر خواهد شد. در خصوص هوا، این فشار داخلی در دمای و فشار استاندارد می‌تواند تا حدود ۳۰ بار یا ۳ مگا پاسکال باشد.

ج) سرعت بالا آمدن آهسته

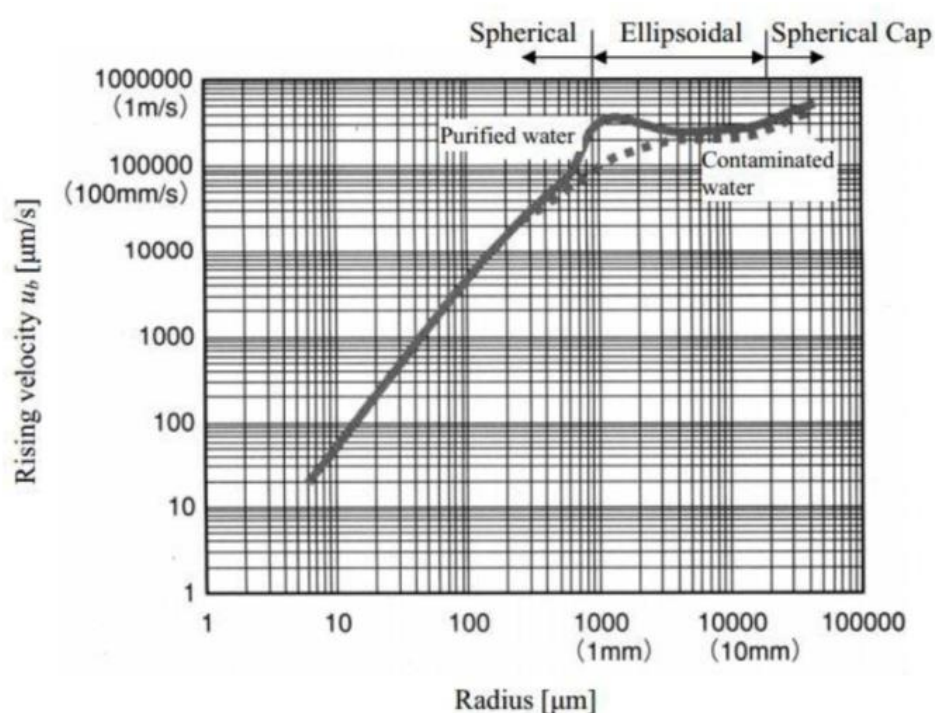
سرعت بالا آمدن نهایی میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها بسیار کند است. حباب پس از شکل‌گیری، به‌سرعت حد بالا آمدن می‌رسد (Li and Takahashi 2009). چنانچه برای حباب‌های کوچک کروی اندازه سرعت نهایی با استفاده از قانون استوک (معادله ۲-۴) قابل محاسبه باشد (Clift and Grace 2005).

$$u_b = \frac{\rho g d_b^3}{18\mu} \quad (۴-۲)$$

که در آن ρ چگالی مایع (kg/m^3)، g شتاب گرانش (m/s^2)، μ ویسکوزیته مایع (pa.s) و d_b قطر حباب (m) است. قانون استوک فقط برای حباب‌های کوچک با سطح ثابت قابل استفاده است. برای مواردی که حباب‌ها دارای سطح متحرک باشند از معادله Rybezynski-Hadamard استفاده می‌شود.

$$u_b = \frac{\rho g d_b^2}{12\mu} \quad (۵-۲)$$

نموداری از تغییر سرعت بالا آمدن با شعاع حباب در آب خالص و آب آلوده در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.



شکل ۳-۲- تغییر سرعت بالا آمدن با شعاع حباب در آب خالص و آب آلوده (Takamura 2004)

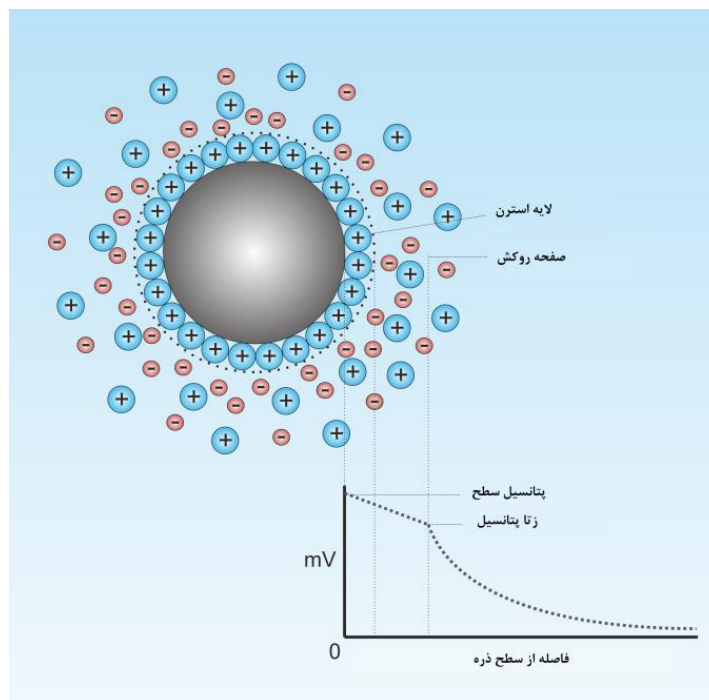
این مطالب برای حباب‌هایی در محدوده بزرگ‌تر از ۸ میکرومتر صادق است اما حباب‌های ریزتر از جمله نانوحباب‌ها بر اثر تناقض نیروی وزن و شناوری صعود نمی‌کند زیرا اختلاف وزن کره به اطراف قادر به غلبه بر نیروی کشش سطحی سیال پایه نیست. همچنین از آنجاکه رفتار نیوتونی سیالات در محدوده نانومتری اطلاع دقیقی در دست نیست نمی‌توان به قطعیت نوع رفتار و عملکرد نانو سیالات را پیش‌بینی کرد لذا نیاز است تا آزمایش‌ها دقیق صورت گیرد (Takamura 2004).

د) سطح باردار منفی

از طریق اندازه‌گیری پتانسیل زتا، سطح میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها در گستره وسیعی از مقادیر pH دارای بار منفی هستند. در مطالعه انجام‌شده، به اهمیت یون‌های OH^- و H^+ در بار سطح مشترک گاز مایع تأکید شده است (Takahashi 2005).

پتانسیل زتا یک خاصیت فیزیکی ذرات خنثی است که در فصل مشترک فاز جامد با (جدایش فازی) محلول‌های الکترولیتی بروز می‌کند. در شکل (۲-۴) یک ذره خنثی به‌طور شماتیک درون محلول نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود وجود این پدیده موجب ایجاد یک‌لایه دوگانه در اطراف ذره می‌گردد (McNaught and Wilkinson 1997).

پتانسیل الکتریکی حاصل از لایه دوگانه را پتانسیل الکتروستاتیکی یا پتانسیل زتا می‌گویند. این پتانسیل تابع عواملی از قبیل اندازه و نوع ذرات، pH و سایر عوامل مؤثر بر دولایه الکتریکی خواهد بود. عموماً افزایش pH موجب کاهش پتانسیل زتا خواهد شد. نکته قابل‌تأمل این‌که هر ذره در pH های گوناگون رفتار منحصر به فردی از خود نشان می‌دهد. به‌طوری‌که نه‌تنها مقدار پتانسیل آن تغییر خواهد کرد بلکه مثبت و منفی بودن آن نیز به‌راحتی قابل‌تغییر خواهد بود، به‌این‌ترتیب می‌توان با انتخاب درست pH رفتار و عکس‌العمل ذره را در محیط‌های گوناگون تحت کنترل قرارداد.



شکل ۲-۴- شماتیک حضور یک ذره خنثی در الکترولیت (McNaught and Wilkinson 1997)

پتانسیل زتا به سطح هیدرودینامیکی نسبت داده می شود و بار سطحی برای سطح جامد- مایع تعریف می شود. هر چه پتانسیل زتا بیشتر باشد در نتیجه احتمال تشکیل دولایه الکتریکی روی سطح ذره بیشتر می شود و تمایل برای لخته شدن و تجمع کم می شود. در نتیجه به صورت ذرات ریزتر باقی می ماند و تجمع نمی کنند و لذا توزیع اندازه ذرات باریک تر می شود. به عبارتی پتانسیل زتا، مقدار دافعه بین دو ذره مجاور را نشان می دهد. هنگامی که زتا پایین می آید، جاذبه بر دافعه غلبه کرده و لخته تشکیل می شود، در حالی که ذرات با پتانسیل زتای بالا، از لحاظ الکتریکی پایدار هستند.

طبق جدول (۱-۲) پتانسیل زتا، یکی از عوامل پیش بینی پایداری ذرات کلوئیدی در حلال است.

جدول ۱-۲- رفتار پایداری ذرات در بازه‌های پتانسیل زتای آن‌ها برگرفته از (Greenwood and Kendall 1999).

رفتار پایداری ذرات	پتانسیل زتا (mV)
سریع لخته می‌شود	از ۰ تا ± 5
ناپایدار	از ± 10 تا ± 30
پایداری متوسط	از ± 30 تا ± 40
پایداری خوب	از ± 40 تا ± 60
پایداری عالی	بیشتر از ± 61

پتانسیل زتا به عنوان یک پتانسیل الکتریکی در پیرامون ذرات و همچنین سلول‌ها وجود دارد که تحقیقات زیادی پیرامون آن انجام شده است. سلول‌ها در محلول به علت وجود خاصیت‌های یونی، همچنین ترکیبات سازنده غشاء (مانند پروتئین‌ها، چربی‌ها و قندها) و پخش بار در سطح غشاء آن‌ها، دارای یک بار الکتریکی در سطح غشاء هستند. گسترش بار در اطراف غشاء باعث تأثیر بر روی یون‌های مجاور شده که نتیجه آن افزایش تعداد یون‌ها (یون‌های با بار الکتریکی مخالف) در فاصله نزدیک غشاء می‌شود. بنابراین غشاء در محلول توسط یک لایه از یون‌های با بار مخالف محصور شده که آن را لایه ثابت می‌گویند. در قسمت بیرونی لایه ثابت، تعداد زیادی از یون‌ها با بارهای مختلف وجود دارد که باعث تشکیل یک لایه ابری شکل می‌شود. بنابراین دولایه الکتریکی در ناحیه‌ای که سطح غشاء در مجاورت محیط مایع اطراف آن وجود دارد، تشکیل می‌شود که به آن لایه دوگانه می‌گویند.

این لایه دوگانه توسط دو قسمت شرح داده می‌شود:

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

ب) قسمت بیرونی یا ناحیه پراکنده که یون‌ها در آن قسمت در حالت تعادل یونی به سر می‌برند.

پتانسیل موجود در این قسمت با افزایش فاصله از غشاء کاهش پیدا می‌کند تا جایی که به صفر برسد. هنگامی که بر محیط مایع اطراف سلول میزان معینی ولتاژ اعمال شود سلول‌ها از طریق بار موجود در غشاء به سمت الکتروود با قطب مخالف بار غشاء حرکت می‌کنند. حرکت سلول‌ها به دلیل اثر ولتاژ خارجی بر روی لایه ثابت و همچنین بر روی قسمتی از ناحیه پراکنده و قسمت بینابینی این دو ناحیه در سطح غشاء است. این دو قسمت و قسمت بینابینی آن به shear plane معروف است و بار الکتریکی موجود در این قسمت معادل پتانسیل زتای آن است. پتانسیل زتا به‌عنوان قسمت کاربردی بار الکتریکی سطح غشاء عمل می‌کند. ماهیت محیطی که سلول در آن قرار دارد، میزان یون‌ها و pH محیط بر روی میزان پتانسیل زتا تأثیر می‌گذارد.

بسیاری از مواد هنگام قرار گرفتن در مایعات و یا آب از خود درجات متفاوتی از پتانسیل زتا را نشان می‌دهند. از سوی دیگر مولکول‌های آبی که در مجاورت غشای سلولی وجود دارند تقریباً بی‌حرکت هستند و وجود آن‌ها همراه با گروه‌های باردار در سطح غشاء باعث تأثیر در انتشار یون‌های متحرک می‌شود. سطح غشای سلول‌های ایزوله شده معمولاً دارای بار منفی است. بار موجود در دولایه الکتریکی آن با باریون‌های مخالف محیط به تعادل می‌رسد (Kirby 2010).

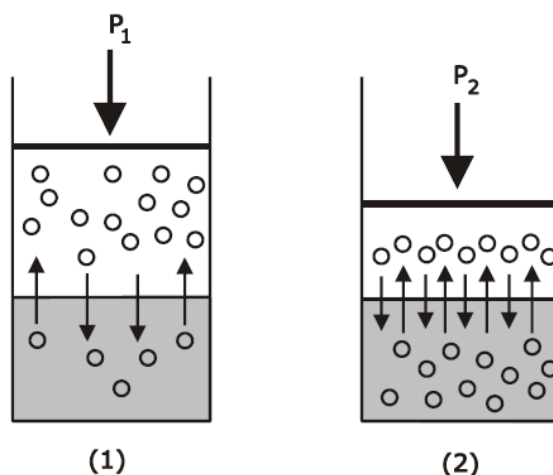
ذ) انحلال زیاد گاز و نرخ بالای انقباض

به دلیل فشار زیاد گاز داخل حباب‌ها، انحلال گاز در مایع پیرامونی افزایش می‌یابد که این امر موجب کوچک شدن حباب می‌شود. از آنجاکه با کاهش قطر حباب، فشار داخلی آن افزایش می‌یابد و با افزایش فشار داخلی، انحلال گاز در مایع افزایش می‌یابد بنابراین میکرو حباب‌ها نرخ کوچک شدن بیشتری نسبت به حباب‌های ماکرو دارند (Tsuge 2014).

اثر تغییر فشار بر انحلال‌پذیری مواد جامد و مایع معمولاً کم است. ولی انحلال‌پذیری گازها در یک محلول با افزایش یا کاهش فشاری که بر محلول وارد می‌شود، به میزان قابل‌توجهی تغییر می‌کند.

ویلیام هنری در ۱۸۰۳ کشف کرد که مقدار گازی که در یک دمای ثابت در مقدار معینی از یک مایع حل می‌شود با فشار جزئی آن گاز در بالای محلول نسبت مستقیم دارد (Harvey and Smith 2007).

شکل (۵-۲) چگونگی افزایش انحلال گازها را با افزایش فشار گاز نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲- چگونگی افزایش انحلال گازها با افزایش فشار (Harvey and Smith 2007)

ی) کاهش مقاومت اصطکاکی

مسئله کاهش نیروی مقاوم در برابر حرکت اجسام داخل یک سیال و در نتیجه امکان دستیابی به سرعت‌های بالاتر و نیز کاهش مصرف سوخت، منابع مورد نیاز انرژی برای حرکت جسم از دیرباز مورد توجه محققان بوده است. از سوی دیگر کاهش نیروی مقاوم یا درگ، علاوه بر موارد فوق، امکان طی مسافت‌های بیشتر به ازای دفعات کمتر سوخت‌گیری، میزان آلودگی کمتر محیط، همچنین بالا رفتن عمر کارکرد تجهیزات را به دنبال دارد. مقاومت در مقابل حرکت اجسام شناور به شکل‌های مختلفی وجود دارد و دسته‌بندی می‌شود اما در یک سیال تراکم ناپذیر نظیر آب، مقاومت سیال در برابر حرکت، عبارت است از مقاومت موجی، مقاومت فشار و مقاومت اصطکاک پوسته‌ای که بیشترین

نیروی مقاوم در مقابل حرکت شناورها مربوط به مقاومت اصطکاکی پوسته‌ای است که ناشی از لزجت است. لذا کاهش نیروی مقاومت اصطکاک پوسته‌ای اثر مهمی بر کاهش نیروی مقاوم کلی در برابر حرکت دارد (نوری و همکاران ۱۳۸۶).

کاهش اصطکاک پوسته‌ای توسط تزریق میکرو حباب (حباب‌های ریز هوا) به داخل لایه‌مرزی روی یک جسم جامد یکی از روش‌های بسیار مناسب است، زیرا علاوه بر کاهش قابل توجه اصطکاک پوسته‌ای در این روش، مسئله آلودگی آب یا نیاز به مواد خاص (نظیر انواع پلیمرها) را نیز به دنبال ندارد. مکانیسم کاهش اصطکاک پوسته‌ای به وسیله میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها هنوز به صورت کامل و جامعی مورد بررسی قرار نگرفته است. یک توضیح ساده برای بیان این پدیده آن است که افزایش لزجت مؤثر به وسیله میکرو حباب‌ها باعث کاهش اثر تنش رینولدز می‌شود و در نتیجه باعث تغییر پروفیل سرعت و کاهش گرادیان سرعت در دیواره می‌شود. نمونه دیگر چنین شرحی، تغییر اندازه لایه‌مرزی با ایجاد شرایط نزدیک به جریان آرام در جریان و به عبارت دیگر بهبود شرایط و مشخصه‌های دیگر جریان آشفته است. با این حال هنوز ایده و نظری قطعی و نهایی برای این پدیده از سوی محققان اعلام نشده است (نوری و همکاران ۱۳۸۶).

۲-۳-۲- خلاصه‌ای از انواع روش‌های تولید میکرو-نانو حباب

انواع روش‌های تولید میکرو نانوحباب به شرح زیر است، که روش استفاده شده برای ساخت دستگاه مورد استفاده قرار گرفته در آزمایشگاه به صورت برش (جریان آشفته) و یا به عبارتی کاویتاسیون هیدرودینامیکی است که در ذیل به صورت کامل توضیح داده شده است.

- متلاشی شدن (Collapse)
- برش (جریان آشفته) (Shearing)
- انحلال تحت فشار (Pressurized dissolution)
- صفحات متخلخل (Microporous)
- احاطه شدن در جامدات (Solid trapping)

- الکترولیز
- واکنش‌های شیمیایی
- کوچک‌سازی

روش برش یا کاویتاسیون هیدرودینامیکی:

عموماً، کاویتاسیون به صورت شکل‌گیری حباب‌های ریزی تعریف می‌شود که از گاز یا بخار یا ترکیب این دو پر شده‌اند و فعالیت‌های بعدی همانند رشد، متلاشی شدن و دوباره به جای اول برگشتن در مایعات است.

کاویتاسیون خود به دودسته ذخیره‌سازی انرژی و کشش سطحی تقسیم می‌شود که هر کدام به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف- ذخیره انرژی (جذب انرژی): ۱. اپتیکان (نوری) ۲. ذره‌ای

ب- کشش سطحی (انبساط سطحی): ۱. آکوستیک (صوتی) ۲. هیدرودینامیک

از چهار حالت کاویتاسیون که در بالا ذکر شد، روش کشش سطحی (کاویتاسیون آکوستیک و هیدرودینامیک) از نظر اندازه‌گیری، کاربرد، کنترل شرایط هندسی و پارامترهای عملیاتی مانند سرعت، ساده‌تر هستند. از این رو در این بررسی بیشتر از روش کاویتاسیون هیدرودینامیکی به بررسی نانو میکرو حباب‌های ایجاد شده پرداخته می‌شود. از این رو قبل از هر چیز به بررسی اثرات، کاویتاسیون می‌پردازیم. واژه‌ی کاویتاسیون توسط آرای فرود ابداع شد. ولی کاویتاسیون واقعی نخستین بار توسط بارنابی و پارسون مورد کشف و مورد تحقیق قرار گرفت و به صورت دقیق‌تر تشریح شد (Barnaby and Sydney 1897).

روش کشش سطحی هیدرودینامیکی به لحاظ اندازه‌گیری، کاربرد و کنترل شرایط هندسی و پارامترهای عملیاتی مانند سرعت ساده‌تر است. کاویتاسیون هیدرودینامیکی یکی از ارزان‌ترین و کاراترین روش‌های کشش سطحی کاویتاسیون با تجهیزات ساده و هزینه‌ی نگهداری و تعمیر پایین

است. از این رو در این تحقیق از روش کاویتاسیون هیدرودینامیکی به تولید نانو- میکرو حباب‌ها برای این تحقیق استفاده شده است.

۴-۲- گاز ازن

۴-۲-۱- تاریخچه و خصوصیات گاز ازن

ازن در سال ۱۸۳۹ به عنوان یک مولکول سه گانه شناخته شده است. ازن به صورت وسیع در صنعت به دلیل خاصیت اکسیداسیون قوی مورد استفاده قرار گرفته است، اولین استفاده از ازن در تصفیه آب است (Siegrist and Ternes 2008).

ازن به عنوان یک گاز تقریباً بی رنگ با بوی ترش شناخته شده است. حد استاندارد آن برای انسان ۰.۱۲۵ قسمت در میلیون (ppm) از حجم هوا است (Stokinger 1957).

۴-۲-۲- بررسی خاصیت میکروبی زدایی گاز ازن

میل ترکیبی شدید ازن برای اکسید کردن انتخابی نیست از این رو همه ناخالصی‌های موجود در آب چه مضر و چه بی خطر، از اکسید شدن توسط ازن در امان نیستند. ازن در محلول آبی به سرعت تجزیه می شود و اکسیژن تولید می کند که اکسیژن حاصل هیچ گونه ضرری ندارد. این ویژگی ازن را به یکی از بهترین مواد ضد عفونی کننده در صنایع غذایی و تصفیه آب تبدیل می کند. در بسیاری از مناطق اروپا از ازن برای ضد عفونی کردن آب و نیز حذف بو، مزه، طعم و رنگ، آهن و منگنز آب استفاده می شود. ازن اغلب برای پاک سازی بافت نرم، به عنوان مثال مخاط مورد استفاده قرار می گیرد.

ازن درمانی برای افزایش مقدار اکسیژن در خون و برای درمان سرطان و سایر بیماری‌ها نیز استفاده می شود (Luongo 2017) و (Morishima and Inagawa 2016).

ازن به طور مؤثر میکروارگانیزم ها را غیرفعال می کند و مواد آلی را در آب حذف می کند. فعالیت های ضد عفونی کننده قوی آن نیز در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می گیرد (Moore and Griffith 2000) و (Kim 1999).

۲-۴-۳- پایداری گاز ازن

مولکول ازن پایدار نبوده و نمی توان ازن را انبار و یا حمل کرد لذا تولید ازن همواره در محل انجام می گردد. نیمه عمر ازن در محلول آبی در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد به طور کلی ۳۰-۲۰ دقیقه در نظر گرفته می شود. لذا برای استفاده از فعالیت میکروبیولوژی ازن باید ظرف مدت ۱۰-۵ دقیقه و در محل تولید شود (Tomiyasu 1985).

۲-۵- استفاده از گاز ازن به صورت میکرو نانو حباب

۲-۵-۱- بررسی ویژگی های میکرو نانو حباب ازن

میکرو نانو حباب ازن با خاصیت اکسیدکنندگی قوی، کاربردهای بسیاری را دارا است. نکته مهم در خصوص میکرو نانو حباب ازن، افزایش ماندگاری ازن در آب، با شرایط یکسان فشار و دما، نسبت به سایر روش های تزریق ازن است. این موضوع در کنار افزایش تعداد حباب ها و سطح ویژه حباب های گاز تزریقی، موجب افزایش چندین برابری عملکرد ازن به عنوان اکسیدکننده و ضد عفونی کننده می شود. این خصوصیات آن را به انتخاب اول تصفیه خانه های فاضلاب نفتی و پتروشیمی و همچنین ضد عفونی آب و فاضلاب تبدیل می کند (حقی و ساغروانی ۱۳۹۶).

۲-۵-۲- بررسی خاصیت میکروبی زدایی میکرو نانوحباب ازن

تاکنون اثر میکرو نانوحباب ازن بر ^۱ E.coli در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. که یافته‌ها نشان می‌دهد اثر ضد عفونی E.coli توسط میکرو نانوحباب ازن بسیار سریع‌تر از ضد عفونی با ازن معمولی است، این امر منجر به کاهش اندازه رآکتور و مقدار مصرفی ازن در مقایسه با ضد عفونی ازن معمولی است (Sumikura, Hidaka, Murakami and nobutomo 2007).

۲-۶-۲- تئوری اندازه گیری باکتری‌های هتروتروف (HPC^۲)

۲-۶-۲-۱- اهمیت بررسی بار میکروبی (HPC) در آب شرب

تجزیه و تحلیل شمارش صفحه‌ای باکتری‌های هتروتروف (HPC) در سامانه‌های توزیع آب می‌تواند در ارزیابی کیفیت آب مفید باشد. این اقدامات در تعیین تغییرات در کیفیت آب در حین ذخیره و توزیع مفید است، شمارش بشقابی باکتری‌های هتروتروف، روشی برای تخمین تعداد باکتری‌های زنده آب است (Carter 2000). که اطلاعات بسیار سودمندی درباره کیفیت آب و کلیفرم‌ها و نیز تأثیر پروسه‌های مختلف تصفیه بر آب به ما می‌دهد.

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، حداکثر مجاز تعداد باکتری‌های هتروتروف در شبکه‌های توزیع آب را ۵۰۰ cfu/ml تعیین کرده است (Stine 2005).

سطح پایین و ثابت باکتری‌های هتروتروف در آب آشامیدنی این اطمینان را می‌دهد که فرایند ضد عفونی آب به درستی کار می‌کند. یعنی سایر باکتری‌های شاخص، مانند E. coli، کولیفرم‌های گرم‌زدایی یا کلی فرم‌های کلی، نباید در هنگام پایین بودن سطح HPC پیدا شوند، زیرا آنها نسبت به باکتری‌های هتروتروف نسبت به ضد عفونی شدن ضعیف‌تر هستند. لذا افزایش تعداد باکتری‌های

^۱ Escherichia coli

^۲ heterotrophic plate count

هتروتروف در آب بالاتر از غلظت های توصیه شده می تواند نشان دهنده مشکلی در روند تصفیه یا تغییر در کیفیت آب منبع تصفیه شده باشد (Robertson and Brooks 2003).

باکتری های هتروتروف باکتری هایی هستند که منبع کربن آن ها منحصرأ از کربن آلی تأمین می شود. این باکتری ها شامل باکتری های هوازی و بی هوازی اختیاری هستند. در این گروه باکتری های غیر بیماری زا و بیماری زا وجود دارند و اغلب آن ها گرم منفی هستند. تغییرات جمعیتی این باکتری ها در شبکه های توزیع آب شرب از سه جهت حائز اهمیت است:

۱. کیفیت ظاهری آب: تغییر در طعم، بو، رنگ و ایجاد لایه های لزج و چسبنده.

۲. اقتصادی: با ایجاد خوردگی و رسوب گذاری در شبکه توزیع باعث کاهش آبدهی می گردد.

۳. بیماری زایی: این باکتری ها شاخص سلامت میکروبی آب نیستند؛ ولی برخی از آن ها بیماری زا (اشرشیا) و برخی دیگر فرصت طلب می باشند. به همین دلیل این باکتری ها در آب باعث به خطر افتادن سلامت قشر آسیب پذیر (نوزادان، سالخوردگان، افرادی با ضعف سیستم ایمنی) می گردند (Bartram et al 2004).

۲-۶-۲- انواع روش های شمارش بار میکروبی (HPC)

شمارش میکروارگانیسم های هتروتروف که پیش از این تحت عنوان شمارش پلیت استاندارد شناخته می شد روشی است که توسط آن تعداد باکتری های هتروتروف زنده در آب اندازه گیری شده و به عنوان تغییرات کیفی به هنگام تصفیه و توزیع آب و یا کیفیت آب استخرهای شنا بررسی می گردد. کلنی های مورد مطالعه با این روش می توانند به صورت دوتایی، زنجیره ای، خوشه ای و یا منفرد تشکیل

شوند که همه انواع آن تحت عنوان واحدهای تشکیل دهنده کلنی^۱ CFU نامیده می‌شوند (American Public Health Association 1995).

شمارش نهایی به مقدار مؤثر انتشار کلنی بستگی دارد از این رو روش کار و محیط کشت باید به گونه‌ای انتخاب شود که بتواند بیشترین تعداد کلنی را در مدت معینی از زمان رشد تولید کند.

۷-۲- مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر پیرامون (HPC)

آلودگی منابع آبی در سال‌های اخیر در حال افزایش است و استفاده از روش‌های نوین حذف آلاینده‌ها مانند نانو تکنولوژی یک روش مناسب برای کاربردهای زیست‌محیطی است. دی‌اکسید تیتانیوم یکی از رایج‌ترین نانو ذرات مورد استفاده برای تصفیه آب و فاضلاب است. مثلاً در یک بررسی استفاده از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم برای حذف HPC در pH7، در مدت زمان بهینه ۹۰ دقیقه توانست ۹۵ درصد از HPC را حذف کند (Asrari and Gheraghpour 2018).

۸-۲- نرم افزار OpenFOEM

۸-۲-۱- کلیاتی درباره‌ی نرم افزار

نرم افزار OpenFoam^۲ یک جعبه ابزار دینامیک سیالات محاسباتی^۳ CFD است که قادر به مدل سازی هر نوع مسئله شامل معادلات دیفرانسیل جزئی، از جمله حل عددی جریان سیال از مسائل ساده تا بسیار پیچیده است. از نمونه موارد قابل مدل سازی توسط این نرم افزار می‌توان مسئله‌های مربوط به

جریان‌های آرام و آشفته، اعم از تک فاز و چند فاز، انتقال حرارت، واکنش شیمیایی، الکترومغناطیس و مکانیک جامدات و همچنین به مسئله‌های مربوط به معادلات اقتصادی نظیر قیمت گذاری و مالی

¹ Colony forming unit

² OpenField Operation and manipulation

³ Computational Fluid Dynamics

اشاره نمود. این نرم‌افزار توسط "OpenCFD Ltd" تحت مجوز عمومی گنو^۱ ایجاد شده و به صورت منبع باز^۲ و آزاد موجود است. این مطلب بدان معناست که کد آن به صورت رایگان در اختیار همه قرار دارد و به سهولت از شبکه جهانی اینترنت قابل دریافت است. به علاوه به علت آزاد یا باز بودن منبع کد مذکور امکان بررسی تمامی جنبه‌های کد نویسی از جمله تغییر و توسعه آن برای کاربر فراهم خواهد بود (The open source CFD toolbox).

هسته انعطاف‌پذیر و کارآمد OpenFOAM، از مجموعه‌ای از کدهای نوشته شده به زبان C++ ایجاد شده است. این مجموعه‌ها در ایجاد حل گره‌هایی^۳ برای مدل‌سازی مسائل مطرح در مهندسی مکانیک و یا ایجاد ابزارهایی برای اعمال پیش‌پردازش و پس‌پردازش، همچنین به وجود آوردن کتابخانه‌هایی به منظور ایجاد جعبه‌ابزارهایی که در حل گر/کاربردها قابل دسترسی باشند، یا برای پیاده‌سازی مدل‌های فیزیکی، مورد استفاده قرار گرفته‌اند (سر رشته داری ۱۳۹۳).

این نرم‌افزار با تعدادی حل گر از پیش ساخته، مثال‌های کاربردی و کتابخانه ارائه گردیده است که می‌تواند به عنوان یک بسته مدل‌سازی معمولی مورد استفاده قرار گیرد. در حالی که علاوه بر باز و آزاد بودن کد منبع آن، قابلیت توسعه در ساختار و سلسله‌مراتب حل گر/ها، مثال‌های کاربردی و کتابخانه‌ها نیز وجود دارد. نرم‌افزار OpenFOAM از روش عددی حجم محدود^۴ (FVM) برای حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی استفاده می‌کند که در آن به هر شبکه‌بندی غیر ساختاریافته سه‌بعدی، سلول‌های چندوجهی نسبت داده می‌شود (سر رشته داری ۱۳۹۳).

در این نرم‌افزار، برای حل جریان سیال از الگوهای تکرار، سرعت- فشار ضمنی استفاده می‌شود. موازی‌سازی در حل و بخش‌بندی دامنه حل از مبانی به کاررفته در OpenFOAM است.

¹ GNU

² OpenSource

³ solvers

⁴ Finite Volume Method

بنابراین به‌طور کلی حل گرها بدون نیاز به کد نویسی خاصی برای حل موازی قابل توسعه می‌باشند. از آن‌رو که این نرم‌افزار یک کد منبع باز یا آزاد است که به‌طور پیش‌فرض بر روی سیستم عامل منبع باز مبتنی بر لینوکس نصب می‌شود.

۲-۸-۲- نرم‌افزارهای منبع باز یا آزاد

هرچند تعریف‌ها و بیانیه‌ای مختلفی از نرم‌افزار منبع باز یا آزاد ارائه شده است اما به‌طور اجمالی می‌توان نرم‌افزار آزاد را نرم‌افزاری دانست که آزادی‌هایی را در اجرا، تکثیر، نسخه‌برداری، بررسی، تغییر و بهبود دادن نرم‌افزار برای کاربران خود ایجاد می‌نماید. باید توجه داشت که آزاد بودن یک نرم‌افزار الزاماً به معنای رایگان بودن آن نیست و تنها وجود شرایط بالا است که یک نرم‌افزار را به‌عنوان منبع باز یا آزاد تعیین می‌کند.

به‌بیان دیگر در صورتی یک نرم‌افزار، آزاد به شمار می‌آید که کاربران آن، همه این آزادی‌ها را داشته باشند. البته برخی از قوانین درباره نحوه توزیع نسخه‌هایی از نرم‌افزار آزاد وجود دارد.

شناخت ساختار کلی و عملکرد برنامه برای کار با نرم‌افزاری که امکانات مدل‌سازی را برای مسائل مختلف فیزیکی فراهم می‌سازد، مسئله‌ای اساسی است. فرایند حل مسئله به کمک سه مرحله پیش‌پردازش (pre - processing)، اجرا (run) و پس پردازش (post - processing) صورت می‌گیرد (سر رشته داری ۱۳۹۳).

طرح‌واره کلی گام‌های تحلیل یک مسئله در شکل (۲-۶) آورده شده است.



شکل ۲-۶- گام‌های اصلی در مدل‌سازی عددی مسئله

۹-۲- جمع‌بندی

با توجه به قابلیت‌های میکرو نانوحباب که قبل‌تر توضیح داده شد و ویژگی‌های ضد میکروبی ازن و ضرورت کنترل و کاهش HPC در آب شرب، استفاده از میکرو نانوحباب ازن محلول در آب برای کاهش تعداد باکتری‌های هتروتروف بر روی آب استخر ریکواری تصفیه‌خانه آب شرب مشهد به‌صورت آزمایشگاهی و همچنین شبیه‌سازی عددی روند هیدرولیکی جریان آب درون استخر با استفاده از نرم‌افزار openFoam بررسی گردید.

فصل ۳: روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

این فصل به دو بخش آزمایشگاهی و عددی تقسیم شده است :

بخش آزمایشگاهی: در این بخش به دستگاه های مورد استفاده برای تولید میکرو نانوحباب و تولید ازن و اتصالات، روش های کشت باکتری و اندازه گیری آن (HPC)، نحوه آزمایش های انجام گرفته و چگونگی نمونه برداری اشاره شده است.

بخش عددی: در این بخش روند هیدرولیکی جریان آب در استخر با استفاده از نرم افزار Open Foam شبیه سازی شده است.

۳-۲- تجهیزات مورد استفاده در آزمایش

۳-۲-۱- مولد میکرو نانوحباب ساز

در این تحقیق، از دو عدد دستگاه تولید میکرو نانوحباب ساز ساخت شرکت نو فناوریان میناب توس با دبی خروجی هر دستگاه ۳۳ مترمکعب بر ساعت استفاده گردیده است. شکل ۳-۱- دستگاه میکرو نانوحباب ساز را نشان می دهد.



شکل ۳-۱- دستگاه میکرو نانوحباب ساز شرکت میناب نو فناوریان

۳-۲-۲- مولد ازن ژنراتور COG 5

دستگاه تولید گاز ازن مورد استفاده در این آزمایش، ازن ژنراتور (COG 5) شرکت فنون آردا سبز است. که مشخصات دستگاه در جدول زیر آورده شده است. همچنین تصویر دستگاه در شکل (۳-۲) نشان داده شده است (سایت شرکت فنون آردا سبز).

جدول ۳-۱- مشخصات دستگاه ازن ژنراتور COG 5

COG 5		مدل
۰.۵		جریان برق (A)
اکسیژن	هوا	گاز تغذیه کننده
۱	۵	جریان گاز (L/min)
۵	۲	خروجی ازن (gr/h)
۵		وزن (kg)
۱		فشار ورودی (bar)



شکل ۳-۲- دستگاه ازن ژنراتور COG5

۳-۳- تجهیزات و روش مورد استفاده در آزمایش HPC

در این آزمایش از روش پورپلیت^۱ برای کشت باکتری و از محیط کشت R2A Agar و تجهیزات به شرح زیر استفاده شده است.

۳-۳-۱- روش کشت پورپلیت

قبل از انجام آزمایش باید سطح میز کار گندزدایی شود. میز کار نباید در معرض گردوغبار، جریان هوای تند و آلوده، نور مستقیم خورشید و نور ناکافی باشد. از پلیت های استریل شده استفاده می شود. برای کشت از پیپت استفاده شده و حداکثر ارتفاع برای برداشت نمونه از بطری نمونه برداری 2.5cm از زیر سطح نمونه اصلی یا نمونه رقیق سازی شده است.

برای انجام آزمایش، ابتدا بر روی پلیت استریل شده مشخصات نمونه (از جمله نام نمونه، تاریخ نمونه برداری و کشت ثبت شود سپس در مجاورت شعله و در شرایط استریل، پس از به هم زدن نمونه، درب بطری نمونه برداری را باز و با پیپت استریل حجم مناسبی از نمونه (۰.۱ تا ۱ میلی لیتر) برداشته می شود. در همان شرایط استریل، درب پلیت را به آرامی و بسیار کم باز و تقریباً با زاویه ۴۵ درجه پیپت به پلیت تکیه داده شده و نمونه وارد پلیت استریل شود نباید به هیچ عنوان پیپت را فوت کرد. پس از بستن درب پلیت حداکثر ۲۰ دقیقه فرصت است تا آگار ذوب شده ۴۶ - ۴۴ درجه سانتی گراد را به نمونه اضافه نمود. بهتر است بیش از ۱۰ دقیقه تأخیر زمانی بین ریختن نمونه و افزودن محیط کشت وجود نداشته باشد.

آگار ذوب شده را که در بن ماری ۴۶ - ۴۴ درجه سانتی گراد قرار دارد، از بن ماری خارج کرده و سطح خارجی لوله آزمایش را خشک کرده و لوله با حرارت تماس داده می شود. سپس در شرایط استریل و به آرامی در نقطه ای دور از محلی که نمونه تلقیح شده وارد می شود، آگار به آن اضافه

¹ Pour plate method

می‌شود. پس از وارد کردن آگار، باید پلیت را به شکل عدد ۸ انگلیسی (8) دوران داد تا ماده مغذی با نمونه آمیخته شود این کار تا جایی ادامه می‌یابد که آگار به حالت نیمه جامد درآید. بعد از مخلوط کردن در حدود ۱۰ دقیقه طول می‌کشد تا آگار کاملاً جامد شود. سپس پلیت را برگردانده و به‌صورت وارونه در انکوباتور در دمای ۳۵ به مدت ۴۸ ساعت قرار داده می‌شود. برای جلوگیری از اشتباهات مشخصات نمونه در دفتر ثبت می‌شود.

۳-۲-۳- محیط کشت R2A Agar

این نوع محیط کشت برای آزمایش باکتری‌های هتروتروف روش HPC به کار می‌رود. برای تهیه محیط کشت ابتدا ۱۵.۲ گرم از محیط R2A-Agar را وزن کرده و به یک لیتر آب مقطر داخل بشر یا ارلن به‌آرامی اضافه شود. به کمک یک مگنت روی شیکر محتویات آن هم زده شود. گرماساز دستگاه شیکر روشن شده و محیط کشت حرارت داده می‌شود. حرارت باید به‌گونه‌ای تنظیم شود تا از سرریز شدن محلول جلوگیری شود. پس از مدتی پودر محیط کشت شروع به حل شدن می‌کند. پس از حل شدن کامل پودر و صاف و شفاف شدن محیط کشت، محلول را از روی دستگاه برداشته و اجازه داده می‌شود تا کمی سرد شود (دمای آن به حدود ۶۰ درجه سانتی‌گراد برسد). بعد از سرد شدن، محیط کشت را توسط پیپت و پوآر به مقدار ۱۵.۲ سی‌سی داخل لوله‌های آزمایش ریخته و درب لوله‌ها بسته می‌شود. سپس لوله‌ها برای استریل کردن داخل اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که تعداد نمونه‌ها، حجمی از محیط کشت که داخل لوله‌ها ریخته می‌شود و زمان نگهداری محیط‌های تهیه‌شده از عواملی هستند که در میزان محیط کشت تهیه‌شده تأثیرگذار می‌باشند. محیط کشت مورد استفاده در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.



شکل ۳-۳- محیط کشت R2A Agar

۳-۳-۳- آماده سازی محیط کشت

با توجه به نیاز و تعداد نمونه‌ها، از محیط‌های کشت استریل شده که در یخچال نگهداری می‌شوند خارج شود و مدتی در دمای آزمایشگاه قرار می‌گیرد تا با محیط هم‌دم شود. سپس محیط کشت‌ها در بن ماری جوش قرار می‌گیرند. دستگاه حرارت دهنده روشن می‌شود. پس از جوشیدن آب و ذوب شدن کامل محیط‌های موجود در لوله، لوله‌های ذوب‌شده از بن ماری جوش خارج و در بن ماری تنظیم‌شده در دمای ۴۴-۴۶ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد. سپس صبر کرده تا محیط کشت با آب بن ماری هم‌دم گردد. پس از اطمینان از هم‌دمایی، محیط‌های کشت جهت وارد کردن به پلیت حاوی نمونه آماده می‌باشند. شکل (۳-۴) نحوه آماده‌سازی محیط کشت را نشان داده است.



شکل ۳-۴-آماده سازی و همدمایی محیط کشت برای انجام آزمون توسط بن ماری

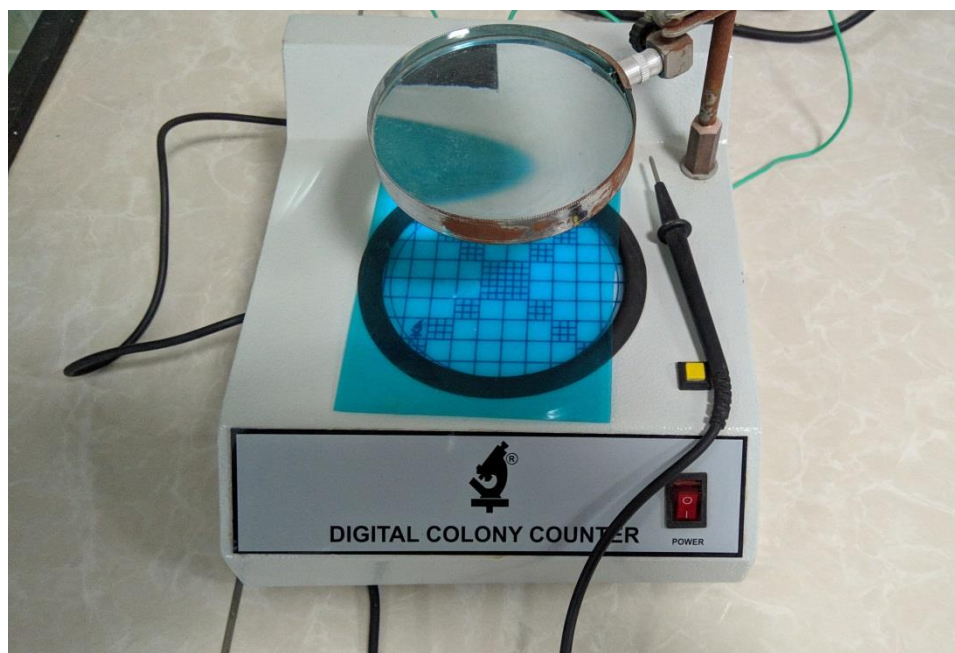
۳-۳-۴- شمارش کلنی ها

پس از پایان زمان انکوباسیون، بلافاصله اقدام به شمارش کلنی ها شده است. اگر امکان شمارش در آن زمان مقدور نیست، به صورت وارونه در دمای ۱۰ - ۵ درجه سانتی گراد در یخچال نگهداری شده است. زمان نگهداری کمتر از ۲۴ ساعت است.

بهترین وسیله برای شمارش کلنی ها در ایران، دستگاه شمارگر کلنی که دارای عدسی مناسب جهت بزرگنمایی است. در غیر این صورت می توانیم به صورت چشمی نیز شمارش را انجام داد.

واحد شمارش کلنی ها ^۱cfu است. در شکل (۳-۵) دستگاه شمارشگر کلنی نشان داده شده است.

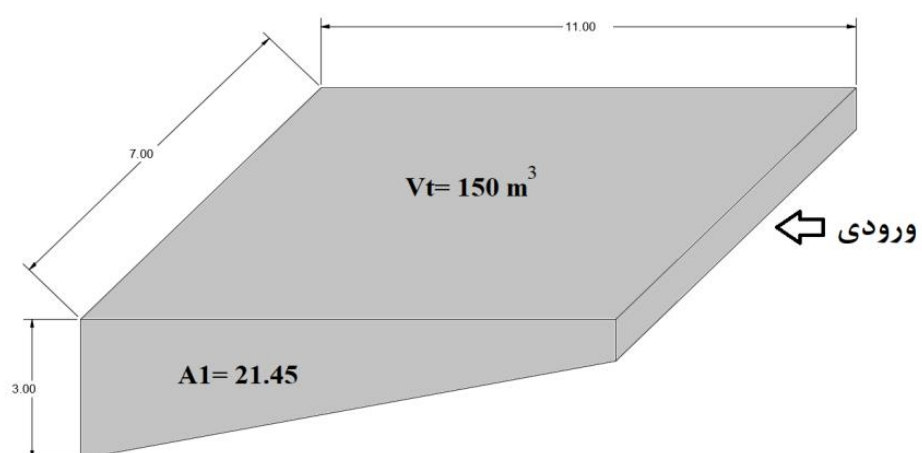
^۱ colony-forming unit



شکل ۳-۵- دستگاه شمارشگر کلنی یا شمارش کلنی

۳-۴- مشخصات هندسی استخر مورد مطالعه

پساب حاصل از شستشوی فیلترها در استخری با مشخصات هندسی زیر جمع‌آوری شده است. این استخر یک ورودی و ۳ خروجی دارد که با سه پمپ به ابتدای خط برای تصفیه دوباره ارسال می‌شوند که برای انجام آزمون یک پمپ را از مدار خارج و دستگاه میکرو نانو حباب ساز را به مدار وصل شده است. لازم به ذکر است که در هنگام انجام آزمون دو پمپ دیگر خاموش و جریان به صورت پیوسته در بوده است. در ادامه شماتیکی از مشخصات استخر در شکل (۳-۶) نشان داده شده است. همچنین نمایی از استخر به صورت عکس در شکل (۳-۷) نشان داده شده است. حجم کل استخر برابر با ۱۵۰ مترمکعب محدود شده است.



شکل ۳-۶- شماتیک حجم محدود استخر مورد مطالعه



شکل ۳-۷- تصویر واقعی استخر مورد مطالعه

۳-۵- شرح انجام آزمایش‌های کاهش HPC با استفاده از میکرو نانو حباب

فرایند آزمایش را در سه هندسه مختلف شامل محل قرارگیری خروجی لوله‌ها از دستگاه میکرو نانو حباب ساز به استخر در فاصله ۰.۱، ۱/۵ و ۳ متر از دیواره استخر و در هر حالت سه زمان متفاوت شامل یک و نیم، سه و پنج ساعت پس از کارکرد دستگاه نمونه‌برداری و آزمایش انجام شده است. در نهایت این روند برای دو غلظت متفاوت از میناب ازن با تغییر گاز ورودی ازن ژنراتور از اکسیژن به هوا انجام شده است.

مراحل انجام آزمون‌ها در جدول (۳-۲) نشان داده شده است.

جدول ۳-۲- مراحل انجام آزمایش‌ها

هندسه	گاز ورودی به ازن ژنراتور	۱/۵ ساعت کارکرد	۳ ساعت کارکرد	۵ ساعت کارکرد
هندسه یک هندسه دو هندسه سه	اکسیژن گرم بر ساعت	۷/۵	۱۵	۲۵
	هوا گرم بر ساعت	۳/۵	۶	۱۰

۳-۶- مدل‌سازی هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار OpenFOAM

۳-۶-۱- سیستم محاسباتی مورد استفاده در این پژوهش

جهت مدل‌سازی روند هیدرولیکی جریان آب حوضچه مورد مطالعه در این پژوهش از نرم‌افزار SALOME نسخه ۹.۳.۰ جهت رسم هندسه و نرم‌افزار OpenFOAM نسخه ۶ جهت پردازش و از نرم‌افزار ParaView نسخه ۵.۴.۱ برای پس پردازش در این برنامه استفاده شده است. همچنین

جهت اجرای این نرم افزارها، سیستم عامل UBUNTU نسخه ۱۸.۰۴ و روی رایانه ای با مشخصات جدول ۳-۳ به کار گرفته شده است.

جدول ۳-۳- مشخصات رایانه مورد استفاده در این پژوهش

مشخصات	قطعه ی سخت افزاری
Intel Xeon 2695	پردازشگر
512 GB	حافظه
Gallium 0.4 on llvmpipe	کارت گرافیک
32 GB	حافظه رم

۳-۶-۲- نرم افزار OpenFOAM

در این پژوهش برای بررسی رفتار هیدرولیکی جریان داخل حوضچه از نرم افزار اپن فوم استفاده شده است. این نرم افزار بر مبنای روش حجم محدود است. در روش حجم محدود، دامنه ی حل با استفاده از شبکه ی محاسباتی به سلول هایی که هر یک از آن ها یک حجم کنترل است، تقسیم می شود. تغییرهای وابسته در مرکز حجم ها (سلول ها) یا در گوشه ی آن ها محاسبه می شوند.

زمان نیز در حالت جریان های گذرا به تعدادی گام زمانی تقسیم می گردد و کل مدت زمان از ابتدا تا انتهای زمان حل را پوشش می دهد. بر اساس ویژگی های این نرم افزار می توان گفت که فرآیند حل یک مسئله در نرم افزار OpenFoam شامل سه مرحله است. این سه گام ضروری و لازم در مدل سازی دینامیک سیالات محاسباتی پیش پردازش^۱، پردازش^۲ و پس پردازش^۳ را شامل می گردد، به طوری که

^۱ Pre processing

^۲ Run

^۳ Post processing

این سه گام در پژوهش حاضر به ترتیب در نرم افزارهای SALOME ، OpenFoam و Paraview اجرا شده است.

۳-۶-۳- پیش پردازش

BlockMesh در نرم افزار این فوم برای ساخت هندسه و تولید فضای حل (مش)^۱، در نظر گرفته شده است. اما OpenFoam این امکان را به کاربر می دهد تا هندسه خود را در نرم افزارهای گرافیکی همچون Salome شبیه سازی کند و سپس به وسیله دستوراتی به نرم افزار OpenFoam وارد کند . از همین رو به دلیل هندسه پیچیده این پژوهش، هندسه مسئله در نرم افزار Salome شبیه سازی و مش بندی شده است و یک فایل با پسوند UNV استخراج شده است که به وسیله دستور IdeasUnvToFoam به openFoam وارد می شود و تبدیل به اطلاعات به شکل مناسب برای حل کننده شده است. عملیاتی که در مرحله پیش پردازش در فایل MESH_1.Unv انجام شده است به شرح زیر است:

- تعریف هندسه ی مسئله مورد نظر: محدوده محاسبات^۲

در این قسمت، محدوده محاسباتی در فایل Geometry به صورت مختصات رأس در قسمت Vertices تعریف می شود، هریک از رأس ها مقادیری را در راستای محورهای مختصات x، y و z به خود اختصاص می دهند. به وسیله این نقاط هندسه سه بعدی را با تعریف دیواره ها ، محل ورودی ، خروجی و هوا تعریف می کنیم.

- تعریف مش بندی هندسه رسم شده

¹ Mesh

² Computational domain

مش بندی هندسه رسم شده در نرم افزار Salome توسط ابزاری با دستور Mesh و از نوع NETGEN 3D انجام شده است .

در این پژوهش سه هندسه در نظر گرفته شده است. توصیف جریان در سیستم مختصات دکارتی (x,y,z) صورت گرفته است، که محور x خلاف جهت جریان، محور z موازی با ارتفاع حوضچه و محور y عمود بر سایر محورها است. بالاترین سطح مخزن در معرض سرعت ثابت جریان آزاد واقع شده است.

فرض بر این است که رفتار سیال درون مخزن نیوتنی است. شرایط آن هم‌دما، سیال غیرقابل تراکم و جریان حاکم در مخزن در حالت پایا با رژیم جریان آشفته است. که به صورت سه بعدی مدل سازی شد.

۳-۶-۴- پردازش

این بخش شامل تمامی تنظیمات قبل از حل مسئله است. جریان حاکم در حوضچه پایا و آشفته است، بنابراین از معادله های $RANS^1$ (معادله های متوسط زمانی برای حرکت جریان سیال) استفاده شده است. ایده ی تشکیل دهنده ی این معادله ها، معدل گیری از معادله ناویر استوکس به روش رینولدز است که به وسیله ی آن یک مقدار لحظه ای، به مقادیر متوسط زمانی و نوسانی خود تجزیه شده است. این معادلات جهت مدل سازی جریان در مخازن تصفیه آب و فاضلاب به کار گرفته شده اند. (Zhang and Martinez 2013)، (Zhang and Martinez 2014) و (Zhang 2014).
بعلاوه به منظور مدل سازی جریان آشفته در حوضچه های تثبیت فاضلاب می توان از مدل های مختلف آشفستگی که در کتابخانه ی نرم افزار OpenFOAM موجود است، استفاده کرد. برای حل معادله های متوسط گیری رینولدزی شده ناویر استوکس $RANS$ از مدل توربولنسی $k-\epsilon$ استاندارد در این پژوهش استفاده شده است (Wilcox 1998). سیال مورد استفاده ، آب ۲۰ درجه سلسیوس با فرض تراکم

¹ Reynolds Average Navier Stokes Equations

ناپذیری و خصوصیات فیزیکی ثابت (با چگالی ۹۹۸.۲ کیلوگرم بر مترمکعب و ویسکوزیته^۳ 1.0×10^{-3} کیلوگرم بر متر ثانیه) در نظر گرفته شد (Wood 1995). با توجه به مشخصات جریان برای حل مسئله از میان حل گرهای موجود در کتابخانه نرم افزار OpenFoam حل گر SimpleFoam استفاده شده است. تنظیمات قبل از حل شدن مسئله در فایل controlDict انجام می شود که شامل زمان شروع پردازش از لحظه ی صفر تا زمان پایان برابر با زمان کارکرد دستگاه در حوضچه است. پس از تنظیم سایر پارامترها در این قسمت، مسئله داده شده در قسمت قبلی حل می شود و با حل شدن مسئله اقدام به گرفتن اطلاعات لازم از نرم افزار می گردد. داده های تهیه شده توسط نرم افزار OpenFoam به صورت خام بوده و گرافیکی نیستند بدین منظور برای اطلاعات گیری گرافیکی به راحتی می توان از قسمت پس پردازش استفاده نمود.

۳-۶-۵- جزئیات حل گر انتخابی

در پژوهش حاضر فایل اصلی انتخاب شده از حل گر simpleFoam شامل سه زیرمجموعه 0، constant و system است.

فایل 0 مبین شرایط اولیه و شرایط مرزی مسئله است. در پوشه constant، خواص فیزیکی سیال موردنظر به علاوه آرام و آشفته بودن رژیم جریان و مدل آشفتگی تعریف می شود. فایل system شامل چهار زیرمجموعه به صورت فایل های setFieldsDict، fvScheme، fvSolution، controlDict است که به ترتیب هر کدام برای تنظیمات زیر تعریف شده اند:

- فایل setFieldsDict

در این فایل، مرز بین آب و هوا مشخص و تنظیمات مربوط به جریان دوفازی انجام شده است.

- فایل controlDict

تنظیمات مربوط به کنترل حل مانند زمان شروع و پایان حل، اندازه گام تکرار و گام زمانی برای خروجی به علاوه روش ذخیره اطلاعات حل در این فایل انجام شده است .

- فایل FVSolution

همه تنظیمات مربوط به حل گر، مقادیر باقیمانده، تعداد تکرارها، میزان خطا و مقداری خطای نسبی و همچنین نحوه حل دستگاه معادلات خطی برای هر یک از میدانهای متغیر شامل سرعت و فشار در این فایل مشخص می شود.

- فایل FVScheme

در این فایل نحوه ی گسسته سازی هر یک از عملگرهای دیفرانسیلی از جمله گرادیان، دیورژانس، لاپلاسین و کرل تعیین شده است.

مقصود از هر گسسته سازی تبدیل یک یا چند معادله ی دیفرانسیلی به یک دستگاه مشابه از معادلات جبری است.

روش گسسته سازی در openFoam روش حجم محدود است که این روش شامل سه گام اصلی است که تبدیل فضا، زمان و معادلات انتقال به فرم گسسته شده است .

مزیت های روش حجم محدود این است که به سبب حل شکل انتگرالی معادله های حاکم، بقای جرم، مومنتوم و انرژی به طور خودکار حفظ می شوند.

در پژوهش حاضر تنظیماتی که برای حل جریان و گسسته سازی معادلات انجام شده است در جدول ۳-۴ به طور خلاصه بیان شده است .

جدول ۳-۴- روش‌های گسسته سازی و حل معادلات در openfoam

Gauss linear	گرادیان
Gauss upwind	عبارت جابه‌جایی
Gauss linear corrected	عبارت دیفیوژن
Linear solver GAMG	حل گر خطی
Gauss Seidel	حل گر تکراری

۳-۶-۶- مروری بر روش‌های RANS

معادله‌های RANS، معادله‌های متوسط زمانی برای حرکت جریان سیال است. ایده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی این معادله‌ها، تجزیه‌ی رینولدز است که به‌وسیله‌ی آن یک مقدار لحظه‌ای، به مقادیر متوسط زمانی ونوسانی خود تجزیه‌شده است. از معادله‌های RANS برای توصیف جریان‌های آشفته استفاده می‌شود. این معادله‌های ارائه‌شده در رابطه (۳-۱) بر اساس خواص جریان آشفته، تقریبی از حل‌های متوسط زمانی معادله‌های ناویه استوکس را ارائه می‌دهند.

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[-\bar{p} \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u_i u_j} \right] \quad (۳-۱)$$

که در آن ρ چگالی، μ لزجت، $\rho \overline{u_i u_j}$ تنش‌های رینولدز، $\bar{u}_i$ سرعت متوسط است.

عبارت تنش رینولدز غیرخطی، نیاز به مدل‌سازی اضافی به‌منظور نزدیکی به معادله‌ی RANS برای حل شدن دارد. از میان مدل‌های ارائه‌شده در روش مدل‌سازی آشفتگی RANS، مدل‌های دو معادله‌ای برای مدل‌سازی جریان‌های آشفته مورد استفاده قرار گرفته‌اند. [۴۲]

بر این اساس در این پژوهش جهت مدل کردن آشفتگی از مدل K-ε استاندارد استفاده شده است.

۳-۶-۷- مدل استاندارد K-ε

رایج‌ترین مدل دو معادله‌ای تا آخرین دهه قرن بیستم مدل K-ε بود. به عبارتی شامل دو معادله انتقالی اضافی (رابطه ۳-۲ و ۳-۳) برای محاسبه خواص آشفتگی جریان است. اولین متغیر انتقالی، انرژی جنبشی آشفتگی یا k است و دومین متغیر انتقالی در این مدل، اتلاف آشفتگی یا ϵ است. هدف

از تدوین این مدل استخراج معادله‌ای دقیق برای ε و یافتن تقریب‌های بستاری مناسبی برای معادله حاکم بر عملکرد آن است. همچنین لزجت سینماتیکی آشفته‌گی از رابطه (۳-۴) قابل محاسبه است.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \frac{\rho \overline{u_i' u_j'} \partial u_j}{\partial x_i} - \rho \varepsilon \quad (3-2)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - c_{1\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon}{k} (\rho \overline{u_i' u_j'}) - c_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3-3)$$

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4-3)$$

در روابط مذکور v_t لزجت سینماتیکی آشفته‌گی، k انرژی جنبشی، ε نرخ اضمحلال آشفته‌گی، ρ چگالی، u سرعت جریان، μ لزجت دینامیکی جریان آرام، μ_T لزجت دینامیکی آشفته‌گی، $(\sigma_\varepsilon, C_\mu, \sigma_k, c_{1\varepsilon}, c_{2\varepsilon})$ از ثابت‌های معادله‌ی مدل (جدول ۳-۵) است.

۳-۶-۸- تعیین ضرایب موجود در مدل استاندارد K- ε

با مقایسه پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط مدل استاندارد K - ε و نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های تجربی، مقادیر تقریبی ثابت موجود در مدل استاندارد K - ε به‌صورت جدول ۳-۵ محاسبه خواهند شد.

جدول ۳-۵- ضرایب مورد استفاده در معادله‌های مدل استاندارد K- ε

σ_ε	C_μ	σ_k	$c_{1\varepsilon}$	$c_{2\varepsilon}$
۱/۳۰	۰/۰۹	۱	۱/۴۴	۱/۹۲

این مقادیر برای طیف وسیعی از جریان‌های مهندسی قابل استفاده هستند (Wilcox, D.C. 1998).

پس از تعریف این ضرایب در مدل، روابط ارائه‌شده برای محاسبه‌ی انرژی جنبشی آشفته‌گی و نرخ اضمحلال انرژی در مقطع ورودی، به‌عنوان شرایط مرزی در حل مسئله به کار گرفته می‌شود. بر این اساس رابطه‌ی (۳-۵) نشان‌دهنده‌ی انرژی جنبشی آشفته‌گی است.

$$K = \frac{3}{2} (U_{ref} T_i)^2 \quad (5-3)$$

که در آن k انرژی جنبشی آشفتگی، U سرعت متوسط و T_i شدت آشفتگی است. به طور کلی شدت آشفتگی برابر است با نسبت برآیند نوسانات سرعت به میانگین سرعت در یک جریان آشفته که بر اساس شرایط جریان به دسته‌های زیر تقسیم می‌شود.

- شدت آشفتگی زیاد: در این حالت جریان با سرعت زیاد در یک مسیر با شکل پیچیده مانند حرکت جریان در یک توربین، حرکت می‌کند. در این جریان‌ها، شدت آشفتگی بین ۵ تا ۲۰ درصد تغییر می‌کند.
- شدت آشفتگی متوسط: جریان‌هایی که در مسیرهای غیر پیچیده مانند لوله‌های بزرگ یا با سرعت کم در حرکت هستند، از این گروه جریان‌ها می‌باشند که دارای شدت آشفتگی بین ۱ تا ۵ درصد هستند.

- شدت آشفتگی کم: جریان‌هایی که از یک سیال ثابت به وجود می‌آیند دارای شدت آشفتگی کم هستند. این جریان‌ها معمولاً در اطراف ماشین‌ها، زیردریایی‌ها و هواپیماها اتفاق می‌افتد و دارای شدت آشفتگی کمتر از ۱ درصد است.

علاوه بر این، در این مدل بر اساس ضرایب ارائه شده می‌توان رابطه‌ی (۳-۶) را برای نرخ اضمحلال انرژی بیان کرد.

$$\varepsilon = C_{\mu}^{0.75} \frac{K^{1.5}}{l} \quad (۳-۶)$$

که در آن k انرژی جنبشی آشفتگی به دست آمده از رابطه‌ی (۳-۵)، l مقیاس طولی آشفتگی و C_{μ} یکی از ثابت‌های معادله‌ی مدل (جدول ۳-۵) است. جهت به دست آوردن طول آشفتگی در مدل‌سازی عددی توصیه‌های متفاوتی ارائه شده است. که یکی از پرکاربردترین آن‌ها استفاده از کوچک‌ترین بعد المان تولید شده در شبکه‌ی حل به عنوان طول آشفتگی است (Wilcox, D.C. 1998).

فصل ۴: تحلیل نتایج به دست آمده از تحقیق

۴-۱- مقدمه

نتایج حاصل از این تحقیق به دو بخش نتایج آزمایشگاهی و نتایج نظری (مدل سازی حوضچه استخر آب با نرم افزار openFoam) تقسیم شده است .

در بخش اول هندسه استخر توسط نرم افزار openFoam شبیه سازی شده است و روند هیدرولیکی جریان (خطوط جریان) برای به دست آوردن بهترین طرح اختلاط میناب در سه هندسه متفاوت مدل سازی شده است . نتایج حاصل از مدل سازی با عکس های گرفته شده تطبیق داده شد و انطباق چشمی به دست آمده است. انطباق کامل احتیاج به عکس های با زاویه مستقیم از بالا دارد که به دلیل طراحی حوضچه امکانات لازم برای این کار فراهم نگردید. تصاویر حاصل از جریان واقعی در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.



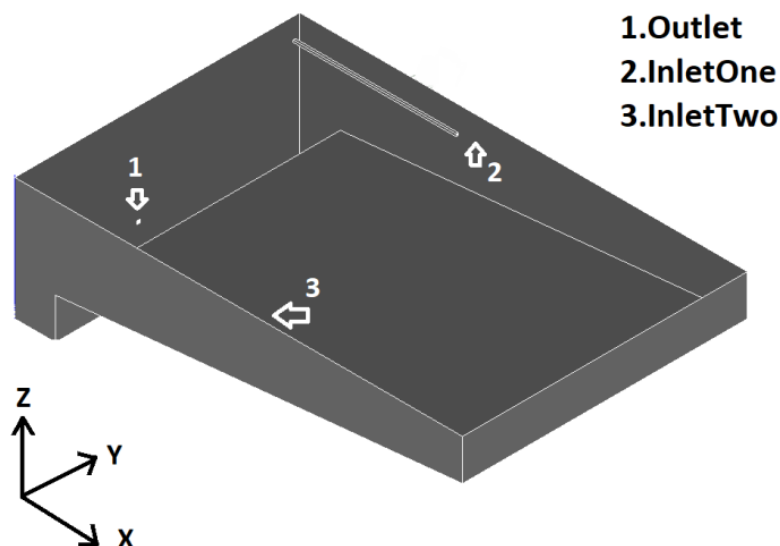
شکل ۴-۱- جریان واقعی شکل گرفته در حال کرکرد میناب در استخر پساب شستشوی فیلتر ها

بخش دوم شامل آزمایش‌های میکروبی (HPC) در سه هندسه، سه بازه زمانی کارکرد دستگاه تولید میکرو نانو حباب ازن (میناب) و دو نوع گاز ورودی به ازن ژنراتور انجام گرفته است.

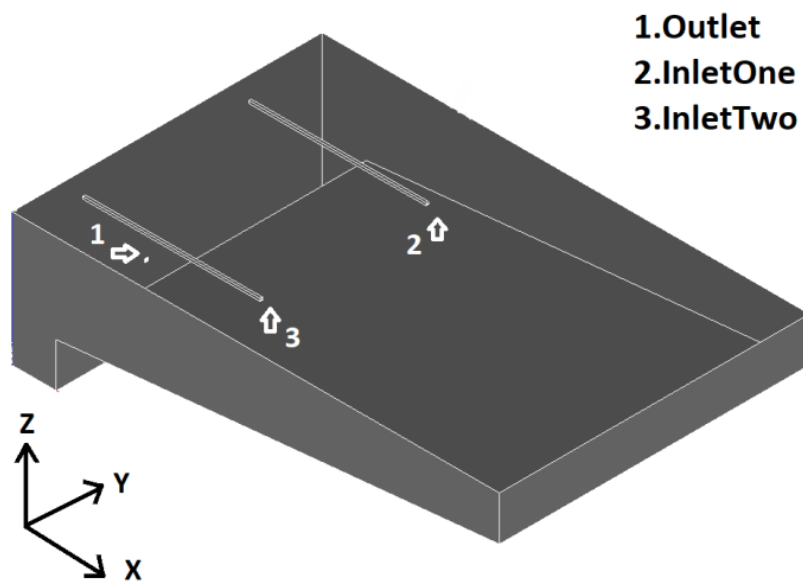
۲-۴- مدل سازی مسئله در نرم افزار OpenFoam

در این پژوهش جهت بررسی عملکرد هیدرولیکی و تعیین بهترین هندسه برای طرح اختلاط میناب ازن در استخر آب ریکآوری پرداخته شده است. این مدل سازی در سه هندسه متفاوت بررسی شده است که هر هندسه در شکل ۲-۴، ۳-۴ و ۴-۴ نشان داده شده است. در جداره‌ها و کف استخر از شرط مرزی عدم لغزش استفاده شده است، این هندسه‌ها به صورت سه بعدی مدل سازی شده‌اند. با توجه به اینکه دقت حل مسئله به تعداد شبکه سلول‌ها بستگی دارد در گام بعدی برای شبکه بندی محدوده‌ی محاسباتی شبکه یکنواخت و دینامیک انتخاب شد، به طوری که طول حداکثر هر المان محدود به ۰.۰۵ متر در نظر گرفته شده است.

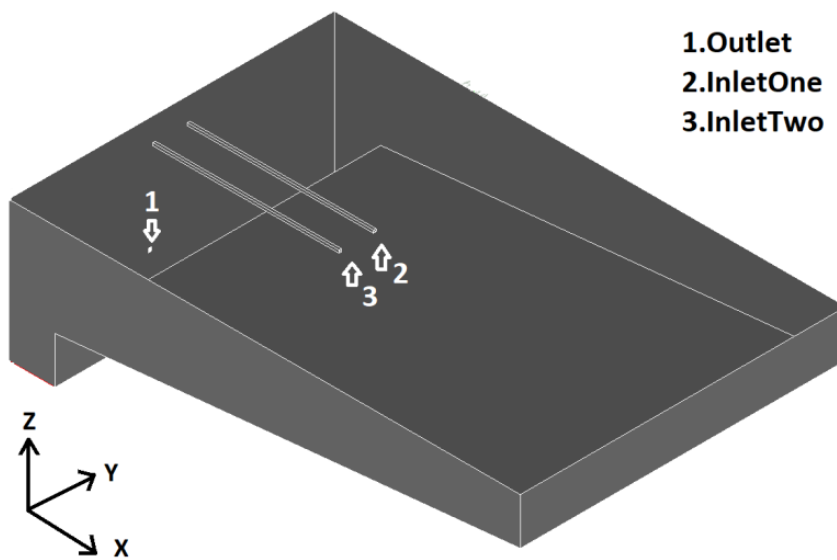
در تمامی هندسه‌ها از دو لوله به قطر ۶ اینچ و به طول ۴ متر در ارتفاع ۰.۵ متر زیر سطح آب استفاده شده است. فاصله‌ی لوله‌ها از دیواره در هندسه اول (شکل ۱-۴)، هندسه دوم (شکل ۲-۴) و هندسه سوم (شکل ۳-۴) به ترتیب برابر با ۰، ۱/۵ و ۳ متر است. و در تمامی هندسه‌ها محل خروجی ثابت است.



شکل ۲-۴- شماتیک هندسه اول استخر و محل قرارگیری خروجی و ورودی‌ها



شکل ۴-۳- شماتیک هندسه دوم استخر و محل قرارگیری خروجی و ورودی‌ها

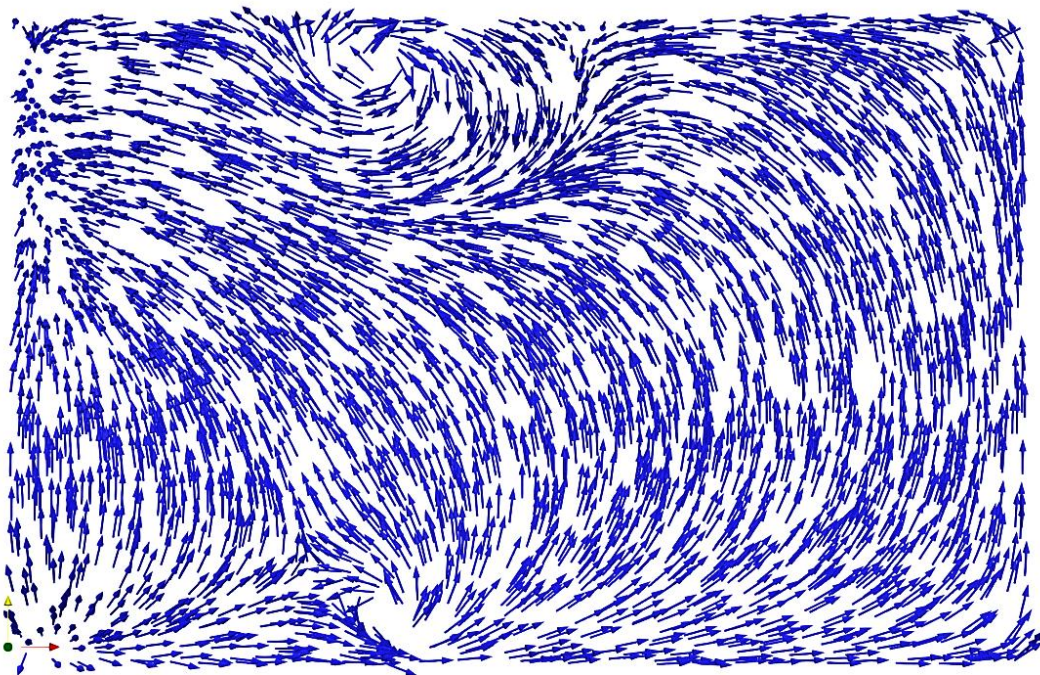


شکل ۴-۴- شماتیک هندسه سوم استخر و محل قرارگیری خروجی و ورودی‌ها

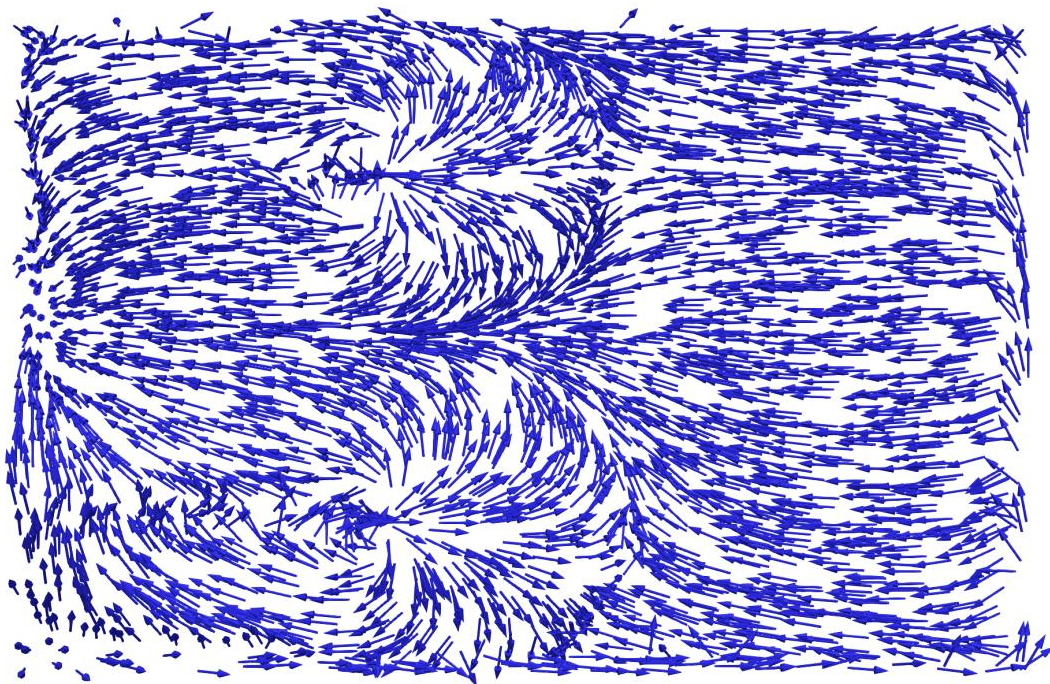
۴-۲-۱- نتایج حاصل از مدل سازی هیدرولیکی استخر آب ریکاوری

در مرحله پس پردازش با استفاده از نرم افزار paraview نتایج به دست آمده از حلگر SimpleFoam به صورت گرافیکی نمایش داده شده است. مقایسه روند هیدرولیکی به دست آمده در سه هندسه نشان می دهد که بیشترین اختلاط میناب ازن با آب استخر در هندسه شماره دو اتفاق افتاده است که صحت نتایج به دست آمده از مرحله آزمایشگاهی را تأیید می کند. چراکه در آزمایشگاه هم بیشترین درصد کاهش بار میکروبی (HPC) در هندسه دوم اتفاق افتاده است.

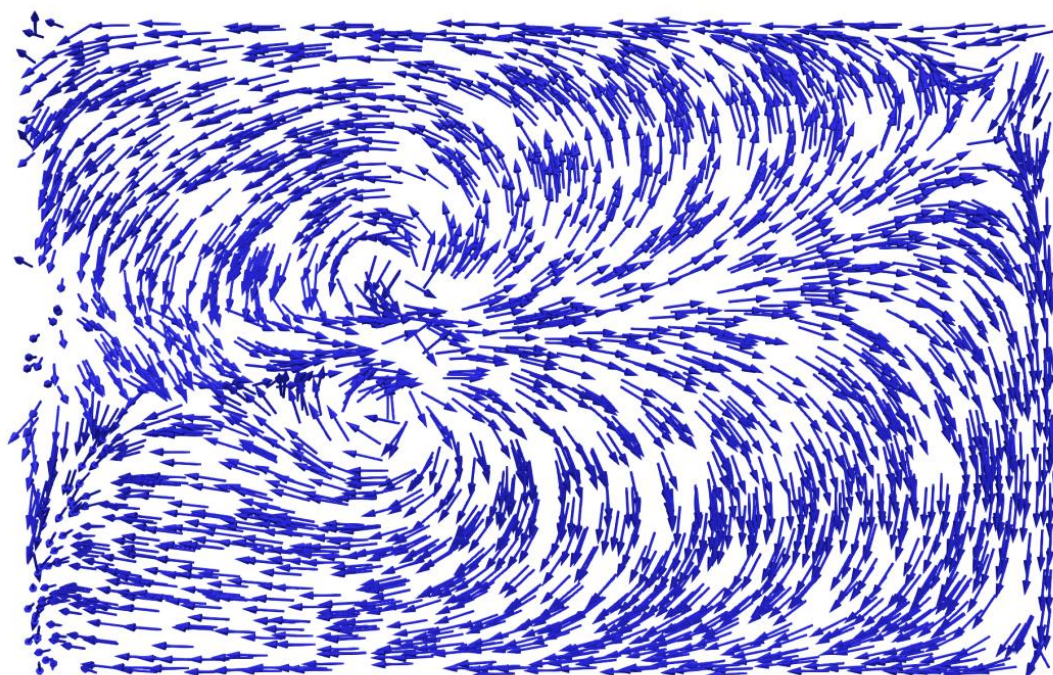
روند هیدرولیکی به دست آمده از سه هندسه در شکل ۴-۵، ۴-۶ و ۴-۷ در عمق ۰.۵ متری از سطح آب نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- روند هیدرولیکی جریان میناب در استخر ریکاوری آب هندسه اول



شکل ۴-۶- روند هیدرولیکی جریان میناب در استخر ریکاوری آب هندسه دوم



شکل ۴-۷- روند هیدرولیکی جریان میناب در استخر ریکاوری آب هندسه دوم

۳-۴- اثر میکرو نانو حباب ازن بر کاهش جمعیت باکتری های هتروتروف

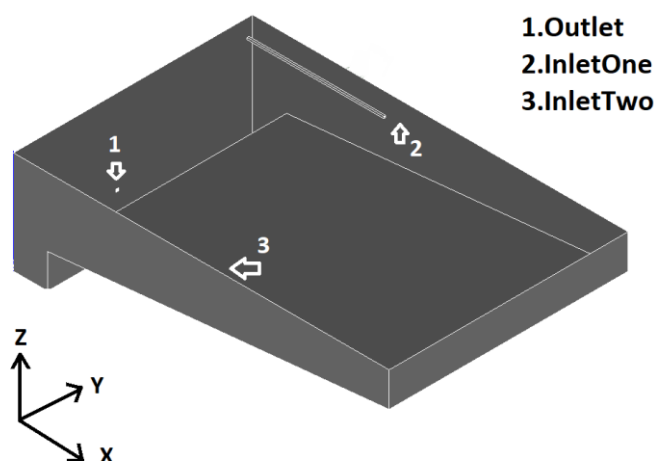
۱-۳-۴- هندسه اول

در این حالت محل خروجی لوله‌ها در فاصله ۱۰ سانتی متری دیواره استخر در جهت محور x و در عمق ۵۰ سانتی متری از سطح آب است که در سه بازه زمانی کارکرد متفاوت دستگاه تولید میکرو نانو حباب ازن (میناب) فرایند آزمون میکروبی (HPC) طبق جداول ۱-۴، ۲-۴ و ۳-۴ نتایج زیر به دست آمده است. همچنین شماتیک هندسه اول استخر آب ریکآوری در شکل ۴-۸ نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۱-۳ وزن خروجی از دستگاه ازن ژنراتور با اتصال اکسیژن به دستگاه برابر ۵ گرم بر ساعت است. لذا سه نمونه با سه زمان کارکرد متفاوت یعنی وزن های ازن به ترتیب ۷.۵، ۱۵ و ۲۵ گرم بر ساعت تولید شده است.

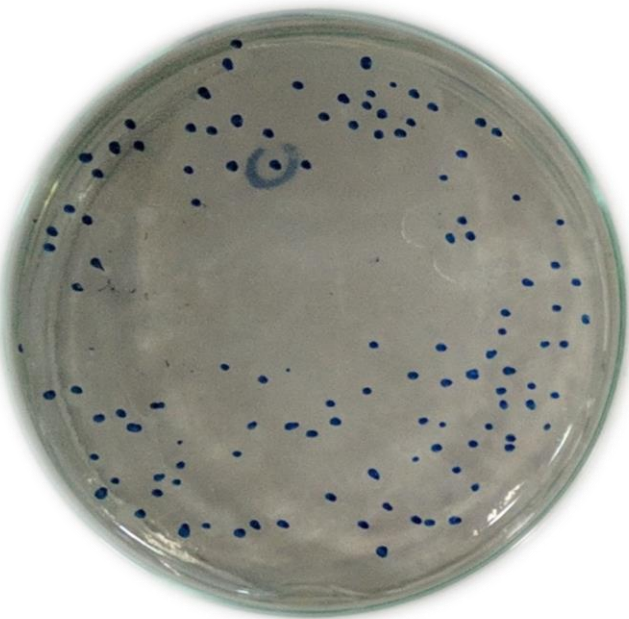
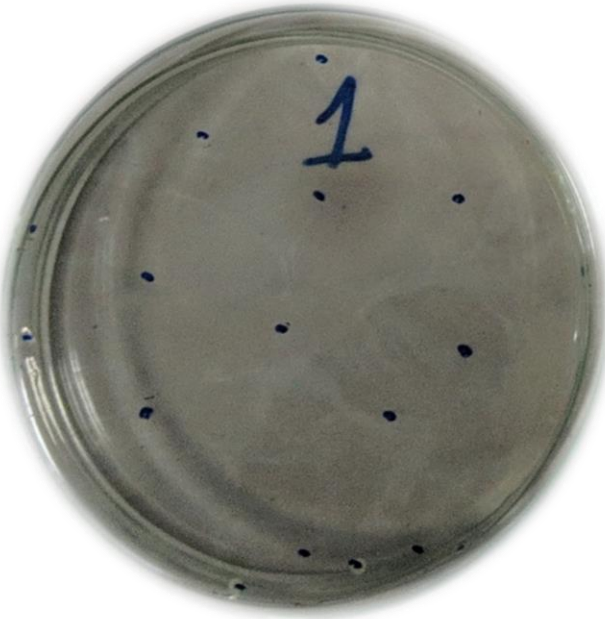
در تمامی هندسه‌ها، حجم استخر برابر با ۱۵۰ مترمکعب و دبی خروجی هر دستگاه برابر با ۳۳ مترمکعب بر ساعت است لذا هر ۱۵۰ دقیقه یکبار کل حجم استخر وارد و خارج دستگاه‌ها شده است.

در این حالت برای تولید گاز ازن یک کپسول اکسیژن به صورت مستقیم به دستگاه ازن ژنراتور متصل شده است و به این ترتیب ۵ گرم بر ساعت به استخر میناب ازن وارد شده است.

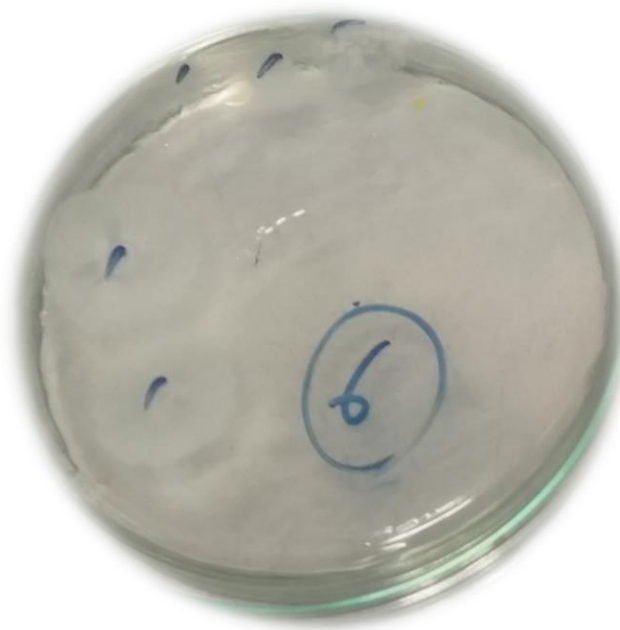


شکل ۴-۸- شماتیک هندسه اول و محل قرارگیری خروجی و ورودی‌ها به استخر ریکآوری آب

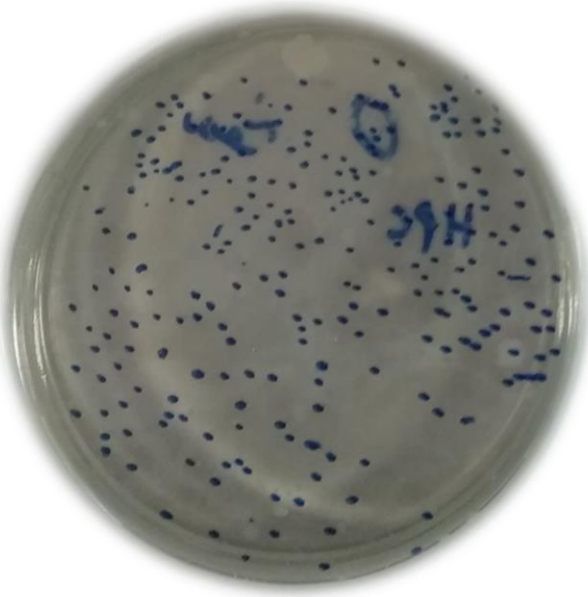
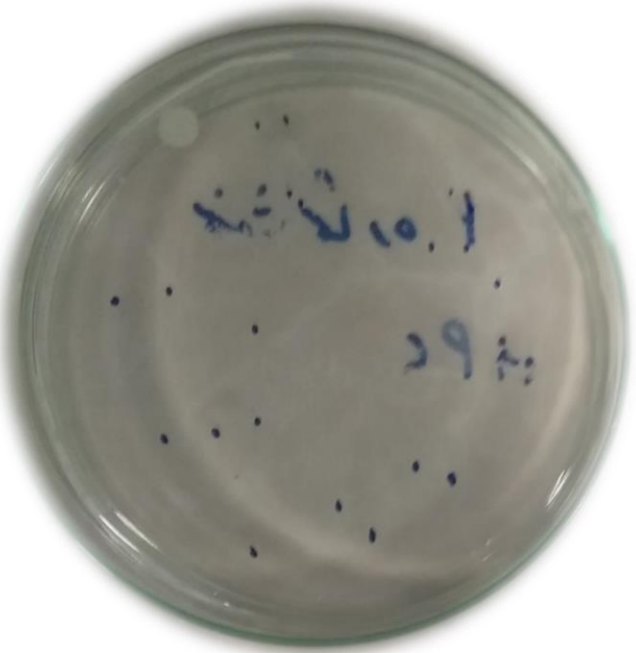
جدول ۴-۱ نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکاوری در هندسه اول

میزان ازن تزریق شده : ۷/۵ گرم	
آزمایش شماره یک	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۵
	ساعت نمونه برداری : ۸:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۰:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۷
	HPC : ۱۵۱
	نمونه شماره یک تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۵
	ساعت نمونه برداری : ۱۰:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۰:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۷
	HPC : ۱۴ درصد حذف : ۹۰/۷۳

جدول ۴-۲- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه اول

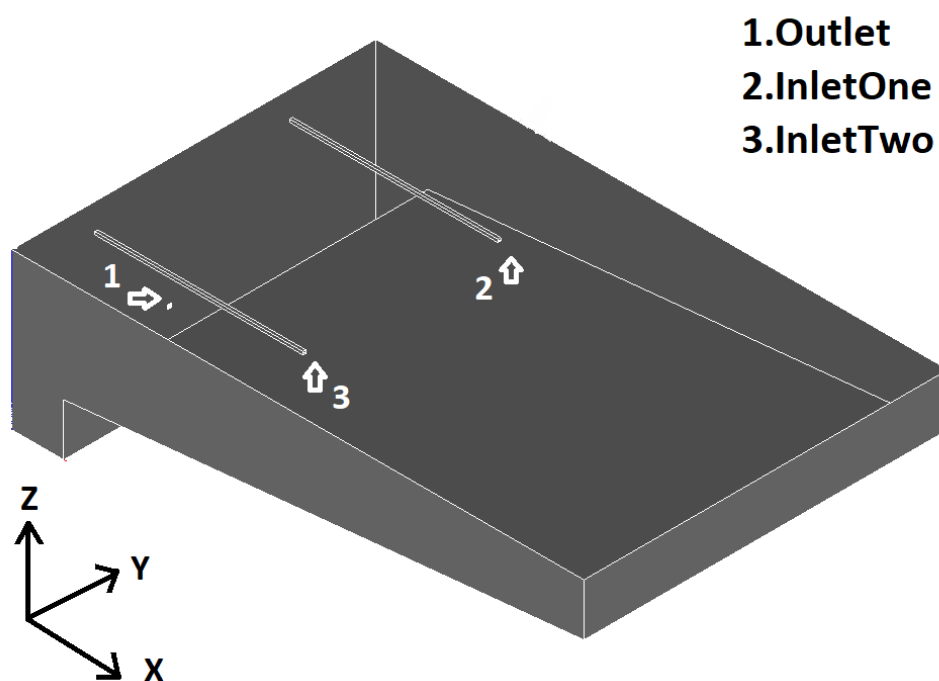
میزان ازن تزریق شده : ۱۵ گرم	
آزمایش شماره دو	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۵
	ساعت نمونه برداری : ۰۹:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۰۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۲:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۷
	HPC : ۱۷۲
	نمونه شماره دو تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۵
	ساعت نمونه برداری : ۱۲:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۲:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۷
	HPC : ۶ درصد حذف : ۹۶/۵۱

جدول ۳-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکلوری در هندسه اول

میزان ازن تزریق شده : ۲۵ گرم	
آزمایش شماره سه	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۵
	ساعت نمونه برداری : ۹:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۰۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۴:۰۰
	جواب آزمون تاریخ : ۹۷/۱۱/۱۷
	HPC : ۲۴۸
	نمونه شماره سه تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۵
	ساعت نمونه برداری : ۱۴:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۴:۰۰
	جواب آزمون تاریخ : ۹۷/۱۱/۱۷
	HPC : ۲۰ درصد حذف : ۹۱/۹۴

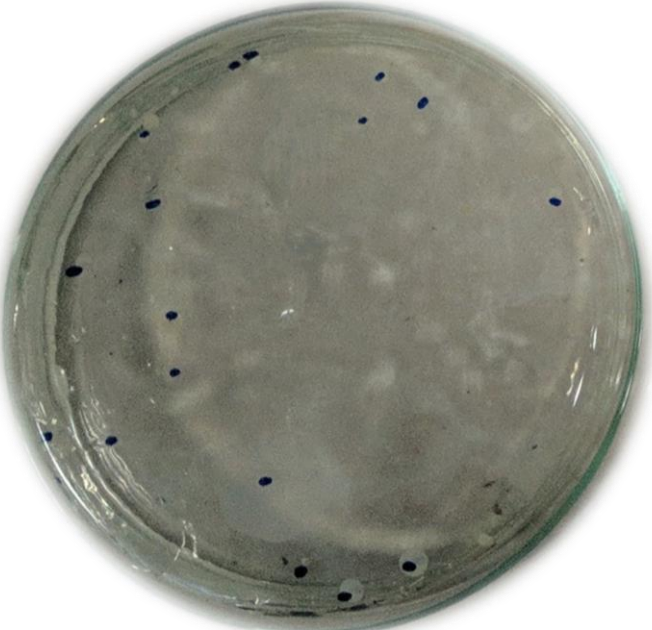
۴-۳-۲- هندسه دوم

در این حالت محل خروجی لوله‌ها در فاصله ۱ و نیم متری دیواره استخر در جهت محور x و در عمق ۵۰ سانتی‌متری از سطح آب است که در سه بازه زمانی کارکرد متفاوت دستگاه تولید میکرو نانوحباب ازن (میناب) فرایند آزمون میکروبی (HPC) طبق جداول ۴-۴، ۵-۴ و ۶-۴ نتایج زیر به دست آمده است. همچنین شماتیک هندسه دوم استخر آب ریکواری در شکل ۴-۹ نشان داده شده است.

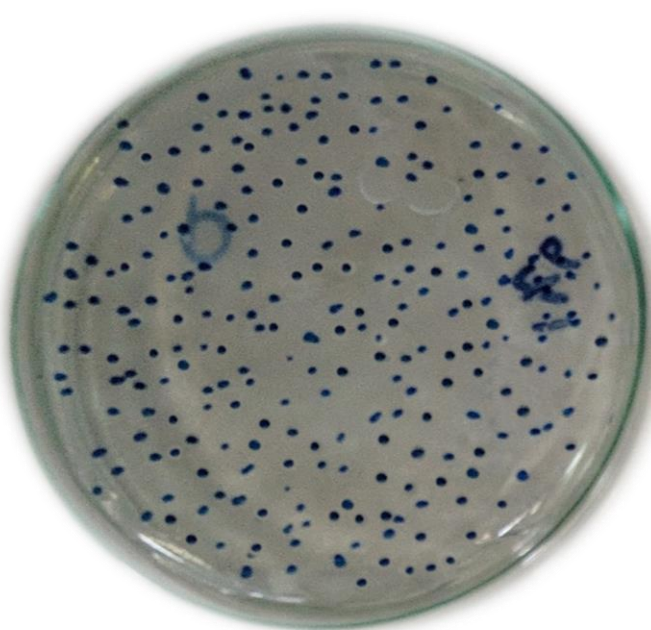
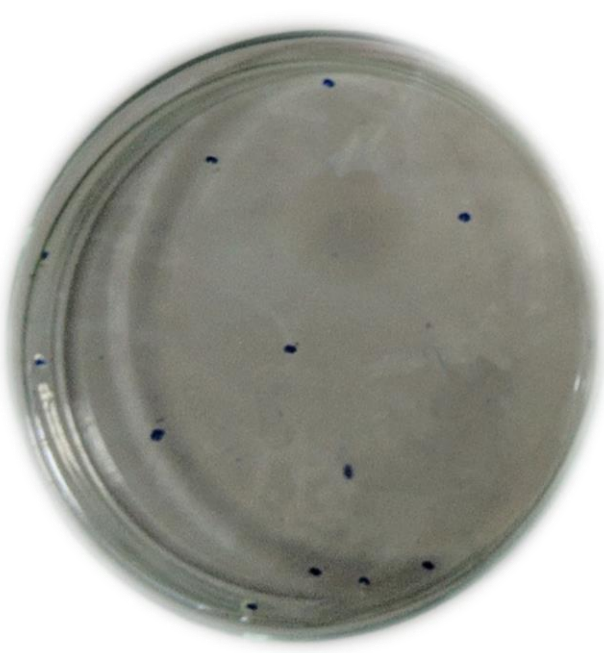


شکل ۴-۹- شماتیک هندسه دوم و محل قرارگیری خروجی و ورودی‌ها به استخر ریکواری آب

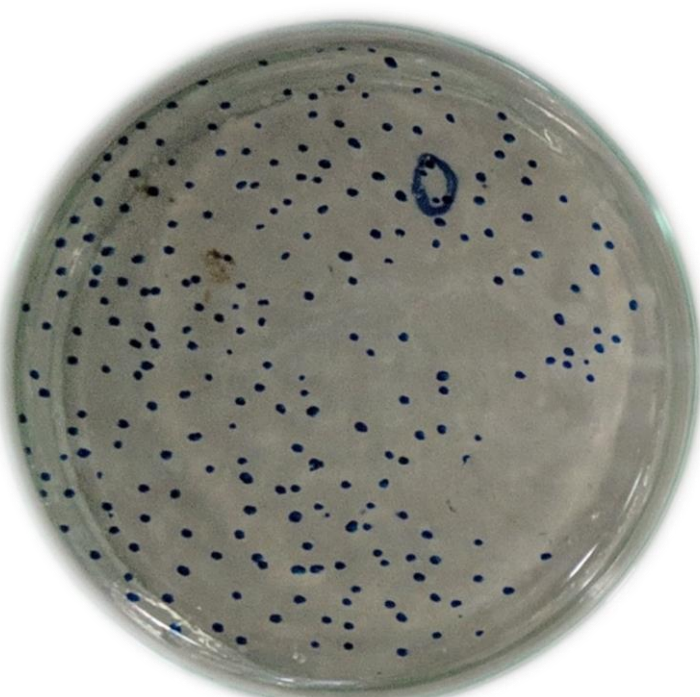
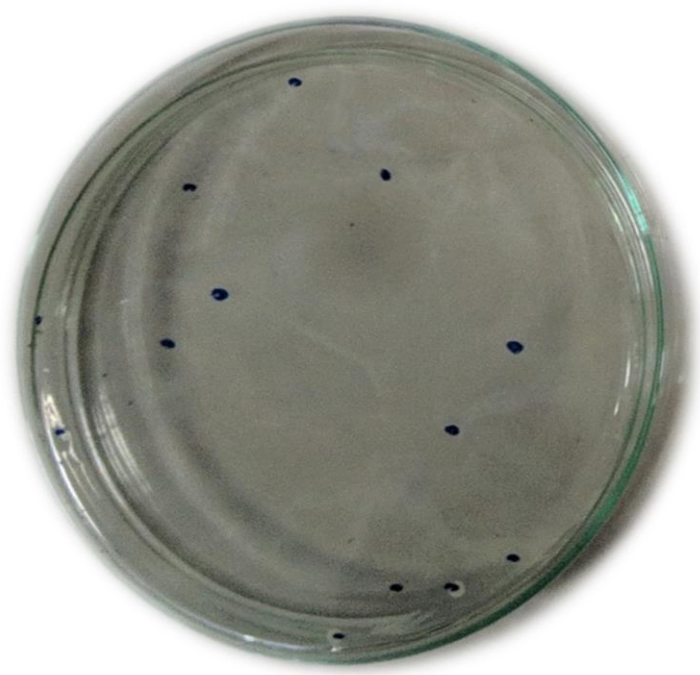
جدول ۴-۴- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه دوم

میزان ازن تزریق شده : ۷/۵ گرم	
آزمایش شماره یک	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۸:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۰:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۱۹۳
	نمونه شماره یک تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۱۰:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۰:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۱۷ درصد حذف : ۹۱/۱۹

جدول ۴-۵- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکاوری در هندسه دوم

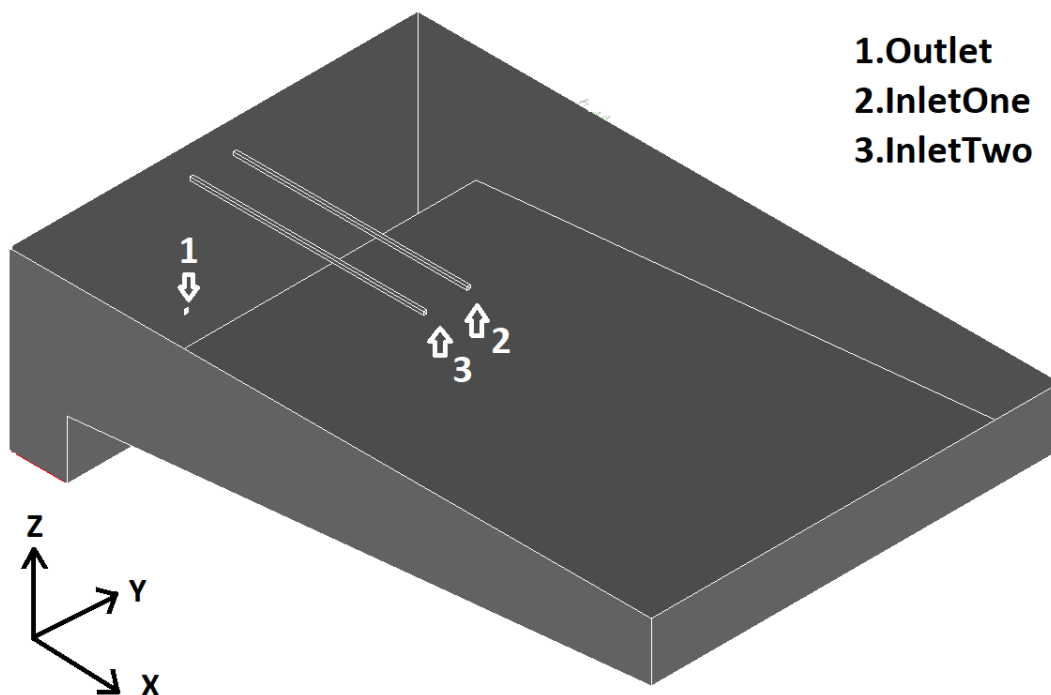
میزان ازن تزریق شده : ۱۵ گرم	
آزمایش شماره دو	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۰۹:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۰۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۲:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۲۶۳
	نمونه شماره دو تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۱۲:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۲:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۱۱ درصد حذف : ۹۵/۸۲

جدول ۴-۶- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکاوری در هندسه دوم

میزان ازن تزریق شده : ۲۵ گرم	
آزمایش شماره سه	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۹:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۰۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۴:۰۰
	جواب آزمون تاریخ : ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۲۴۴
	نمونه شماره سه تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۱۴:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۴:۰۰
	جواب آزمون تاریخ : ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۱۳ درصد حذف : ۹۴/۶۷

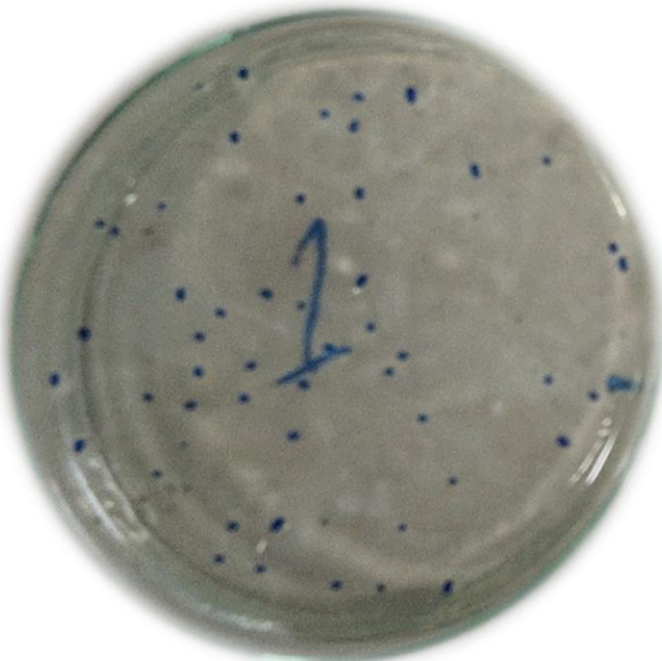
۳-۳-۴- هندسه سوم

در این حالت محل خروجی لوله‌ها در فاصله سه متری دیواره استخر در جهت محور x و در عمق ۵۰ سانتی‌متری از سطح آب است که در سه بازه زمانی، کارکرد متفاوت دستگاه تولید میکرو نانو حباب ازن (میناب) فرایند آزمون میکروبی (HPC) طبق جداول ۷-۴، ۸-۴ و ۹-۴ نتایج زیر به دست آمده است. همچنین شماتیک هندسه سوم استخر آب ریکاوری در شکل ۱۰-۴ نشان داده شده است.

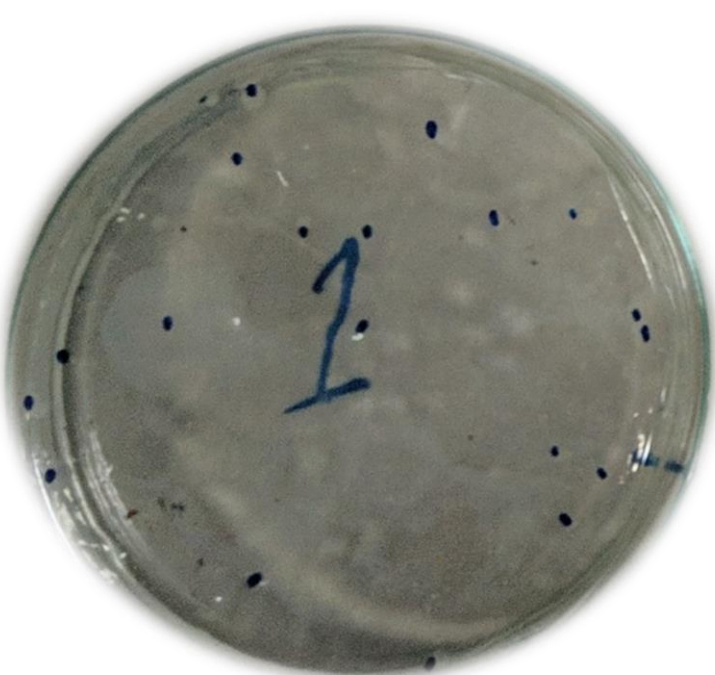


شکل ۱۰-۴- شماتیک هندسه سوم و محل قرارگیری خروجی و ورودی‌ها به استخر ریکاوری آب

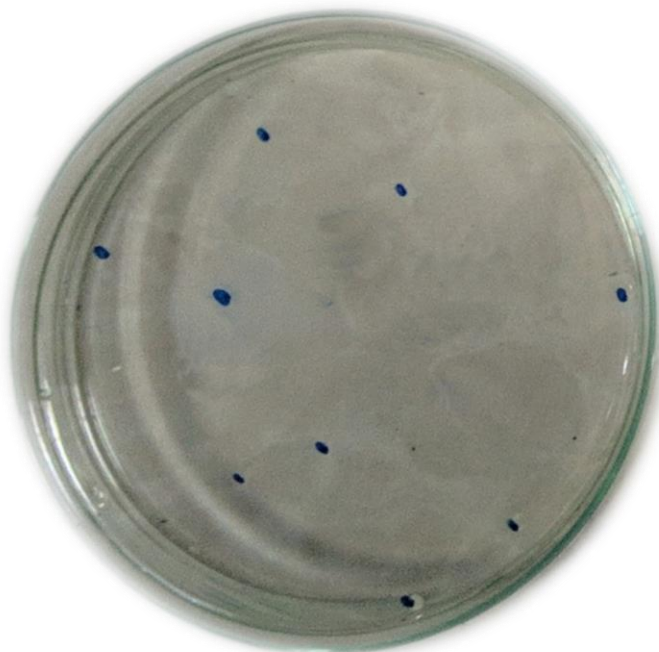
جدول ۴-۷- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکاوری در هندسه سوم

میزان ازن تزریق شده : ۷/۵ گرم	
آزمایش شماره یک	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۸:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۰:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۳۱۱
	نمونه شماره یک تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۱۰:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۰:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۵۱ درصد حذف : ۸۳/۶۰

جدول ۴-۸- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکاوری در هندسه سوم

میزان ازن تزریق شده : ۱۵ گرم	
آزمایش شماره	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۰۹:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۰۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۲:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۳۲۶
	نمونه شماره دو تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۱۲:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۲:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۱۸ درصد حذف : ۹۴/۴۸

جدول ۴-۹- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکاوری در هندسه سوم

میزان ازن تزریق شده : ۲۵ گرم	
آزمایش شماره سه	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۹:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۰۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۴:۰۰
	جواب آزمون تاریخ : ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۲۷۶
	نمونه شماره سه تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۹
	ساعت نمونه برداری : ۱۴:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۴:۰۰
	جواب آزمون تاریخ : ۹۷/۱۱/۲۱
	HPC : ۹ درصد حذف : ۹۶/۷۴

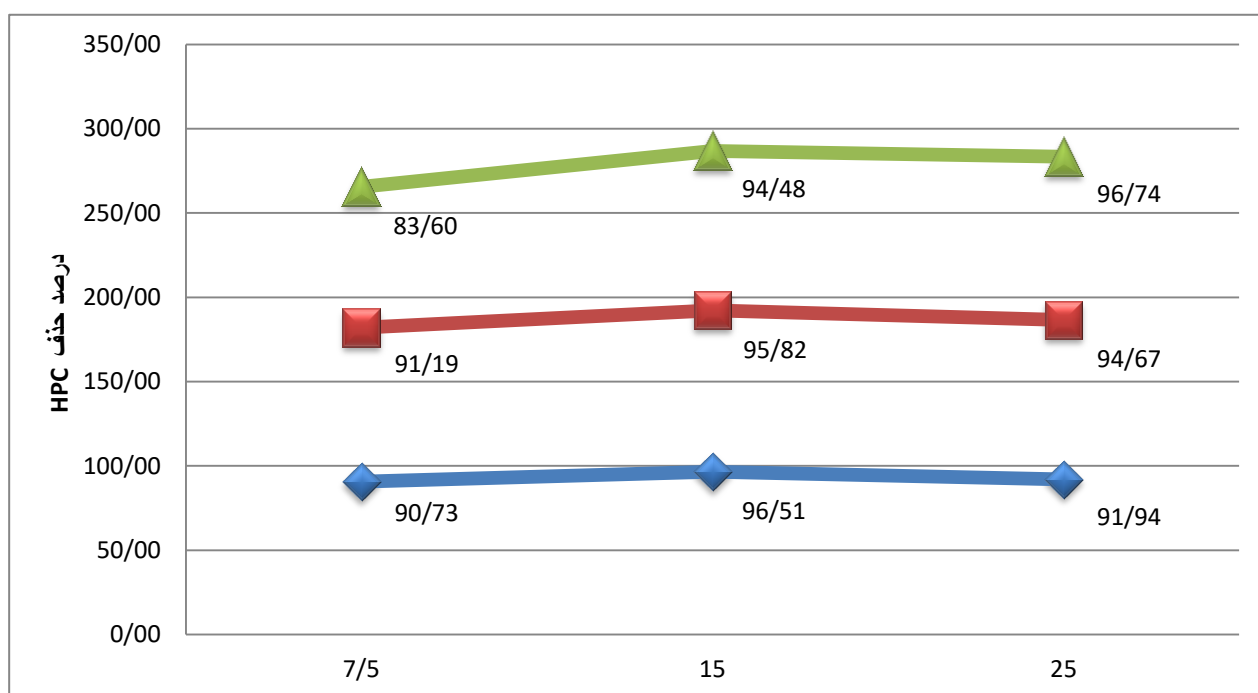
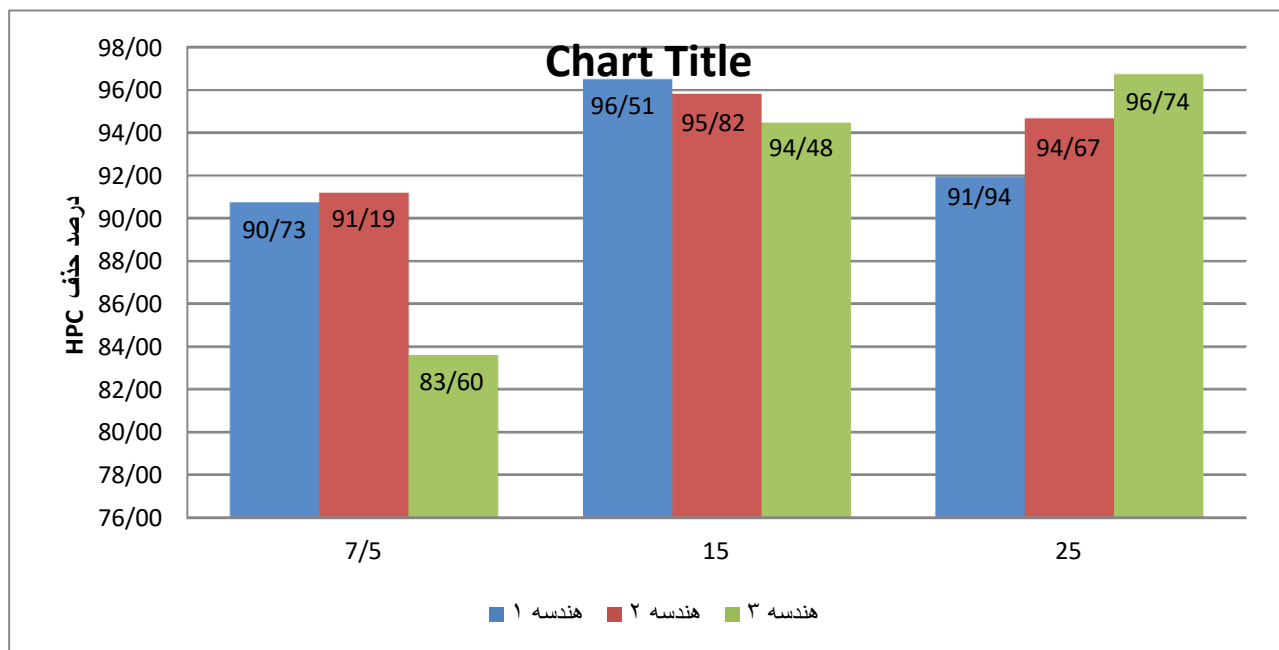
۴-۳-۴- مقایسه درصد حذف جمعیت باکتری های هتروتروف در سه هندسه

از شکل ۴-۱۱- چنین استنباط می شود که اختلاط بهتر حوضچه در هندسه دوم دیده می شود که منتج به کاهش بیشتر باکتری می گردد. نتیجه دیگر این که عملاً پس از تزریق میزان ۱۵ گرم ازن که پس از سه ساعت کارکرد دستگاه و رسیدن به غلظت اسمی $\frac{Mg}{L} = 100 \cdot \frac{g}{m^3} = 0.1$ حاصل شده است تحت هر شرایطی بیش از ۹۰٪ باکتری ها را حذف می کند.

کاهش درصد میزان حذف در ۲۵ گرم به نسبت ۱۵ گرم تزریق قابل توجه نیست چون در حضور ازن امکان رشد باکتری وجود ندارد و این کاهش به دلیل خطاهای مرسوم در آزمایش های میکروبیولوژی است. درصد خطای مجاز در آزمایش های میکروبیولوژی ۱۰٪ است.



شکل ۴-۱۱- مقایسه درصد حذف جمعیت باکتری های هتروتروف در سه هندسه مختلف

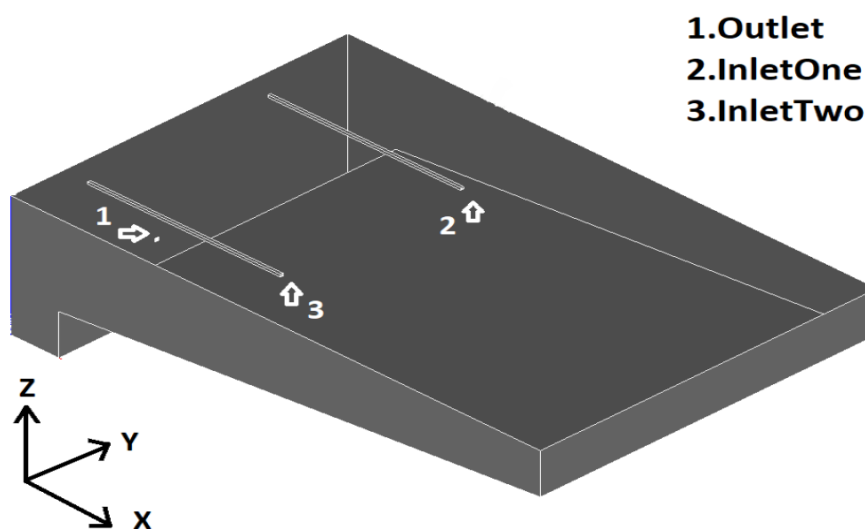


۴-۳-۵- تزریق هوا به جای اکسیژن به مولد ازن ژنراتور

با توجه به این مسئله که در مرحله قبل مشخص گردید بهترین هندسه برای توزیع میناب ازن هندسه شماره دوم است لذا در این حالت تنها هندسه دوم انتخاب شده است و همانند قبل زمان‌های کارکرد دستگاه را در سه بازه زمانی ۱۸۰،۹۰ و ۳۰۰ دقیقه و با تزریق میناب حباب مورد آزمون و آزمایش میکروبی (HPC) قرار داده‌ایم و نتایج زیر در جداول ۴-۱۰، ۴-۱۱ و ۴-۱۲ به دست آمده است. همچنین شماتیک هندسه دوم استخر آب ریکآوری در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است.

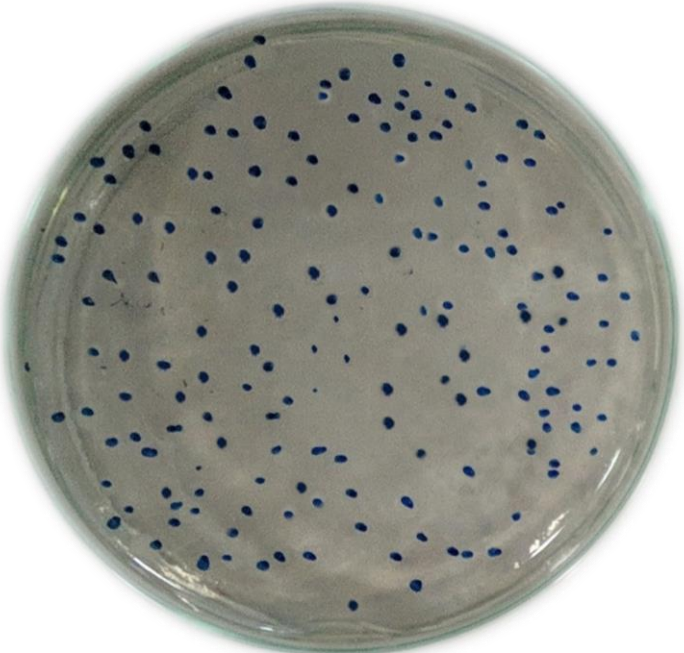
در این حالت ورود گاز اکسیژن به دستگاه ازن ژنراتور قطع می‌گردد و تنها هوای خالی وارد ازن ژنراتور می‌گردد و خروجی ازن با توجه به جدول ۳-۱ به ۲ گرم بر ساعت کاهش پیدا کرده است.

هندسه مورد استفاده در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است. همچنین درصد حذف در شکل ۴-۱۳ نشان داده شده است.

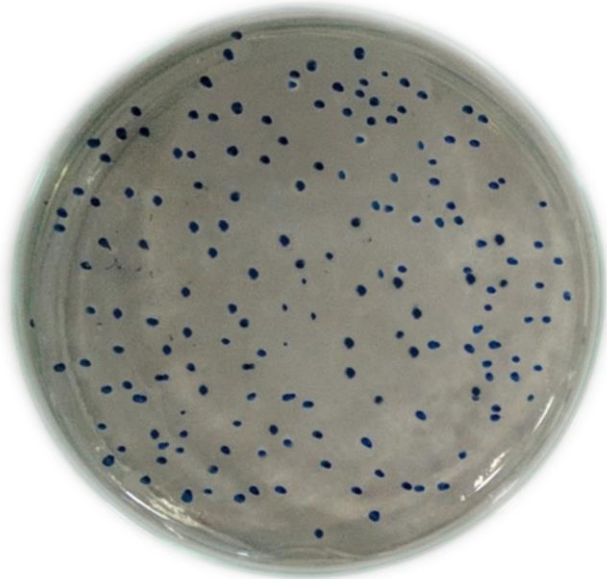
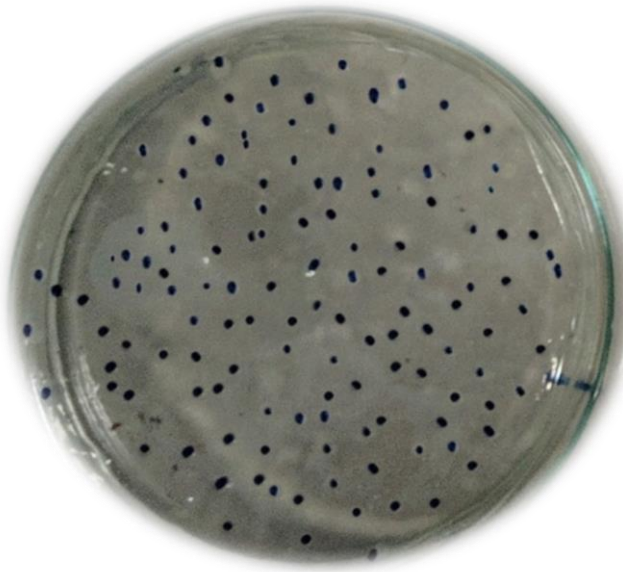


شکل ۴-۱۲- شماتیک هندسه دوم و محل قرارگیری خروجی و ورودی‌ها به استخر ریکآوری آب

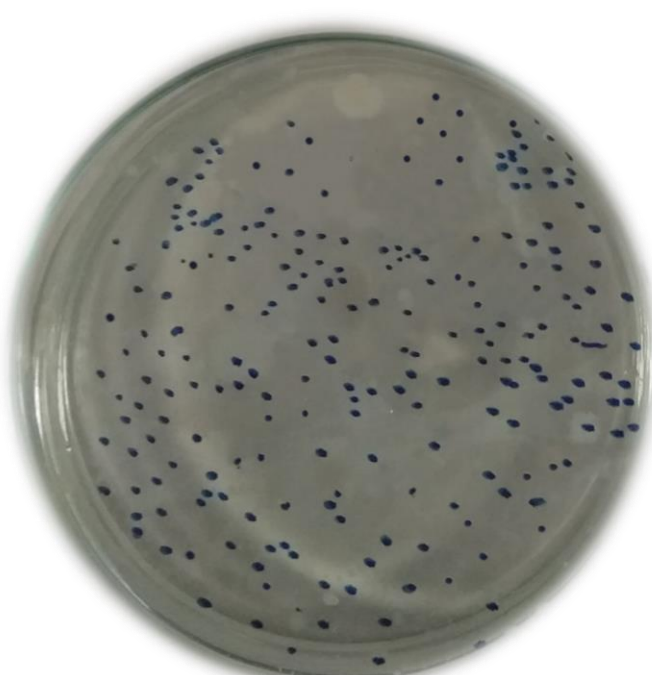
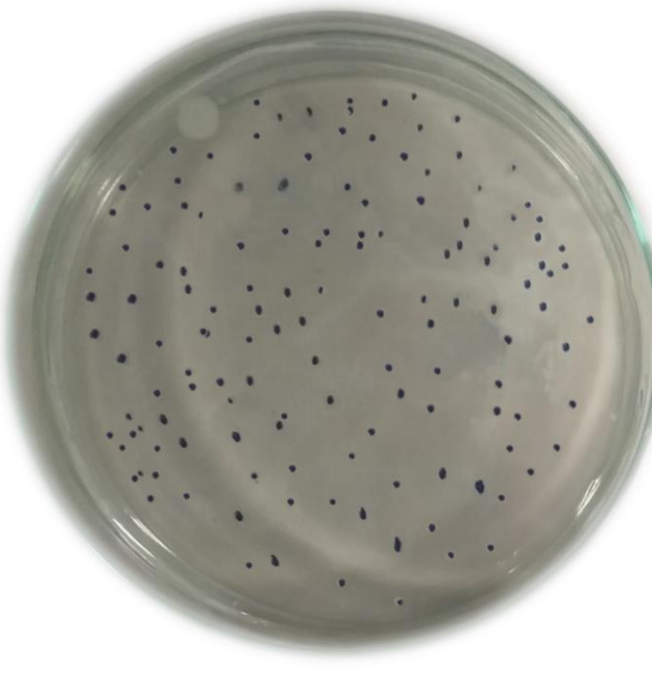
جدول ۴-۱۰- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکاوری در هندسه دوم

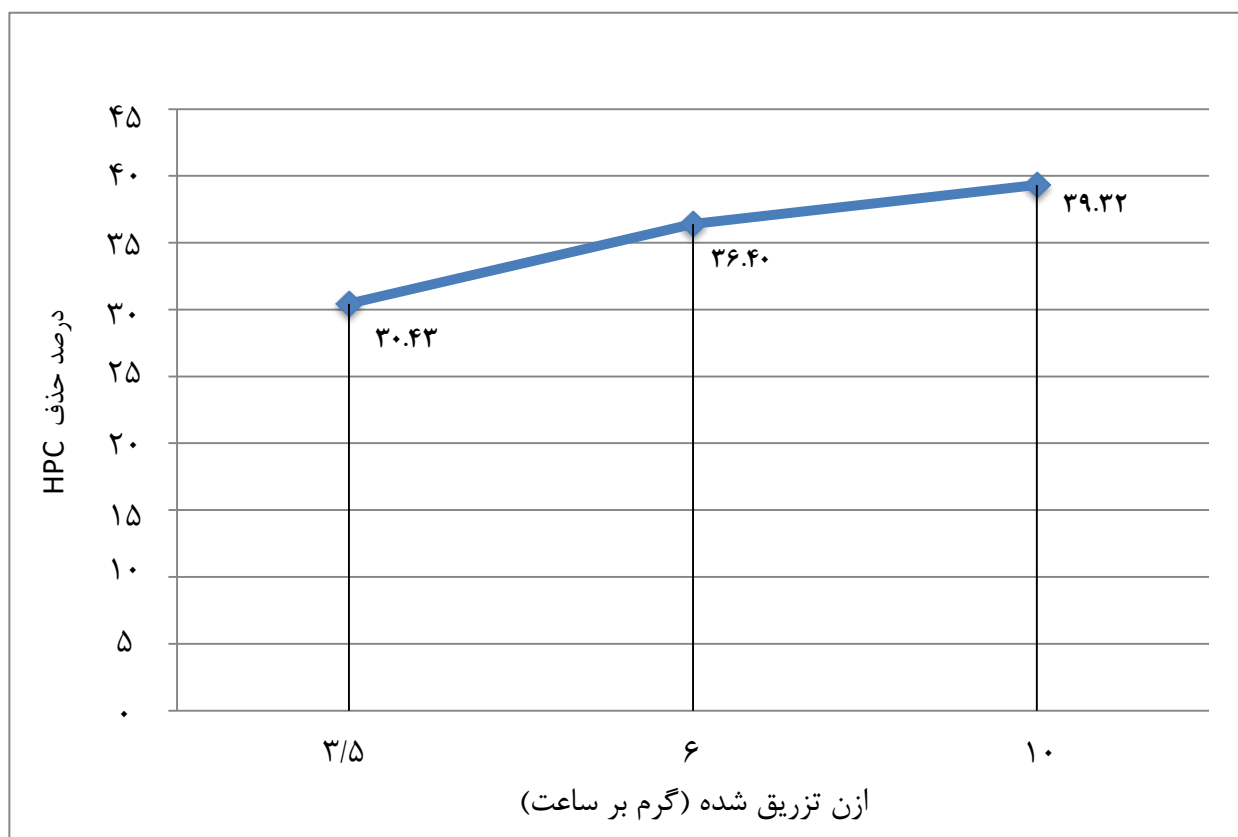
میزان ازن تزریق شده : ۳/۵ گرم	
آزمایش شماره یک	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۲
	ساعت نمونه برداری : ۸:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۰:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۴
	HPC : ۱۶۱
	نمونه شماره یک تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۲
	ساعت نمونه برداری : ۱۰:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۰:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۴
	HPC : 112 درصد حذف : ۳۰/۴۳

جدول ۴-۱۱- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکآوری در هندسه دوم

میزان ازن تزریق شده : ۶ گرم	
آزمایش شماره دو	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۲
	ساعت نمونه برداری : ۰۹:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۰۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۲:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۴
	HPC : ۲۲۸
	نمونه شماره دو تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۲
	ساعت نمونه برداری : ۱۲:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۸:۳۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۲:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۴
	HPC : ۱۴۵ درصد حذف : ۳۶/۴۰

جدول ۴-۱۲- نتایج حاصل از تزریق میناب ازن بر روی استخر آب ریکاوری در هندسه دوم

میزان ازن تزریق شده : ۱۰ گرم	
آزمایش شماره سه	
	نمونه خام تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۲
	ساعت نمونه برداری : ۹:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۰۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۴:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۴
	HPC : ۲۳۴
	نمونه شماره سه تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۲
	ساعت نمونه برداری : ۱۴:۰۰
	شروع کارکرد دستگاه : ۹:۰۰
	پایان کارکرد دستگاه : ۱۴:۰۰
	جواب آزمون تاریخ: ۹۷/۱۱/۲۴
	HPC : ۱۴۲ درصد حذف : ۳۹/۳۲



شکل ۴-۱۳- نمودار درصد حذف جمعیت باکتری های هتروتروف

از شکل ۴-۱۳- می توان نتیجه گرفت که میزان کاهش ازن تزریقی اثرات ضد عفونی کننده ازن را به صورت غیر خطی کاهش می دهد به این صورت که با تبدیل ۳/۵ گرم به ۱۰ گرم درصد حذف سه برابر افزایش پیدا نکرده است. این امر با توجه به مرز حداقل ازن برای از بین رفتن گونه های مختلف باکتری ها کاملاً موجه است. علت تغییر اندک در میزان حذف نیز به دلیل کاهش بازده مولد ازن با افزایش زمان است یعنی همان گونه که تقریباً تمامی منابع علمی و سازندگان مولدهای ازن مبتنی بر فرکانس به آن اشاره می کنند، با افزایش زمان کار، بازده آن کاهش می یابد.

نکته دیگر اینکه در شرایط کاری فعلی، مکش خود دستگاه میناب هوا را به جریان درآورده است که چون می تواند کمتر از میزان هوای ازن میزان تولید اسمی دستگاه باشد. غلظت نیز چندان قابل اعتماد نیست. شایان ذکر است با توجه به مصرف بالای ازن توسط آب و عدم امکان بررسی غلظت ازن تولیدی این احتمالات به عنوان صرفاً احتمال باید در نظر گرفته شود.

فصل ۵: نتیجه‌گیری – و پیشنهادها برای مطالعات بعدی

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 اثر میکرو نانوحباب (میناب) ازن بر بار میکروبی آب است. میزان غلظت ازن مصرفی و زمان کارکرد دستگاه تأثیر به سزایی بر نتایج می گذارد لذا با طرح سه هندسه و دو نوع غلظت گاز ازن و سه زمان کارکرد متفاوت دقت آزمایش ها را به حداکثر و نتایج زیر به دست آمده است:

- استفاده از میکرو نانو حباب ازن در آب موجب کاهش تا ۹۷ درصدی بار میکروبی (HPC) شده است. زمان کارکرد دستگاه رابطه خطی با کاهش بار میکروبی (HPC) ندارد. به طوری که در دو هندسه اول و دوم بیشترین درصد کاهش بار میکروبی (HPC) مربوط به زمان کارکرد سه ساعت است در حالی که در هندسه سوم بیشترین میزان کاهش بار میکروبی (HPC) مربوط به زمان کارکرد ۵ ساعت می باشد. البته نباید از خطاهای دستگاهی و مسائل ناشی از تغییرات در میزان و نوع آب ورودی غافل شد.
- نتایج استفاده از میکرو نانو حباب ازن نشان داده است که با میزان غلظت کم ازن (5 gr/hr) توانسته است استخر آبی به حجم ۱۵۰ متر مکعب را تا حدود ۹۷ درصد از بار میکروبی (HPC) را از بین ببرد لذا استفاده از این روش همان طور که در فصل اول این پژوهش پیش بینی شده است موجب کاهش محسوس ازن مصرفی و کاهش هزینه تهیه و نگهداری تجهیزات ازن و در نهایت کاهش هزینه تمام شده آب مصرفی گردد.
- غلظت ازن پارامتر اصلی در حذف باکتری است. چون حذف هرگونه باکتری نیازمند حد مشخصی از ازن است. تغییر حتی چند میکروگرم بر لیتر در غلظت ازن می تواند به صورت کاملاً برجسته ای اثرات خود را در فرایند حذف نمایان سازد.
- استفاده از شبیه سازی مدل هیدرولیکی جریان در نرم افزار OpenFoam و نتایج بدست آمده نشان می دهد که هندسه تأثیر زیادی بر عملکرد میکرو نانو حباب ها نداشته است و این نتیجه به سبب ویژگی خاص میکرو نانو حباب ها یعنی سطح مشترک و فشار داخلی زیاد

است که با افزایش کشش سطحی مایع یا کاهش قطر حباب ، فشار داخلی حباب افزایش پیدا می کند و امکان تبادل گاز بین فازهای گاز - مایع افزایش می یابد ، یعنی محل خروج میناب ازن در استخر در هر نقطه و هر هندسه ای تاثیر زیادی بر عملکرد میناب ازن نداشته است و به میزان ۵ درصد محدود می شود .

۵-۲- پیشنهاد برای تحقیقات آینده

با توجه به نتایج به دست آمده پیش بینی می شود بتوان با استفاده از میکرو نانو حباب (میناب) فرایند تصفیه آب شرب را بسیار بهبود بخشید و هزینه های تصفیه را کاهش داد . لذا امید است در آینده بر روی اثرات دیگر میناب بر روی آب شرب همچون خواص شیمیایی و دیگر عوامل میکروبی آزمایش و کار شود .

پیشنهادهایی که در ادامه کار مطرح است عبارتند از:

- استفاده از فرایند بر خط و پیوسته برای حذف باکتری توسط میناب به نحوی که نیاز به حوضچه نباشد.
- اعمال فعالیت های فوق برای حذف جلبک و باکتری به صورت همزمان
- بررسی نوع باکتری های باقی مانده برای تعیین گونه های مقاوم

فصل ٦: فهرست مراجع

منابع

امیری م، (۱۳۹۴) "اصول تصفیه آب" چاپ یازدهم، انتشارات ارکان دانش، ص ۱۱۸.

سایت سازمان بهداشت محیط ایران . www.environmentalhealth.ir/

سایت شرکت فنون آردا سبز. <http://ardacompany.com/>

حقی، ساغروانی، (۱۳۹۶) . "بررسی پدیده ی کاهش نیروی درگ بر جسم مکعب مستطیل

با تزریق میکرو نانو حباب" شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران

نوروز محمد نوری و همکاران، (۱۳۸۶). "مروری بر تحقیقات و دستاوردها در پدیده کاهش

درگ به وسیله تزریق میکرو حباب" نهمین همایش صنایع دریایی

Agarwal, Ashutosh, Wun Jern Ng, and Yu Liu. "Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment." *Chemosphere* 84.9 (2011): 1175-1180.

American Public Health Association. "9215 Heterotrophic plate count." *Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater*. 19th ed. Washington, DC: APHA (1995): 9-31.

Asrari, Elham, and Nader Gheraghpour. "DIOXIDE TITANIUM NANOPARTICLES EFFICIENCY ON REMOVING WATER HETEROTROPHIC BACTERIA POPULATION." *EQA-International Journal of Environmental Quality* 28 (2018): 43-49.

Atkins, P. "de Paula, J. " *Physical Chemistry* 8th edition. Great Britain. Oxford University Press 6, (2006):791-830.

- Attard, Phil. "The stability of nanobubbles." *The European Physical Journal Special Topics* (2013): 1-22.
- Barnaby, Sydney W. "On the formation of cavities in water by screw propellers at high speeds." *Journal of the American Society for Naval Engineers* 9.4 (1897): 678-683.
- Bartram, J., et al. "Heterotrophic plate count measurement in drinking water safety management: report of an Expert Meeting Geneva, 24–25 April 2002." *International journal of food microbiology* 92.3 (2004): 241-247.
- Carter, J. T., et al. "Relationships between levels of heterotrophic bacteria and water quality parameters in a drinking water distribution system." *Water Research* 34.5 (2000): 1495-1502.
- Clift, Roland, John R. Grace, and Martin E. Weber. *Bubbles, drops, and particles*. Courier Corporation, 2005.
- Craig, Vincent Stuart James. "Very small bubbles at surfaces—the nanobubble puzzle." *Soft Matter* 7.1 (2011): 40-48.
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Franson, M. A. H., Rice, E. W., & Greenberg, A. E. (Eds.). *Standard methods for the examination of water & wastewater* (Vol. 21). Ignatius Press (2005).
- Edberg, Stephen C., and Martin J. Allen. "Virulence and risk from drinking water of heterotrophic plate count bacteria in human population groups." *International journal of food microbiology* 92.3 (2004): 255-263.
- Francois, R. J., and A. A. Van Haute. "Backwashing and conditioning of a deep bed filter." *Water Research* 19.11 (1985): 1357-1362.

- Greenwood, R., and K. Kendall. "Selection of suitable dispersants for aqueous suspensions of zirconia and titania powders using acoustophoresis." *Journal of the European Ceramic Society* 19.4 (1999): 479-488.
- Hampton, Marc A., and Anh V. Nguyen. "Nanobubbles and the nanobubble bridging capillary force." *Advances in colloid and interface science* 154.1-2 (2010): 30-55.
- Smith, Francis L., and Allan H. Harvey. "Avoid common pitfalls when using Henry's law." *Chemical engineering progress* 103.9 (2007): 33-39.
- Joss, Adriano, H. Siegrist, and T. A. Ternes. "Are we about to upgrade wastewater treatment for removing organic micropollutants?." *Water Science and Technology* 57.2 (2008): 251-255.
- Kim, Jin-Gab, Ahmed E. Yousef, and Sandhya Dave. "Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review." *Journal of food protection* 62.9 (1999): 1071-1087.
- Kirby, Brian J. *Micro-and nanoscale fluid mechanics: transport in microfluidic devices*. Cambridge university press, 2010.
- Li, Pan, and Hideki Tsuge. "Water treatment by induced air flotation using microbubbles." *Journal of Chemical Engineering of Japan* 39.8 (2006): 896-903.
- Li, Pan, Masayoshi Takahashi, and Kaneo Chiba. "Degradation of phenol by the collapse of microbubbles." *Chemosphere* 75.10 (2009): 1371-1375.
- Luongo, Margherita, et al. "Possible therapeutic effects of ozone mixture on hypoxia in tumor development." *Anticancer research* 37.2 (2017): 425-435.

McNaught. and Wilkinson, IUPAC. Compendium of Chemical Terminology. XML on-line corrected version: <http://goldbook.iupac.org> (2006) created by M. Nic JJ, B. Kosata, 1997.

Moore, Ginny, Chris Griffith, and Adrian Peters. "Bactericidal properties of ozone and its potential application as a terminal disinfectant." *Journal of food protection* 63.8 (2000): 1100-1106.

Morishima, Atsutomo, and Hiroyuki Inagawa. "Clinical effects of orally administered lipopolysaccharide derived from *Pantoea agglomerans* on malignant tumors." *Anticancer research* 36.7 (2016): 3747-3751.

Pletcher, Richard H., John C. Tannehill, and Dale Anderson. *Computational fluid mechanics and heat transfer*. CRC press, 2012.

Robertson, W., et al. "The role of HPC in managing the treatment and distribution of drinking water." *Heterotrophic plate counts and drinking-water safety*. Londres: WHO IWA Publishing (2003): 137-45.

Serizawa, Akimi, et al. "Laminarization of micro-bubble containing milky bubbly flow in a pipe." *proceedings of 3rd European-Japanese two-phase flow group meeting*. 2003.

Stachiotti, M. G., and M. Sepiarsky. "Toroidal ferroelectricity in PbTiO_3 nanoparticles." *Physical review letters* 106.13 (2011): 137601.

Stine, Scott W., Ian L. Pepper, and Charles P. Gerba. "Contribution of drinking water to the weekly intake of heterotrophic bacteria from diet in the United States." *Water research* 39.1 (2005): 257-263.

Stokinger, Herbert E. "Evaluation of the Hazards of Ozone and Oxides of Nitrogen. Factors modifying Toxicity." *Arch. Indust. Health* 15.3 (1957): 181-90.

Sumikura, M., et al. "Ozone micro-bubble disinfection method for wastewater reuse system." *Water Science and Technology* 56.5 (2007): 53-61.

Takahashi, Masayoshi. " ζ potential of microbubbles in aqueous solutions: electrical properties of the gas– water interface." *The Journal of Physical Chemistry B* 109.46 (2005): 21858-21864.

Takamura F.. *Course of Characteristics and Application of Microbubblee*, Technical Information Center. (2004).

The open source CFD toolbox, O.o.; Available from: <http://www.openfoam.com>.

Tomiyasu, Hiroshi, Hiroshi Fukutomi, and Gilbert Gordon. "Kinetics and mechanism of ozone decomposition in basic aqueous solution." *Inorganic Chemistry* 24.19 (1985): 2962-2966.

Tsuge, Hideki. *Micro-and Nanobubbles: Fundamentals and Applications*. Pan Stanford, 2014.

Wilcox, David C. *Turbulence modeling for CFD*. Vol. 2. La Canada, CA: DCW industries, 1998.

Wood, M. G., et al. "Computational fluid dynamic modelling of wastewater ponds to improve design." *Water Science and Technology* 31.12 (1995): 111.

Zhang, J., A. E. Tejada-Martínez, and Q. Zhang. "Hydraulic efficiency in RANS of the flow in multichambered contactors." *Journal of Hydraulic Engineering* 139.11 (2013): 1150-1157.

Zhang, Jie, Andrés E. Tejada-Martínez, and Qiong Zhang. "Evaluation of large eddy simulation and RANS for determining hydraulic performance of disinfection systems for water treatment." *Journal of Fluids Engineering* 136.12 (2014).

Zhang, Jie, et al. "Evaluating hydraulic and disinfection efficiencies of a full-scale ozone contactor using a RANS-based modeling framework." *Water research* 52 (2014): 155-167.

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of the micro-nano ozone bubbles on reducing the microbial charge of drinking water treatment filtration effluent. The transfer of water from the filtration wash to the beginning of the treatment process has led to increased microorganisms, microbial charge, turbidity, color, taste, and ultimately increased washing times. Therefore, pre-treatment on filter effluent is required. Micro-bubble collapse explode can lead to the disintegration of organic pollutants such as pesticides which are soluble in water. Also, the bursting of microbubbles can help water disinfection and is less expensive than conventional methods such as chlorination of water and will have minor side effects. Gas bubbles mostly used in these cases are air or oxygen, but the use of ozone gas to produce microbubbles will have a significant impact on water pollution. Purplate method and R2A Agar culture medium were used to obtain the number of heterotrophic bacteria.

The results of this study show that the use of micro-nano ozone bubbles had a great effect on reducing the microbial charge (HPC) and it was able to reduce microbial charge up to 97%. The results of hydraulical flow analysis (simulated with OpenFoam software) show that the geometry of the pool and the location of the outlet and the inputs do not significantly affect the performance of the micro-nano bubbles. According to above results, reducing tie-up block of sand filter and frequency of cleaning and ultimately the cost of water treatment.

Keywords: Micro bubble; Nano bubble; Bubbles technology; Heterotrophic bacteria; open foam



Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Water Engineering and Hydraulic Structures

Use of Ozone Micro-Nano Bubble for Disinfection of Drinking Water

By: mostafa mohammadi moghadam

Supervisor:

Dr. Seyed Fazlolah Saghravani

January 2021