

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی مکانیک

گروه تبدیل انرژی

پایان نامه کارشناسی ارشد

# بررسی و شبیه‌سازی برهمکنش سازه و سیال در رژیم‌های مختلف کاری پمپ‌های دیافراگمی

حمید بخشایش

استاد راهنما:

دکتر علی سررشته داری

بهمن ۹۳



مدیریت تحصیلات تکمیلی  
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:  
تاریخ:  
ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حمید بخشایش رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی تحت عنوان " بررسی و شبیه سازی برهمکنش سازه و سیال در رژیم های مختلف کاری پمپ های دیافراگمی " که در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول ( با درجه : ..... امتیاز ..... )  ( ۱۷۲۵ )  
 دفاع مجدد  مردود

*هدف ریت و بنوع هم*

- ۱- عالی ( ۲۰ - ۱۹ )  
 ۲- بسیار خوب ( ۱۸ - ۱۸/۹۹ )  
 ۳- خوب ( ۱۶ - ۱۷/۹۹ )  
 ۴- قابل قبول ( ۱۴ - ۱۵/۹۹ )  
 ۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استادراهنما	علی سررشته داری	استادیار	<i>[Signature]</i>
۲- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	احمد مددی	استادیار	<i>[Signature]</i>
۳- استاد ممتحن	محمود فرزانه گرد	استاد	<i>[Signature]</i>
۴- استاد ممتحن	پوریا اکبرزاده	استادیار	<i>[Signature]</i>

رئیس دانشکده : محمد محسن شاهمردان امضاء

*[Signature]*  
 دانشگاه مکانیک  
 استان صنعتی شاهرود

# پاسکوزاری

پاس و ستایش به پیشگاه خداوند منان که توفیق تلاش در راه علم و دانش را به من عطا فرمود.

بر خود وظیفه می‌دانم از استاد ارجمندم دکتر علی سررشته‌داری به پاس تمامی زحماتی که در طی تدوین پایان‌نامه برای این جانب

کشیده‌اند، از صمیم قلب نهایت پاسکوزاری را می‌نمایم. رهنمودهای ایشان به‌ویژه راه‌گشای مشکلات بوده و این پایان‌نامه

حاصل راهنمایی‌های مستمر ایشان است و قطعاً بدون راهنمایی‌های ارزنده ایشان این مجموعه به انجام نمی‌رسید. همچنین از حمایت و

مساعدت امور پژوهش شرکت گاز استان خراسان رضوی و راهنمایی‌های ارزنده مشاور صنعتی پایان‌نامه، جناب مهندس

هوشنگ فکری صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم. در انتها بر خود وظیفه می‌دانم از راهنمایی‌های جناب آقای **Ralph**

**Dr. Rijswijk** به دلیل توصیه‌های ارزنده ایشان پاسکوزاری نمایم.

# تعهدنامه

این جانب حمید بخشایش دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک - گرایش تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان " بررسی و شبیه سازی برهمکنش سازه و سیال در رژیم های مختلف کاری پمپ های دیافراگمی "

تحت راهنمایی دکتر علی سررشته داری متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش های 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 بانام «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 (با 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 افزارها 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.

تقدیم به:

پدر، مادر و همسر عزیزم به پاس جبران گوشه‌ای از زحمات و الطاف و

راهنمایی‌های بی‌دریغشان

با تشکر و قدردانی از همسر عزیزم خانم مهندس الناز نظری که با همکاری‌ها، کمک‌ها و

نقطه نظرات سازنده خود نقش مهم و اساسی را در تحقیق حاضر دارا می‌باشد.

## چکیده

پمپ‌های دیافراگمی<sup>۱</sup> از جمله پمپ‌های جابجایی مثبت محسوب می‌شوند که کاربردهای فراوانی در صنایع پتروشیمی، نفت، گاز و ... دارند. از نمونه پمپ‌های دیافراگمی می‌توان به پمپ‌های تزریق اشاره کرد که با توجه به مقاومت خوبی که در برابر سیالات شیمیایی دارند در صنعت گاز بسیار مورد توجه می‌باشند. با توجه به اینکه این پمپ‌ها دیافراگمی از قطعات مکانیکی مختلفی تشکیل شده‌اند که برخی از آنها نیز مانند دیافراگم در تماس مستقیم با سیال می‌باشند به علل مختلف مکانیکی گزارش‌های خرابی بسیاری از برخی شرکت‌های مصرف‌کننده این پمپ‌ها مانند شرکت گاز اعلام شده است به همین منظور یافتن مدلی مشابه مدل واقعی بسیار مفید می‌باشد. یکی از روش‌های طراحی و تولید این پمپ‌ها استفاده از کدهای تجاری برای شبیه‌سازی<sup>۲</sup> در مقابل روش‌های پیچیده تحلیلی و هزینه‌بر آزمایشگاهی می‌باشد. از آنجایی که سیال در این پمپ‌ها با حرکت دیافراگم انتقال می‌یابد مفهومی به نام برهمکنش سازه و سیال تعریف می‌شود. به دلیل دشواری‌های مربوط به شبیه‌سازی برهمکنش سازه و سیال، شبکه متحرک و ابعاد هندسی این پمپ‌ها تلاش‌های محدودی به منظور تحلیل عددی این‌گونه پمپ‌ها در گذشته صورت پذیرفته است. امروزه با پیشرفت چشم‌گیری که در توسعه سیستم‌های محاسباتی و کدهای تجاری انجام شده بستر مناسبی برای شبیه‌سازی این‌گونه مسائل ایجاد شده است. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی مسائل برهمکنش سازه و سیال موجود است که با توجه به کوچک بودن تغییر شکل‌های دیافراگم و میدان‌های جریان در مقابل ابعاد دیگر این مدل پمپ روش یک‌طرفه برای این شبیه‌سازی انتخاب شده است. به منظور کاهش حجم محاسبات مدل دوبعدی این پمپ با استفاده از کد تجاری ANSYS CFX شبیه‌سازی شده است. در این مطالعه سعی شده مدلی تولید گردد که به خوبی بتواند برخی پارامترهای این نوع پمپ را نشان دهد تا در مطالعات آینده

---

1 Diaphragm pump

2 Simulation

با کاهش هزینه‌های ساخت بتوان نمونه‌ای بهینه‌تر را تولید کرد. یکی از نتایج این مطالعه معرفی روش برهمکنش سازه و سیال یک‌طرفه به‌عنوان روش مدل‌سازی مناسب می‌باشد از دیگر نتایجی که به آن پرداخته شده است می‌توان مطالعه بروی میدان‌های سرعت و فشار، اثر پارامترهای عملکردی پمپ نظیر دور موتور و جابجایی دیافراگم بر روی جریان سیال و دیگر نتایج که در یک فصل به‌طور کامل به آن پرداخته شده است اشاره کرد. به‌منظور تأیید اعتبار مدل‌سازی از ابعاد و شرایط مرزی یک نمونه پمپ واقعی تزریق سیال بودار کننده به گاز شهری ساخت شرکت پتروساویز استفاده شده است که پس از مقایسه‌ی میزان دبی خروجی پمپ برحسب جابه‌جایی دیافراگم با اطلاعات درج‌شده در کاتالوگ پمپ، در بدترین حالت میزان خطا ۱۰٪ و میانگین خطا در حدود ۵٪ می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** پمپ دیافراگمی، برهمکنش سازه و سیال، کوپلینگ یک طرفه، نرم‌افزار ANSYS

CFX



## فهرست مطالب

- ۱ فصل اول: مقدمه و مرور کارهای پیشین ..... ۱
- ۱-۱ مقدمه ..... ۲
- ۲-۱ روش‌های مرسوم در بودار کردن گاز ..... ۳
- ۱-۲-۱ روش کنارگذر ..... ۴
- ۱-۲-۱-۱ دستگاه‌های کنارگذر چکیدنی (قطرهای) ..... ۴
- ۲-۲-۱ روش بودار کننده تزریقی ..... ۵
- ۳-۱ آشنایی با پمپ‌های تزریقی ..... ۶
- ۱-۳-۱ منحنی‌های مشخصه پمپ‌های تزریقی ..... ۱۰
- ۲-۳-۱ متداول‌ترین انواع پمپ‌های تزریقی ..... ۱۳
- ۱-۲-۳-۱ پمپ پلانجری با آب‌بندی پکینگی ..... ۱۳
- ۲-۲-۳-۱ پمپ دیافراگمی ..... ۱۵
- ۴-۱ مروری بر تحقیقات گذشته ..... ۱۸
- ۱-۴-۱ مدل‌سازی به روش جزء بندی شده ..... ۲۴
- ۲-۴-۱ مدل‌سازی به روش یکپارچه ..... ۲۵
- ۳-۴-۱ مدل‌سازی به روش یک طرفه ..... ۲۶
- ۴-۴-۱ مدل‌سازی به روش دوطرفه ..... ۲۷
- ۵-۴-۱ نتایج مطالعه تحقیقات پیشین ..... ۲۸
- ۲ فصل دوم: مطالعات میدانی و شرح مسئله ..... ۲۹

۳۰	۱-۲ مقدمه
۳۰	۲-۲ مطالعات میدانی پمپ دیافراگمی در صنعت گاز
۳۱	۳-۲ فرایند تزریق سیال بودار کننده در ایستگاه تقلیل فشار
۳۳	۱-۳-۲ اجزای تشکیل دهنده سیستم تزریق مرکاپتان
۳۳	۱-۱-۳-۲ مخزن
۳۵	۲-۱-۳-۲ نشانگر مخزن
۳۶	۳-۱-۳-۲ سیستم کنترلی
۳۷	۴-۱-۳-۲ پمپ دیافراگمی
۳۸	۱-۴-۱-۳-۲ اجزای تشکیل دهنده ی پمپ دیافراگمی
۳۸	۱-۱-۴-۱-۳-۲ شیرهای ورودی و خروجی
۳۹	۲-۱-۴-۱-۳-۲ دیافراگم
۴۰	۳-۱-۴-۱-۳-۲ پیستون و فنربندی
۴۲	۴-۲ تعریف مسئله
۴۲	۵-۲ معادلات حاکم برای سیال
۴۵	۶-۲ معادلات حاکم برای جامد
۴۷	۳ فصل سوم: تعریف مدل شبیه سازی شده و نحوه شبیه سازی به کمک نرم افزار ANSYS CFX
۴۸	۱-۳ مقدمه
۴۸	۲-۳ سیستم های کوپله شده
۴۸	۱-۲-۳ برهمکنش سازه و سیال
۴۹	۱-۱-۲-۳ انواع حلگرهای مسائل برهمکنش سازه و سیال

۴۹	..... حلگر لاگرانژی ۱-۱-۱-۲-۳
۵۰	..... حلگر اوپلری ۲-۱-۱-۲-۳
۵۱	..... حلگر اوپلری لاگرانژی دلخواه ۳-۱-۱-۲-۳
۵۲	..... حلگر SPH ۴-۱-۱-۲-۳
۵۳	..... انواع روش‌های شبیه‌سازی برهمکنش سازه و سیال ۲-۱-۲-۳
۵۳	..... روش یکپارچه ۱-۲-۱-۲-۳
۵۴	..... روش جزء بندی شده ۲-۲-۱-۲-۳
۵۵	..... انواع روش‌های کوپلینگ سازه و سیال ۳-۱-۲-۳
۵۵	..... کوپلینگ یک طرفه سازه و سیال ۱-۳-۱-۲-۳
۵۶	..... کوپلینگ دوطرفه سازه و سیال ۲-۳-۱-۲-۳
۵۹	..... برهمکنش سازه و سیال در نرم‌افزار ANSYS CFX ۳-۳
۶۰	..... کوپل سازه و سیال یک طرفه در نرم‌افزار ANSYS CFX ۱-۳-۳
۶۰	..... کوپل سازه و سیال دوطرفه در نرم‌افزار ANSYS CFX ۲-۳-۳
۶۱	..... مفاهیم اولیه‌ی حل به کمک نرم‌افزار ANSYS CFX ۴-۳
۶۲	..... جمله گرادیان فشار ۱-۴-۳
۶۳	..... جریانات جرمی ۲-۴-۳
۶۳	..... کوپل شدن فشار-سرعت ۳-۴-۳
۶۵	..... روش حل- حلگر کوپل ۴-۴-۳
۶۵	..... استراتژی حل ۵-۴-۳
۶۶	..... مرتبه‌دقت ۶-۴-۳

۶۶.....	۷-۴-۳ تعاریف اولیه شبکه‌بندی در نرم‌افزار ANSYS CFX
۶۶.....	۵-۳ مراحل شبیه‌سازی پمپ دیافراگمی به کمک ANSYS CFX
۶۷.....	۱-۵-۳ ابعاد مدل دوبعدی
۶۹.....	۲-۵-۳ شبکه‌بندی استفاده‌شده در این مدل‌سازی
۷۱.....	۱-۲-۵-۳ استقلال از شبکه
۷۲.....	۳-۵-۳ جنس مواد
۷۳.....	۴-۵-۳ شرایط مرزی
۷۳.....	۱-۴-۵-۳ شرایط مرزی دیافراگم
۷۵.....	۲-۴-۵-۳ شرایط مرزی ورودی و خروجی
۷۵.....	۳-۴-۵-۳ شرایط مرزی سیال
۷۶.....	۴-۴-۵-۳ شرایط مرزی دیواره‌ها
۷۷.....	۴ فصل ۴: نتایج به‌دست‌آمده
۷۸.....	۱-۴ مقدمه
۷۸.....	۲-۴ روش حل
۸۱.....	۳-۴ اعتبار سنجی مدل
۸۲.....	۴-۴ تغییرات جریان خروجی برحسب فرکانس حرکتی دیافراگم
۸۳.....	۵-۴ انباشتگی حجمی سیال ورودی و خروجی برحسب زمان
۸۴.....	۶-۴ سرعت محوری خروجی در یک مقطع دلخواه
۸۶.....	۷-۴ نمودار سرعت محوری در طول ورودی تا خروجی پمپ
۸۷.....	۸-۴ نتایج تصویری پمپ دیافراگمی

۸۸.....	۱-۸-۴ توزیع میدان‌های سرعت
۹۴.....	۲-۸-۴ توزیع میدان‌های فشار
۹۷.....	۳-۸-۴ خطوط جریان سیال
۱۰۱.....	۵ فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۰۲.....	۱-۵ نتیجه‌گیری
۱۰۳.....	۲-۵ ارائه پیشنهاد برای پژوهش‌های آینده
۱۰۵.....	۶ مراجع
۱۰۹.....	۷ پیوست‌ها

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ : سیستم تزریق کنارگذر ..... ۴
- شکل ۲-۱ : سیستم تزریق سیال بودار کننده ..... ۶
- شکل ۳-۱ : مکانیزم پمپ پیستونی ..... ۹
- شکل ۴-۱ : انواع شیرهای یک طرفه ..... ۹
- شکل ۵-۱ : سیکل کاری پمپ پیستونی ..... ۱۱
- شکل ۶-۱ : نمودار کاری پمپ‌های گریز از مرکز و پمپ‌های تزریقی ..... ۱۱
- شکل ۷-۱ : منحنی مشخصه دبی - حرکت پمپ‌های تزریقی ..... ۱۲
- شکل ۸-۱ : مکانیزم پمپ پلانجری ..... ۱۴
- شکل ۹-۱ : مکانیزم پمپ دیافراگمی ..... ۱۶
- شکل ۱۰-۱ : پمپ تزریق آهن مذاب ..... ۲۱
- شکل ۱۱-۱ : نمودار فشار برحسب زمان ..... ۲۱
- شکل ۱۲-۱ : حجم سیال انتقال یافته برحسب زمان ..... ۲۲
- شکل ۱۳-۱ : خطوط جریان را در اطراف مانع ..... ۲۲
- شکل ۱۴-۱ : مقایسه نمودارهای دو روش ضمنی و صریح ..... ۲۴
- شکل ۱۵-۱ : نمودار سمت چپ جابه‌جایی برحسب زمان برای پمپ پیستونی/نمودار سمت راست مقایسه‌ی خطای دو روش یکپارچه و جز بندی ..... ۲۶
- شکل ۱۶-۱ : نمودار سمت چپ تغییرات نرخ جریان نسبت به دور موتور/نمودار سمت راست تجمع جرم خروجی از پمپ با توجه به زمان ..... ۲۷
- شکل ۱-۲ : شماتیکی از یک سیستم تزریق بودار کننده ..... ۳۱

- شکل ۲-۲ : پمپ دیافراگمی شرکت پتروساویز ..... ۳۲
- شکل ۳-۲ : محل و نحوه قرار گیری پمپ دیافراگمی ..... ۳۲
- شکل ۴-۲ : مخزن سیستم تزریق ..... ۳۴
- شکل ۵-۲ : نشانگر مخزن ..... ۳۵
- شکل ۶-۲ : سیستم کنترلی تزریق ..... ۳۷
- شکل ۷-۲ : شماتیک شیر یک طرفه کروی ..... ۳۸
- شکل ۸-۲ : نمایی از شیرهای ورودی و خروجی به صورت تفکیک شده ..... ۳۹
- شکل ۹-۲ : ابعاد دیافراگم ..... ۴۰
- شکل ۱۰-۲ : ضخامت دیافراگم ..... ۴۰
- شکل ۱۱-۲ : پیستون ، خار نگه دارنده و فنربندی به طور تفکیک شده ..... ۴۱
- شکل ۱-۳ : تفاوت روش های اوپلری، لاگرانژی و روش ALE ..... ۵۲
- شکل ۲-۳ : فرایند روش یکپارچه ..... ۵۳
- شکل ۳-۳ : فرایند روش جزء بندی ..... ۵۴
- شکل ۴-۳ : روند یک نمونه کوپلینگ یک طرفه ..... ۵۶
- شکل ۵-۳ : روند یک نمونه کوپلینگ دوطرفه ..... ۵۷
- شکل ۶-۳ : ناحیه برهمکنش سازه و سیال ..... ۵۷
- شکل ۷-۳ : حرکت سیال تحریک شده توسط سازه ..... ۵۸
- شکل ۸-۳ : برهمکنش سازه و سیال ..... ۵۸
- شکل ۹-۳ : یک شبکه دوبعدی ..... ۶۱
- شکل ۱۰-۳ : سلول تکی و قسمت های درونی ..... ۶۲

- شکل ۳-۱۱ : ابعاد مدل دوبعدی ..... ۶۷
- شکل ۳-۱۲ : شبکه‌بندی و تغییر شکل شبکه ..... ۷۰
- شکل ۳-۱۳ : پروفیل سرعت روی خط مشخص شده برای زمان  $0.75$  ثانیه و جابجایی ۴ میلی‌متر  
دیافراگم ..... ۷۱
- شکل ۳-۱۴ : شرایط مرزی دیافراگم ..... ۷۳
- شکل ۳-۱۵ : شرایط مرزی دیواره ها ..... ۷۶
- شکل ۴-۱ : نمودار همگرایی حل برای جابه‌جای های ۳ میلی‌متر ..... ۸۰
- شکل ۴-۲ : نمودار همگرایی حل برای جابه‌جای های ۴ میلی‌متر ..... ۸۰
- شکل ۴-۳ : نمودار همگرایی حل برای جابه‌جای های ۵ میلی‌متر ..... ۸۰
- شکل ۴-۴ : نمودار اعتبار سنجی ..... ۸۱
- شکل ۴-۵ : میزان جریان خروجی برحسب فرکانس حرکتی دیافراگم برای بیشینه جابجایی  $1/5$  میلی‌متر  
و ۴ میلی‌متر ..... ۸۳
- شکل ۴-۶ : انباشتگی حجمی سیال برحسب زمان ..... ۸۴
- شکل ۴-۷ : سرعت محوری خروجی در یک مقطع دلخواه ..... ۸۵
- شکل ۴-۸ : نمودار سرعت محوری در طول ورودی تا خروجی ..... ۸۷
- شکل ۴-۹ : میدان سرعت برای بیشینه جابه‌جایی  $1/5$  میلی‌متر در خروج سیال از پمپ ..... ۹۰
- شکل ۴-۱۰ : میدان سرعت برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در خروج سیال از پمپ ..... ۹۱
- شکل ۴-۱۱ : میدان سرعت برای بیشینه جابه‌جایی  $1/5$  میلی‌متر در ورود سیال به پمپ ..... ۹۲
- شکل ۴-۱۲ : میدان سرعت برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در ورود سیال به پمپ ..... ۹۳
- شکل ۴-۱۳ : میدان سرعت برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در خروج سیال از پمپ ..... ۹۵



شکل ۴-۱۴ : میدان سرعت برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در ورود سیال به پمپ..... ۹۶

شکل ۴-۱۵ : خطوط جریان سیال برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در خروج سیال از پمپ..... ۹۸

شکل ۴-۱۶ : خطوط جریان سیال برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در ورود سیال به پمپ..... ۹۹

## فهرست جداول

جدول ۱-۱ : جدول خطای دو روش <b>ALE</b> و <b>FD</b> .....	۲۳
جدول ۱-۲ : پارامترهای مخزن .....	۳۴
جدول ۱-۳ : ابعاد و اندازه‌های مدل دوبعدی .....	۶۸
جدول ۲-۳ : خواص شبکه مدل دوبعدی .....	۷۲
جدول ۳-۳ : خواص فیزیکی سیال و دیافراگم .....	۷۲
جدول ۴-۳ : معادلات حرکت دیافراگم .....	۷۴
جدول ۱-۴ : خطای مدل سازی .....	۸۲

جدول علائم		
نماد	نام فارسی	واحد
$T$	زمان	S
$D$	قطر	m
$R$	شعاع	m
$P$	فشار	pa
$E$	مدول الاستیسیته	Pa
$v$	ضریب پواسون	
$\mu$	لزجت	kg/(m.s)
$\rho$	چگالی	kg/m <sup>3</sup>
$Q$	دبی حجمی	ml/s
$NPSH$	هد مکش مثبت خالص	m
$\theta$	دما	c



# مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته

## ۱-۱ مقدمه

امروزه به دلیل گازرسانی به اکثر نقاط کشور نیاز به ایستگاه‌های تقلیل فشار نیز افزایش یافته است. وظایف این ایستگاه‌ها به دودسته تقسیم می‌شوند. گاز شهری از مناطق عملیاتی با فشار بالا به این ایستگاه‌ها پمپ می‌شود اولین وظیفه ایستگاه‌ها کاهش فشار گاز می‌باشد [۱-۲]. دومین وظیفه آن‌ها به دلیل آنکه گاز طبیعی بدون بو می‌باشد برای تشخیص آن در هنگام انتشار از مواد شیمیایی به منظور بودار کردن گاز استفاده می‌شود [۳]. سیستم‌هایی که وظیفه بودار کردن گاز را دارند به دودسته‌ی کلی کنارگذر و تزریقی تقسیم می‌شوند که در این فصل بیشتر در مورد آن‌ها توضیح داده می‌شود. یکی از عناصر مهم سیستم‌های تزریق بودار کننده پمپ‌های تزریق می‌باشند که نمونه‌ای از آن‌ها پمپ‌های دیافراگمی هستند. بنابراین به منظور مقایسه‌ی هرچه بهتر این پمپ‌ها با نمونه واقعی باید به شبیه‌سازی آن‌ها پرداخت که با توجه به پیچیده بودن روش‌های تحلیل و همچنین هزینه‌بر بودن روش‌های آزمایشگاهی از روش‌های عددی برای شبیه‌سازی پمپ استفاده می‌شود. در این مطالعه به بررسی و شبیه‌سازی پمپ دیافراگمی تزریق سیال بودار کننده‌ی گاز شهری پرداخته شده است. با توجه به خرابی‌های متعدد این پمپ‌ها بخصوص در قسمت دیافراگم آن‌ها در کار پیشرو سعی شده است برخی عوامل مؤثر بر عملکرد این پمپ‌ها برای اولین بار در مطالعات داخلی مورد بررسی قرار گیرد.

در ادامه این فصل به تعریف انواع روش‌های بودار کردن گاز طبیعی پرداخته می‌شود و در انتهای فصل پس از معرفی انواع پمپ‌های تزریقی و خصوصیات عملکردی آن‌ها به مروری بر تحقیقات گذشته باهدف آشنایی بیشتر باکارهای انجام شده در زمینه برهمکنش سازه و سیال پرداخته می‌شود.

در فصل دوم به مطالعات میدانی انجام‌شده بروی پمپ‌های دیافراگمی تزریق سیال بودار کننده به گاز شهری پرداخته می‌شود و در انتها این فصل به معرفی معادلات حاکم سیال، جامد و همچنین به تعریف مسئله پرداخته می‌شود.

در ابتدای فصل سوم برخی توضیحات کاربردی در زمینه برهمکنش سازه و سیال آورده شده و در ادامه‌ی آن مناسب‌ترین مدل با توجه به شرایط این پمپ معرفی‌شده و در انتهای فصل نحوه شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار ANSYS CFX معرفی می‌شود.

فصل چهارم که در واقع نتیجه و حاصل محاسبات و مدل‌سازی انجام‌شده می‌باشد به بررسی برخی از نتایج و روند آن‌ها می‌پردازد.

در فصل پنجم که در واقع آخرین فصل این پایان‌نامه می‌باشد به بیان نتایج مهم و کاربردی به‌دست‌آمده از این مطالعه و همچنین ارائه پیشنهادهایی برای کارهای آینده پرداخته می‌شود.

## ۱-۲ روش‌های مرسوم در بودار کردن گاز

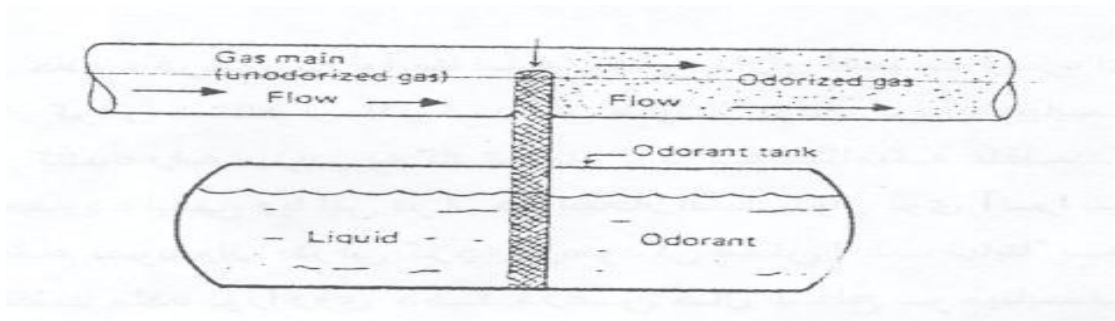
در عمل دو روش مرسوم برای بودار کردن گاز وجود دارند که عبارت‌اند از روش کنارگذر و روش تزریقی که در ادامه به معرفی بیشتر این روش‌ها می‌پردازیم [۴]:

## ۱-۲-۱ روش کنارگذر

در این روش درصدی از حجم گاز (نه همه گاز) به‌طور موازی آغشته به مواد بودار شده و سپس مخلوط با گاز خروجی آن‌ها نیز بودار می‌شود. در این‌گونه سیستم‌ها با استفاده از سه روش مبادرت به ساخت دستگاه‌های بودار کننده می‌نمایند که عبارت‌اند از کنارگذر تبخیری (افقی - عمودی)، کنارگذر چکیدنی (قطره‌ای) و کنارگذر قاشقکی که برای آشنایی بیشتر با این روش‌ها در ادامه به‌عنوان نمونه به توضیح روش کنارگذر چکیدنی پرداخته می‌شود.

### ۱-۲-۱-۱ دستگاه‌های کنارگذر چکیدنی (قطره‌ای)

این دستگاه مکانیزم ساده‌ای دارد مطابق شکل ۱-۱ شامل یک مخزن با لوله‌های ورودی و خروجی در طرفین اوریفیس (روزنه) می‌باشد البته لوله خروجی بر اثر نیروی وزن مایع و فشار ورودی باعث ریزش ماده بودار و آلودگی گاز می‌گردد. مخازن این نوع دارای سایر شرایط می‌باشد. برای پر کردن مخازن از فشار گاز کمک گرفته می‌شود و معمولاً این سیستم به‌صورت دستی کنترل می‌گردد.



شکل ۱-۱: سیستم تزریق کنارگذر [۴]



## ۲-۲-۱ روش بودار کننده تزریقی

برای تزریق دقیق تر ماده بودار کننده به گاز طبیعی بخصوص در ظرفیت‌های بالا از این نوع سیستم که علاوه بر تانک یک سیستم تزریق<sup>۱</sup> شامل پمپ هیدرولیک دیافراگمی با فشار بالا، مدار فرمان و کنترل سیستم PLC<sup>۲</sup> می‌باشد استفاده می‌شود. این مدار فرمان می‌تواند به صورت ثابت از قبل تنظیم شده و یا به کمک سیگنال‌های ارسالی که به کنترلر وصل می‌باشد صورت پذیرد که با این کار در مصارف متفاوت گاز در شبانه‌روز شدت تزریق متغیر و لذا غلظت ماده بودار در گاز طبیعی حفظ می‌گردد.

در این سیستم خروجی پمپ از طریق یک لوله ضدزنگ مستقیماً به خط اصلی خروجی ایستگاه متصل و عمل بودار کنندگی انجام می‌پذیرد. برای کارکرد پمپ و سیستم کنترل PLC نیاز به برق می‌باشد.

در این سیستم چون گاز عبوری از مخزن ذخیره عبور نمی‌کند حداکثر فشار کاری مخزن ۲۰۶ کیلو پاسکال می‌باشد. شکل ۲-۱ تصویر یک سیستم تزریق را نمایش می‌دهد.

---

1 odorizer Injection type

2 program logic control



شکل ۱-۲: سیستم تزریق سیال بودار کننده [۴]

همان‌طور که اشاره شد یکی از مهم‌ترین اجزاء سیستم‌های تزریقی سیال بودار کننده پمپ دیافراگمی می‌باشد به همین منظور در ادامه پس از آشنایی با پمپ‌های تزریقی به تعریف پمپ‌های دیافراگمی پرداخته می‌شود.

### ۱-۳ آشنایی با پمپ‌های تزریقی

پمپ‌ها به‌طور کلی به دودسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از پمپ‌های دینامیکی مانند پمپ‌های گریز از مرکز و پمپ‌های جابه‌جایی مثبت<sup>۱</sup> مانند پمپ‌های رفت‌وبرگشتی<sup>۲</sup> با توجه به اینکه هر کدام از این پمپ‌ها دارای خصوصیات گسترده و منحصر به فردی هستند تنها پمپ‌های جابه‌جایی مثبت در ادامه معرفی شده‌اند.

در این پمپ‌ها به ازای هر دور چرخش محور مقدار معینی از سیال به سمت خروجی فرستاده می‌شود و توانایی غلبه بر فشار خروجی را دارا می‌باشد. این پمپ‌ها مزیت‌های بسیاری نسبت به پمپ‌های جابه‌جایی

---

1 positive displacement

2 Reciprocating pump

غیر مثبت دارند مانند ابعاد کوچک‌تر، بازده حجمی بالا، انعطاف‌پذیری مناسب و توانایی کار در فشارهای بالا این پمپ‌ها به دودسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از پمپ‌های رفت‌وبرگشتی و پمپ‌های دورانی که در ادامه به توضیح پمپ‌های رفت‌وبرگشتی پرداخته می‌شود.

از جمله پمپ‌های رفت‌وبرگشتی پرکاربرد می‌توان به پمپ‌های پیستونی و پمپ‌های دیافراگمی اشاره کرد. سیال از طریق شیر ورودی وارد محفظه پمپ می‌شود و در مقابل به سمت شیر خروجی حرکت داده‌شده و خارج می‌گردد. نیروی محرکه سیال در این مسیر توسط جابه‌جایی دیافراگم و یا پیستون انجام می‌گیرد.

پمپ‌های تزریقی<sup>۱</sup> یا پمپ‌های مترینگ<sup>۲</sup> گونه‌ای از پمپ‌های رفت‌وبرگشتی‌اند که قادرند مقدار دقیقی از سیال را پمپاژ نمایند و به همین جهت به آن‌ها پمپ‌های تزریقی گفته می‌شود. محرک این پمپ‌ها به صورت برقی (الکتروموتور)، الکترومغناطیسی و هیدرولیکی می‌باشد. پمپ‌های تزریقی در انواع پیستونی، دیافراگمی، پیستونی دیافراگمی با متریال‌های مختلف نظیر (PVDF, PE, S.S316, PP, PVC) مناسب جهت انواع اسیدها، بازها و مواد شیمیایی، مواد ویسکوز تولید می‌گردند.

لازم به ذکر است که دبی این پمپ‌ها قابل تنظیم بوده و با توجه به فشار خط، عمل تزریق را انجام می‌دهند و از آنجاکه دبی پمپ‌های گریز از مرکز بسته به فشار سیستم تغییر می‌کند، بنابراین هیچ‌یک از پمپ‌های مذکور نمی‌تواند به‌عنوان پمپ تزریقی مورداستفاده قرار گیرد. معمولاً تنها پمپ‌های پیستونی و دیافراگمی این امکان را دارند که در رده پمپ‌های تزریقی قرار گیرند.

پمپ تزریقی دستگاهی است که مقدار دقیقی از مواد شیمیایی را تزریق می‌نماید. دبی این پمپ‌ها به صورت دستی و یا اتوماتیک و بسته به شرایط فرآیند قابل‌تغییر می‌باشد. اکثر پمپ‌های تزریقی مورداستفاده در صنعت دارای دبی‌های پائینی می‌باشند. هرچند در موارد خاص سازندگان بنا بر سفارش

---

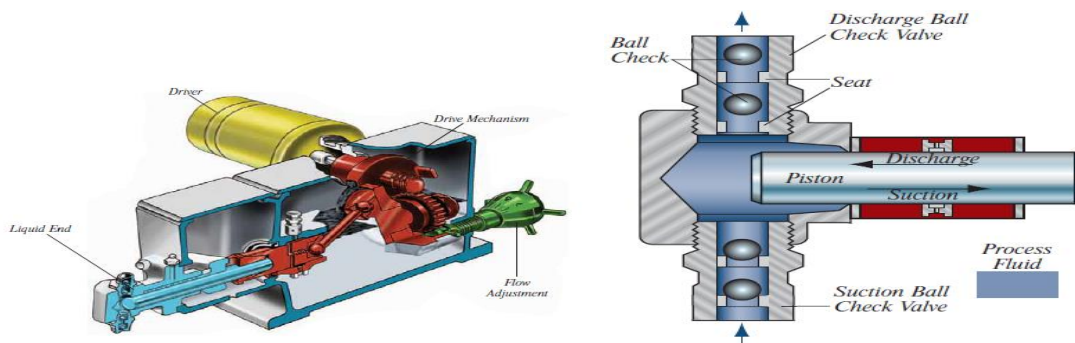
1 Dosing pump

2 Metering pump

پمپ‌های تزریقی با دبی بالا نیز تولید می‌کنند. این پمپ‌ها قادرند محدوده وسیعی از مواد شیمیایی حاوی اسیدها، سیالات خورنده و یا مایعات ویسکوز را پمپاژ نمایند. دقت حرکت‌های رفت‌وبرگشتی این پمپ‌ها بسیار بالا است چراکه باید در هر حرکت مقدار صحیحی از سیال را پمپاژ نمایند. به‌طورمعمول دبی این پمپ‌ها بین ۱ لیتر بر دقیقه تا ۱۰۰۰۰ لیتر بر دقیقه و فشار کاری بین ۱۰۰۰ کیلو پاسکال تا ۲۰۰۰۰۰ کیلو پاسکال متغیر می‌باشد. عموماً محرکه این پمپ‌ها یک الکتروموتور جریان متناوب AC دور ثابت است. در بعضی موارد ممکن است الکتروموتورهای دور متغیر و یا هیدرولیکی نیز مورد استفاده قرار گیرد. مکانیزم حرکت در این پمپ‌ها به‌گونه‌ای است که حرکت دورانی الکتروموتور به حرکت رفت‌وبرگشتی تبدیل می‌گردد. غالب پمپ‌هایی که در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد، اجزا مکانیزم حرکتی آن‌ها درون روغن قرار می‌گیرد تا عملکرد مداوم سیستم تضمین گردد. دبی پمپ با تغییر طول مؤثر حرکت و یا تغییر سرعت حرکت تنظیم می‌گردد. بیشتر پمپ‌های تزریقی از یک پیچ میکرومتر یا چیزی شبیه آن برای تنظیم دبی استفاده می‌کنند. میکرومتر می‌تواند با یک عملگر الکترونیکی جایگزین گردد. در این حالت عملگر با سیگنالی که از سیستم دریافت می‌کند، دبی را به‌صورت اتوماتیک تنظیم می‌کند. گذرگاه سیال<sup>۱</sup> که به قطعات در تماس با سیال پمپ اطلاق می‌شود، بر مبنای شرایط کاری پمپ طراحی و انتخاب می‌گردد. دبی و فشار کاری بعلاوه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیال مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. در مواقعی که با سیالات آتش‌زا و سمی سروکار داریم، محافظت گذرگاه سیال از محیط اطراف نیز مساله ساز خواهد بود. تمامی گذرگاه‌های سیال چندین خصوصیت مشترک دارند: اول؛ با حرکت رو به عقب پیستون، سیال به داخل گذرگاه مکیده و با حرکت روبه‌جلو به بیرون فرستاده می‌شود. برای این منظور، در پمپ‌های تزریقی در قسمت مکش و رانش شیرهای یک طرفه بکار می‌رود. شکل ۱-۳ مکانیزم این حرکت را برای یک پمپ پیستونی نشان می‌دهد [۵].

---

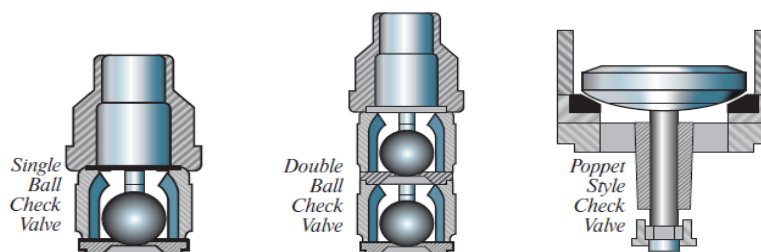
<sup>1</sup> Liquid End



شکل ۳-۱: مکانیزم پمپ پیستونی [۵]

هنگام عمل مکش، حرکت پیستون سبب می‌شود توپی شیر یک طرفه سمت مکش از روی نشیمن خود حرکت کند و سیال به داخل پمپ وارد شود. در همان موقع توپی شیر یک طرفه سمت رانش بر روی نشیمن خود فشرده می‌شود و امکان خروج سیال را غیرممکن می‌سازد. هنگام حرکت رانش، عکس این عمل اتفاق می‌افتد.

شیرهای یک طرفه در طرح‌های مختلف ساخته شده‌اند. انتخاب نوع شیرها (مثلاً توپی یا سوپاپی) معمولاً با توجه به دبی پمپ انتخاب می‌شود و مسئولیت آن بر عهده سازنده پمپ می‌باشد. شکل ۴-۱ انواع این شیرها را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱: انواع شیرهای یک طرفه [۵]

در مواقع پمپاژ مایعاتی که الیاف بلندی دارند بهتر است به جای استفاده از شیر یک طرفه نوع توپی تکی از شیر دابل استفاده شود. چراکه اگر ذرات بین توپی و نشیمن گیر بیفتند آب‌بندی شیر مختل می‌شود؛

بنابراین استفاده از شیر یک طرفه توپی دوپل<sup>۱</sup> دقت و پایداری بیشتری دارد. از طرف دیگر، از آنجاکه هر شیر یک طرفه ای حتی هنگامی که کاملاً باز می باشد مقداری مقاومت در مسیر جریان ایجاد می کند، در مواقعی که سیال ویسکوز می باشد استفاده از شیر یک طرفه تک در قسمت مکش ارجحیت دارد و باعث کاهش NPSH<sup>۲</sup> می شود. پمپ های تزریقی عموماً در حالات زیر مورد استفاده قرار می گیرند:

الف) دبی های پایین که بر حسب میلی لیتر بر ساعت بیان شوند.

ب) وقتی که فشار سیستم بالا است.

پ) تزریق خیلی دقیق سیال مورد نیاز باشد.

ت) تزریق سیال توسط رایانه، میکروپروسورها، DCS، PLC و یا شیرهای تناسبی کنترل می شود.

ث) زمانی که مایعات خورنده، آتش زا و یا سیالات داغ انتقال داده می شود.

ج) پمپاژ سیالات ویسکوز

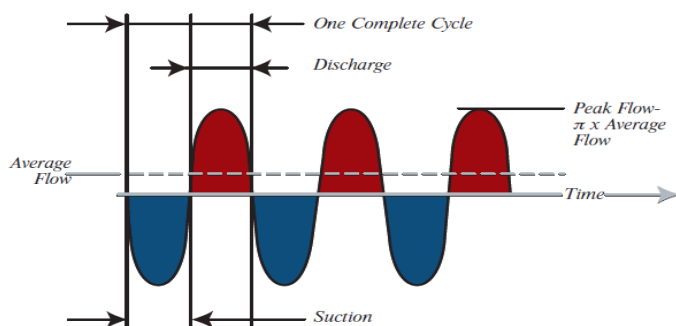
### ۱-۳-۱ منحنی های مشخصه پمپ های تزریقی

عمل پمپاژ توسط یک پیستون رفت و برگشتی انجام می شود. حرکت رفت و برگشتی سبب تولید دبی می شود که می توان به راحتی آن را توسط یک موج سینوسی نشان داد. دبی پمپ برابر با حاصل ضرب مقدار جابجایی مؤثر پیستون در تعداد سیکل ها در واحد زمان است. این موج سینوسی در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.

---

1 Double Ball Check Valve

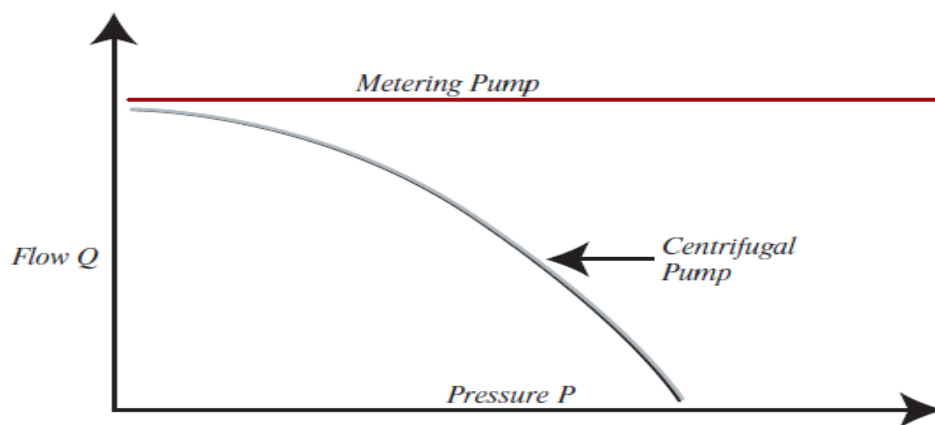
2 Net positive suction head



شکل ۵-۱: سیکل کاری پمپ پیستونی [۵]

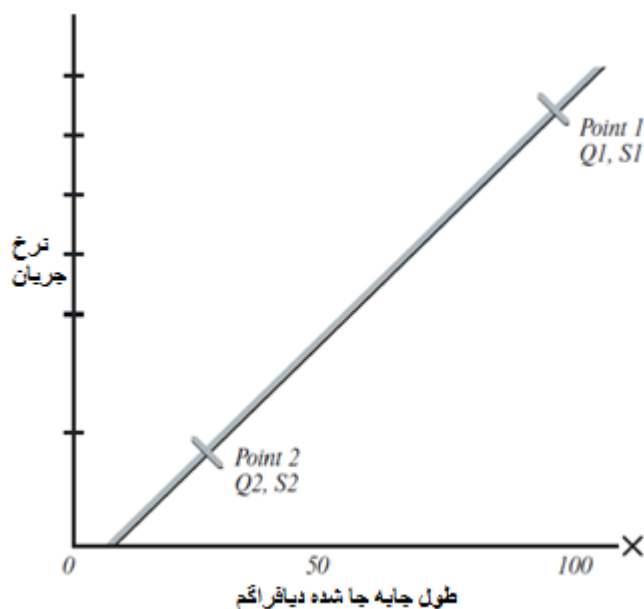
پمپ‌های تزریقی عموماً برای دبی‌های پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند. بیشینه دبی هر پمپ با توجه به نسبت گیربکس، قطر پیستون و دور الکتروموتور تعیین می‌شود. معمولاً در محدوده دقیق دستگاه، حداقل دبی از ۱/۵ لیتر بر ساعت شروع می‌شود و بزرگ‌ترین پمپ‌های تزریقی عموماً بیش از ۹۵۰۰ لیتر بر ساعت دبی تولید نمی‌کنند. بیشینه فشار این پمپ‌ها تا ۲۰۶۸۵۰ کیلو پاسکال گزارش شده است. اگرچه ممکن است بعضی سازنده‌ها بسته به نیاز مشتری با فشارهای بالاتر نیز تولید کرده باشند.

در پمپ‌های تزریقی برخلاف پمپ‌های گریز از مرکز، تغییرات فشار تأثیر زیادی بر دبی ندارد شکل ۶-۱ نمودار دبی بر حسب فشار را برای پمپ‌های گریز از مرکز و دوز پمپ‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱: نمودار کاری پمپ‌های گریز از مرکز و پمپ‌های تزریقی [۵]

منحنی مشخصه دبی- حرکت پمپ‌های تزریقی همان‌طور که در شکل ۱-۷ نشان داده شده است خطی می‌باشد. البته الزاماً به این معنی نیست که تنظیم ۵۰ درصد حرکت برابر با ۵۰ درصد دبی می‌باشد. به دلیل اینکه خط کالیبراسیون به‌طور هم‌زمان از مبدأ مختصات عبور نمی‌کند. با اندازه‌گیری دبی در دو بار تنظیم حرکت و رسم خط مستقیمی که از دونقطه می‌گذرد، می‌توان تغییرات دبی برحسب تنظیم حرکت را به‌صورت دقیق پیش‌بینی کرد. برای پمپ‌های تزریقی صنعتی که به‌درستی نصب شده‌اند، دقت پیش‌بینی دبی در حدود  $1 \pm$  درصد می‌باشد.



شکل ۱-۷: منحنی مشخصه دبی- حرکت پمپ‌های تزریقی [۵]

اگرچه پمپ‌های تزریقی عموماً می‌توانند برای دبی صفر تا حداکثر خود تنظیم شوند، اما دقت عمل آن‌ها ممکن است کاهش یابد. عموماً سازندگان پمپ محدوده ۱۰ درصد تا ۱۰۰ درصد دبی را به‌عنوان محدوده عملکرد دقیق دستگاه مشخص می‌نمایند. اخیراً شرکت Milton Roy ادعا نموده است محدوده عملکرد دقیق پمپ تزریقی مدل Centrac خود را به ۱ درصد افزایش داده است؛ یعنی در هر نقطه بین دبی ۱ تا ۱۰۰ درصد، دقت دستگاه یکسان می‌باشد.



## ۲-۳-۱ متداول ترین انواع پمپ‌های تزریقی

همان‌طور که توضیح داده شد هر پمپی را نمی‌توان به‌عنوان پمپ تزریقی استفاده کرد و باید دارای شرایط خاصی باشد. از این جمله پمپ‌ها می‌توان به دو مدل پرکاربرد آن پمپ پلانجری<sup>۱</sup> و پمپ دیافراگمی اشاره کرد که در ادامه به معرفی یک مدل پرکاربرد از هر کدام پرداخته می‌شود.

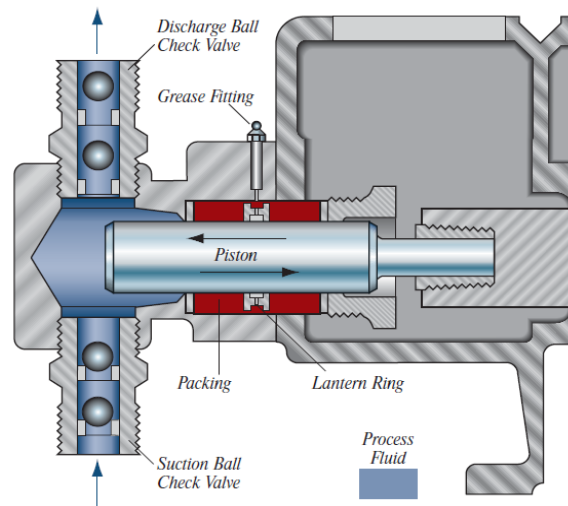
### ۱-۲-۳-۱ پمپ پلانجری با آب‌بندی پکینگی<sup>۲</sup>

این مدل پمپ که در شکل ۱-۸ دیده می‌شود تنها حالتی است که پیستون در تماس مستقیم با سیال می‌باشد. از مزیت‌های این پمپ می‌توان به قابلیت فشار و مکش رانش بالا، مقاومت دمایی بالا و NPSH پایین اشاره کرد.

---

1 plunger pump

2 packing



شکل ۸-۱: مکانیزم پمپ پلانجر [۵]

در این پمپ آببندی پیستون از نوع پکینگ<sup>۱</sup> می‌باشد. پلانجر با آببندی پکینگی ساده و مؤثر است اما در بعضی کاربردها محدودیت‌هایی دارد.

از آنجاکه نشتی کنترل‌شده‌ای در پکینگها وجود دارد، این پمپ نباید جهت سیالات شیمیایی آتش‌زا و سمی استفاده شود. علاوه بر این سایش بین پیستون و پکینگ سبب افزایش نشتی در مدت معینی می‌گردد؛ بنابراین باید به‌طور متناوب جهت حفظ بازده حجمی پکینگ‌ها تنظیم شوند. جهت جلوگیری از مشکلات نشتی باید از دیافراگم برای گذرگاه سیال استفاده کرد. پلانجر با آببندی پکینگی می‌تواند فشارهایی تا ۱۰۰۰۰۰ کیلو پاسکال را تحمل نماید.

---

<sup>1</sup> packing

## ۱-۳-۲-۲ پمپ دیافراگمی

پمپ‌های دیافراگمی دارای فواید بسیاری نسبت به پمپ‌های سنتی پیستونی هستند از این جمله ویژگی‌ها می‌توان به ارتباط نداشتن قطعات مورداستفاده در پمپ با سیال در هنگام انجام گرفتن عملیات پمپاژ اشاره کرد. در پمپ‌های پیستونی یا پلانجری بلبرینگ‌ها و دیگر قطعات در ارتباط مستقیم با سیال بوده و سیال خود باعث روان کاری می‌شود ولی در پمپ‌های دیافراگمی به دلیل نبود هیچ رینگی برای پیستون که سیال باعث خیس شدگی آن شود و در نتیجه شرایط خوردگی شیمیایی برای آن به وجود بیاید، از این پمپ‌ها برای پمپاژ سیالات سمی یا سیال‌هایی که از نظر بیولوژیکی آلودگی ایجاد می‌کنند استفاده می‌شود.

معمولاً طراحی پمپ‌های دیافراگمی به صورتی است که دیافراگم فشار داده شود نه اینکه کشیده شود. دیافراگم دارای شرط مرزی مکانیکی کاملاً مقید<sup>۱</sup> است بنابراین هیچ‌گونه کشیدگی، فشردگی، تغییر شکل یا آسیب دیدگی برای دیافراگم یا هرگونه تنش نباید در طراحی ایجاد شود.

در پمپ دیافراگم دیسکی از یک دیافراگم تفلونی استفاده شده است که مانعی بین سیال فرآیند و پیستون می‌باشد. حرکت رفت و برگشتی پیستون به سیال هیدرولیک<sup>۲</sup> وارد شده که سبب حرکت دیافراگم به سمت جلو و عقب می‌شود. فشار سیال هیدرولیک و فشار سیال فرآیند هر دو یکسان است. در نتیجه فشار در دو طرف دیافراگم در تمام زمان‌ها متعادل خواهد بود و سبب حذف تنش در آن می‌شود. دو صفحه کانتور مسیر حرکت دیافراگم را احاطه می‌کنند. سیال هیدرولیک و سیال فرآیند از سوراخ‌های صفحه کانتور که به دقت طراحی شده‌اند عبور می‌کنند تا در تماس با دیافراگم باشند. شیرهای فشار شکن و پرکننده<sup>۳</sup> حجم

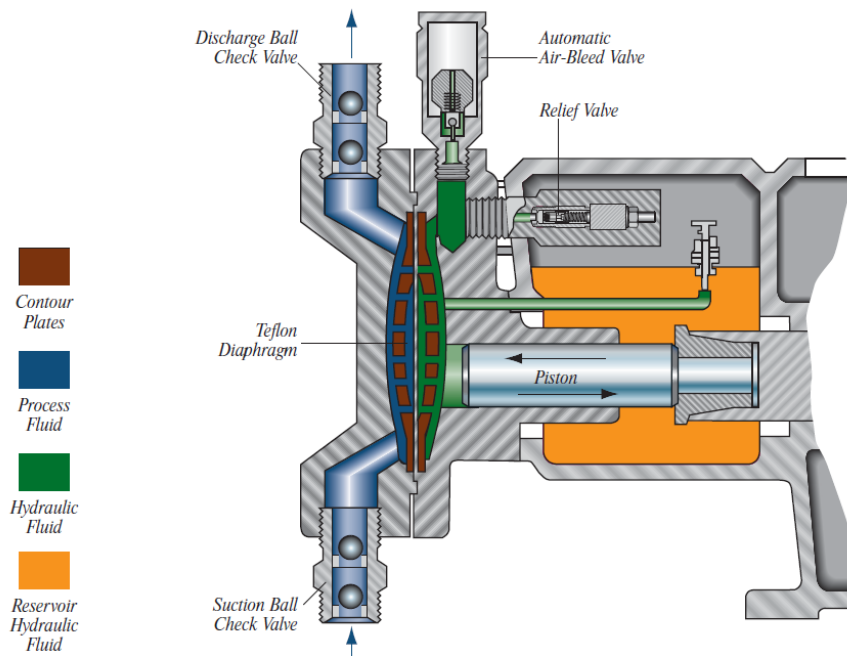
---

1 fully supported

2 hydraulic fluid

3 Relief Valve

سیال هیدرولیک را کنترل می‌کنند. یک شیر تخلیه اتوماتیک هوا<sup>۱</sup> به طور پیوسته هوا را از سیال هیدرولیک خارج می‌کند. شکل ۱-۹ این روند را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۹: مکانیزم پمپ دیافراگمی [۵]

در این پمپ، دیافراگم آب‌بندی است؛ بنابراین برای مایعات شیمیایی آتش‌زا، سمی و خورنده انتخاب مناسبی است. جهت محافظت بیشتر، دیافراگم دابل و سنسور نشتی استفاده می‌شود. اگرچه به خاطر استحکام بالای این پمپ استفاده از روش‌های محافظتی چندان متداول نیست.

از آنجاکه سیال فرآیند می‌بایست از داخل سوراخ‌های نسبتاً کوچک صفحات کانتور عبور کند، این پمپ برای سیالات ویسکوز بهترین انتخاب نیست. پمپ دیافراگمی دیسکی قابلیت تزریق تا فشار ۲۴۲۰۰ کیلو پاسکال یا بالاتر را دارد.

1 Automatic air bleed valve

همان‌طور که در بالا به آن اشاره شد، در این پمپ از شیر فشارشکن و پرکننده استفاده می‌شود. در مواقعی که دیافراگم بنا به هر دلیلی نتواند در هنگام مکش پیستون به عقب حرکت کند، شیر پرکننده وارد عمل می‌شود و سیال هیدرولیک را وارد مجرا می‌کند. همچنین وقتی عمل مکش به‌طور موقت و یا دائم به خاطر مسائلی همچون بروز کاویتاسیون<sup>۱</sup> و یا بسته شدن ناگهانی شیر مکش و یا هر دلیل دیگری قطع شود، این شیر وارد عمل می‌شود و سیال هیدرولیک اضافی وارد مجرا مربوطه می‌کند. در نتیجه مجرا بیش‌ازحد پر می‌شود و جهت جلوگیری از آسیب دیافراگم در حرکت برگشت، صفحات کانتور مانع حرکت بیش‌ازاندازه دیافراگم می‌گردند. در این حالت سیال هیدرولیک اضافی از شیر تخلیه خارج می‌گردد. صفحات کانتور محدب- مقعر می‌باشد و حرکت رفت و برگشتی دیافراگم را کنترل می‌کنند. این صفحه تعدادی سوراخ دارد که اجازه می‌دهد سیال در تماس با دیافراگم باشد. الگو و سایز این سوراخ‌ها باید به‌دقت مهندسی گردد تا استحکام کافی جهت نیروهای دیافراگم در فشارهای مختلف را داشته باشد.

صفحه کانتور سمت سیال هیدرولیک در طول عملکرد خود مشکل خاصی ندارد و سیال هیدرولیک به راحتی از بین سوراخ‌های آن عبور می‌کند؛ اما صفحه کانتور سمت سیال فرایند محدودیت‌هایی از بابت شرایط سیال دارد. سیالات ویسکوز به راحتی نمی‌توانند از داخل سوراخ‌های صفحه کانتور عبور کنند. ضمن آنکه عبور سیال از داخل آن نیز سبب افت فشار و بالا رفتن NPSH پمپ می‌شود.

برای انتقال آب و دیگر سیالات بی‌ضرر، آهن ریخته‌گری شده یا آلومینیوم مواد نرمالی برای محفظه و لوله انتقال سیال است. مدل‌های فولاد زد زنگ برای انتقال سیالات شیمیایی، حلال‌ها و دیگر مواد استفاده می‌شود. برای مواد به‌شدت خورنده مدل‌هایی که در آن‌ها از پلاستیک استفاده شده است مانند پلی پروپیلن، پلی‌اتیلن، PVDF و PTFE برای بیشترین مقاومت در برابر شرایط سیال پمپ شونده و دیگر شرایط کاری

---

1 cavitation

محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از مدل پمپ‌های ارزان قیمت پلاستیکی پلی‌پروپیلنی از نظر استحکام ضعیف‌تر از پمپ‌های با اجزای ساختاری پلاستیک سخت هستند.

برای آب و سایر سیالات معمولی بی‌ضرر مواد متداول برای دیافراگم استیل ضدزنگ، نیتریل، نیوپرن و اتیلن پروپیلن مرکب با لاستیک‌ها هستند. برای برخی مواد شیمیایی و حلال‌ها، وایتون مرکب با لاستیک مناسب است ولی بسیار گران قیمت است. برای مواد به شدت خورنده، PTFE انتخاب می‌شود. معمولاً به صورت یک لایه بروی یک لایه‌ی لاستیکی قرار می‌گیرد. عموماً دیافراگم‌های PTFE کمتر انعطاف پذیرند که دارای عمر مکانیکی کمتری خواهد بود و حتی در برخی از پمپ‌ها نیاز به اصلاح استروک<sup>۱</sup> است که طول آن کاهش داده شود. این مواد حتی برای شیرها و محل قرارگیری شیر مناسب هستند.

پمپ دیافراگمی به دلیل هزینه نگه‌داری پایین‌تر و محافظت قطعات داخلی در برابر خرابی و فرسایش و همچنین هزینه تولید پایین‌تر به دلیل کاهش تجهیزات داخلی پمپ نسبت به پلانجری به صرفه‌تر است. برای درک بهتر از پمپ‌های دیافراگمی بهتر است که دید بازتری نسبت به کاربرد این‌گونه پمپ‌ها در صنعت داشته باشیم. همان‌طور که در ابتدای این فصل اشاره شد هدف این مطالعه شبیه‌سازی پمپ دیافراگمی تزریق ماده بودار کننده گاز شهری است. در ادامه به مروری بر تحقیقات گذشته در زمینه برهمکنش سازه و سیال و همچنین پمپ‌های دیافراگمی پرداخته می‌شود.

## ۴-۱ مروری بر تحقیقات گذشته

همان‌طور که اشاره شد امروزه با پیشرفت سیستم‌های محاسباتی و افزایش ظرفیت CPU کامپیوترها حرکت به سوی موضوعاتی مشابه تقابل سازه و سیالی بیش‌ازپیش مورد توجه محققان قرار گرفته است.

---

1 stroke

درزمینهٔ برهمکنش سازه و سیال کارهای علمی بسیاری انجام شده است. این زمینه علمی بسیار گسترده و دارای کاربردهای فراوانی می‌باشد به‌منظور آشنایی با برخی از کارهای انجام شده در این زمینه علمی در این قسمت به تعدادی از این نمونه‌ها اشاره می‌شود.

برهمکنش سازه و سیال در بسیاری از سیستم‌های مهندسی نقش مهمی دارد از این سیستم‌ها می‌توان به هواپیماها، پل‌ها، توربین‌ها، پمپ‌ها و ... اشاره کرد. تأثیرات لرزشی بر روی یک سازه می‌تواند فجایع عظیمی را به بار آورد و باعث نابودی کامل آن سازه گردد. همانند پل تاکوما که در سال ۱۹۴۰ میلادی، نوسانات شدیدی که جریان باد عامل آن بود باعث نابودی کامل پل شد. این پدیده یکی از معروف‌ترین وقایع مهندسی است که به‌خوبی بیانگر پدیده‌ی تأثیر متقابل سیال و جامد می‌باشد. بال‌های هواپیما و پره‌های توربین همواره به دلیل لرزش‌هایی که ناشی از برهمکنش سازه و سیال‌اند در معرض خطر شکست و نابودی هستند.

در سال ۱۸۲۸ جرم هیدرودینامیکی<sup>۱</sup> یا جرم اضافه<sup>۲</sup> برای اولین بار توسط فریدریش بسل کسی که حرکت پاندولی داخل یک سیال را کشف کرد معرفی شد. او کشف کرد که حرکت پاندولی داخل یک سیال مدت طولانی‌تری را نسبت به یک محیط خلأ طی می‌کند و توضیح داد که این اثر به دلیل برهمکنش سازه و سیال به وجود می‌آید [۶].

روش‌های مختلفی برای حل مسائل برهمکنش سازه و سیالی موجود می‌باشد، یکی از کارهایی که می‌توان به آن به‌عنوان نمونه‌ای از مطالعاتی که برخی از این روش‌ها را برای حل یک مدل خاص به‌کاربرده است اشاره کرد کار سولی و همکاران [۷] می‌باشد. در این مطالعه به بررسی کلی روش‌های برهمکنش سازه

---

1 hydrodynamic mass

2 added mass

و سیال مانند ALE<sup>۱</sup>، SPH<sup>۲</sup>، Euler Lagrangian<sup>۳</sup> پرداخته شده است که تمرکز بیشتر بر روی روش ALE می باشد. در این مقاله به بررسی حرکت بالگرد و باز شدن کیسه هوا<sup>۳</sup> خودرو پرداخته شده است. در این مطالعه از یک کد CFD<sup>۴</sup> برای حلگر سیالاتی و یک کد FEA برای حلگر قسمت جامداتی مسئله استفاده شده است. کوپلینگ بین این دو میدان به صورت صریح<sup>۵</sup> می باشد. نیروها با انتگرال گیری از تانسور تنش که شامل نیروی فشار و تنش برشی به منظور استفاده به عنوان شرایط مرزی کد سازه به دست آمده اند.

با توجه به سیر مطالعاتی انجام گرفته در زمینه برهمکنش سازه و سیال مشاهده می شود که از اوایل قرن ۲۱ حرکت به سوی تولید کدهای تجاری به منظور محاسبات سنگین مسائل در این زمینه علمی روند قابل ملاحظه ای داشته است. یکی از عللی که موجب علاقه ی بیش از پیش محققان به کدهای تجاری شده است پیچیدگی حل های تحلیلی و هزینه بر بودن مدل سازی های آزمایشگاهی می باشد. به عنوان نمونه ای از کارهای تحلیلی در زمینه ی برهمکنش سازه و سیال و همچنین پمپ های دیافراگمی می توان به آن اشاره کرد کار ویوک و همکاران [۸] است؛ که به مدل سازی تحلیلی تزریق کننده ی آهن مذاب پرداخته اند. این مطالعه بر روی یک پمپ دیافراگمی که به صورت پنوماتیکی عمل می کند انجام گرفته و از اولین مطالعات بنیادین در زمینه ُ مدل سازی تحلیلی پمپ های دیافراگمی محسوب می گردد. در این مدل سازی زمانی که اثرات گرانیوی ناچیز است از معادلات برنولی و در غیر این صورت از موازنه انتگرالی معادله ممنوم استفاده شده است. شکل ۱- ۱۰ نمایی از این پمپ را نشان می دهد.

---

1 arbitrary lagrangian Eulerian

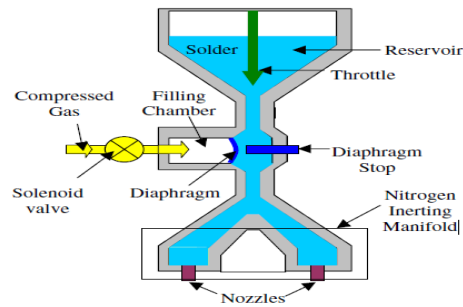
2 smooth particle hydrodynamic

3 Air bag

4 computational fluid dynamics

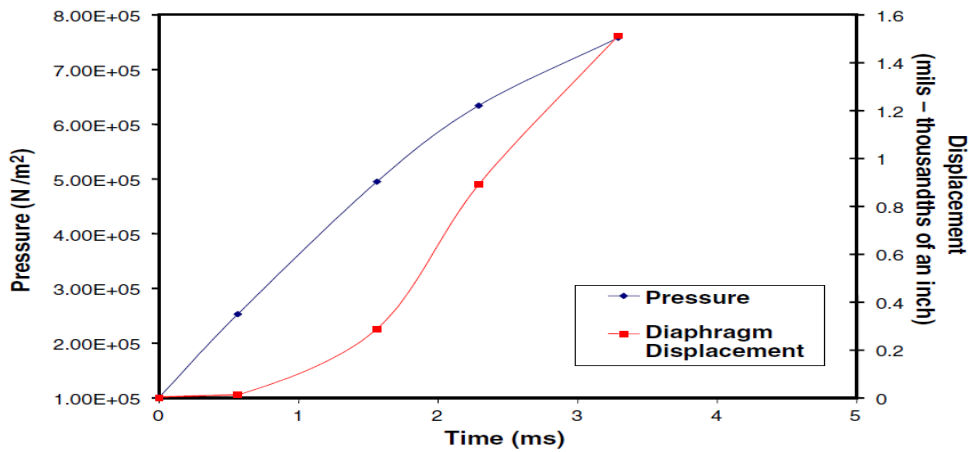
5 explicit





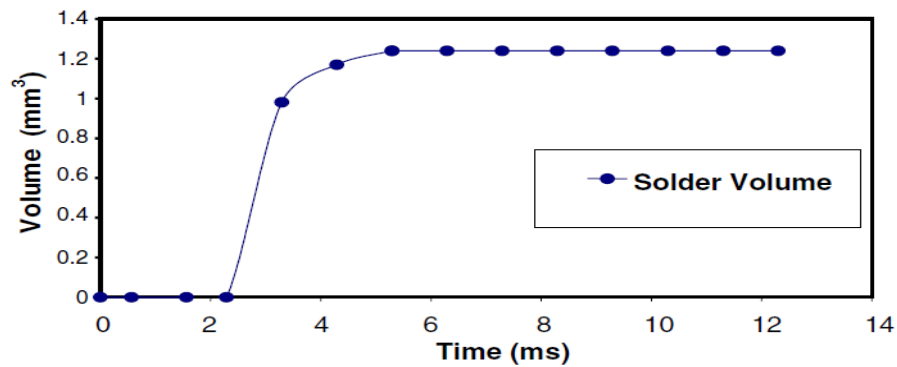
شکل ۱۰-۱: پمپ تزریق آهن مذاب [۸]

از جمله نتایجی که می‌توان به آن اشاره کرد افزایش فشار بر حسب زمان می‌باشد که در شکل ۱۱-۱ نشان داده شده است. نکته‌ی دیگری که در این نمودار وجود دارد نشان می‌دهد که جابه‌جایی دیافراگم رابطه مستقیم با فشار دارد.



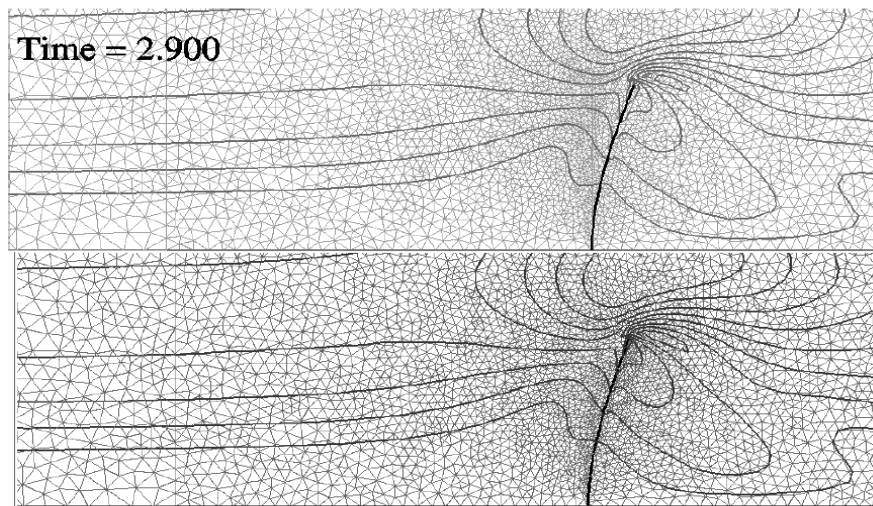
شکل ۱۱-۱: نمودار فشار بر حسب زمان [۸]

وابستگی حجم سیال خارج شده از پمپ نسبت به زمان نیز از جمله خروجی‌های ارائه شده توسط ویوک و همکاران می‌باشد که در شکل ۱۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۲: حجم سیال انتقال یافته بر حسب زمان [۸]

دینیز و همکاران [۹] با روش FD-LM<sup>۱</sup> و روش ALE به صورت تحلیلی به مطالعه حرکت یک مانع الاستیک که در مقابل جریان سیال تراکم ناپذیر قرار دارد پرداخته‌اند. هر دو روش دارای همگرایی خوبی هستند. شکل ۱-۱۳ خطوط جریان را در اطراف مانع نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۳: خطوط جریان را در اطراف مانع [۹]

در شکل ۱-۱۳ طول شیر L، ارتفاع و طول مجرای عبور سیال هر کدام به ترتیب ۱ سانتی‌متر و ۶ سانتی‌متر هستند. خطا دو روش در جدول ۱-۱ درج شده است:

1 Fictitious Domain-lagrange Multiplier

جدول ۱-۱: جدول خطای دو روش ALE و FD [۹]

$h_s$	Method	Error
L/9	ALE	0.00441
	FD	0.00502
L/18	ALE	0.00345
	FD	0.00454
L/27	ALE	0.00216
	FD	0.00333

دینیز پس از تحلیل عددی جریان سیال اطراف سازه به این نتیجه رسیدند که با توجه به جابه‌جایی‌های بزرگ سازه شبیه‌سازی ALE به نسبت دارای تطابق بهتری با مدل است و در محل تماس سیال و سازه همگرایی بهتری در مقایسه با روش دیگر دارد. در نتیجه این آزمون روش ALE را برای جابه‌جایی‌های بزرگ سازه مناسب‌تر نشان می‌دهد.

همان‌طور که قبلاً نیز توضیح داده شد برهمکنش سازه و سیال با توسعه‌ی سیستم‌های محاسباتی در حال پیشرفت است. روش‌های مختلفی برای کوپل کردن سازه و سیال تا به امروز معرفی شده است که روش‌های پرکاربرد آن عبارت‌اند از روش یکپارچه<sup>۱</sup>، روش جزء بندی شده<sup>۲</sup>، روش یک طرفه<sup>۳</sup> و روش دوطرفه<sup>۴</sup> از آنجایی که این روش‌ها گسترده بوده تنها نمونه‌ای برای هر کدام در ادامه ذکر می‌شود و در انتها به

<sup>1</sup> Monolithic

<sup>2</sup> Partitioned

<sup>3</sup> One-way

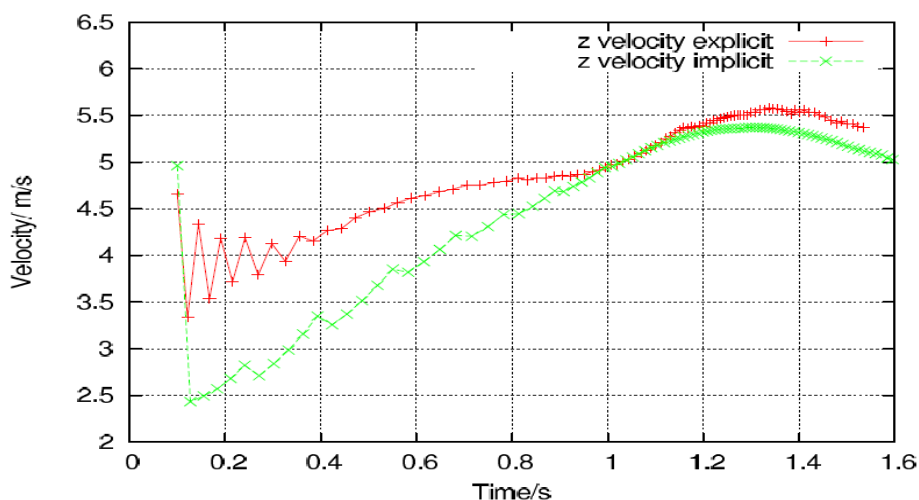
<sup>4</sup> Two-way

انتخاب مناسب‌ترین روش به منظور مدل‌سازی پمپ دیافراگمی تزریق سیال بودار کننده پرداخته می‌شود. در فصول آینده توضیح کامل‌تری پیرامون هر یک از این روش‌ها بیان می‌شود.

## ۱-۴-۱ مدل‌سازی به روش جزء بندی شده

گنزهامر [۱۰] در مطالعه خود از برهمکنش سازه و سیال به روش جزء بندی شده بهره جسته است. گنزهامر به بررسی رفتار یک استوانه دارای دنباله‌ی انعطاف‌پذیر در داخل جریان سیال پرداخته است. شبیه‌سازی رفتار استوانه به وسیله رایانه انجام شده است.

گنزهامر در این مطالعه به مقایسه‌ی دو حلگر ضمنی و صریح برای روش کوپلینگ جزء بندی شده پرداخته است. یکی از مقایسه‌هایی که بین این دو حلگر انجام گرفته سرعت برحسب زمان می‌باشد که در شکل ۱-۱۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود نوسانات در حل ضمنی کمتر است بنابراین روش ضمنی مناسب‌تر از روش صریح می‌باشد.

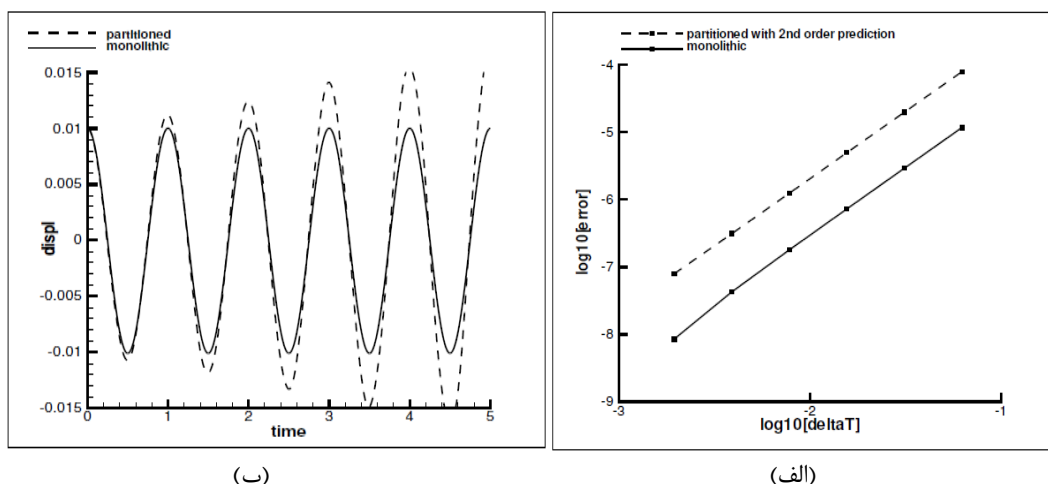


شکل ۱-۱۴: مقایسه نمودارهای دو روش ضمنی و صریح [۱۰]

دی نایر و همکاران [۱۱] کاری مشابه مطالعه گتزهامر انجام داده‌اند. این محققان نیز بر روی جریان سیال عبوری از اطراف استوانه دارای دنباله مطالعه کرده و برهمکنش سازه و سیال را در آن مشاهده می‌کنند و به بررسی تأثیرات آن می‌پردازند.

## ۲-۴-۱ مدل‌سازی به روش یکپارچه

میشلر و همکاران [۱۲] به مطالعه‌ی روش یکپارچه در برهمکنش سازه و سیال پرداخته‌اند. در این مقاله شبیه‌سازی عددی به دو روش یکپارچه و جزء بندی شده برای برهمکنش سازه و سیال مقایسه شده‌اند. پمپ پیستونی نمونه‌ای است که این مطالعه به حل آن پرداخته است. نتایج مختلفی در این مطالعه به دست آمده است که از جمله این نتایج می‌توان به مقایسه‌ی دو روش یکپارچه و جزء بندی شده در جابه‌جایی پیستون نسبت به زمان و خطای این دو نمودار اشاره کرد که در شکل ۱-۱۵ آورده شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود خطای روش یکپارچه برای این حل به مراتب کمتر است و در نتیجه این روش دارای دقت بالاتری می‌باشد.



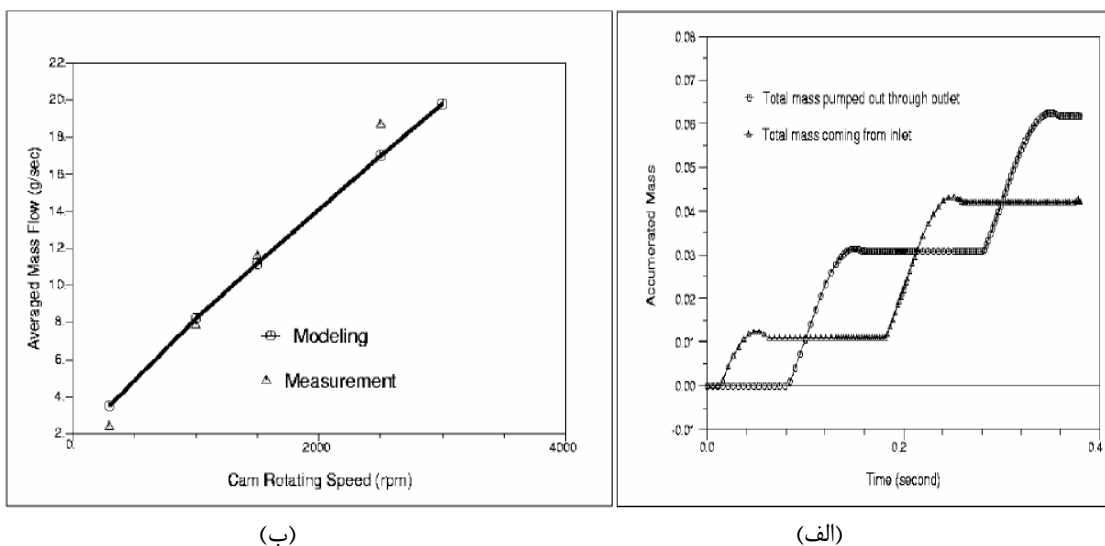
شکل ۱۵-۱: نمودار (ب) جابه‌جایی برحسب زمان برای پمپ پیستونی و نمودار (الف) مقایسه‌ی خطای دو روش یکپارچه و جز بندی [۱۲]

### ۳-۴-۱ مدل‌سازی به روش یک طرفه

وانگ و همکارانش [۱۳] با استفاده از روش یک طرفه به شبیه‌سازی توربین بادی ساحلی ۲ مگاواتی پرداخته‌اند. این مطالعه که به روش حجم محدود یا FVM<sup>۱</sup> و به وسیله‌ی نرم‌افزار ANSYS CFX انجام شده است. جریان به صورت توربولانسی با مدل K-ε فرض شده است. همگرایی شبکه نسبت به مدل واقعی بسیار مناسب بوده و خطای مدل‌سازی در حدود ۲.۱۵٪ است که دقت قابل‌توجهی دارد. از آنجایی که جابه‌جایی‌های جامد در مقابل سیال بسیار ناچیز است این روش مناسب‌تر می‌باشد.

لی و همکاران [۱۴] به شبیه‌سازی برهمکنش سازه و سیال پمپ دیافراگمی تزریق مستقیم گازوئیل پرداخته‌اند. شبیه‌سازی عددی این مطالعه توسط نرم‌افزار ADINA انجام گرفته است. در این مطالعه به دلیل تغییر شکل‌های کوچک دیافراگم حل به صورت یک طرفه است.

از جمله نتایجی که لی و همکارانش به آن دست یافتند می‌توان به تجمع جرم خروجی از پمپ نسبت به زمان و همچنین تغییرات نرخ جریان نسبت به دور موتور اشاره کرد که در شکل ۱-۱۶ به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۱-۱۶: نمودار (ب) تغییرات نرخ جریان نسبت به دور موتور و نمودار (الف) تجمع جرم خروجی از پمپ با توجه به زمان [۱۴]

## ۴-۴-۱ مدل سازی به روش دوطرفه

اشموکر به همراه همکارانش [۱۵] برهمکنش سازه و سیال پره‌های توربین کشتی را با روش دوطرفه به وسیله نرم افزار ANSYS CFX شبیه سازی کردند. در این مطالعه نیروی مکانیکی فشار سیال بر روی پره‌های توربین باعث ایجاد گشتاور چرخشی در توربین می‌گردد و در مقابل تغییر شکل پره توربین باعث اعمال نیروی بر روی سیال می‌شود. از آنجایی که نیروی اعمالی بر روی پره بزرگ بوده و امکان تغییر شکل‌های بزرگ در پره‌ها را به دنبال دارد این روش نسبت به روش یک طرفه مناسب تر است.

آقای اشموکر در این تحقیق به دنبال ماده‌ای است که در مقابل نیروی سیال دارای مقاومت خوبی باشد به این منظور به دنبال یافتن بهترین مدل الاستیسیته برای پره توربین است. نتیجه‌ای که از این مطالعه به دست آمده یک مدل بسیار نزدیک به نمونه واقعی است که در آن به طور کامل برهمکنش سازه و سیال وجود دارد.

### ۵-۴-۱ نتایج مطالعه تحقیقات پیشین

با توجه به مطالعاتی که در زمینه‌ی شبیه‌سازی عددی تقابل سازه و سیال انجام گرفته است، از یک سو پیچیده بودن و محدودیت داشتن روش‌های تحلیلی و همچنین هزینه‌بر بودن کارهای آزمایشگاهی و از سوی دیگر افزایش روزافزون سرعت سیستم‌های محاسباتی و توسعه‌ی کدهای تجاری مانند نرم‌افزار ANSYS CFX روش‌های شبیه‌سازی عددی نسبت به روش‌های هزینه‌بر و پیچیده تحلیلی و آزمایشگاهی در زمینه‌ی برهمکنش سازه و سیال مناسب‌تر می‌باشند. در این زمینه امکان مدل‌سازی پمپ دیافراگمی تزریق سیال بودار کننده با نرم‌افزار مذکور امکان‌پذیر می‌باشد؛ که در فصول بعد به بررسی و انجام این موضوع پرداخته می‌شود.



فصل دوم

# مطالعات میدانی و شرح مسأله

## ۲-۱ مقدمه

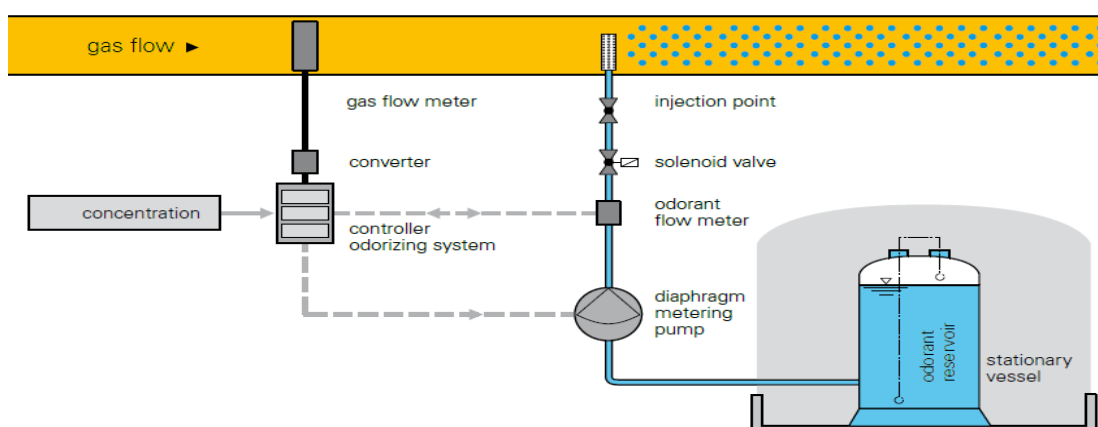
همان‌طور که در فصل قبل اشاره شد یکی از سیستم‌هایی که از پمپ دیافراگمی استفاده می‌کند سیستم‌های تزریق سیال بودار کننده می‌باشند. به همین دلیل برای برداشت برخی اطلاعات میدانی پمپ دیافراگمی به یکی از ایستگاه‌های تقلیل فشار استان خراسان رضوی رفته و اطلاعاتی استخراج شد که برخی از آن‌ها در ادامه معرفی می‌شوند. از دیگر مطالبی که در انتهای این فصل به آن اشاره خواهد شد معادلات حاکم سیال و جامد پس از تعریف مسئله می‌باشد.

## ۲-۲ مطالعات میدانی پمپ دیافراگمی در صنعت گاز

امروزه به دلیل گازرسانی به اکثر نقاط کشور نیاز به افزایش ایستگاه‌های تقلیل فشار<sup>۱</sup> نیز افزایش یافته است. از آنجایی که گاز طبیعی بدون بو می‌باشد برای تشخیص آن هنگام انتشار از سیالات شیمیایی به‌منظور بودار کردن گاز استفاده می‌شود. برخی از سیستم‌های تزریق بودار کننده‌ها به خطوط گاز شهری از پمپ‌های دیافراگمی در ابعاد و اندازه‌های مختلف استفاده می‌کنند. در طول انجام این پروژه برخی از ایستگاه‌های تقلیل فشار استان خراسان رضوی مورد بازدید قرار گرفتند. در ادامه به معرفی یکی از این ایستگاه‌ها پرداخته می‌شود:

## ۳-۲ فرایند تزریق سیال بودار کننده در ایستگاه تقلیل فشار

ایستگاه‌های تقلیل فشار وظیفه کاهش فشار گاز و رساندن آن به منازل را دارند. در کنار انتقال گاز این ایستگاه‌ها به بودار کردن گاز نیز می‌پردازند. یکی از سیستم‌های بودار کننده، سیستم بودار کننده‌ی تزریقی است. شکل ۱-۲ شماتیکی از یک سیستم تزریق بودار کننده را نشان می‌دهد [۱۶]. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده پمپ دیافراگمی است.



شکل ۱-۲: شماتیکی از یک سیستم تزریق بودار کننده [۱۶]

همان‌طور که در ابتدای پایان‌نامه اشاره شد شرکت گاز استان خراسان رضوی حمایت علمی و مالی این پروژه را بر عهده دارد. به همین دلیل برای برداشت اطلاعات و تعیین یک نمونه‌ی پمپ دیافراگمی به ایستگاه‌های این استان مراجعه شد که ایستگاه تقلیل فشار تربت‌حیدریه به دلیل خارج از سرویس بودن سیستم تزریق انتخاب گردید. در این ایستگاه از دو سیستم بودار کردن کنارگذر و تزریقی استفاده می‌شود زمانی که یکی از این دو سیستم به مشکلی برخورد کند سیستم دیگر خط را تغذیه خواهد نمود. پمپ بکار رفته در این سیستم همان‌طور که در شکل ۲-۲ مشاهده می‌شود از نوع پمپ‌های دیافراگمی شرکت پتروساویز است و دارای ابعاد خارجی  $10 \times 10 \times 50$  سانتی‌متر می‌باشد. شکل ۳-۲ محل قرارگیری آن را در ایستگاه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این مدل از پمپ به‌صورت عمودی نصب می‌گردد.



شکل ۲-۲: پمپ دیافراگمی شرکت پتروساویز



شکل ۲-۳: محل و نحوه قرارگیری پمپ دیافراگمی

سیال بودار کننده‌ای که در این مطالعه از آن به‌عنوان سیال کاری استفاده شده است سیال مرکاپتان<sup>۱</sup> می‌باشد که از نظر شیمیایی یک سیال پایه هیدروکربنی و تا حد زیادی سمی شناخته می‌شود. سیستمی که در این مجموعه مورد مطالعه قرار گرفته است دارای ظرفیت ۳۰۰۰ مترمکعب بر ساعت است که در واقع نشان‌دهنده‌ی نرخ جریان گاز خطی است که این سیستم آن را تغذیه می‌کند. این سیستم از اجزای مختلفی تشکیل شده است که در ادامه به توضیح مختصری پیرامون هر یک می‌پردازیم.

## ۱-۳-۲ اجزای تشکیل‌دهنده سیستم تزریق مرکاپتان

سیستم‌های تزریق نمونه‌ای از دستگاه‌هایی هستند که وظیفه بودار کردن گاز را بر عهده‌دارند. همان‌طور که در قبل اشاره شد گاز طبیعی بی‌بو بوده بنابراین نیاز است که به‌منظور جلوگیری از ایجاد هرگونه اتفاق این گاز بودار گردد. میزان این بودار شونده‌گی با توجه به یک معیار به نام معیار بو سنجی انجام می‌شود که حداقل مقدار سیال بودار کننده را اعلام می‌کند که در صورت نشت گاز توسط انسان قابل تشخیص باشد و با توجه به شرایط مختلف مقداری متفاوت دارد. در ادامه به معرفی برخی از اجزای تشکیل‌دهنده این سیستم پرداخته می‌شود.

## ۱-۱-۳-۲ مخزن

در این سیستم برای نگهداری سیال بودار کننده از یک مخزن استفاده می‌شود. از آنجایی که مواد بودار کننده معمولاً سمی و همچنین گران‌قیمت می‌باشند باید از تجهیزاتی استفاده شود که دارای آب‌بندی به

---

<sup>1</sup> mercaptan

نسبت خوبی باشند. مخزن باید در مقابل خوردگی، زنگ زدگی و دیگر واکنش‌های شیمیایی مقاوم باشد. شکل ۴-۲ محل قرارگیری مخزن را نشان می‌دهد. برخی از خصوصیات مکانیکی این مخزن در جدول ۱-۲ به‌طور خلاصه وار آورده شده است این اطلاعات با توجه به کاتالوگ‌های سیستم که در (پیوست الف) گردآوری شده بیان شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این سیستم‌ها در فضای باز نصب می‌شوند.



شکل ۴-۲: مخزن سیستم تزریق

جدول ۱-۲: پارامترهای مخزن

Max. operating temperature	80 C
Max. operating pressure	30 PSI
Design pressure	60 PSI
Nominal Capacity	650 LIT
Station Capacity SCHM	30000 SCHM

## ۲-۱-۳-۲ نشانگر مخزن

مخازن سیستم‌های بودار کننده معمولاً فلزی هستند به همین دلیل میزان سیال داخل مخزن به خوبی تشخیص داده نمی‌شود. برای تشخیص میزان سیال داخل مخزن از یک روش بسیار ساده استفاده می‌شود. با اتصال یک لوله‌ی مدرج‌شده به مخزن که به موازات مخزن بوده سیال داخل لوله هم‌سطح سیال داخل مخزن می‌ایستد در نتیجه میزان حجم سیال داخل آن تشخیص داده می‌شود. این نشانگر در شکل ۲-۵ نشان داده شده است.



شکل ۲-۵: نشانگر مخزن

## ۲-۳-۱-۳ سیستم کنترلی

همان طور که در قبل توضیح داده شد برای بودار کردن گاز شهری باید از مقدار مشخصی از سیال بودار کننده که در اینجا ماده مرکاپتان می باشد استفاده شود تا علاوه بر بهتر مشخص شدن گاز به هنگام نشر آن از مصرف بیهوده بودار کننده نیز کاسته شود. میزان موردنیاز مرکاپتان معمولاً با توجه به شرایط مختلف فیزیکی و مکانیکی متفاوت بوده اما یک بازه مشخص را در محدوده 15ppm تا 25ppm تشکیل می دهد. یکی از دلایلی که پمپ دیافراگمی برای این سیستم ها انتخاب می شود همین تزریق دقیق و دبی کنترل شده می باشد.

برای تزریق متغیر و دقیق نیاز به یک سیستم کنترلی است که بتواند تعداد دفعات تزریق را با توجه به آنچه اپراتور می خواهد تنظیم کند. به همین منظور معمولاً یک جعبه فرمان الکتریکی به همراه تعدادی سنسور در این سیستم تزریق تعبیه می شود که وظیفه ی کنترل سیستم را بر عهده دارند. شکل ۲-۶ نمایی از این سیستم فرمان را نشان می دهد. همان طور که در تصویر دیده می شود میزان رفت و برگشت های دیافراگم یا همان پالس های<sup>۱</sup> پمپ را در دقیقه نشان می دهد که با توجه به ظرفیت پمپ قابل تنظیم می باشد. این پمپ دارای ظرفیت  $90\text{min}^{-1}$  با توجه به (پیوست الف) می باشد.

---

1 pulse





شکل ۲-۶: سیستم کنترلی تزریق

## ۲-۳-۱-۴ پمپ دیافراگمی

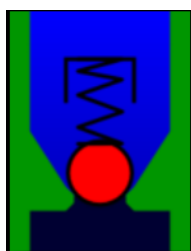
پمپ‌های دیافراگمی دارای شرایط کاری مختص خود می‌باشند و این شرایط بسته به شرایط ایستگاه تزریقی که پمپ در آن نصب شده و خط گازی که عملیات پمپاژ به آن انجام می‌شود متفاوت است. شرایط کاری پمپ دیافراگمی شرکت پتروساویز که مطالعات بر روی آن انجام شده است بر اساس فشار کاری مخزن که پمپ به آن متصل است و فشار خطی که تزریق به آن انجام می‌گیرد تنظیم شده است. فشار کاری مخزن که برابر فشار ورودی پمپ می‌باشد ۲۰۶ کیلو پاسکال و فشار خطی که باید سیال بودار کننده به آن تزریق شود حدود ۱۹۳۰ کیلو پاسکال می‌باشد که تقریباً برابر فشار خروجی پمپ می‌باشد. در ادامه به ساختار فیزیکی و برخی قطعات سازنده‌ی این پمپ و وظیفه‌ی هر کدام اشاره می‌شود.

## ۲-۳-۱-۴-۱ اجزای تشکیل دهنده ی پمپ دیافراگمی

با توجه به آنچه تا به اینجا در مورد پمپ‌های دیافراگمی تزریق سیال بودار کننده بیان شد لازم می‌باشد به منظور شبیه‌سازی هر چه بهتر و دقیق‌تر این‌گونه پمپ‌ها به معرفی اجزای تشکیل دهنده پمپ پرداخته شود. به منظور روئیت و اندازه‌گیری برخی اجزا مانند دیافراگم، پمپ در ایستگاه موردنظر به اجزاء کوچک‌تر توسط اپراتور خط تفکیک شد که در ادامه اجزای اصلی معرفی می‌شوند.

## ۲-۳-۱-۴-۱ شیرهای ورودی و خروجی

شیرهای به‌کاررفته در این پمپ از نوع یک طرفه می‌باشند. در این شیرها سیال فقط از یک سمت می‌تواند وارد شود و زمانی که در یک مسیر قرار دارد، جریان سیال از مسیر مخالف آن غیرممکن است. در اکثر شیرها محل ورود سیال به شیر مطرح نیست و می‌تواند از دو طرف آن باشد. ولی در شیر یک طرفه فقط سیال از یک طرف می‌تواند وارد شود شیرهای یک طرفه انواع مختلفی دارند و شیری که در این سیستم در ورودی و خروجی پمپ استفاده شده است از نوع شیر یک طرفه کروی با توپی<sup>۱</sup> می‌باشد. شکل ۲-۷ شماتیک یک شیر یک طرفه کروی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷: شماتیک شیر یک طرفه کروی

---

1 ball check valve

نحوه کار این نوع شیر بدین صورت است که در مسیر سیال ورودی یک کره به صورت معلق در داخل سیال نگاه داشته می شود و سیال از اطراف آن به طرف دیگر می رود زمانی که جریان سیال برعکس شود کره مورد نظر در نشیمنگاه خود نشست که مانع از عبور سیال به طرف ورودی می شود. شکل ۲-۸ تصویری از شیرهای ورودی و خروجی را نشان می دهد که به صورت باز شده قرار دارند اگر در تصویر دقت شود فنربندی و توپی به خوبی مشاهده می شود.



شکل ۲-۸: نمایی از شیرهای ورودی و خروجی به صورت تفکیک شده

## ۲-۳-۱-۴-۱-۲ دیافراگم

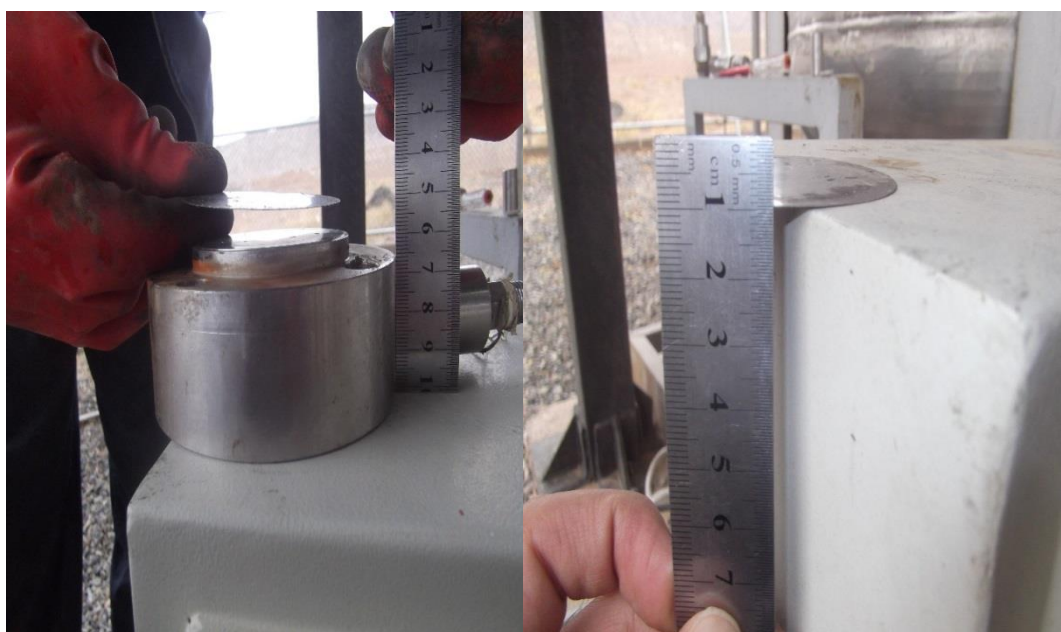
در این قسمت به معرفی دیافراگم استفاده شده در این پمپ و خواص مکانیکی آن می پردازیم. از آنجایی که سیال مرکاپتان خاصیت اسیدی ندارد امکان استفاده از دیافراگم فلزی وجود دارد اما به دلیل جلوگیری از زنگ زدگی، دیافراگم با جنس استیل ضدزنگ<sup>۱</sup> (SST 316) استفاده شده است. این دیافراگم به دلیل

<sup>1</sup> stainless steel

ضخامت کم آن که در حدود ۰/۵ میلی‌متر و قطر به نسبت بزرگ آن که در حدود ۷ سانتی‌متر است امکان جابه‌جایی ۱/۵ تا ۵ میلی‌متر را فراهم می‌کند. شکل‌های ۲-۹ و ۲-۱۰ ابعاد دیافراگم را نشان می‌دهند.



شکل ۲-۹: ابعاد دیافراگم



شکل ۲-۱۰: ضخامت دیافراگم

### ۲-۳-۱-۴-۱-۳ پیستون و فنربندی

موتور در پمپ‌های دیافراگمی دارای حرکت چرخشی است که برای تبدیل آن به حرکت رفت‌وبرگشتی از یک جعبه‌دنده استفاده می‌شود. این جعبه‌دنده نیرو را به پیستون انتقال داده و آن نیز سیال پشت دیافراگم

را به حرکت وامی دارد. جابه‌جایی پیستون در این نمونه پمپ در حدود  $1/5$  سانتی‌متر می‌باشد که به دلیل اتلاف نیرو در سیال جابه‌جایی به حدود  $1/5$  میلی‌متر تا ۵ میلی‌متر می‌رسد. شکل ۱۱-۲ پیستون و فنربندی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۲: پیستون، خار نگه‌دارنده و فنربندی به‌طور تفکیک‌شده

در ادامه به‌منظور درک بهتر مسئله به معرفی و شرح مسئله شبیه‌سازی پمپ دیافراگمی پرداخته می‌شود و در انتهای این فصل به معرفی برخی معادلات ریاضی حاکم در این مدل‌سازی پرداخته می‌شود.

## ۲-۴ تعریف مسئله

همان طور که در قبل بیان شد هدف از این مطالعه شبیه‌سازی برهمکنش سازه و سیال در یک پمپ دیافراگمی تزریق بودار کننده به گاز شهری است. با توجه به اطلاعات میدانی برداشت‌شده از سیستم تزریق در ایستگاه تقلیل فشار شرایط کاری پمپ‌های دیافراگمی تزریق بودار کننده بر اساس فشار ورودی و خروجی می‌باشد به همین دلیل شرایط مرزی ورودی و خروجی برای پمپ معمولاً به صورت فشار ثابت در نظر گرفته می‌شود. سیال به صورت گذرا، ایزوترمال و غیرقابل تراکم فرض شده که با توجه به چگالی و رفتار آن فرض مناسبی می‌باشد. با توجه به اینکه پمپ‌های تزریق معمولاً دارای دبی‌های کوچکی هستند بنابراین بازه سرعت کوچک می‌باشد و جریان سیال به صورت آرام [۱۷] در نظر گرفته شده است در فصل نتایج درستی این فرض مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور کاهش حجم محاسبات مدل پمپ به صورت دوبعدی در نظر گرفته شده [۱۴] مدل‌سازی این پمپ در فصل آینده توضیح داده شده است با توجه به فرضیاتی که در مورد مدل دوبعدی و سیال بیان شد، معادلات حاکم سیال و جامد در ادامه معرفی می‌شود.

## ۲-۵ معادلات حاکم برای سیال

در این بخش نگاهی اجمالی به معادلات ناویر استوکس [۱۸] می‌اندازیم. فرم دیفرانسیلی معادلات ناویر استوکس در مختصات کارتزین به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j) = 0 \quad (۱-۲)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_j U_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \mu \left[ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] \right) \quad (2-2)$$

که رابطه ۱-۲ معادله بقای جرم و رابطه ۲-۲ معادله بقای ممنتوم می‌باشد. در رابطه ۲-۲ جمله اول سمت چپ نرخ تغییرات زمانی، جمله دوم سمت چپ عبارت مربوط به جابجایی سیال و جمله دوم از سمت راست مربوط به نفوذ می‌باشد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود معادلات بقای ممنتوم و جرم به دلیل حضور سرعت در هر دو معادله کوپل می‌باشند. در معادله ممنتوم جمله جابجایی عبارتی غیرخطی می‌باشد و همچنین معادله‌ای مجزا برای محاسبه فشار در دست نیست. از این رو برای حل همزمان معادلات بقا با دستگاه معادله‌ای با چهار معادله و پنج مجهول (سرعت در سه راستای مختصات، فشار و چگالی) مواجه هستیم.

در جریان‌های تراکم پذیر، معادله بقای جرم، معادله حامل چگالی می‌باشد. به کمک این معادله همراه با معادله انرژی می‌توان فشار را از روابط ترمودینامیکی (قانون گاز کامل) به دست آورد.

در جریان‌های تراکم ناپذیر تغییرات چگالی وابسته به فشار نیست. لذا معادله بقای جرم به‌عنوان قیدی بر روی میدان سرعت عمل می‌کند و به همین جهت از این معادله به همراه معادله ممنتوم می‌توان برای استخراج معادله‌ای برای فشار استفاده نمود.

لازم به ذکر است که حل تحلیلی معادلات فوق تنها برای جریان‌های بسیار ساده و تحت شرایط ایده آل امکان پذیر می‌باشد. برای به دست آوردن جواب در جریان‌های واقعی باید رویکردی عددی اتخاذ نمود که به موجب آن معادلات با تقریب‌هایی با معادلات جبری که به روش‌های عددی قابل حل باشند جایگزین

می‌شوند. یکی از این روش‌ها روش حجم محدود است که در آن حوزه سیال به مجموعه محدودی از حجم‌های کنترل گسسته سازی می‌گردد.

فرم انتگرالی معادلات فوق را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV + \int_S \rho U_j dn_j = 0 \quad (3-2)$$

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho U_i dV + \int_S \rho U_j U_i dn_j = \int_S -P dn_j + \int_S \mu \left[ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] dn_j \quad (4-2)$$

که  $V$  و  $S$  به ترتیب بیانگر انتگرال روی سطح و حجم می‌باشند و  $dn$  مؤلفه‌های مشتق کارتیزی بردار نرمال سطح است. لازم به ذکر است که روابط فوق در صورتی معتبر می‌باشند تغییر فرمی در شبکه رخ ندهد. سپس معادلات ذکر شده به روش حجم محدود گسسته سازی گردیده و حل می‌شوند.

معادلات انتگرالی بقا (معادلات ۳-۲ و ۴-۲) هنگامی که حجم کنترل با زمان تغییر فرم می‌دهد نیازمند اصلاح است. این اصلاحات را می‌توان با به کار بردن قانون لایبنیتس به صورت زیر اعمال نمود.

$$\frac{d}{dt} \int_{V(t)} \rho dV + \int_S \rho (U_j - W_j) dn_j = 0 \quad (5-2)$$

$$\frac{d}{dt} \int_{V(t)} \rho U_i dV + \int_S \rho (U_j - W_j) U_i dn_j = \int_S -P dn_j + \int_S \mu \left[ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] dn_j \quad (6-2)$$

در عبارات فوق،  $W_j$  سرعت مرز حجم کنترل می‌باشد.



همچنین، جمله وابسته به زمان بیانگر نرخ تغییر ذخیره‌سازی در حجم کنترل در حال تغییر فرم و جمله جابجایی بیانگر انتقال جابجایی خالص از مرزهای متحرک حجم کنترل است.

اگر قانون بقای هندسی به وسیله جملات گسسته شده وابسته به زمان و جابجایی ارضا نشود منابع نادرستی از کمیت‌های بقا یافته به وجود خواهد آمد.

$$\frac{d}{dt} \int_{V(t)} dV = \int_S W_j dn_j \quad (7-2)$$

این قانون به سادگی بیان می‌کند که برای هر حجم کنترل، نرخ تغییر حجم باید دقیقاً با حجم خالص جاروب شده به دلیل حرکت مرزهای آن در تعادل باشد.

## ۲-۶ معادلات حاکم برای جامد

مدل‌سازی ریاضی جامد با فرمولاسیون لاگرانژی انجام گرفته است.

$$\frac{\partial \tau_{ij}^s}{\partial x_j} = \rho^s \frac{\partial^2 d_i^s}{\partial t^2} \quad (8-2)$$

که  $\tau_{ij}^s$  تانسور تنش کوشی،  $d_i^s$  جابه‌جایی اجزا و  $\rho^s$  چگالی ماده است.

شرایط کوپل شدن در مرز مشترک سازه و سیال به صورت زیر است:

$$d_i = d_i^s \quad \frac{\partial d_i}{\partial t} = \frac{\partial d_i^s}{\partial t}$$

$$\tau_{ij}n_j = f_i^s \Big|_s$$

که  $f$  بردار کششی اعمالی بروی سطح سازه و  $n$  بردار یکه‌ی نرمال بر فصل مشترک است [۱۴].

فصل سوم

تعریف مدل شیشه سازی شده و نحوه شیشه سازی به کمک نرم افزار **ANSYS**

**CFX**

### ۳-۱ مقدمه

در این فصل توضیحات کاربردی که در طراحی و تحلیل پمپ دیافراگمی به کاررفته آورده شده است. در این مطالعه همان طور که در فصول قبل توضیح داده شد از نرم افزار ANSYS CFX برای مدل سازی پمپ دیافراگمی استفاده شده است. شبیه سازی جریان برای پمپ دیافراگمی تزریق مرکاپتان به صورت سه بعدی باعث افزایش زمان کاری CPU می شود به همین منظور برای کاهش زمان محاسبات، مدل سازی به حالت دوبعدی انجام شده و با توجه به شکل واقعی جریان ورودی و خروجی، دیافراگم و شیرها، باید به شرایط مرزی توجه ویژه ای گردد [۱۷]. در ادامه پس از تعریف و معرفی انواع سیستم های کوپله شده به نحوه مدل سازی پمپ به وسیله نرم افزار ANSYS CFX پرداخته می شود.

### ۳-۲ سیستم های کوپله شده

زمانی که دو یا چند سیستم فیزیکی باهم برهمکنش دارند و حل یکی بستگی به حل دیگری دارد سیستم را کوپله شده می نامند. یک نمونه از سیستم های کوپله شده، برهمکنش دینامیکی بین سازه و سیال است. در این سیستم به علت وجود نیروهای نامشخص در سطح مشترک سازه و سیال حل به صورت مستقل انجام نمی شوند [۱۹].

### ۳-۲-۱ برهمکنش سازه و سیال

برهمکنش برخی محرک ها یا سازه های قابل انعطاف است که از داخل یا اطراف توسط جریان سیال در بر گرفته شده اند. برهمکنش سیال و جامد ثابت یا نوسانی می تواند باشد. در برهمکنش های نوسانی، کرنش

ایجادشده در سازه جامد باعث می‌شود که سیال به حرکت دربیاید و این حرکت تا زمانی که منبع ایجاد کرنش کاهش یابد و سازه به حالت و وضعیت قبل بازگردد ادامه می‌یابد.

زمانی که نیروی حاصل از حرکت سیال اعمال شده به شرایط مرزی جامد باعث تغییر شکل کوچک در سازه شود می‌توان رفتار سازه را پس از تعیین خصوصیات حرکت سیال به صورت مستقل در نظر گرفت تا زمانی که تغییر شکل سازه بروی جریان سیال تأثیر بگذارد. در چنین مواردی که نیروهای سیالی باعث تغییر شکل جامد می‌شوند و در مقابل شکل جریان تغییر می‌کند دینامیک سیستم باید به صورت کوپله در نظر گرفته شود.

حل مسائل برهمکنش سازه و سیالی معمولاً با استفاده از روش تحلیلی بسیار زمان‌بر است به همین منظور عموماً از شبیه‌سازی‌های عددی استفاده می‌شود. تحلیل برهمکنش سازه و سیال نیازمند حل مسائل در دو میدان بر مبنای معادلات مدل دینامیک سیالاتی و دینامیک سازه‌ای است [۲۰].

## ۳-۲-۱-۱ انواع حلگرهای مسائل برهمکنش سازه و سیال

در ادامه‌ی این فصل به معرفی برخی از حلگرهای مورد استفاده در حل مسائل برهمکنش سازه و سیال پرداخته می‌شود.

### ۳-۲-۱-۱-۱ حلگر لاگرانژی

در حلگر هرکدام از گره‌ها در شبکه محاسباتی به صورت پایدار به اجزاء مواد وابسته هستند. این تعریف به‌مانند آن است که در داخل یک قایق قرار گرفته و سرعتی مشابه سرعت آب را دارد. شما به مطالعه اجزای مشابه در زمان‌های مختلف در مکان‌های مختلف می‌پردازید. این روش به‌طور کلی در مکانیک جامدات

استفاده می‌شود. یکی از مزایای این تعریف استفاده از اطلاعات قبل است، زمانی که با موادی با رفتار وابسته به اطلاعات گذشته برخورد داریم این تعریف مفید است. قسمت مثبت دیگر آن نتایج دقیقی است که در قالب جابه‌جایی مواد ارائه می‌کند. همچنین می‌تواند به راحتی سطح آزاد و سطح مشترک بین مواد را دنبال کند. اگر تغییر شکل‌ها در المان‌ها بسیار بزرگ باشد نتایج با سرعت بسیار کمی پیشرفت کرده و معمولاً به دلیل کوچک بودن ابعاد المان‌ها یا گام‌های زمانی حل واگرا شده و قطع می‌گردد. همواره برای مسائلی که شامل تغییر شکل‌های بزرگ یا سیالات هستند حلگر اویلری توصیه شده است [۷].

### ۳-۲-۱-۱-۲-۳ حلگر اویلری

در حرکت اویلری<sup>۱</sup> شبکه محاسباتی ثابت، حرکت پیوسته و تغییر شکل‌ها با توجه به شبکه محاسباتی است. این حرکت به‌مانند آن است که شما در آب ایستاده‌اید و جریان آب از شما عبور می‌کند. شما می‌توانید سرعت‌ها و فشارها را در زمان‌های مختلف در یک مکان مطالعه کنید. این روش برای تغییر شکل‌های بزرگ به خوبی کار می‌کند و اغلب زمانی که با محاسبات دینامیک سیال برخورد داریم استفاده می‌شود. یک وجه منفی این حلگر آن است که سخت می‌توان به یک پاسخ دقیق با توجه به سطح مشترک و جزئیات جریان رسید. به‌طور کلی حلگر اویلری به مراتب محاسبات گسترده‌تری را نسبت به حلگر لاگرانژی می‌تواند بدون واگرایی با المان‌های کوچک‌تر که باعث افزایش دقت محاسبات می‌شوند انجام دهد [۷].

---

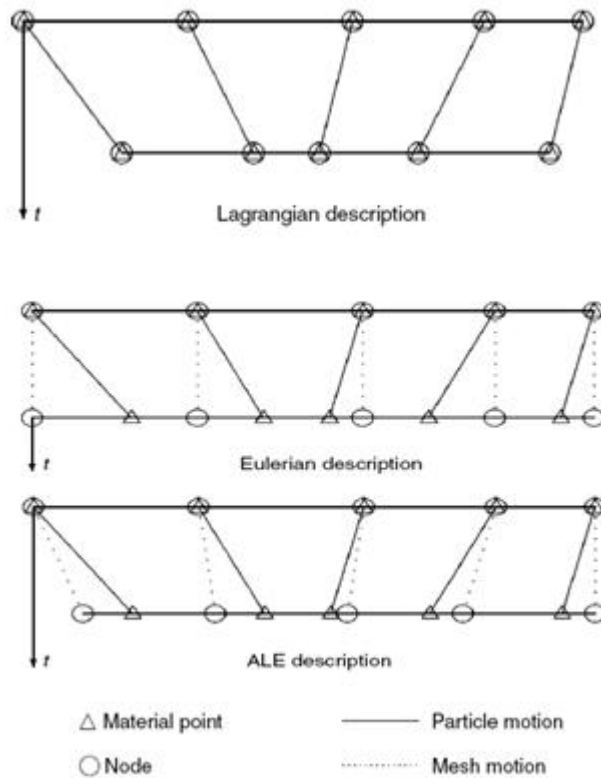
1 Euler

### ۳-۲-۱-۱-۳ حلگر اویلری لاگرانژی دلخواه

این حلگر در واقع مجموعه‌ای از تمامی مزیت‌های دو حلگر اویلری و لاگرانژی در یک حلگر است و برای مسائلی که شامل سیال و جامد به‌طور هم‌زمان هستند کاربرد ویژه‌ای دارد. روش ALE برای حل بهتر مسائل دارای شبکه قابل تغییر شکل معرفی شده است. تکنیک ALE اجازه‌ی حرکت مرزهای را می‌دهد ولی تضمین نمی‌کند که حرکت شبکه از مرزهای ماده پیروی کند و اثبات شده است زمانی که جریان سیال داریم بسیار مفید است.

شبیه‌سازی عددی مسائل چندبعدی در دینامیک سیالات و مکانیک غیرخطی جامدات اغلب با پیچیدگی فراوانی در نظر گرفته می‌شود. روش ALE تعریف واضح‌تری از سطوح آزاد سیال - سیال، جامد - جامد، سطح مشترک سیال - جامد بیان می‌کند.

به علت ضعف توضیح کاملاً لاگرانژی و کاملاً اویلری، ALE توسعه یافت است که بهترین ابزار برای ترکیب هر دو روش لاگرانژی و اویلری می‌باشد. در توضیح ALE، گره‌های شبکه محاسباتی ممکن است به‌صورت پیوسته در روش لاگرانژی حرکت کرده یا در حالت اویلری به‌صورت ثابت نگاه داشته شوند. در شکل ۱-۳ این روش به‌خوبی در مقایسه با دو روش کلاسیک لاگرانژی و اویلری نشان داده شده است. به دلیل این آزادی حرکتی مش محاسباتی به‌وسیله‌ی روش ALE این تکنیک امروزه مورد توجه می‌باشد [۱۹].



شکل ۳-۱: تفاوت روش‌های اویلری، لاگرانژی و روش ALE [۱۹]

### ۳-۲-۱-۱-۴ حلگر SPH

این حلگر که به روش فاقد مش نیز شهرت دارد، برای مسائلی که دارای جدایش‌ها و خرابی‌های گسترده در ماده همانند گسترش ترک در سازه‌های جامداتی هستند کاربرد فراوانی دارد. این نوع از مسائل اغلب با مواد شکننده و با اثرات سرعت‌بالا رخ می‌دهند ولی این متد حلی برای مسائلی که دارای جریان ورودی و خروجی سیال هستند به دلیل نیاز به، به‌روزرسانی مداوم اطلاعات و سرعت کم در محاسبات مناسب نیستند [۷].

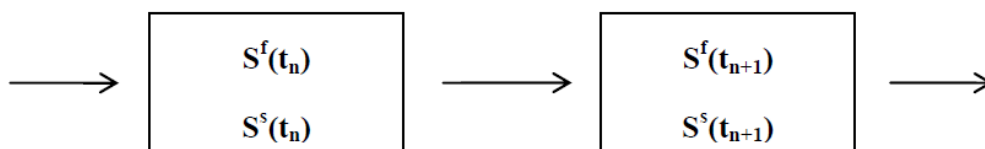


## ۲-۱-۲-۳ انواع روش‌های<sup>۱</sup> شبیه‌سازی برهمکنش سازه و سیال

حل مسائل برهمکنش به‌وسیله‌ی روش‌های تحلیل مشکل هستند؛ بنابراین باید این مسائل را به‌وسیله‌ی شبیه‌سازی‌های عددی یا به‌صورت آزمایشگاهی انجام داد. تکنیک‌های<sup>۲</sup> پیشرفته و کدهای تجاری معروف امکان شبیه‌سازی مسائل برهمکنش سازه و سیال را فراهم کرده‌اند. کدهای تجاری برای حل مسائل برهمکنش سازه و سیال از دو روش مختلف استفاده می‌کنند که عبارت‌اند از روش یکپارچه و روش جزء بندی شده در ادامه به توضیح هر کدام از این روش‌ها پرداخته می‌شود [۲۱].

### ۱-۲-۱-۲-۳ روش یکپارچه

در این روش هر دو میدان سازه و سیال به‌عنوان مسئله یکپارچه فرموله می‌شوند. سیستم معادلات جبری نتیجه شده از گسسته سازی معادله حاکم به‌طور کامل حل می‌گردد. برهمکنش سازه و سیال در مرز مشترک دو میدان به‌صورت هم‌زمان حل می‌گردد. این حل هم‌زمان باعث پایستگی خواص در مرز مشترک دو میدان شده و در نتیجه افزایش پایداری حل حاصل می‌گردد. شکل ۲-۳ فرایند روش یکپارچه را برای جریان نشان می‌دهد [۲۱].



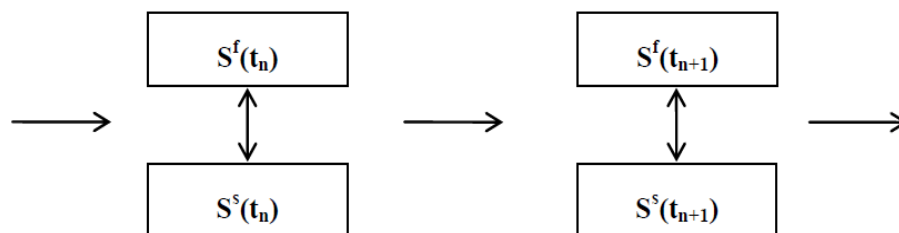
شکل ۲-۳ : فرایند روش یکپارچه [۲۱]

1 Approach

2 Technique

### ۳-۲-۱-۲-۲ روش جزء بندی شده

گزینه‌ی دیگری که برای حل مسائل برهمکنش سازه و سیال معرفی می‌شود روش جز بندی شده می‌باشد. در این روش هر دو میدان به‌طور مجزا حل می‌گردند این در واقع بدان معنا است که جریان تا زمانی که حل سازه انجام نشده است تغییری نمی‌کند. معادلات حاکم جریان سیال و جابه‌جایی سازه را می‌توان با دو حلگر مجزا حل کرد. این روش به کد این امکان را می‌دهد که مختص معادلات جریان و سازه باشد و در نتیجه تکنیک‌های حل بسیار موثری را برای هر کدام به همراه داشته باشد. در مرز مشترک سازه و سیال با توجه به نوع کوپلینگ سازه و سیال اعمال می‌گردد. تکرار حل‌ها در این روش تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که معیار همگرایی ارضا گردد. شکل ۳-۳ فرایند روش جزء بندی شده را نشان می‌دهد [۲۱].



شکل ۳-۳: فرایند روش جزء بندی [۲۱]

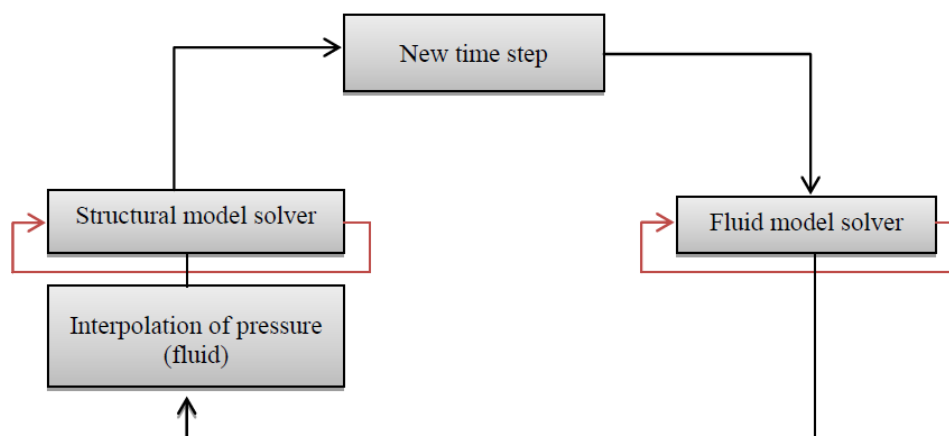
هرچند روش‌های حل یکپارچه ممکن است برای اطمینان از کارایی، پایداری و همگرایی حل ترجیح داده شوند، اما در حال حاضر نرم‌افزارهای تجاری موجود قادر به انجام آن نیستند. بنابراین به‌منظور استفاده از فواید کدهای تجاری در حل عددی مسائل برهمکنش سازه و سیال روش جزء بندی شده معمولاً انتخاب می‌شود. همان‌طور که در پاراگراف قبل اشاره شد در روش جزء بندی شده اطلاعات در مرز مشترک بین دو حلگر سازه و سیال مبادله می‌شود به این فرایند کوپلینگ سازه و سیال گفته می‌شود که به دو روش انجام می‌گیرد. در ادامه به معرفی این دو روش پرداخته می‌شود [۲۱].

## ۳-۲-۱-۳ انواع روش‌های کوپلینگ سازه و سیال

کدهای تجاری برای کوپلینگ بین سازه و سیال از دو روش استفاده می‌کنند که عبارت‌اند از کوپلینگ یک طرفه و کوپلینگ دوطرفه در ادامه به تعریف هر کدام پرداخته می‌شود پس از آن تفاوت این دو روش در یک مثال ساده مشخص می‌شود و در انتها مناسب‌ترین روش برای شبیه‌سازی برهمکنش سازه و سیال انتخاب می‌گردد [۲۱].

## ۳-۲-۱-۳-۱ کوپلینگ یک طرفه سازه و سیال

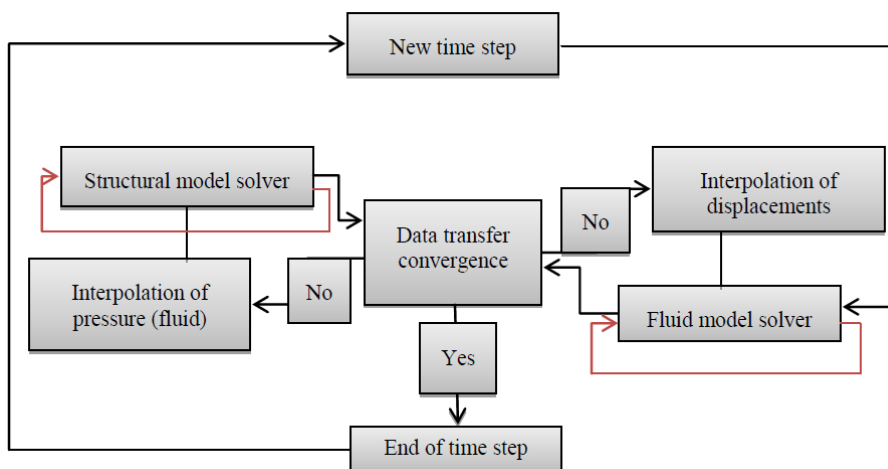
اگر در برهمکنش سازه و سیال جابه‌جایی و یا تغییر شکل سازه بر روی جریان سیال مؤثر باشد اما در مقابل عکس‌العمل سیال بر روی سازه قابل نادیده گرفتن باشد به این نوع برهمکنش کوپلینگ یک طرفه سازه و سیال می‌گویند. مسائل دیگر برهمکنش نیز اگر مشابه این فرایند را که تسلط یک میدان بر میدان دیگر را نشان می‌دهند داشته باشد کوپلینگ یک طرفه نام دارند. در این روش جابه‌جایی‌های به‌دست‌آمده در مرز تعامل، دیگر به قسمت جامداتی یا mechanical نرم‌افزار انتقال نخواهد یافت. شکل ۳-۴ روند یک نمونه کوپلینگ یک طرفه را نشان می‌دهد. در این شکل در ابتدا جریان سیال محاسبه می‌شود تا به یک مقدار معینی همگرا شود سپس نیروهای به‌دست‌آمده در مرز مشترک سازه و سیال درون‌یابی شده و به شبکه سازه اعمال می‌شود. در مرحله‌ی بعد حل دینامیکی سازه تا زمانی که به معیار همگرایی نزدیک شود ادامه پیدا می‌کند. این روند تا زمان انتهای حل ادامه پیدا می‌کند [۲۱].



شکل ۴-۳: روند یک نمونه کوپلینگ یک طرفه [۲۱]

### ۳-۲-۱-۲-۳ کوپلینگ دوطرفه سازه و سیال

این نوع از کوپلینگ در مسائلی اعمال می‌شود که حرکت سیال بر روی سازه تأثیر گذاشته و در همان زمان جریان سیال تحت تأثیر عکس‌العمل سازه قرار می‌گیرد. الگوریتم یک کوپلینگ دوطرفه در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. در طول اولین گام زمانی، حل‌های همگرا شده سیال میزان نیروی وارد بر بدنه‌ی سازه را محاسبه می‌کنند. سپس نیروها بر روی شبکه سازه درون‌یابی شده مانند کوپلینگ یک طرفه و حل بر اساس حلگر جامداتی و با در نظر گرفتن نیروهای سیال به‌عنوان شرایط مرزی برای سازه انجام می‌شود. در نتیجه شبکه سازه واکنش نشان داده و تغییر شکل پیدا می‌کند. این مقادیر جابه‌جایی سازه بر روی شبکه سیال درون‌یابی شده که در نتیجه باعث تغییر شکل میدان سیال می‌گردد. این روند تا زمانی که نیروهای سیال و جامد و همچنین میزان جابه‌جایی‌ها به محدوده مشخص شده همگرا شود [۲۱].

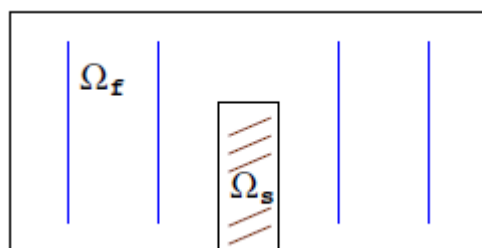


شکل ۳-۵: روند یک نمونه کوپلینگ دوطرفه [۲۱]

در ادامه مثالی ساده که برای مقایسه‌ی دو روش کوپلینگ سازه و سیال متداول می‌باشد بیان شده است.

شکل ۳-۶ نشان‌دهنده‌ی ناحیه‌ای از سیال است که در داخل آن یک مانع جامد قرار دارد. در این شکل  $\Omega$

کل ناحیه  $\Omega_f$ ، نشان‌دهنده‌ی جریان سیال و  $\Omega_s$  سازه می‌باشد [۲۲].

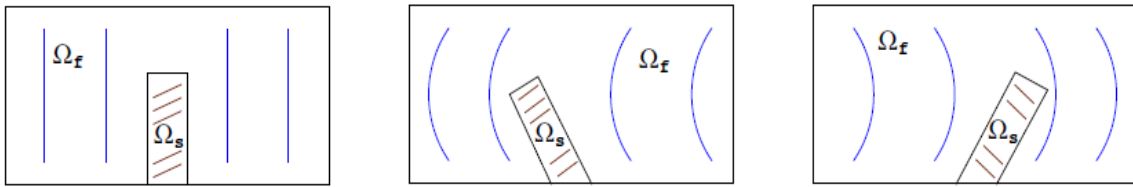


شکل ۳-۶: ناحیه برهمکنش سازه و سیال [۲۲]

حال فرض کنید که ناحیه سیال  $\Omega_f$  با هوا پر شده باشد و  $\Omega_s$  حرکت صلب یک جسم فولادی باشد. این

جابه‌جایی سیال را به حرکت درمی‌آورد. در هر صورت هوا تأثیر قابل‌توجهی بر روی جسم ایجاد نمی‌کند که

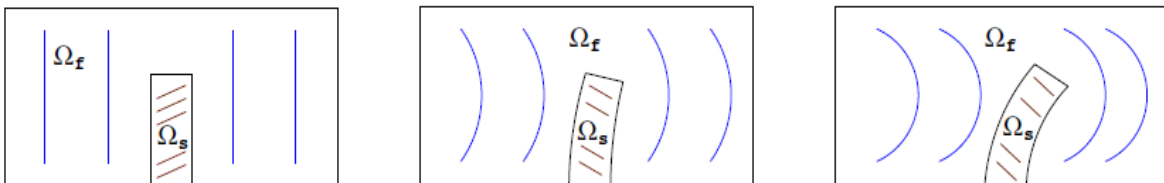
در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود:



شکل ۷-۳: حرکت سیال تحریک شده توسط سازه [۲۲]

به این نوع برهمکنش سازه-سیال، یک طرفه گفته می‌شود. حرکت سازه منجر به جابه‌جایی سیال شده ولی در مقابل حرکت سیال باعث جابه‌جایی سازه نمی‌شود.

در ادامه فرض می‌شود که سیال دارای حرکت به صورت یک شرط مرزی ورودی و جسم الاستیک باشد. سیال بروی سطح جسم نیرو وارد کرده و باعث تغییر شکل آن می‌شود. این تغییر شکل دامنه‌ی سیال را تغییر می‌دهد. به دلیل تغییر شکل جسم ناحیه‌ی سیال تغییر پیدا کرده است. در اینجا یک واکنش کاملاً دوطرفه بین دامنه‌های سیال و جامد دیده می‌شود که به این نوع برهمکنش کوپلینگ دوطرفه گفته می‌شود. که شکل ۸-۳ نشان‌دهنده این نوع برهمکنش است:



شکل ۸-۳: برهمکنش سازه و سیال [۲۲]

هر دو مسئله کوپله شده که در شکل‌های ۷-۳ و ۸-۳ معرفی شدند مشابه‌اند و تنها تفاوتشان در فرمولاسیون ناحیه‌های متحرک است. در اینجا دامنه‌ی مشترک  $\Omega$  مشابه است اما زیر دامنه‌های سیال  $\Omega_f$  و جامد  $\Omega_s$  با زمان تغییر می‌کنند:

$$\Omega = \Omega_f(t) \cup \Omega_s(t)$$

که یکی از مشکلات اساسی در ارتباط با مدل‌سازی مسائل برهمکنش سازه-سیال و همچنین طراحی روی‌های عددی برای حل آن‌ها است.

روش کوپلینگ دوطرفه نسبت به روش یک طرفه به مراتب پیچیده‌تر می‌باشد زیرا تمامی میدان‌ها بر روی یکدیگر مؤثر هستند. در مورد مسائل برهمکنش سازه و سیال زمانی که تغییر شکل‌های سازه قابل‌ملاحظه باشد و یا در مسائل القای حرارت روش کوپلینگ دوطرفه نسبت به کوپلینگ یک طرفه مناسب‌تر می‌باشد [۲۳].

جابه‌جایی دیافراگم در این پمپ‌ها در مقایسه با دیگر ابعاد بسیار کوچک می‌باشد در نتیجه شبیه‌سازی برهمکنش سازه و سیال را در این‌گونه از پمپ‌ها می‌توان به روش جزء بندی شده و با کوپلینگ یک طرفه انجام داد. نیرویی که از طرف پیستون بروی دیافراگم اعمال می‌شود به صورت جابه‌جایی اجباری دیافراگم بر روی سیال در نظر گرفته شده است.

### ۳-۳ برهمکنش سازه و سیال در نرم‌افزار ANSYS CFX

کوپلینگ سازه و سیال در ANSYS CFX همان‌طور که در قبل توضیح داده شد به دو صورت امکان‌پذیر است. که با توجه به توضیحاتی که داده شد در اینجا تنها به یادآوری آن‌ها و تعیین بهترین حالت برای این مدل پرداخته می‌شود.

### ۱-۳-۳ کوپل سازه و سیال یک طرفه در نرم افزار ANSYS CFX

در بسیاری از شبیه سازی های برهمکنش سازه و سیال، کوپلینگ بین میدان های حل به صورت کاملاً یک طرفه می باشد. معمولاً در حل هایی که کمتر شرایط غیرخطی وجود دارد و همچنین تغییر شکل های سازه کوچک است این نوع مدل سازی توصیه می شود. در این روش معادله حرکت مرز متحرک مستقیماً از طریق زبان عبارات CFX اعمال می گردد [۲۴].

### ۲-۳-۳ کوپل سازه و سیال دو طرفه در نرم افزار ANSYS CFX

در این روش تغییر شکل ها معمولاً از یک حلگر سازه ای نظیر ANSYS mechanical به CFX منتقل می گردد. به منظور همگرایی در هر دو میدان حل جامداتی و سیالاتی نیاز است که حل به صورت تکرارشونده<sup>۱</sup> انجام شود. از طرف دیگر هر یک از حلگرهای سیالاتی و جامداتی نیز از یک الگوریتم تکراری به منظور حل معادلات استفاده می کنند. قبل از شروع هر گام زمانی باید از همگرایی تمام حلقه ها در گام زمانی پیشین اطمینان حاصل شود. تفاوت در تعداد و نوع المان های استفاده شده در دو حلگر می تواند سبب ایجاد خطا در انتقال متغیرها بین دو حلگر گردد. با توجه به این موارد، روش کوپل دو طرفه بسیار پیچیده بوده و نیاز به حجم حافظه و قدرت پردازش بالا از جمله محدودیت های این روش در مطالعات کاربردی می باشد [۲۵].

---

<sup>1</sup> Iterative

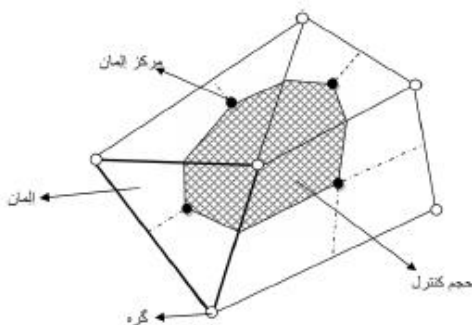


با توجه به اینکه در کار پیش رو جابه‌جایی‌های دیافراگم در مقایسه با دیگر ابعاد بسیار کوچک می‌باشند در نتیجه از روش کوپلینگ یک طرفه برای برهمکنش سازه و سیال استفاده شده است. در ادامه به برخی مفاهیم اولیه که برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار ANSYS CFX مفید می‌باشد پرداخته می‌شود.

### ۴-۳ مفاهیم اولیه‌ی حل به کمک نرم‌افزار ANSYS CFX

نرم‌افزار ANSYS CFX از یک روش حجم محدود المان محور<sup>۱</sup> استفاده می‌کند. شبکه برای ساخت حجم‌های محدود مورد استفاده قرار می‌گیرد، که این حجم‌ها برای بقا مقادیر نسبی از قبیل جرم و مومنتوم مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای راحتی فرایند محاسبات پمپ دیافراگمی در این مطالعه به صورت دوبعدی در نظر گرفته شده است [۲۴].

شکل ۳-۹ مثالی از یک شبکه دوبعدی را به نمایش می‌گذارد. تمامی متغیرهای حل و خواص سیال در گره‌ها<sup>۲</sup> یا نقاط شبکه ذخیره می‌شوند. یک حجم کنترل (ناحیه سایه شده) در حول هر گره ساخته می‌شود، که هر ضلع این حجم از وصل کردن نقطه میانی لبه‌های شبکه اولیه با مرکز سلول مجاورش تشکیل می‌شود.

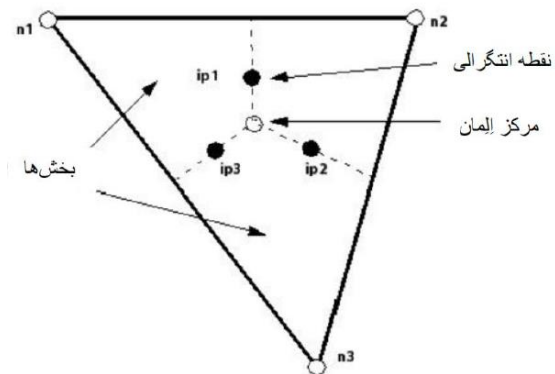


شکل ۳-۹ : یک شبکه دوبعدی [۲۴]

1 Finite volume element based

2 node

در گام بعدی، گسسته سازی انتگرال‌های سطحی و حجمی است. برای توضیح این بخش، یک سلول تکی مانند شکل ۳-۱۰ را در نظر بگیرید.



شکل ۳-۱۰: سلول تکی و قسمت‌های درونی [۲۴]

انتگرال‌های حجمی در هر بخش<sup>۱</sup> و سلول<sup>۲</sup> گسسته می‌شوند و در حجم کنترلی که به آن وابسته هستند جمع می‌شوند. انتگرال‌های سطحی در نقاط انتگرالی که در وسط هر سطح بخش در یک سلول قرار دارند، گسسته می‌شوند و سپس به حجم کنترل‌های مجاور توزیع می‌شوند. به دلیل اینکه انتگرال‌های سطحی برای حجم کنترل‌های مجاور نقاط انتگرالی به صورت مثبت و منفی هستند، بقای انتگرال سطحی تضمین شده است [۶].

### ۳-۴-۱ جمله گرادیان فشار

انتگرال سطحی گرادیان فشار در معادلات مومنتم شامل تخمین عبارت  $(p \Delta n_{ip})_{ip}$  است [۲۴]. مقدار

$$p_{ip} \text{ برابر است با } \sum_n N_n(s_{ip}, t_{ip}, u_{ip}) p_n$$

<sup>1</sup> sector  
<sup>2</sup> cell

### ۲-۴-۳ جریانات جرمی

جریان جرمی گسسته شده در یک سطح حجم کنترل، که با  $\dot{m}_{ip}$  نمایش داده می‌شود، که برابر است با  $(\rho U_j \Delta n_j)_{ip}$  این عبارت می‌بایست به دقت گسسته شود تا منجر به کوپل شدن مناسب فشار و سرعت شود [۲۴].

### ۳-۴-۳ کوپل شدن فشار- سرعت

نرم‌افزار ANSYS CFX از یک شبکه‌ی غیر جابه‌جاشده (هم‌مکان) استفاده می‌کند [۶]، به این صورت که حجم‌های کنترلی برای تمامی معادلات انتقال یکسان می‌باشد. در واقع حجم‌های کنترلی برای تمامی معادلات انتقال یکسان می‌باشد. در بحثی که توسط پاتانکار [۲۶] ارائه شد، نشان داد که روش‌های غیر جابه‌جاشده عادی منجر به میدان فشار غیر جفت می‌شوند. رای و چو [۲۷] یک گسسته‌سازی متفاوت برای جریانات جرمی ارائه کردند به طوری که از غیر جفت شدن یا همان شطرنجی شدن فشار جلوگیری کنند، همچنین مجومدار [۲۸] این گسسته‌سازی را تغییر داد تا وابستگی حل پایا به گام زمانی را از بین ببرد.

سیاستی مشابه رای و چو [۲۷] در نرم‌افزار ANSYS CFX مورد استفاده قرار گرفته است. با اعمال یک معادله به شکل معادله مومنتوم به هر نقطه انتگرالی، معادله زیر برای سرعت در هر نقطه انتگرالی به دست می‌آید.

$$U_{i,ip} = \bar{U}_{i,ip} + f_{ip} \left( \left. \frac{\partial p}{\partial x_i} \right|_{ip} - \left. \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} \right|_{ip} \right) - c_{ip} f_{ip} (U_{i,ip}^o - \bar{U}_{i,ip}^o) \quad (1-3)$$

$$f_{ip} = \frac{d_{ip}}{1 - c_{ip} d_{ip}} \quad (2-3)$$

$$d_{ip} = -\frac{V}{A} \quad (3-3)$$

که  $A$  تخمین ضریب مرکزی معادله‌ی مومنتوم بدون جمله‌ی گذرا است.

$$c_{ip} = \frac{\rho}{\Delta t} \quad (4-3)$$

جملات دارای خط‌چین بالا نشان‌دهنده‌ی میانگین‌گیری مقادیر گره‌های مجاور به نقطه انتگرالی است، و

جملات دارای بالانویس  $^o$  نشان‌دهنده‌ی مقادیر گام زمانی قبلی است [۶].

### ۳-۴-۴ روش حل - حلگر کوپل

حلگرهای جداشده روش حلی را انجام می‌دهند که مبتنی بر آن در ابتدا معادلات مومنتم با فشار حدسی حل می‌شوند و سپس یک معادله به‌منظور تصحیح فشار حل می‌شود. به دلیل طبیعت حدس و تصحیح این روش، باوجود ضرایب زیر تخفیف مناسب برای متغیرها نیز تعداد تکرارهای زیادی برای رسیدن به همگرایی حل نیاز است [۶].

### ۳-۴-۵ استراتژی حل

در حلگرهای جداشده<sup>۱</sup> نظیر فلوئنت، ابتدا معادلات مومنتوم توسط یک حدس اولیه حل‌شده و آنگاه معادله‌ای برای تصحیح فشار به دست می‌آید. از این‌رو به سبب طبیعت حدس و تصحیح دستگاه معادلات خطی، عموماً تکرارهای زیاد به‌علاوه انتخاب پارامتر زیر تخفیف با دید مهندسی نیاز می‌باشد.

از سوی دیگر ANSYS CFX از یک حلگر کوپل برای حل معادلات هیدرودینامیکی  $(P, w, v, u)$  به‌عنوان دستگاه معادله واحد استفاده می‌نماید. در این رویکرد از روش گسسته‌سازی کاملاً ضمنی برای معادلات در هر گام زمانی استفاده می‌گردد. این امر تعداد تکرارهای موردنیاز برای همگرایی جواب حالت<sup>۲</sup> و یا حل هر گام زمانی در تحلیل‌های transient را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. از سوی دیگر این استراتژی باعث نیرومندی حلگر<sup>۳</sup> و جلوگیری از شکست حلگر خطی (واگرایی) می‌گردد [۲۴].

---

1 Segregated

2 steady

3 robustness

### ۳-۴-۶ مرتبه دقت

تقریب‌هایی که در دینامیک سیالات محاسباتی مورد استفاده قرار می‌گیرند بر اساس تقریب‌های بسط سری توابع پیوسته (از قبیل سری تیلور) می‌باشند. هرچه مرتبه دقت یک تقریب بیشتر باشد، خطاها سریع‌تر با کاهش گام زمانی یا اندازه شبکه کاهش می‌یابند. با توجه به افزایش هزینه محاسباتی، تقریب‌های مرتبه بالا از نظر عددی نسبت به مرتبه‌های پایین‌تر پایداری کمتری دارند. نرم‌افزار ANSYS CFX اغلب از تقریب‌های دقیق مرتبه دوم استفاده می‌کند. از سوی دیگر، حرکت شبکه باعث ایجاد خطای گرد کردن می‌شود که در این صورت توسط گزینه دقت مضاعف<sup>۱</sup> می‌بایست دقت حل را افزایش داد [۶].

### ۳-۴-۷ تعاریف اولیه شبکه‌بندی در نرم‌افزار ANSYS CFX

در هنگامی که به شبکه‌بندی یک مدل در نرم‌افزار ANSYS CFX پرداخته می‌شود باید نسبت به برخی از مفاهیم آگاهی داشت. مهم‌ترین این مفاهیم عبارت‌اند از تغییر شکل شبکه، درهم فرورفتگی شبکه، سفتی شبکه و اعوجاج که همگی در (پیوست ب) تعریف شده‌اند.

### ۳-۵ مراحل شبیه‌سازی پمپ دیافراگمی به کمک ANSYS CFX

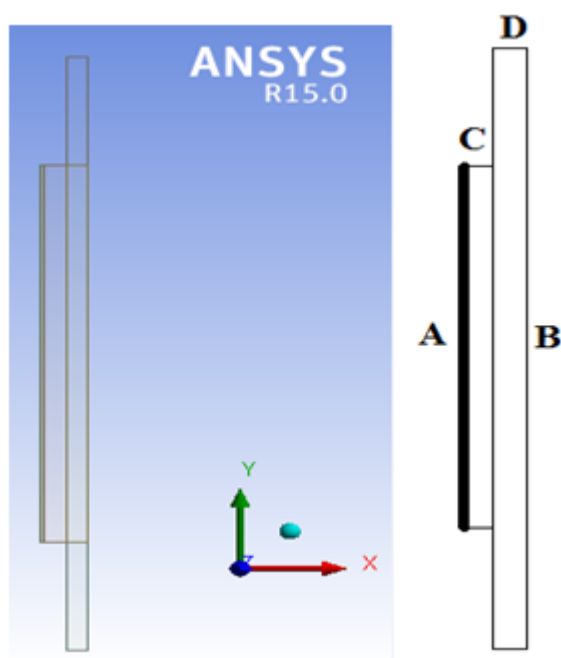
در ادامه به معرفی مراحل مدل‌سازی و خصوصیات مکانیکی انتخاب‌شده برای پمپ دیافراگمی تزریق سیال بودار کننده پرداخته می‌شود.

---

1 Double precision

### ۱-۵-۳ ابعاد مدل دوبعدی

در این مدل‌سازی همان‌طور که اشاره شد به منظور کاهش محاسبات و با توجه به برخی منابع مانند [۱۷] مدل‌سازی به صورت دوبعدی انجام شده است. با توجه به شکل واقعی جریان ورودی و خروجی، دیافراگم و شیرها، اعمال صحیح شرایط مرزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. ابعاد اولیه‌ی پمپ به صورت یک مقطع از آن در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است. در این شکل قسمت *A* محل دیافراگم است و دیافراگم به صورت یک نوار مشکی رنگ با ضخامت  $0/5$  میلی‌متر نمایش داده است. جدول ۱-۳ طول محل‌های مشخص شده در شکل را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۳: ابعاد مدل دوبعدی

جدول ۱-۳ : ابعاد و اندازه‌های مدل دوبعدی

A	B	C	D
70mm	110mm	3mm	3mm

در شبیه‌سازی دوبعدی ، باید یک ضخامت فرضی برای مدل در نظر گرفته شود. در برخی نرم‌افزارها مانند FLUENT مقدار ۱ میلی‌متر را به‌طور پیش‌فرض انتخاب می‌کنند اما در اینجا ناحیه جریان با ضخامت ۰.۶ میلی‌متر فرض شده است. برای یافتن عمق مدل در راستای عمود بر صفحه از مقدار حجم جابه‌جاشده توسط دیافراگم که در کاتالوگ مقدار آن ۰/۱۴۱ میلی‌لیتر اعلام‌شده استفاده گردیده است و روابط زیر نشان می‌دهند انتخاب مقدار ۰/۶ میل متر برای این مدل مناسب می‌باشد. در زیر جزئیات این عملیات آورده شده است:

دیافراگم در حالت حداکثر جابجایی خود تشکیل یک سهمی با معادله زیر را می‌دهد:

$$x = 0.005 \left( 1 - \left( \frac{y}{r} \right)^2 \right) \quad (۵-۳)$$

در نتیجه سطح جاروب شده توسط حرکت دیافراگم برابر خواهد بود با:

$$S = \int_{y=-r}^r 0.005 \left( 1 - \left( \frac{y}{r} \right)^2 \right) dy \quad (۶-۳)$$

با داشتن شعاع دیافراگم که برابر با ۳/۵ سانتی‌متر می‌باشد، مساحت جاروب شده برابر خواهد بود با:



$$s = 2.334 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

در نتیجه حجم جابجا شده سیال توسط حرکت دیافراگم در نمونه مدل سازی شده برابر خواهد بود با:

$$V = S \times d \quad (7-3)$$

از آنجاکه پمپ مورد نظر به صورت دوبعدی شبیه سازی گردیده است،  $d$  در عبارت فوق عمق فرضی هندسه در راستای عمود بر صفحه می باشد. در نهایت با برابر قرار دادن حجم نمونه مدل سازی شده با حجم واقعی جابجایی دیافراگم که برابر با ۰/۱۴۱ لیتر می باشد، عمق فرضی هندسه استخراج می گردد:

$$d = \frac{0.141 \times 10^{-6}}{S} = 0.6 \text{ mm}$$

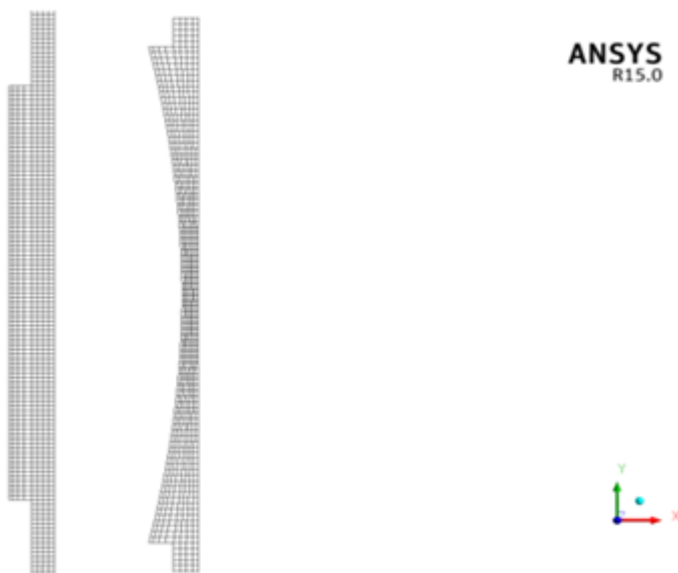
### ۲-۵-۳ شبکه بندی استفاده شده در این مدل سازی

با توجه به آنچه تا به اینجا در مورد کیفیت شبکه بندی در نرم افزار ANSYS CFX توضیح داده شد به شبکه بندی این مدل پرداخته شده است. با توجه به نبود انحنا در این مدل از المان های مکعبی<sup>۱</sup> برای شبکه بندی این مدل استفاده شده است که در حالت ریلکس<sup>۲</sup> و حالت کاملاً فشرده شده برای جابه جایی<sup>۴</sup> میلی متر دیافراگم در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده اند.

---

1 hexahedral

2 Relax



شکل ۳-۱۲: شبکه‌بندی و تغییر شکل شبکه

همان‌طور که در پیوست (ب) توضیح داده شد یک ابزار بسیار قدرتمند برای تعیین کیفیت یک شبکه اعوجاج<sup>۱</sup> است. مقدار بیشینه اعوجاج برای این شبکه با توجه به آنچه نرم‌افزار گزارش داده است مقدار  $1.3e-10$  می‌باشد که تقریباً نزدیک به صفر می‌باشد. لازم به ذکر است که مقدار اشاره‌شده در حالت عدم‌تغییر فرم شبکه می‌باشد. بدیهی است که با شروع حل و جابجایی شبکه، کیفیت شبکه نیز کاهش پیدا خواهد نمود.

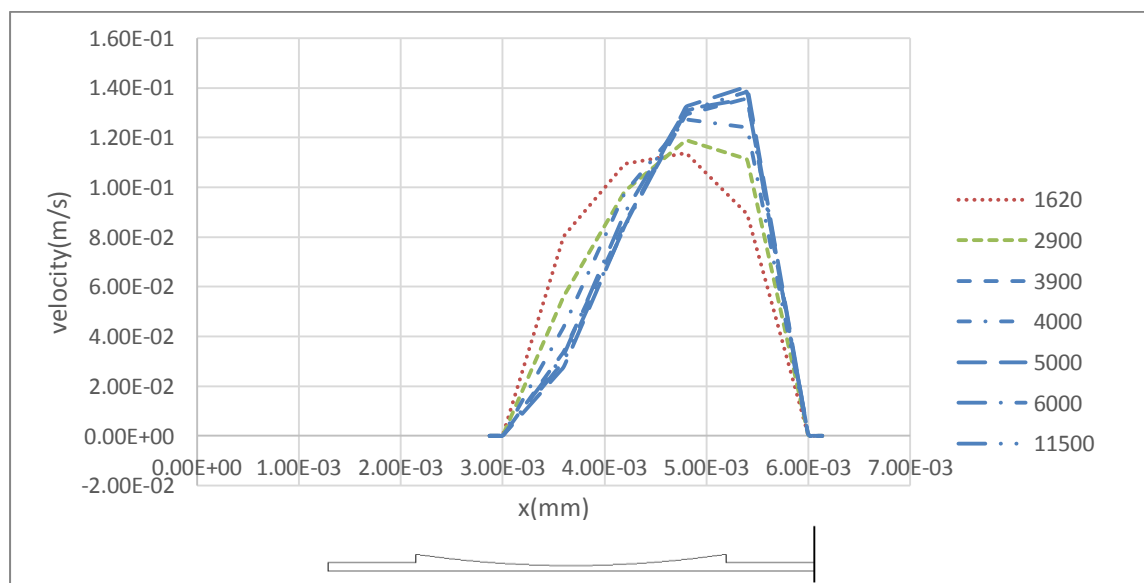
گزینه‌ای در نرم‌افزار ANSYS CFX وجود دارد به نام سختی شبکه که وظیفه‌ی آن هنگامی که در کنار گزینه افزایش شبکه در اطراف مرز انتخاب می‌شود سخت‌تر کردن مش در کنار مرزها است [۲۴]. در این مدل‌سازی برای سختی شبکه مقدار ۲ انتخاب شده است که به معنای آن است که شبکه کنار مرزها به صورت عددی سخت‌تر می‌گردد و شبکه دور از مرزها با ضریب نمایی ۲ انعطاف‌پذیرتر می‌شود. این کار سبب جلوگیری از در هم فرورفتن شبکه در نزدیکی مرز متحرک می‌شود. لازم به ذکر است که ضریب سختی شبکه کاملاً وابسته به نوع مسئله می‌باشد و در کار حاضر به صورت سعی و خطا به دست آمده است.

---

1 Skewness

### ۳-۵-۲-۱ استقلال از شبکه

برای یافتن مناسب‌ترین تعداد المان یا همان استقلال از شبکه حل برای چند حالت انجام شده است. زمان کل حل ۱/۵ ثانیه که شامل رفت و برگشت دیافراگم می‌باشد و بیشینه جابه‌جایی ۴ میلی‌متر برای دیافراگم در نظر گرفته شده است. این همگرایی در یک مقطع عرضی در شکل ۳-۱۳ برای ۳ شبکه با تعداد المان ۱۶۲۰، ۳۹۰۰، ۵۰۰۰ به مقایسه گذاشته شده و همان‌طور که دیده می‌شود اختلاف سرعت در راستای خروج سیال از پمپ در این ۳ نمودار بسیار اندک می‌باشد. شبکه با تعداد ۳۹۰۰ المان به دلیل دقت مناسب انتخاب می‌گردد. برخی از دیگر پارامترهای شبکه اعمال شده بر روی این مدل در جدول ۳-۲ به‌طور خلاصه درج شده است.



شکل ۳-۱۳: پروفیل سرعت روی خط مشخص شده برای زمان ۰/۷۵ ثانیه و جابجایی ۴ میلی‌متر دیافراگم

جدول ۲-۳: خواص شبکه مدل دوبعدی

روش شبکه بندی	جاروب کردن <sup>۱</sup>
نوع سطح شبکه <sup>۲</sup>	چهارضلعی <sup>۳</sup>
تعداد المانها	۳۹۵۰
تعداد گرهها	۸۴۸۸

### ۳-۵-۳ جنس مواد

خواص مکانیکی دیافراگم و سیال با توجه به آنچه در کاتالوگ پمپ (پیوست الف) ارائه شده در جدول

۳-۳ گردآوری شده است.

جدول ۳-۳: خواص فیزیکی سیال و دیافراگم

مرکابتان		دیافراگم (sst 315)	
۸۷۰	چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	۷۸۵۰	چگالی (kg/m <sup>3</sup> )
۰/۰۰۰۸۸۹	لزجت (kg/(m.s))	۲۰۰۰۰۰۰۰	مدول لاستیسیتته (kPa)
۲۰۴	فشار بخار (kpa)	۰/۳	ضریب پواسون
۲۰	دما (C)	۲۰	دما (C)

1 Sweep

2 Free Face Mesh Type

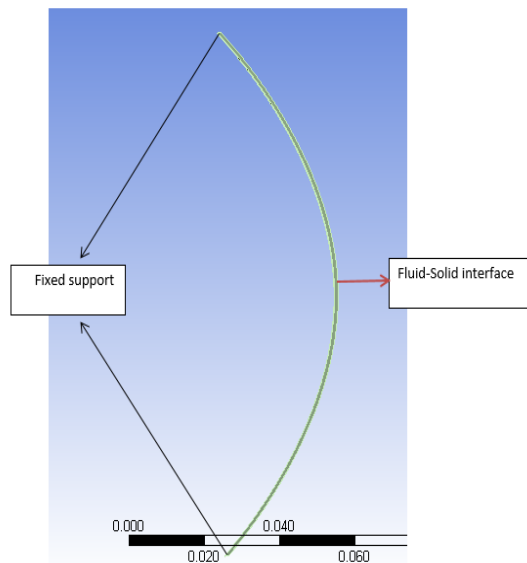
3 quad

### ۴-۵-۳ شرایط مرزی

شرایط مرزی اعمال شده در این مدل را می‌توان به ۴ دسته تقسیم‌بندی کرد که در ادامه به توضیح هرکدام پرداخته می‌شود:

#### ۱-۴-۵-۳ شرایط مرزی دیافراگم

دیافراگم در پمپ‌های دیافراگمی از اطراف کاملاً بسته است و تنها می‌تواند از مرکز حالت قوسی شکل به خود بگیرد [۱۷]. این رفتار دیافراگم در شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است. نیروی وارد از طرف دیافراگم به سیال به صورت جابه‌جایی اجباری اعمال شده است. که در ادامه به توضیح معادلات آن پرداخته می‌شود.



شکل ۳-۱۴: شرایط مرزی دیافراگم

صورت کلی معادله حرکت دیافراگم به صورت مقابل است. در این معادله  $r$  شعاع دیافراگم است که مقدار آن  $3/5$  میلی‌متر و  $L$  مقدار بیشینه جابه‌جایی مرکز دیافراگم است.

$$x = L \left( 1 - \left( \frac{y}{r} \right)^2 \right) \quad (8-3)$$

این معادلات در جدول ۳-۴ برای انواع مختلف بیشینه جابه‌جایی مرکز دیافراگم آورده شده است. در شبیه‌سازی‌های ساده مسائل برهمکنش سازه و سیال می‌توان توسط زبان عبارات CEL<sup>۱</sup> معادله حرکت مرز متحرک یا زیر دامنه متحرک را به کد معرفی نمود [۲۴]. به‌عنوان نمونه در کار حاضر معادله حرکت دیافراگم با توجه به نمونه واقعی پمپ استخراج گردیده و با استفاده از CEL به CFX اعمال گردیده است.

جدول ۳-۴: معادلات حرکت دیافراگم

$\alpha$ بیشینه جابه‌جایی	۱.۵ میلی‌متر	۳ میلی‌متر	۴ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
معادلات	$x = \alpha \left( 1 - \left( \frac{y}{0.035} \right)^2 \right)$	$x = \alpha \left( 1 - \left( \frac{y}{0.035} \right)^2 \right)$	$x = \alpha \left( 1 - \left( \frac{y}{0.035} \right)^2 \right)$	$x = \alpha \left( 1 - \left( \frac{y}{0.035} \right)^2 \right)$

مرز دیافراگم همان‌طور که اشاره شد به‌عنوان تنها مرز متحرک انتخاب می‌شود و معادله حرکت در قسمت شبکه متحرک<sup>۲</sup> به آن اعمال می‌گردد. در این مرز باید توجه شود به‌منظور جلوگیری از واگرایی حل شرط عدم لغزش<sup>۳</sup> بر روی دیافراگم اعمال شود.

1 coupled eulerian lagrangian

2 mesh motion

3 No-slip

## ۳-۵-۴-۲ شرایط مرزی ورودی و خروجی

شرط مرزی فشار ورودی با توجه به فشار کاری مخزن متصل به پمپ که در کاتالوگ آورده شده است و فشار کاری که توسط اپراتور اعمال می‌شود ۲۰۶ کیلو پاسکال و فشار خروجی نیز با توجه به بیشینه فشار که در کاتالوگ ذکر شده و همچنین فشار خط گازی که مرکاپتان به آن تزریق می‌گردد ۱۹۳۰ کیلو پاسکال در نظر گرفته شده است [۱۴].

به منظور کاهش محاسبات CPU شیرهای ورودی و خروجی در مدل‌سازی وارد نشده‌اند و اثر آن‌ها به صورت شرایط مرزی ورودی و خروجی پمپ وارد شده‌اند، در هنگام ورود سیال به داخل پمپ خروجی بسته می‌شود و بلعکس.

## ۳-۵-۴-۳ شرایط مرزی سیال

سیال شبیه‌سازی شده به صورت گذرا، ایزوترمال و غیرقابل تراکم فرض شده است. جریان سیال به صورت آرام فرض شده است [۱۷]. سیال عاملی که در کاتالوگ درج گردیده و آزمایش‌ها بر اساس آن بوده مرکاپتان است، در این مطالعه نیز همین سیال در نظر گرفته شده است.

برای تعریف شبکه میدان سیال از شبکه تغییر شکل یافته<sup>۱</sup> استفاده شده است. از آنجایی که نقاط بحرانی‌تر در مرزها می‌باشد و در این نقاط شبکه باید دارای تعداد بیشتر و به صورت ریزتر باشد در نتیجه از حالت افزایش المان شبکه در اطراف مرز<sup>۲</sup> با ضریب سختی ۲ استفاده شده است.

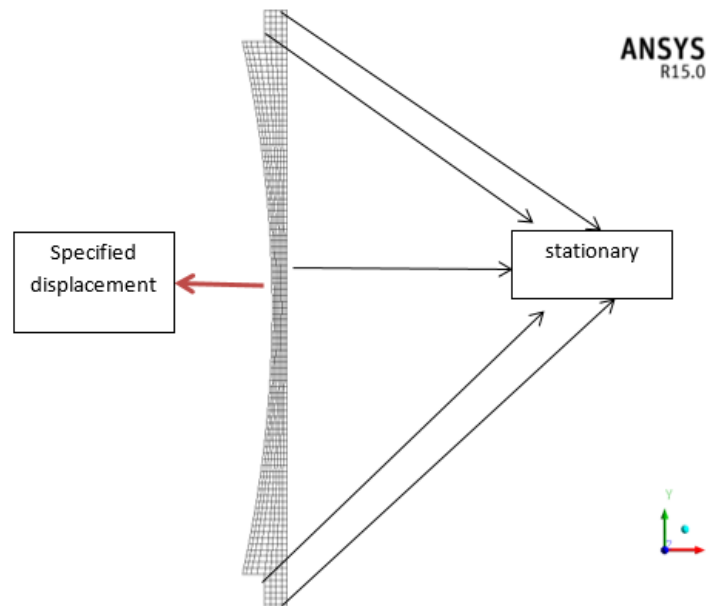
---

1 mesh deformation

2 Increase near Boundaries

### ۳-۵-۴-۴ شرایط مرزی دیواره‌ها

دیواره‌های پمپ دارای شرط عدم لغزش بوده و کاملاً صلب در نظر گرفته شده‌اند. شکل ۳-۱۵ شماتیکی از مرزها است. همان‌طور که دیده می‌شود در این شکل مرزهای ورودی، خروجی و دیواره‌ها به‌جز دیافراگم همگی به‌صورت ساکن هستند.



شکل ۳-۱۵ : شرایط مرزی دیواره‌ها



فصل چهارم

نتیج بدست آمده

## ۴-۱ مقدمه

در فصل‌های قبل با مراحل فرایندهای بودار کردن گاز شهری آشنا شدیم و در ادامه‌ی آن پس از معرفی پمپ‌های دیافراگمی تزریق بودار کننده و مطالعه کارهای انجام‌شده در زمینه<sup>۱</sup> شبیه‌سازی برهمکنش سازه و سیال به شبیه‌سازی این پمپ توسط نرم‌افزار ANSYS CFX پرداخته شد. در این فصل به بررسی و تحلیل نتایج خروجی از شبیه‌سازی این پمپ پرداخته می‌شود.

## ۴-۲ روش حل

در این مسئله حل وابستگی شدیدی به زمان دارد. از آنجایی که در نرم‌افزار ANSYS CFX حل مسائل برهمکنش سازه و سیالی به صورت ضمنی<sup>۱</sup> فرض می‌شود [۲۴] حل به صورت ضمنی و وابسته به زمان<sup>۲</sup> انجام‌شده است. تنها مشکل شبیه‌سازی این مسئله به خاطر برهمکنش سازه-سیال نمی‌باشد، بلکه محاسبه‌ی نرخ جریان یا همان دبی پمپ نیز از دیگر معضلات این شبیه‌سازی بوده است. در شرایط عملیاتی تعداد سیکل‌های بسیاری برای پمپ باید انجام گیرد تا به یک محدوده سیکل پایدار برای حل دست‌یابیم اما در این شبیه‌سازی با توجه به مقدار فرکانسی که برای پمپ در کاتالوگ درج‌شده می‌توان زمان مناسبی را برای هر سیکل حرکتی پمپ تخمین زد. وجود شیرهای ورودی و خروجی باعث شده سیکل کاری پمپ و در نتیجه حل دو مرحله‌ای گردد مرحله اول ورود سیال و مرحله دوم خروج سیال می‌باشد، این دو مرحله مجموعاً در ۱/۵ ثانیه به پایان می‌رسند. از خروجی‌های مرحله‌ی اول به‌عنوان شرایط اولیه مرحله‌ی دوم استفاده‌شده است. گام زمانی برای حل کوچک و در حدود ۰/۰۰۵ ثانیه در نظر گرفته‌شده است که

---

1 implicit

2 time-dependent

به موجب این فرض کارایی و دقت حل مسئله افزایش یافته است مقدار گام زمانی برای حل به صورت تجربی و با سعی و خطی به دست آمده است. همچنین از حالت دقت مضاعف به منظور کاهش خطاهای گرد کردن استفاده گردیده است.

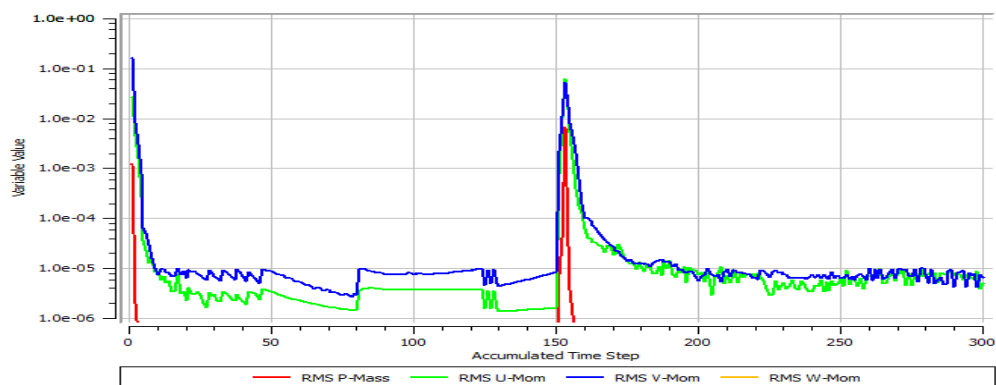
معیار همگرایی در این حل به صورت RMS Residual<sup>1</sup> است که مقدار  $0/00001$  برای آن انتخاب شده است. معیار همگرایی  $0/00001$  که مقدار پیش فرض ANSYS CFX نیز می باشد پاسخگوی نیاز بسیاری از مسائل مهندسی است. با این وجود در مسائل مش متحرک<sup>2</sup> به سبب حساسیت هندسی بالا، مقدار  $0/00001$  توصیه می شود [۲۴]. برای جابه جایی های ۳ میلی متر، ۴ میلی متر و ۵ میلی متر دیافراگم همگرایی حل به ترتیب به صورت شکل های ۱-۴، ۲-۴ و ۳-۴ می باشد.

همان گونه که در شکل های ۱-۴، ۲-۴ و ۳-۴ مشاهده می گردد در چند گام زمانی آغازین هر مرحله همگرایی حل به خوبی صورت پذیرفته است که این مورد در صورت استفاده از گام زمانی کوچک تر بهبود خواهد یافت. این در حالی است که در باقی گام های زمانی معیار همگرایی به خوبی ارضا گردیده است.

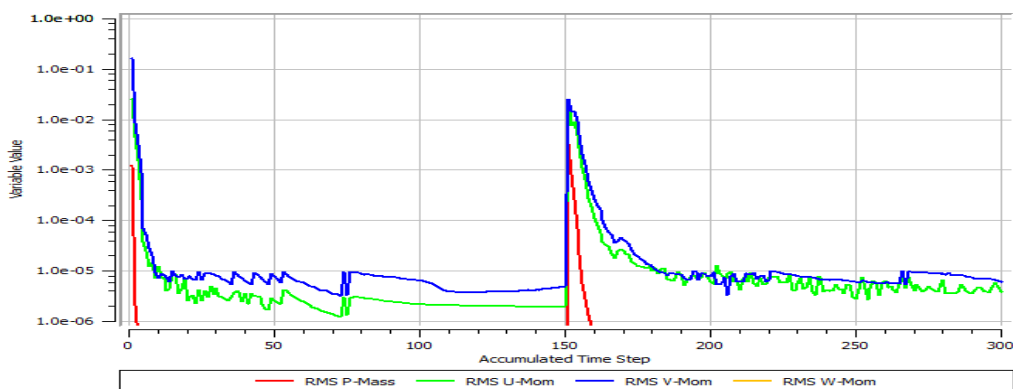
---

1 Root Mean Square

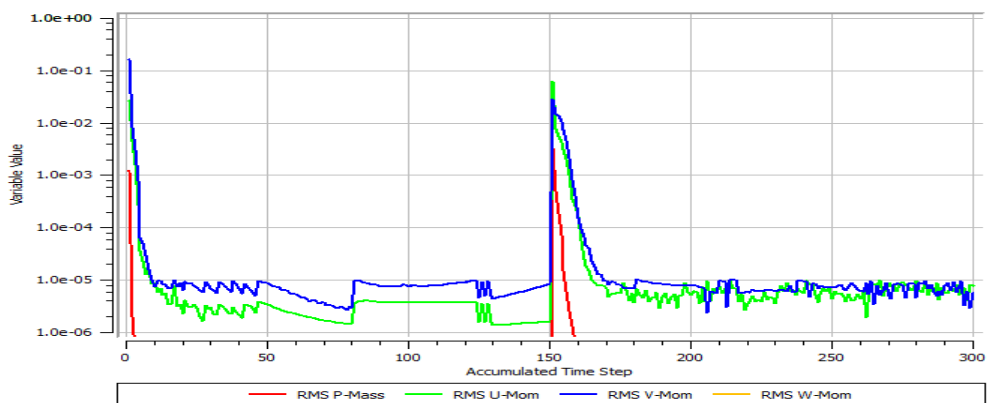
2 Mesh motion



شکل ۱-۴: نمودار همگرایی حل برای جابه‌جایی‌های ۳ میلی‌متر



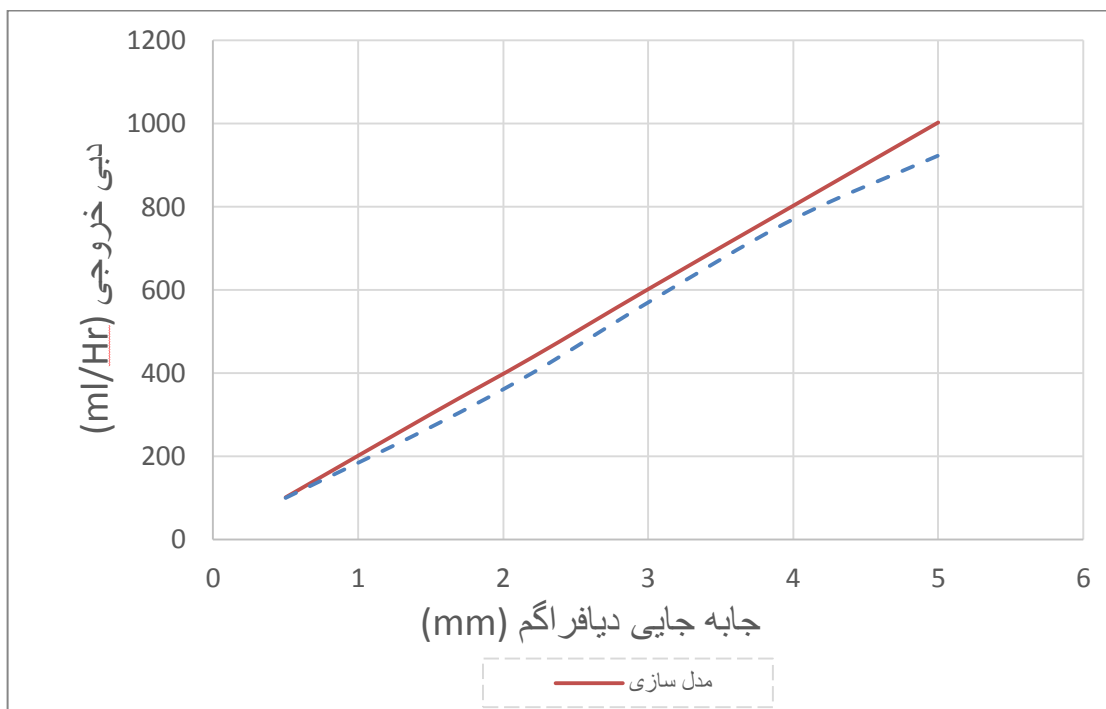
شکل ۲-۴: نمودار همگرایی حل برای جابه‌جایی‌های ۴ میلی‌متر



شکل ۳-۴: نمودار همگرایی حل برای جابه‌جایی‌های ۵ میلی‌متر

## ۳-۴ اعتبار سنجی مدل

برای سنجش اعتبار مدل‌سازی و همچنین تایید صحت نتایج از مقایسه نمودار دبی خروجی در واحد زمان نسبت به جابه‌جایی دیافراگم در مدل شبیه‌سازی شده با آنچه در کاتالوگ درج گردیده استفاده شده است. شکل ۴-۴ نشان‌دهنده نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی و نتایج ارائه شده در کاتالوگ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اختلاف دو نمودار بسیار ناچیز بوده که این اختلاف ناچیز ناشی از برخی ساده‌سازی‌ها و فرضیات مانند فرض دوبعدی به جای سه‌بعدی بودن مدل‌سازی است. خطای این دو نمودار در جدول ۴-۱ ارائه شده است.



شکل ۴-۴ : نمودار اعتبار سنجی

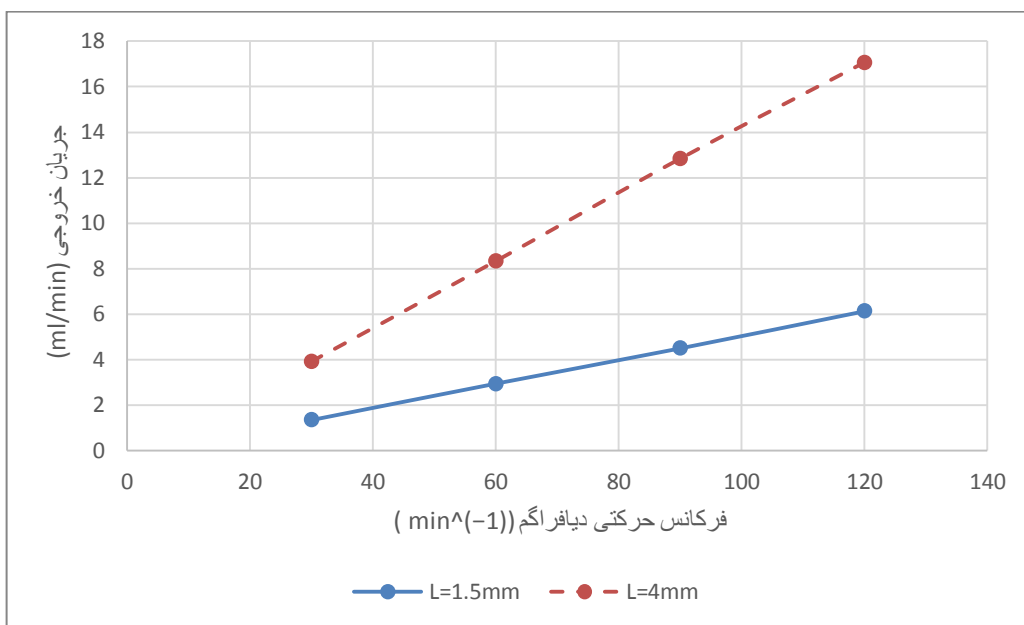
جدول ۴-۱: خطای مدل سازی

طول جابه‌جاشده دیافراگم (mm)	دبی خروجی در کاتالوگ (ml/hr)	دبی خروجی در مدل (ml/hr)	در صد خطا (%)
۰/۵	۱۰۱/۲۸۵	۱۰۰	۱/۲۶
۱/۵	۳۰۱/۱۴۳	۲۷۰	۱۰/۳۴
۲/۲	۴۳۷/۶۶۷	۴۰۰	۸/۶۰
۳	۶۰۱/۸۱۲	۵۷۰	۵/۲۸
۴	۸۰۲/۳۸۴	۷۷۰	۴/۰۳
۵	۱۰۰۲/۶۷	۹۲۳	۷/۹۴

#### ۴-۴ تغییرات جریان خروجی بر حسب فرکانس حرکتی دیافراگم

یکی دیگر از مزایای پمپ‌های دیافراگمی علاوه بر آنچه قبلاً توضیح داده شد، توانایی تزریق سیالات با دبی‌های مختلف تنها با تغییر فرکانس حرکتی دیافراگم و تنظیم میزان جابه‌جایی آن است. فرکانس حرکتی دیافراگم بر اساس تعداد دفعات رفت و برگشت پیستون تخمین زده می‌شود. با تغییر دور موتور و یا تنظیم برنامه کنترلی پمپ می‌توان تعداد رفت و برگشت‌های پیستون را کنترل کرد. موتور بسیاری از پمپ‌های دیافراگمی تزریقی دارای دور ثابت می‌باشد هرچه دور موتور افزایش یابد به واسطه‌ی آن سرعت رفت و برگشت پیستون و دیافراگم در یک‌زمان ثابت افزایش یافته و در نتیجه جریان عبوری نسبت به زمان افزایش می‌یابد. شکل ۴-۵ جریان خروجی بر حسب میلی‌لیتر بر دقیقه نسبت به فرکانس حرکتی دیافراگم را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان جابه‌جایی دیافراگم یا فرکانس حرکتی آن جریان خروجی پمپ دارای سیر صعودی و خطی می‌باشد. با توجه به جنس دیافراگم، ابعاد پمپ و دور موتور، نرخ جریان خروجی و میزان جابه‌جایی دیافراگم قابل افزایش و کاهش است. یکی از مزیت‌های این پمپ‌ها، قابل تنظیم شدن فرکانس حرکتی با توجه به مقدار سیال مورد نیاز برای تزریق می‌باشد. فرکانس حرکتی دیافراگم در این پمپ با توجه به آنچه در کاتالوگ آزمایش‌ها بر اساس آن انجام گرفته، ۹۰ هرتز

می‌باشد. اگر بخواهیم از این فرکانس زمان هر رفت و برگشت دیافراگم را استخراج کنیم،  $1/5$  ثانیه برای هر سیکل می‌شود.

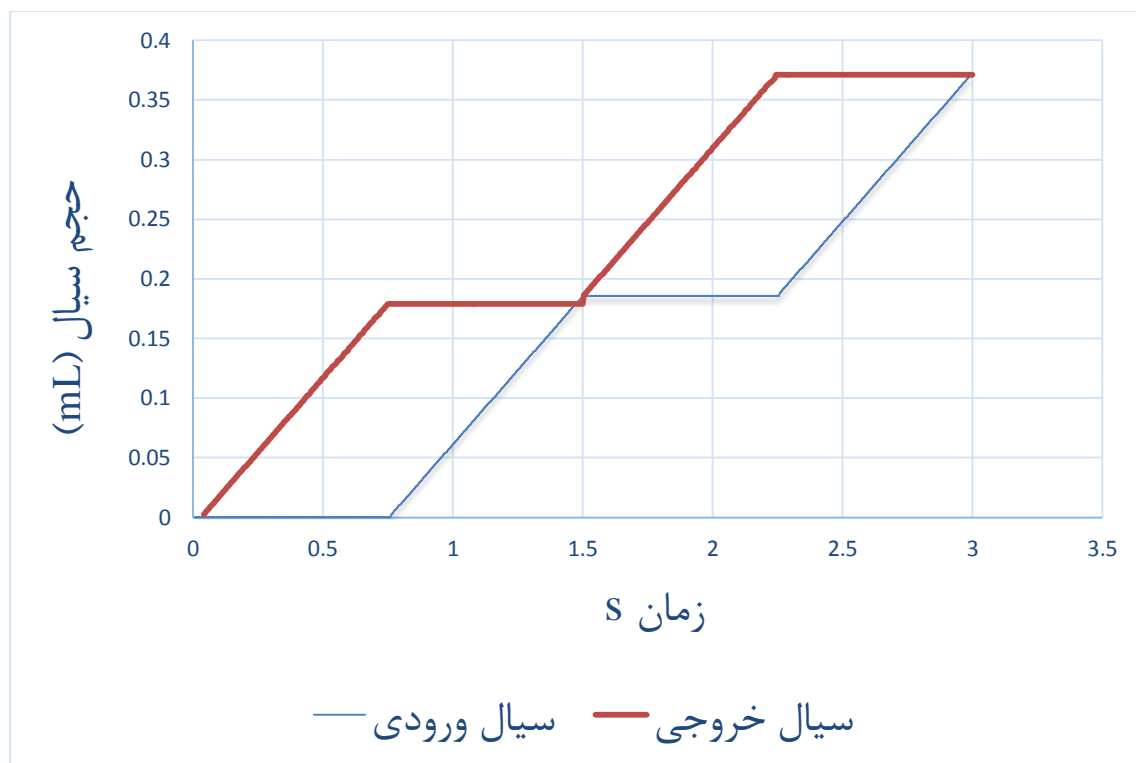


شکل ۴-۵: میزان جریان خروجی بر حسب فرکانس حرکتی دیافراگم برای بیشینه جابجایی  $1/5$  میلی‌متر و  $4$  میلی‌متر

## ۴-۵ انباشتگی حجمی سیال ورودی و خروجی بر حسب زمان

انباشتگی حجم سیال ورودی و خروجی در شکل ۴-۶ آورده شده است. در این شکل حجم سیال ورودی و خروجی هر کدام در مرحله خود استخراج شده و در این شکل بر روی هم قرار گرفته‌اند. در این شکل محور افقی زمان و محور عمودی حجم سیال بر حسب میلی‌لیتر است. از  $0$  تا  $0.75$  ثانیه به دلیل بسته بودن شیر ورودی حجم وارد شده صفر است ولی پس از این زمان سیال شروع به وارد شدن می‌کند. در مورد نمودار

حجم سیال خارج شده می‌توان دریافت که این حجم سیال تا زمان  $0/75$  ثانیه به دلیل باز بودن شیر خروجی ادامه دارد اما پس از این زمان تا  $1/5$  ثانیه مقدار آن ثابت است.

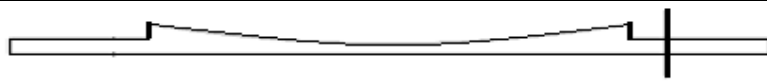


شکل ۶-۴: انباشتگی حجمی سیال بر حسب زمان

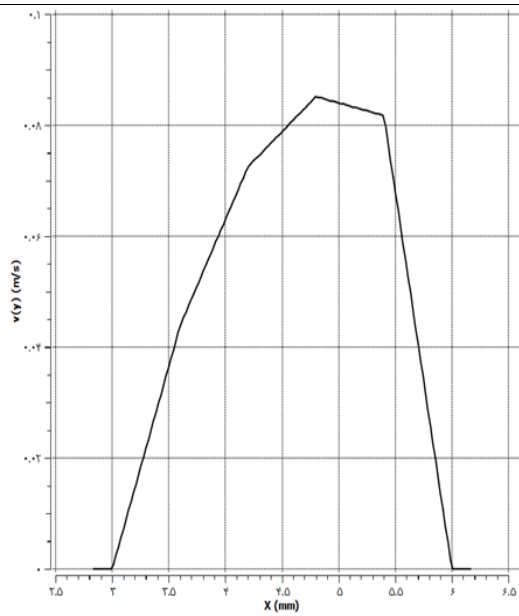
## ۴-۶ سرعت محوری خروجی در یک مقطع دلخواه

همان‌طور که در شکل ۴-۷ مشاهده می‌شود سرعت در راستای محوری سیال برای جابه‌جایی‌های مختلف دیافراگم در یک مقطع مشخص به نمایش گذاشته شده است. تمامی سرعت‌ها در زمان  $0/75$  ثانیه که در واقع بیشینه جابه‌جایی دیافراگم است استخراج شده‌اند. شرط عدم لغزش در دیواره‌ها به درستی عمل کرده و سرعت صفر را در دیواره‌ها نشان می‌دهد. بیشینه سرعت محوری که تقریباً در مرکز مجرای خروجی قرار دارد با افزایش مقدار جابه‌جایی بیشینه دیافراگم افزایش می‌یابد و از مقدار  $0/045$  متر بر ثانیه برای جابه‌جایی  $1/5$  میلی‌متر آغاز شده و به مقدار سرعت  $0/132$  متر بر ثانیه برای  $5$  میلی‌متر می‌رسد.

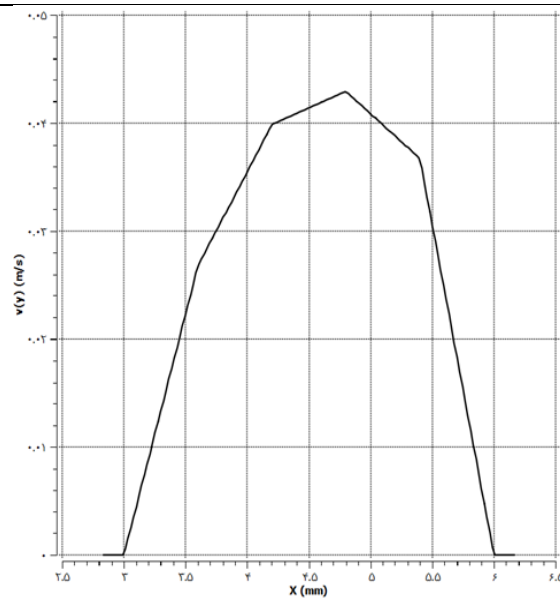




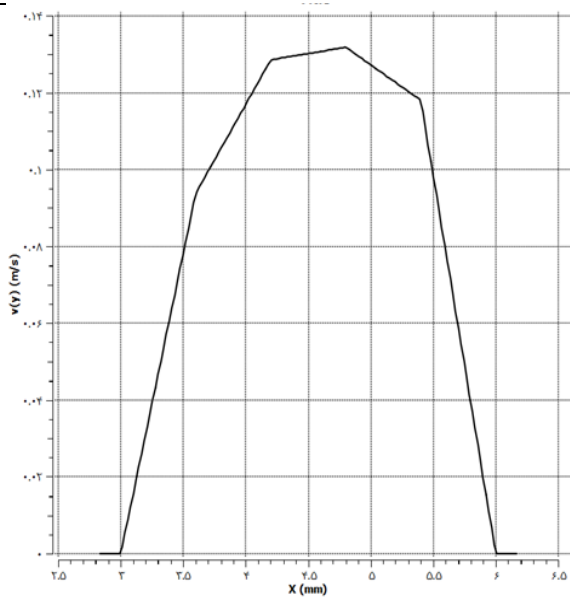
3mm



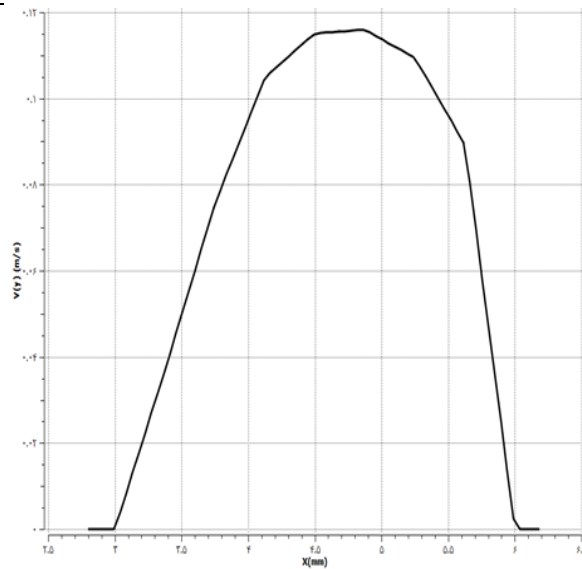
1.5mm



5mm



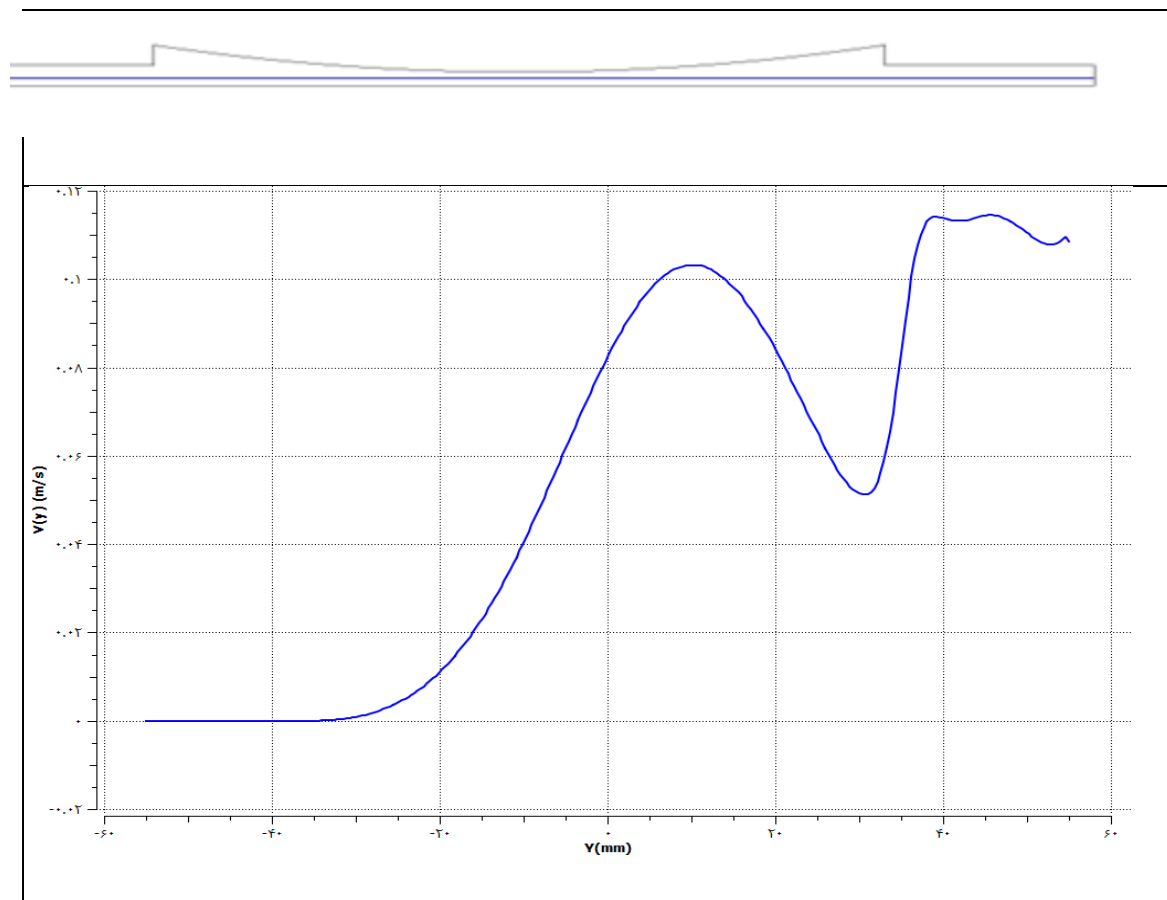
4mm



شکل ۴-۷: سرعت محوری خروجی در یک مقطع دلخواه

## ۴-۷ نمودار سرعت محوری در طول ورودی تا خروجی پمپ

نمودار سرعت در راستای محور در طول ورودی تا خروجی بر روی یک خط در شکل ۴-۸ مشخص شده است. منحنی شکل ۴-۸ برای زمان  $0.75$  ثانیه در حالت بیشینه جابه‌جایی دیافراگم که برابر  $4$  میلی‌متر می‌باشد رسم شده است. با توجه به اینکه در این زمان پمپ در آخرین لحظه خروج سیال قرار دارد بنابراین شیر ورودی بسته و شیر خروجی در این لحظه باز می‌باشد. همان‌طور که در این منحنی دیده می‌شود در ابتدای ورودی سیال به دلیل بسته بودن شیر سرعت سیال صفر می‌باشد این روند تا ابتدای دیافراگم ادامه پیدا کرده سپس با توجه به انرژی که دیافراگم به سیال وارد کرده سرعت سیال تا مرکز دیافراگم افزایش می‌یابد. پس از این مرحله سرعت سیال دارای یک افت شدید می‌شود که به دلیل شکل پله‌ای مجرای پمپ می‌باشد در مورد این محل در قسمت میدان‌های سرعت بیشتر بحث می‌شود. در انتهای مجرای پمپ به دلیل تقارنی که در مجرا وجود دارد سرعت به یک مقدار مشخص میل کرده و تقریباً ثابت می‌ماند. همان‌طور که در قبل اشاره شد دبی پمپ‌های دیافراگمی با تغییر فشار ثابت است و تنها به جابه‌جایی دیافراگم وابسته است.



شکل ۴-۸: نمودار سرعت محوری در طول ورودی تا خروجی

## ۴-۸ نتایج تصویری پمپ دیافراگمی

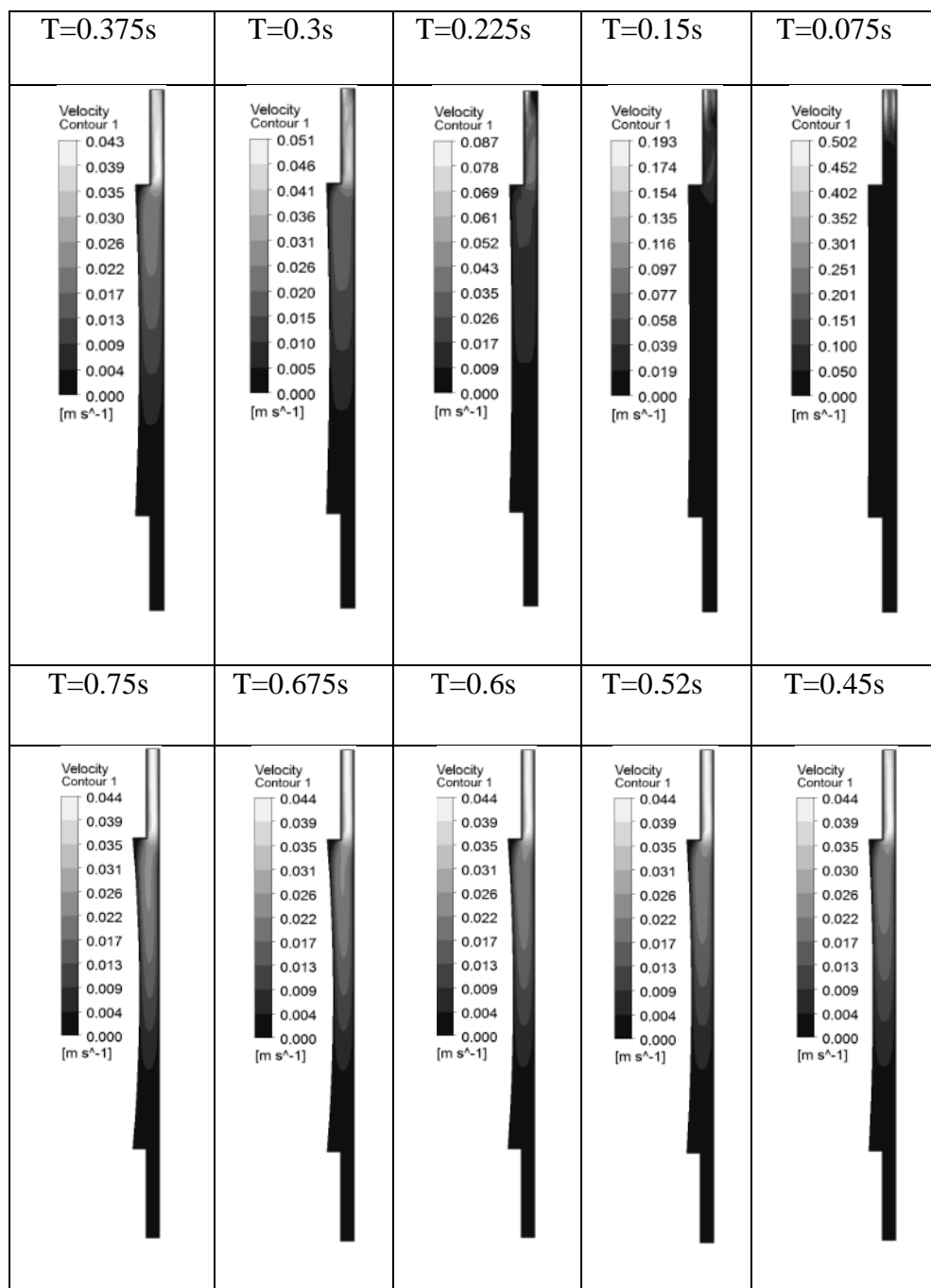
در این قسمت به ارائه برخی از نتایج تصویری جریان سیال داخل پمپ مانند توزیع میدان سرعت و فشار پرداخته می‌شود. در ابتدا فرض شده است که پمپ دارای سیال و شیرهای ورودی و خروجی هر دو بسته باشند. حل در دو مرحله انجام می‌گیرد. از  $t=0s$  تا  $t=0.75s$  دیافراگم به سمت جلو حرکت می‌کند که بر اساس آنچه در نمونه واقعی دیده شده است اعمال گردیده، با ایجاد شرط مرزی بسته برای ورودی و شرط مرزی فشار  $1930$  کیلو پاسکال برای خروجی سیال از پمپ خارج می‌گردد. در مرحله بعد با بازگشت دیافراگم به مکان اولیه‌اش شیر خروجی بسته شده و شیر ورودی با شرط مرزی فشار ثابت  $206$  کیلو پاسکال

بازمی‌گردد و سیال از مخزن به داخل محفظه پمپ می‌گردد. در هر مرحله شرایط اولیه از گام زمانی قبلی استخراج گردیده است. این مرحله تا  $t=1.5s$  و بازگشت کامل دیافراگم به محل اولیه خود ادامه می‌یابد. هرکدام از مراحل رفت و برگشت دیافراگم  $0.75$  ثانیه طول می‌کشد و بین هر دو سیکل، پمپ در حالت بدون تزریق است که البته این برنامه‌ریزی پمپاژ بر اساس نیاز خط و شرایط می‌باشد و قابل افزایش و یا کاهش توسط مرکز کنترل است.

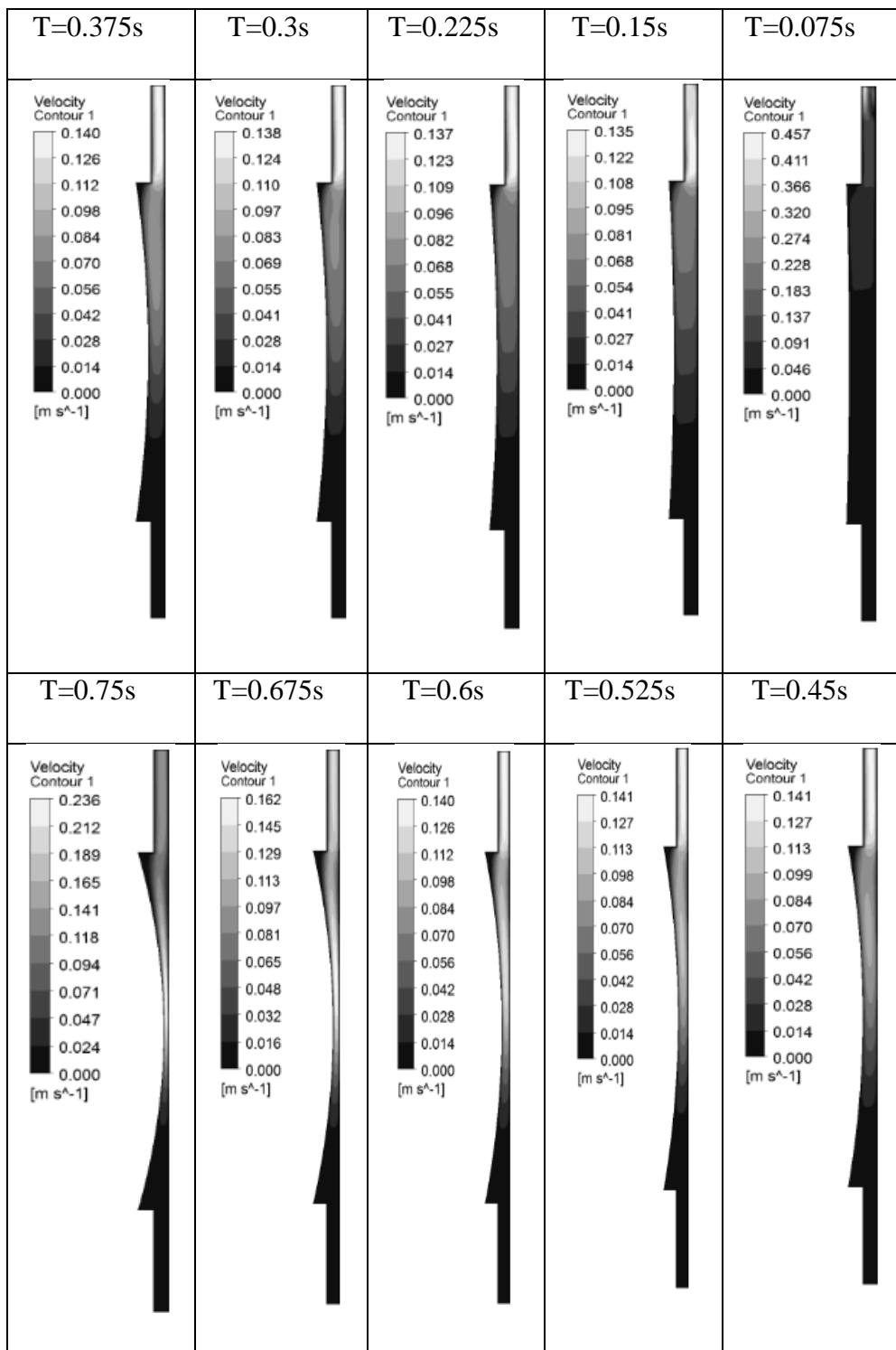
#### ۴-۸-۱ توزیع میدان‌های سرعت

شکل‌های ۴-۹ و ۴-۱۰ میدان‌های سرعت در خروجی را به ترتیب برای بیشینه جابه‌جایی  $1/5$  میلی‌متر و  $5$  میلی‌متر و در مقابل شکل‌های ۴-۱۱ و ۴-۱۲ میدان‌های سرعت در ورودی را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج با بازه‌های زمانی ثابت  $0.75$  ثانیه استخراج شده‌اند تا بتوان روند تغییرات سرعت را به خوبی مشاهده کرد. در قسمت شرایط مرزی سیال ذکر شد که جریان سیال به صورت آرام فرض شده است. در این قسمت با محاسبه‌ی عدد رینولدز با توجه به بیشینه سرعت ورودی و خروجی نوع جریان را تخمین زد. با توجه به آنچه در قبل توضیح داده شد بیشینه سرعت در بیشترین جابه‌جایی دیافراگم ایجاد می‌شود بنابراین میزان بیشینه سرعت را باید در شکل‌های مربوط به جابه‌جایی  $5$  میلی‌متر و زمان‌های  $0.75$  ثانیه برای خروج سیال و  $0.825$  ثانیه در هنگام ورود سیال یافت. با توجه به چگالی و لزجت سیال و همچنین مقطع عبور سیال و سرعت آن مقدار عدد رینولدز  $675$  برای خروجی که کاملاً جریان آرام است و برای ورودی مقداری در حدود  $2210$  می‌باشد و تقریباً جریان را می‌توان آرام در نظر گرفت البته ذکر این نکته اهمیت دارد که این میزان جابه‌جایی برای این مدل از پمپ کمتر انجام می‌شود و تنها به صورت عددی و آزمایشگاهی مورد محاسبه قرار گرفته و در مدل واقعی بیشینه جابه‌جایی از مقدار  $5$  میلی‌متر به مراتب

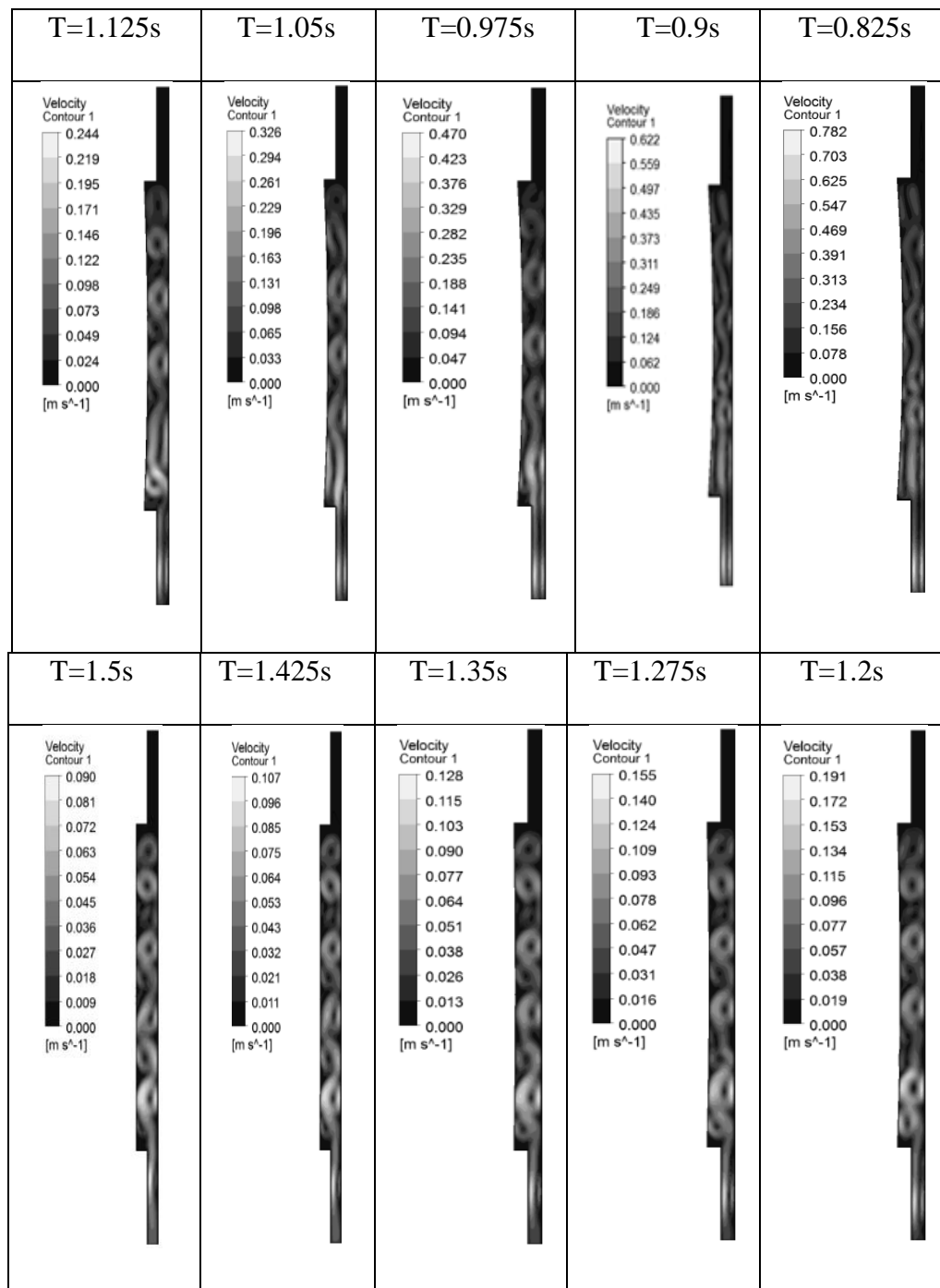
کوچک‌تر بوده در نتیجه بیشینه سرعت نیز از این مقدار کوچک‌تر می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در زمانی که سیال از پمپ خارج و یا به آن داخل می‌شود سرعت سیال با افزایش زمان کاهش می‌یابد. جریان سیال در هنگام خروج آن از پمپ نسبت به ورود آن به پمپ منظم‌تر و آرام‌تر می‌باشد. همان‌طور که در شکل‌های ۹-۴ و ۱۰-۴ مشاهده می‌شود در مجرای خروجی سیال دیواره‌ای که دیافراگم به آن متصل است باعث افت سرعت و در نتیجه اتلاف انرژی سیال می‌گردد. در شکل‌های ۹-۴ و ۱۰-۴ همان‌طور که اشاره شد گام‌های زمانی مشابه انتخاب شده است و در این شکل‌ها مشاهده می‌شود در گام اول تنها خروج سیال وجود دارد اما در گام‌های بعد سیال تا نقاط پایین‌تری در پمپ انتقال یافته تا جایی که در زمان ۰/۷۵ ثانیه تقریباً جریان سیال چیزی در حدود ۷۰ درصد پمپ را در بر گرفته شده است این روند برای مکش در شکل‌های ۱۱-۴ و ۱۲-۴ تا ۸۰ درصد هم می‌رسد. با دقت در شکل‌های ۹-۴ و ۱۰-۴ نقاط دیده می‌شوند که به دلیل شکل پله‌ای پمپ باعث کاهش شدید سرعت شده و احتمال ایجاد جریان ثانویه را به وجود می‌آورند.



شکل ۹-۴ : میدان سرعت برای بیشینه جابه‌جایی ۱/۵ میلی‌متر در خروج سیال از پمپ

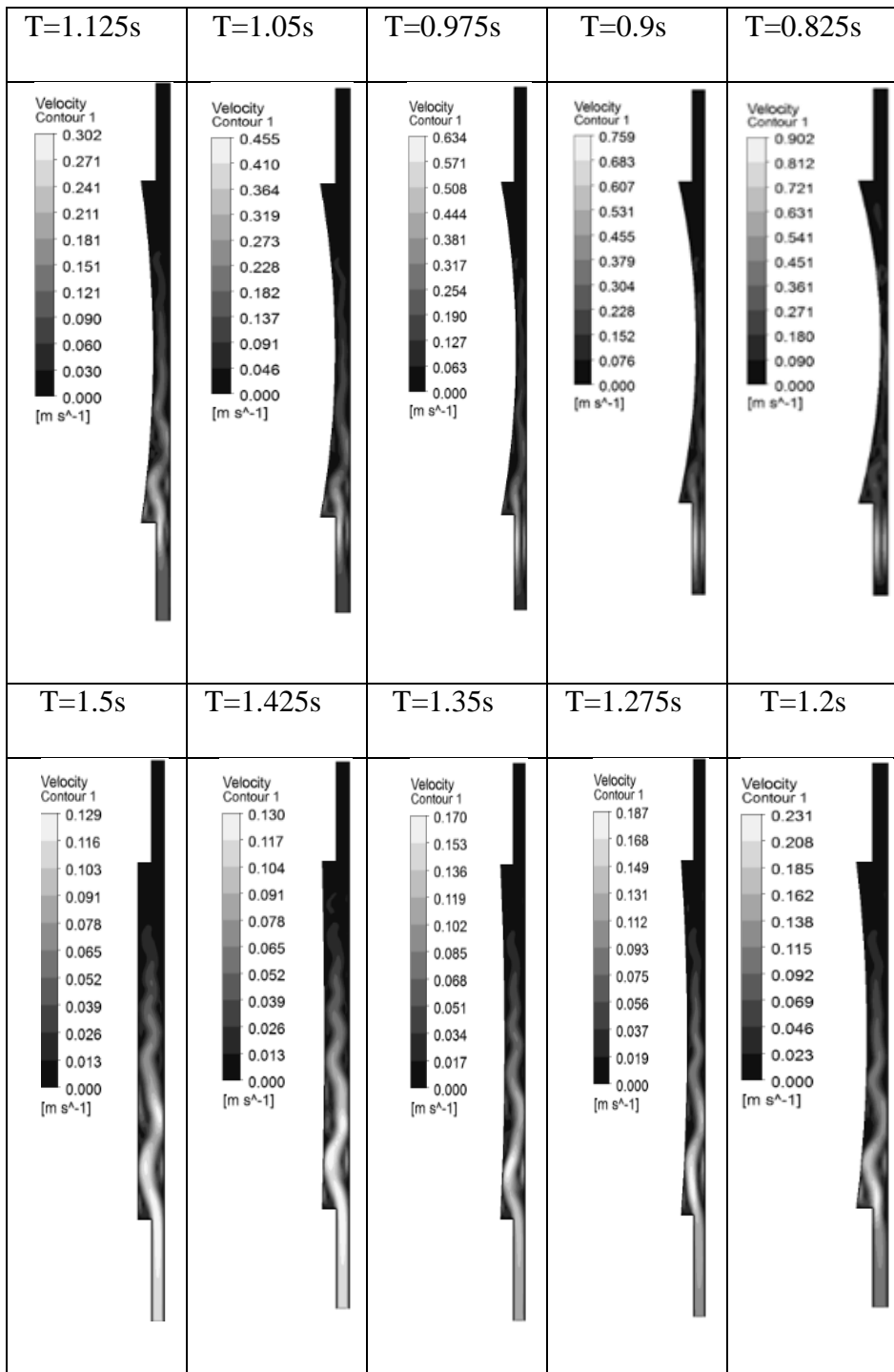


شکل ۴-۱۰: میدان سرعت برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در خروج سیال از پمپ



شکل ۱۱-۴ : میدان سرعت برای بیشینه جابه‌جایی ۱/۵ میلی‌متر در ورود سیال به پمپ

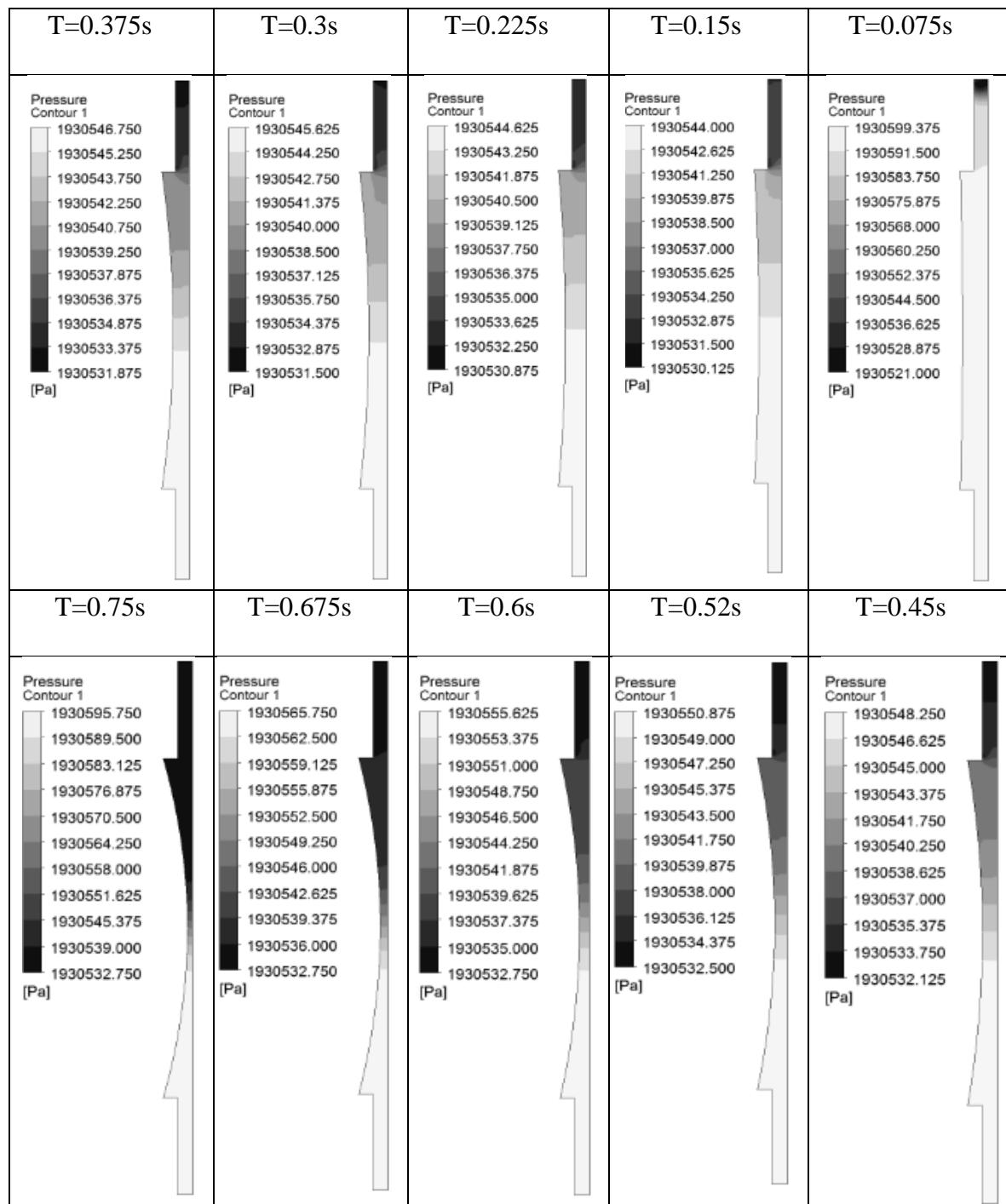




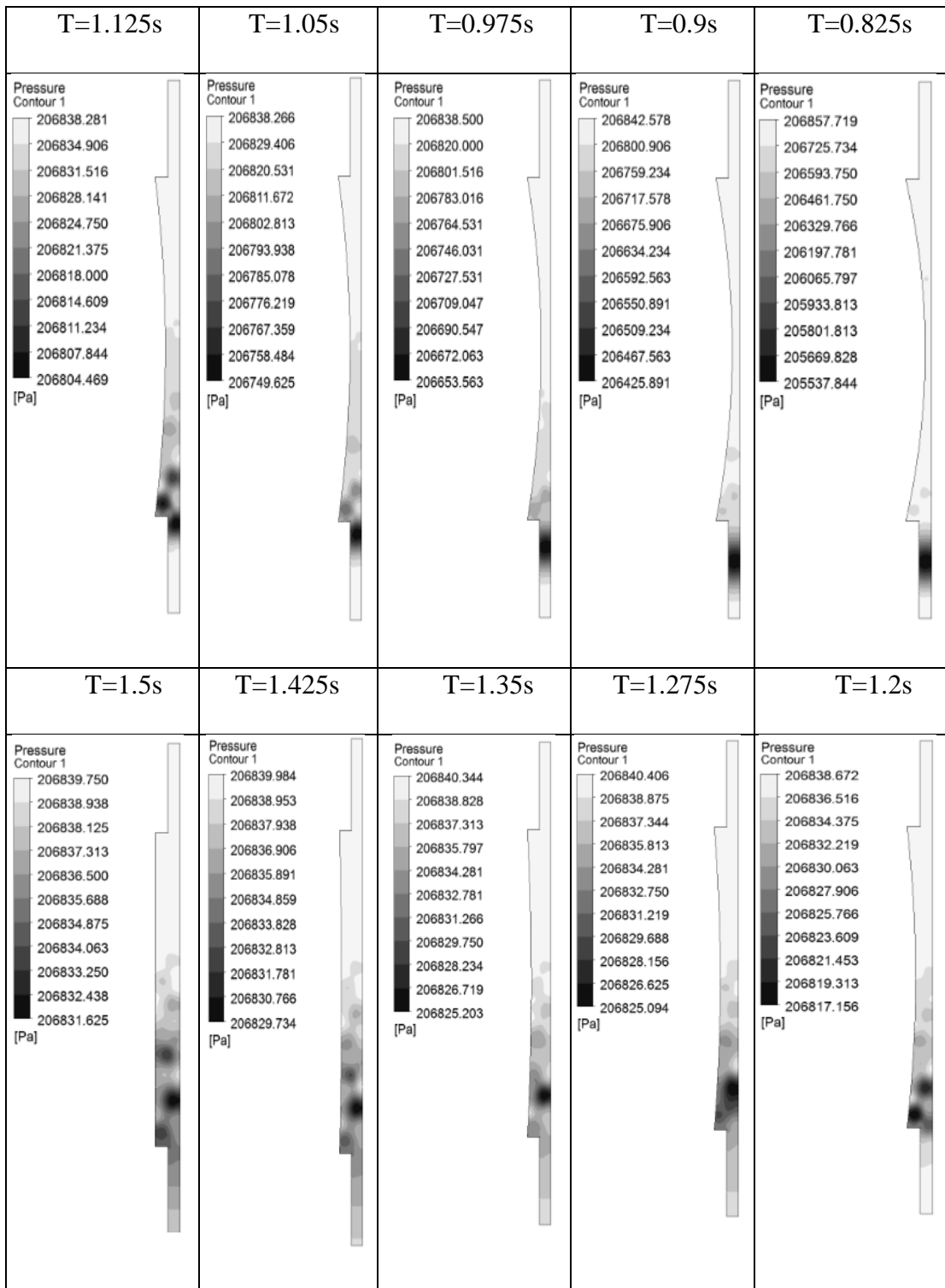
شکل ۴-۱۲: میدان سرعت برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در ورود سیال به پمپ

## ۴-۸-۲ توزیع میدان‌های فشار

شکل‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ میدان فشار را برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر برای دیافراگم نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات مقدار فشار در خروجی و ورودی نسبت به شرط مرزی که برای ورودی و خروجی در نظر گرفته شده تقریباً یکنواخت می‌باشد. دیده می‌شود در هنگامی که سیال به خارج از پمپ انتقال می‌یابد شیر خروجی باز می‌باشد اما شیر ورودی بسته می‌باشد در نتیجه سیال قبل از دیافراگم که در قسمت ورودی قرار گرفته دارای فشار بیشتری می‌باشد. از جمله مسائلی که در پمپ‌ها معمولاً به آن توجه می‌شود پدیده کاویتاسیون می‌باشد. کاویتاسیون عبارت است از تشکیل حباب‌های بخار در پمپ و متعاقب آن ترکیدن و متلاشی آن در داخل پمپ و زمانی اتفاق می‌افتد که فشار مایع در هر درجه حرارتی، در اثر حرکت مایع به فشاری پایین‌تر از فشار بخار مایع در آن دما برسد. پدیده‌ی کاویتاسون معمولاً در پمپ‌های گریز از مرکز و دوار مورد بررسی قرار می‌گیرد و کمتر گزارشی از این پدیده در مورد پمپ‌های دیافراگمی به چشم می‌خورد. به منظور بررسی این پدیده در این پمپ کافی است که به شکل‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ مراجعه شود. همان‌گونه که در قسمت خصوصیات مکانیکی سیال بیان شد فشار بخار سیال مرکاپتان برابر ۲۰۴ کیلو پاسکال می‌باشد همان‌طور که در مقدار فشارها در شکل‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ مشاهده می‌شود کمترین فشار برابر ۲۰۵ کیلو پاسکال می‌باشد که در واقع از فشار بخار سیال بالاتر است در نتیجه پدیده کاویتاسیون در این پمپ ایجاد نمی‌شود. به دلیل اختلاف اندک بین کمترین فشار پمپ و فشار بخار سیال بهتر است نواحی که به رنگ تیره‌تر می‌باشند فشارهای کوچک را نشان می‌دهند. این نواحی تیره‌رنگ که در زمان‌های اولیه ورود سیال در ابتدای مجرای ورودی قرار دارند و به مرور زمان به مرکز دیافراگم نزدیک‌تر می‌شوند باید بیشتر مورد توجه قرار گیرند زیرا این نواحی به مراتب مستعدتر برای ایجاد حباب می‌باشند.



شکل ۴-۱۳: میدان فشار برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در خروج سیال از پمپ



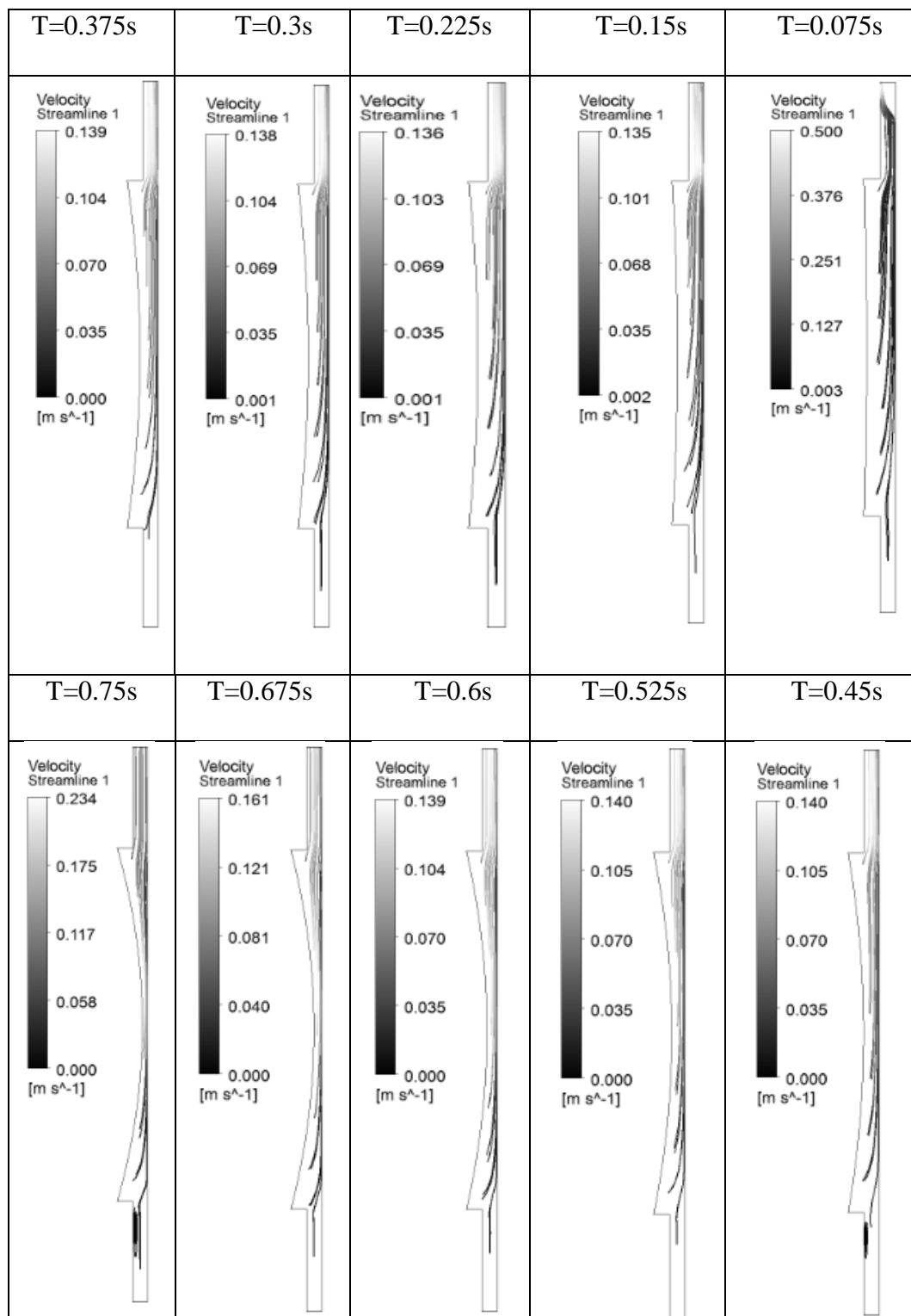
شکل ۴-۱۴: میدان فشار برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در ورود سیال به پمپ

## ۳-۸-۴ خطوط جریان سیال<sup>۱</sup>

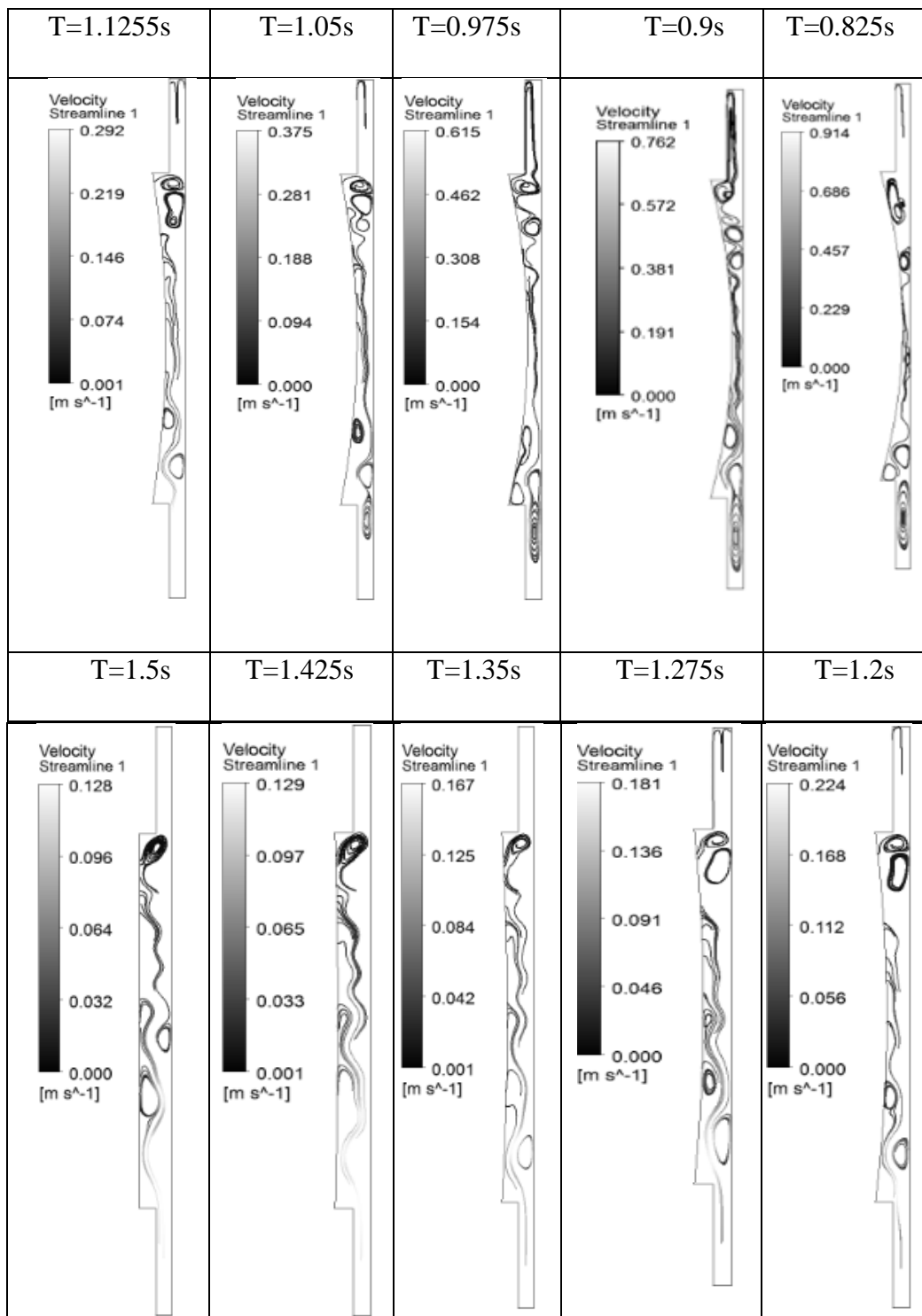
با توجه به آنچه در قسمت توزیع میدان‌های سرعت بیان شد جریان سیال در ورود به پمپ و خروج از آن به صورت آرام می‌باشد. شکل‌های ۴-۱۵ و ۴-۱۶ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی خطوط جریان سیال در خروج از پمپ و ورود به پمپ می‌باشند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود خطوط جریان در زمانی که سیال به خارج از پمپ انتقال می‌یابد در مجرای خروجی دارای تراکم بیشتری نسبت به دیگر نقاط پمپ می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۴-۱۵ و ۴-۱۶ مشاهده می‌شود با گذشت زمان سرعت در ورودی و خروجی کاهش می‌یابد. خطوط جریان در ورود به پمپ تولید گردابه‌هایی را در برخی از نقاط پمپ نشان می‌دهند که برای جریان مضر می‌باشند و باعث اتلاف انرژی سیال در هنگام ورود آن به داخل پمپ و در نتیجه کاهش عملکرد پمپ می‌گردند.

---

<sup>1</sup> stream line



شکل ۴-۱۵: خطوط جریان سیال برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در خروج سیال از پمپ



شکل ۴-۱۶: خطوط جریان سیال برای بیشینه جابه‌جایی ۵ میلی‌متر در ورود سیال به پمپ





فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشنهادات

## ۵-۱ نتیجه گیری

در این پایان نامه به شبیه سازی پمپ دیافراگمی تزریق سیال بودار کننده به گاز شهری ساخت شرکت پتروساویز پرداخته شده است. پس از شبیه سازی پمپ دیافراگمی با دقت مناسب نسبت به مدل واقعی به وسیله نرم افزار ANSYS CFX، به استخراج نتایج پرداخته شد. تا انتهای بررسی نتایج، نکات مهمی منتج شد که در ادامه به طور خلاصه به آن ها اشاره شده می شود.

- در فصول قبل روش های مختلف کوپلینگ سازه و سیال توضیح داده شد و با توجه به کوچک بودن جابه جایی های دیافراگم و همچنین میدان های فشار در اطراف دیافراگم شبیه سازی کوپلینگ سازه و سیال به صورت یک طرفه در نظر گرفته شد. با توجه به خطای بسیار کوچکی که در بیشترین حالت ۱۰ درصد برای دبی خروجی از پمپ نسبت به جابه جایی دیافراگم در مقایسه با مدل واقعی می باشد درستی فرض یک طرفه بودن کوپلینگ صحیح می باشد.
- نتایج مدل سازی نشان می دهد که فشار داخلی پمپ همواره بیش از فشار بخار است بنابراین، پدیده کاویتاسیون در این نوع پمپ ایجاد نمی گردد.
- جریان های چرخشی و گردابه ها که معمولاً وظیفه اتلاف انرژی را بر عهده دارند در برخی از مناطق جریان داخل پمپ دیده می شوند. صیقلی بودن گوشه های نوک تیز در نزدیک محل های عبور جریان به حل این معضل کمک می کنند.
- یکی از نتایج مهم در این شبیه سازی یافتن نقاطی در پمپ است که به دلیل شکل خاصی که دارند مانند پله ای بودن باعث اتلاف و کاهش سرعت سیال می شوند.
- با استفاده از مقادیر مناسب برای پارامترها، یک پمپ دیافراگمی سه بعدی را می توان با یک مدل دوبعدی به طور تخمینی معادل گرفت. این کار به شکل قابل توجهی زمان محاسبات را کاهش

می‌دهد و با توجه به مقایسه‌ای که بین نتایج مدل‌سازی و نمونه عملی انجام گرفت می‌توان دریافت که نتایج مدل‌سازی معقول و مورد قبول می‌باشند.

- همان‌طور که در قبل توضیح داده شد پمپ‌های تزریقی برخلاف پمپ‌های گریز از مرکز، تغییرات فشار تأثیر زیادی بر دبی آن‌ها ندارد و یکی از پارامترهایی که دبی این پمپ‌ها رابطه مستقیم با آن دارد میزان جابه‌جایی دیافراگم می‌باشد به همین منظور میدان‌های سرعت خروجی را برای جابه‌جایی‌های مختلف دیافراگم بررسی شد و نتیجه‌ای که حاصل شد با افزایش این جابه‌جایی مقدار میدان‌های سرعت افزایش می‌یابد.

## ۲-۵ ارائه پیشنهاد برای پژوهش‌های آینده

- بررسی برخی پارامترهای پمپ مانند تأثیر ضخامت دیافراگم و تنش‌های آن در مقابل فشار سیال
- ارائه یک مدل بهینه‌شده بر اساس نتایج شبیه‌سازی و ساخت آن
- تعیین دقیق محل‌هایی که باعث اتلاف سرعت و فشار می‌شوند و در انتها ارائه یک‌شکل مناسب برای پمپ
- بررسی روش‌های مختلف کوپلینگ سازه و سیال
- بررسی مدل شبیه‌سازی شد برای مدل‌های دیگر پمپ‌های دیافراگمی



مراجع

- [1] E. Becker, *MECHANICALLY DRIVEN DIAPHRAGM PUMPS FOR USE*. 1997, pp. 1–58.
- [2] S. D. ABLE, *DIAPHRAGM PUMP*. 2000, pp. 85–97.
- [3] K. S. Parrott, “ODORIZATION OF NATURAL GAS,” pp. 876–883, 1930.
- [4] ع. طالبی, “بودار شوندگی گاز طبیعی ”انواع بودار کننده های گاز شهری, شرکت گاز استان مازندران, ۱۳۸۹.
- [5] M. R. Engineer, “Milton Roy Metering Pump Technology,” 2014.
- [6] ب. جمشیدی, “بهینه سازی عددی پمپ گریز از مرکز پمپیران مدل ۳۲-۲۰۰,” ۱۳۹۳.
- [7] M. souli, “ALE and Fluid Structure Interaction,” *Mater. Sci.*, vol. 465–466, pp. 143–150, 2004.
- [8] V. Jairazbhoy and R. C. Stevenson, “Mathematical modeling of molten metal dispensing : A study of a pneumatically actuated diaphragm-driven pump,” *Applied Mathematical Modeling*, vol. 32, pp. 141–169, 2008.
- [9] N. D. dos Santos, J. Gerbeau, and J. Bourgat, “PARTITIONED FSI STRATEGY FOR SIMULATIONS OF A THIN ELASTIC VALVE,” in *European Conference on Computational Fluid Dynamics*, 2006.
- [10] B. Gatzhammer, “A Partitioned Approach for Fluid-Structure Interaction on Cartesian Grids,” 2008.
- [11] G. De Nayer, A. Kalmbach, M. Breuer, S. Sicklinger, and R. Wüchner, “Computers & Fluids Flow past a cylinder with a flexible splitter plate : A complementary experimental – numerical investigation and a new FSI test case,” *Comput. FLUIDS*, vol. 99, pp. 18–43, 2014.
- [12] C. Michler, S. J. Hulshoff, E. H. Van Brummelen, and R. De Borst, “A monolithic approach to fluid-structure interaction,” *Elsevier science*, March 2003.
- [13] Z. Wang, G. Tsai, and Y. Chen, “One-Way Fluid-Structure Interaction Simulation of an Offshore Wind Turbine,” *Engineering and Technology Innovation*, vol. 249, pp. 2011–2012, 2014.
- [14] J. Z. Li and M. Raney, “Flow Simulation of a Direct-Injection Gasoline Diaphragm Fuel Pump with Structural Interactions,” *The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space* vol. 2000, no. 724, 2000.

- [15] H. Schmuker, F. Flemming, and S. Coulson, "Two-way coupled fluid structure interaction simulation of a propeller turbine," in *Hydraulic Machinery and System*, 2010, vol. 012011.
- [16] E. LEWA, "LEWA process diaphragm pumps Catalog," 2014.
- [17] I. R. Van Rijswijk, P. Ir, and C. Van Rhee, "Fluid structure interaction in piston diaphragm pumps," no. June, pp. 17–19, 2013.
- [18] A. Skoglund, "Preservation of wakes in coarse grid CFD," 2008.
- [19] C. Andersson and D. Ahl, "Master ' s Thesis in Computational Science and Engineering," no. June, 2011.
- [20] M. Olsson, "FLUID STRUCTURE INTERACTION A STUDY OF POURING , USING FSI-SIMULATIONS Nibras Alshairi," 1990.
- [21] R. S. Raja, "Coupled fluid structure interaction analysis on a cylinder exposed to ocean wave loading," 2012.
- [22] T. Richter, "Numerical Methods for Fluid-Structure Interaction Problems," vol. 2010, 2010.
- [23] S. Chitrakar, "FSI Analysis of Francis Turbines Exposed to Sediment Erosion," 2013.
- [24] T. D. Canonsburg, "ANSYS CFX-Solver Modeling Guide," vol. 15317, no. November, 2010.
- [25] D. E. Montr, "TWO-WAY FLUID-STRUCTURE COUPLING IN VIBRATION AND DAMPING ANALYSIS OF AN OSCILLATING HYDROFOIL TWO-WAY FLUID-STRUCTURE COUPLING IN VIBRATION AND," 2014.
- [26] S. V. Patankar, *Numerical heat transfer and fluid flow*. 1980.
- [27] C. M. Rhie and W. L. Chow, "A Numerical Study of the Turbulent Flow Past an Isolated Airfoil with Trailing Edge Separation," *AIAA Pap.*, vol. 82–0998, 1982.
- [28] S. Majumdar, "Role of Underrelaxation in Momentum Interpolation for Calculation of Flow with Nonstaggered Grids," *Numer. Heat Transf.*, vol. 13, pp. 125–132, 1998.





پوست‌ها

## پیوست الف : کاتالوگ‌های پمپ

**PETRO SAVIS**  
Engineers company      www.petrosavis.com

Type:

Fluid:

Q.MAX:  L/H  GPH

P.MAX:  BAR  PSI

Stroke Volume:

Date:

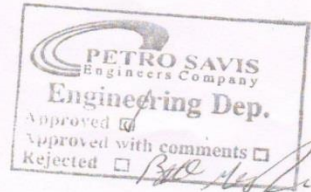
Tag NO:

Serial NO:

**NAMEPLATE**  
SCALE: 1:1

**DESCRIPTION**

Material	sst 316
Thickness	0.5 mm



NAME PLATE				1				
POS.	PART NAME	MATERIAL	CODE.	QTY.	UNIT	TOTAL	REMARK	
						WEIGHT		
PROJECTION 		TOLERANCE OF FREE DIMENSION ACC.TO DIN(ISO)7168				TITLE:		
CONTRACTOR: <b>PETRO SAVIS ENG.CO</b>		PERMITTED DERIATION FOR:		<b>NAME PLATE</b> Scale: <input type="text" value="1:1"/> <input type="text" value="A4"/> Rev. <input type="text" value="0"/> Page. <input type="text" value="1/1"/>				
		<b>f</b>	LENGTH(mm)					
		<b>m</b>	ANGLE(DEG),CHAMFER & FILLET(mm)					
		<b>R</b>	STRAIGHT/PLANE&PARALLELIBILITY(mm)					
		DRN.	APP.	DATE.				
		N.B	B.I.M	B.M	<b>257-PS-MS18-02</b>			

**TEST REPORT** FLOW CHARACTERISTIC OF PUMP



PETRO SAVIS Technical data sheets from a valid basis for this test . Date : 02.07.10

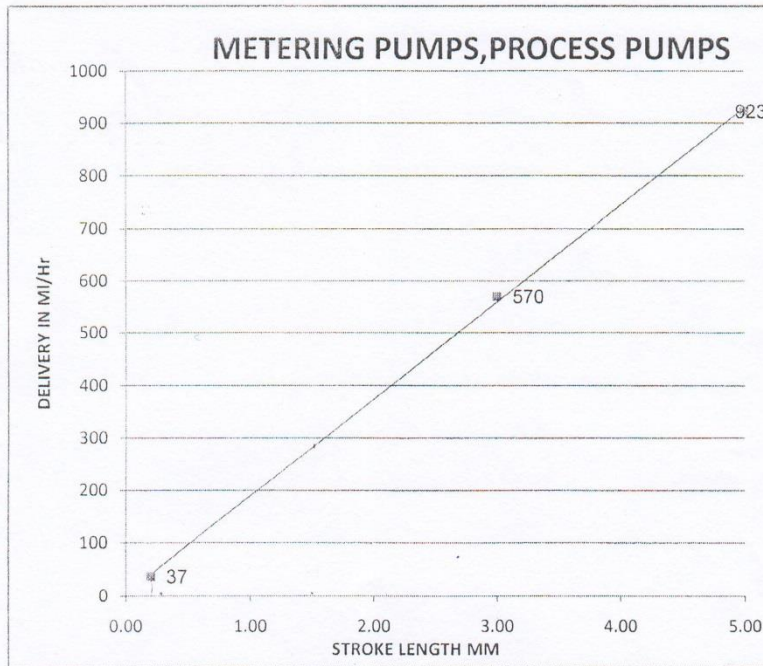
PURCHASER : VENAN ENG. & IND. CO. CUSTOMER ORDER NO. : ۸۸ / ۱۰۰ / ۲۵۷

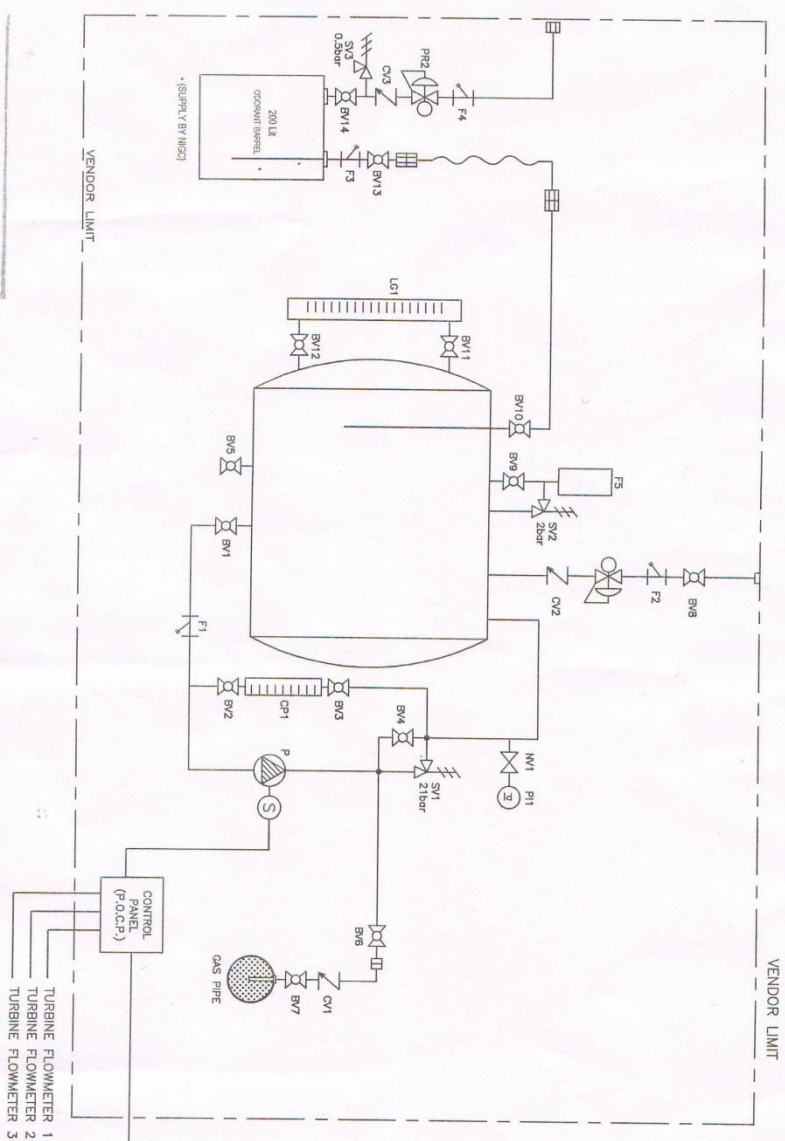
CUSTOMER ITEM NO. : 1 PETRO SAVIS MANUFACTURING NO. : PVB880136

OBJ. OF TEST : METERING PUMP  METERING SYSTEM  DRIVE UNIT :  
 TYPE : solenoid

1	TEST CONDITION	Plunger diameter		mm	Ø 8
1	Fluid used for test :	WATER	1.6	Suction pressure	bar
	Density	870	1.7	Discharge pressure	bar
1	Viscosity	mpa.s	1.8	Stroke frequency	min/max min. <sup>-1</sup>
1	Temperature	45	1.9	Stroke length	min/max mm
2			1.1	setting of pressure limit	bar
2	TEST RESULTS		2.1	Flow rate@19.3 barg max	[ L/h ] 0.9

2 Hydrostatic test result Pump pressure parts were hydrotested at 364 PSIG for 30 minutes with satisfactory results.





**LEGEND:**

	BALL VALVE
	CHECK VALVE
	NEEDLE VALVE
	Y-STRAINER
	PRESSURE INDICATOR
	QUICK COUPLING
	DOSEING PUMP
	SOLENOID DRIVE
	PRESS. REGULATOR+PRESS. GAUGE
	PRESS. SAFETY VALVE
	BV BALL VALVE
	CV CHECK VALVE
	CP CALIBRATION POT
	P PUMP
	SV SAFETY VALVE
	LG LEVEL GAUGE
	PI PRESS. INDICATOR
	NV NEEDLE VALVE
	F FILTER

POWER SUPPLY  
220 V, 1PH, 50 Hz  
(SUPPLY BY NIGCI)

TURBINE FLOWMETER 1  
TURBINE FLOWMETER 2  
TURBINE FLOWMETER 3

REVISIONS

Rev.	Date	Revision Memo	Drawn	Checked	Approved
0	8/11/224	For approval	N.B	B.M	B.M

PROJECTION

CLIENT: VENMAN ENG. & IND. CO.

CONTRACTOR: PETRO SAVIS ENG. CO.

SCALE: A4

DATE: N.B

APP: B.M

DOC NO: 257-PS-RR22-01

Rev: 0

Page: 1/1

A B C D E F

1 2 3 4 5 6 7 8



پیوست ب : تغییر شکل شبکه

## تغییر شکل شبکه<sup>۱</sup>

تغییر شکل شبکه مهم‌ترین قسمت در شبیه‌سازی‌های با دامنه‌ی هندسی تغییرپذیر می‌باشد. در CFX این قابلیت در دامنه‌های سیال و جامد فراهم شده است. تغییر شکل شبکه می‌تواند بر اثر حرکت مرزهای سیال یا بر اثر حرکت یک زیر دامنه داخلی از مدل رخ دهد.

## در هم فرورفتگی شبکه<sup>۲</sup>

یک اتفاق متداول که در طول فرآیند تغییر شکل شبکه رخ می‌دهد در هم فرورفتگی شبکه می‌باشد. زمانی که این اتفاق رخ می‌دهد یک پیام اخطار تحت عنوان حجم در بر گرفته شده‌ی منفی در فایل خروجی شبیه‌سازی نوشته می‌شود. این اخطار نشان‌دهنده‌ی حجم‌های منفی است در صورتی که حجم مثبت می‌باشد.

## سفتی شبکه<sup>۳</sup>

سفتی شبکه پارامتری است که تعیین می‌نماید شبکه در کدام ناحیه از دامنه تغییر یابد و در کدام ناحیه ثابت بماند. برای مثال به منظور ثابت نگه داشتن شبکه در لایه مرزی نیاز است که سفتی شبکه در کنار دیوار بالا و دور از دیواره کوچک باشد. انتخاب نادرست این گزینه می‌تواند سبب کاهش کیفیت شبکه و گاه فرورفتگی شبکه گردد.

---

1 mesh deformation

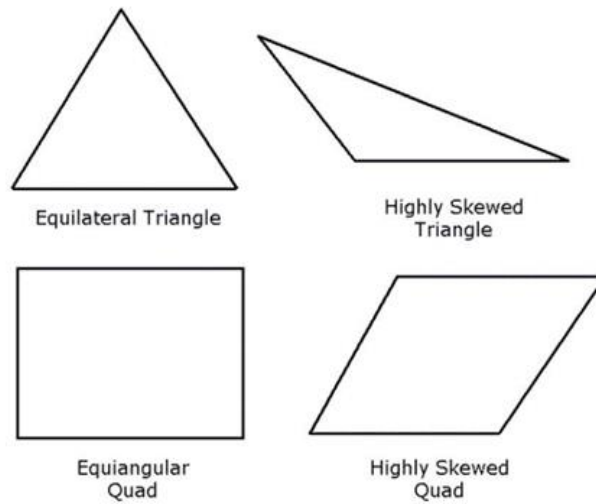
2 mesh folding

3 mesh stiffness



## اعوجاج<sup>۱</sup>

اعوجاج یکی از ابزارهای ابتدایی برای اندازه‌گیری کیفیت شبکه می‌باشد. اعوجاج تعیین می‌کند که یک سلول یا المان چه مقدار به حالت ایده آل نزدیک است. شکل ۱ نمایش‌دهنده‌ی اعوجاج برای هرکدام از اشکال هندسی در بهترین حالت است. جدول ۱ بازه‌ی مقادیر اعوجاج و کیفیت سلول‌های آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱

Value of Skewness	Cell Quality
1	degenerate
0.9 — <1	bad (sliver)
0.75 — 0.9	poor
0.5 — 0.75	fair
0.25 — 0.5	good
>0 — 0.25	excellent
0	equilateral

جدول ۱

با توجه به تعریف اعوجاج مقدار  $\cdot$  نشان دهنده سلول متساوی الاضلاع (بهترین) و مقدار  $\wedge$  نشان دهنده سلول کاملاً خراب می باشد.

## **Abstract**

Diaphragm pumps are positive displacement pumps which have many applications in the petrochemical, oil, gas and so on. diaphragm pumps examples can be cited Infusion pumps which due to the good resistance against chemical fluids are highly regarded in the gas industry. Since the diaphragm pumps are composed of various mechanical parts, which some of them, like the diaphragm are in direct contact with the fluid, many different causes mechanical damage reports from some consumer companies such as gas company has announced. for this purpose, find a model similar to the actual model is very useful. one of these pumps design and manufacturing methods is using commercial codes for simulation rather sophisticated and expensive laboratory methods. since the fluid in the pump is transmitted by a diaphragm motion, concept called the fluid structure interaction is defined. due to problems related to simulations of fluid structure interaction, animated network simulation and geometry of the pumps, limited efforts have been done in the past for numerical analysis of these pumps. today, with significant progress performed in the development of computational systems and commercial codes, a good platform for the simulation of such problems is created. there are several methods for simulating fluid structure interaction problems which due to the small deformation of the diaphragm and flow fields in front of other aspects of the model pump, one way method is selected for this simulation. in order to reduce the size of the pump dimensional model calculations, this pump is simulated using ANSYS CFX commercial code. in this study, we generated a model that could well show some parameters of this type of pump that future studies with a reduced construction costs, a more efficient model can be produced. one of the results of presented method, is introducing one way fluid structure interaction method as a suitable modeling method. the other results that can be mentioned is the study on the velocity and pressure fields, the effect of functional parameters such as engine speed and displacement diaphragm pump on stream and other outcomes that are fully addressed in a season. in order to validate the model the boundary conditions of a real sample fluid injection pump odorant in city gas company is Ptrvsavyz is used that after comparing the amount of output in terms of displacement diaphragm with the information contained in the pump catalog, in the worst case, error rate 10% and an average error is about 5%.



**University of Shahrood**

**Faculty of Mechanic**

fluid structure interaction modeling for a diaphragm pump in various operational regimes

**hamid bakhshayesh**

**Supervisor: Dr. ali sarreshtehdari**

**February 2015**