



An applied study aimed at reducing gas leakage from the low-pressure section of natural gas regulators using numerical simulation

Seyed Sharafoddin Hosseini^{1*}, Mehdi Miansar², Seyed Kazem Ebrahimi³,
 Mehdi Eisapour tari⁴

^{1,2} Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

³ Amin Gas Pooya Co. Babol. Iran.

⁴ National Iranian Oil Company, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article Type:

Original Research

Received: 10.09.2024

Revised: 18.01.2025

Accepted: 22.04.2025

Keyword:

Gas regulator

Gas leakage

gas consumption optimization

numerical simulation

diaphragm

Natural gas, as a national asset and a vital energy source, requires preservation and prevention of waste. One of the main points of gas leakage is the low-pressure section of city gas regulators, where the accumulation of suspended particles in the diaphragm and malfunctioning lead to energy waste and economic damage. This study, in collaboration with the Gas Company of Mazandaran province, aims to reduce gas leakage through numerical simulation, design, and construction of optimized regulator prototypes. In this research, the effect of using flow-directing obstacles on reducing particle accumulation and improving flow distribution in the low-pressure section has been examined. Simulation results showed that the curved barrier model with an inlet-facing curvature could optimize the fluid flow path and reduce gas leakage by up to 25%. Furthermore, experimental results demonstrated that this model effectively prevents particle accumulation in the diaphragm seat and ensures stable regulator performance. By providing an innovative solution, this research fills a scientific gap in reducing gas leakage caused by suspended particles and makes a significant contribution to energy consumption optimization.

*Corresponding Author:

Seyed Sharafoddin Hosseini

Email: shhosseini@tvu.ac.ir



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

due to the increasing cost of energy carriers and the finite nature of fossil fuels. A significant portion of gas leakage in urban distribution systems occurs in the low-pressure section of household gas regulators, mainly due to the accumulation of suspended particles in the diaphragm seat and malfunction of internal components. Statistics indicate that more than 83% of gas losses in the network originate from above-ground leak sources, among which low-pressure regulator leakage accounts for nearly 10%. The accumulation of fine particles between the diaphragm and its seat prevents proper sealing, creating a permanent leakage path. Previous studies have mostly focused on improving diaphragm materials or structural modifications, while limited attention has been given to flow pattern optimization and particle distribution in the low-pressure section. The present study addresses this gap by introducing an innovative flow-directing obstacle designed to reduce particle deposition and mitigate regulator leakage (see Figure 1).

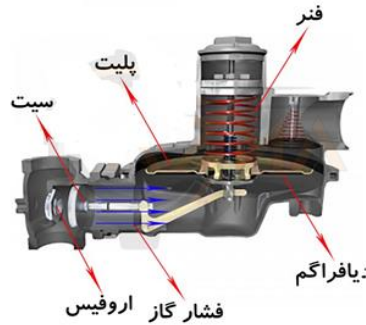


Figure 1. Components of the low-pressure section of a natural gas regulator.

Methodology

The geometry of the low-pressure section of an industrially approved household gas regulator was modeled, and several flow-directing obstacles were designed and examined (Figure 2). Methane (CH_4) was considered as the working fluid. Numerical analysis was conducted using ANSYS Fluent based on the finite-volume method. Turbulence modeling employed the SST $k-\omega$ model, which provides reliable results in regions with adverse pressure gradients. A coupled pressure-velocity solution method and second-order upwind discretization were applied. Boundary conditions included an inlet velocity of 2.6 m/s and a gauge pressure of 7000 Pa. Grid-independence analysis confirmed the adequacy of a mesh with approximately 1.33 million cells. Following simulation, the optimal design was selected based on flow uniformity, reduction of particle-accumulation zones, pressure-drop behavior, and manufacturability. The selected model was fabricated and tested under laboratory conditions, including pressure-performance tests and leakage inspection using a water-submersion method. Field evaluation was performed by installing the modified regulator in a residential unit for six months.

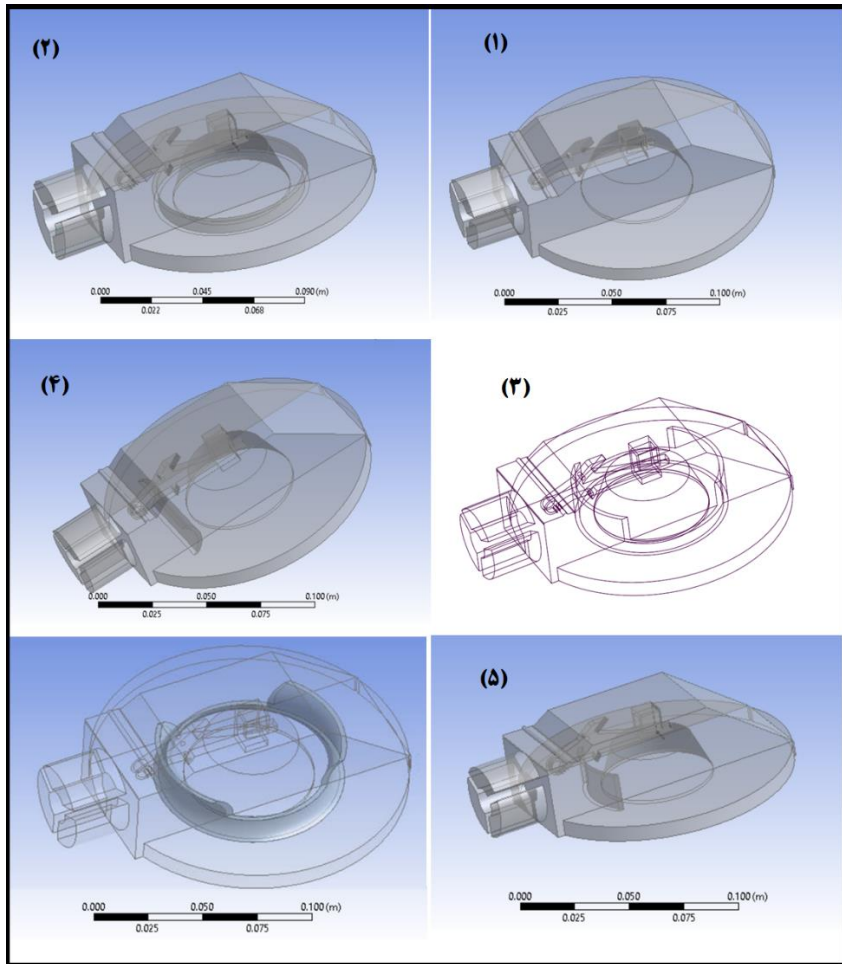


Figure 2. Geometry comparison of regulator with/without obstacles.

Results and discussion

Simulation results showed that regulators without obstacles experienced strong impingement of the inlet jet on the diaphragm seat, creating zones favorable for particle accumulation. Obstacle designs featuring inlet-facing curvature significantly altered the flow pattern by reducing local momentum and distributing the flow more uniformly.

The optimized combined-curvature design achieved the most favorable pattern, eliminating high-velocity recirculation zones and reducing the likelihood of particle deposition. Laboratory tests confirmed correct pressure performance and the absence of leakage during bubble inspection. During six months of real operation, visual inspection showed no particle buildup and no detectable gas leakage.



Figure 3. Final optimized obstacle design installed on the diaphragm.

These findings demonstrate that even a lightweight geometric modification can notably improve flow behavior and prevent leakage without compromising diaphragm performance.

Conclusion

This numerical-experimental study developed and validated an innovative flow-directing obstacle to mitigate gas leakage in the low-pressure section of household regulators. The optimized design significantly reduced particle accumulation at the diaphragm seat, up to nearly 100% compared to the no-obstacle condition, and ensured stable regulator operation during long-term field testing. Strong agreement between simulated flow behavior and practical results confirms the reliability and applicability of the proposed solution. Future studies may investigate the effect of the obstacle on vibrational characteristics and long-term diaphragm durability.



مطالعه کاربردی جهت کاهش میزان نشت گاز از بخش فشار پایین رگلاتورهای گاز طبیعی با استفاده از شبیه سازی عددی

سید شرف الدین حسینی^{*۱}، مهدی میانسری^۲، سید کاظم ابراهیم نیا^۳، مهدی عیسی پور تازی^۴

۱- گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

۳- کارشناس، مهندسی مکانیک، شرکت امین گاز پویا، بابل، ایران.

۴- شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹

پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲

کلید واژگان:

رگلاتور گاز

نشت گاز

بهینه سازی مصرف گاز

شبیه سازی عددی

دیافراگم

گاز طبیعی به عنوان یک سرمایه ملی و منبع انرژی حیاتی، نیازمند حفظ و جلوگیری از اتلاف است. یکی از نقاط اصلی نشت گاز، بخش فشار پایین رگلاتورهای گاز شهری است که به دلیل تجمع ذرات معلق در دیافراگم و نقص عملکرد، موجب هدررفت انرژی و خسارت های اقتصادی می شود. این پژوهش با همکاری شرکت گاز استان مازندران و با هدف کاهش نشت گاز، به شبیه سازی عددی، طراحی و ساخت نمونه های بهینه رگلاتور پرداخته است. در این تحقیق، اثر استفاده از موانع هدایت کننده جریان بر کاهش تجمع ذرات و بهبود توزیع جریان در بخش فشار پایین بررسی شده است. نتایج شبیه سازی نشان داد که مدل مانع منحنی با انحنای رو به ورودی می تواند مسیر جریان سیال را بهینه کرده و میزان نشت گاز از این محل را تا ۱۰۰ درصد کاهش دهد. همچنین، نتایج آزمایش های عملی نشان داد که این مدل به طور مؤثری از تجمع ذرات در نشیمنگاه دیافراگم جلوگیری کرده و عملکرد پایدار رگلاتور را تضمین می کند. این پژوهش با ارائه راهکاری نوآورانه، شکاف علمی در زمینه کاهش نشت گاز ناشی از ذرات معلق را پر کرده و گامی مؤثر در جهت بهینه سازی مصرف انرژی برداشته است.

*نویسنده مسئول: سید شرف الدین

حسینی

پست الکترونیکی:

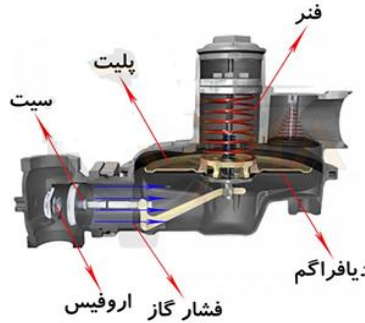
shhosseini@tvu.ac.ir



مقدمه

گاز طبیعی بعنوان یک منبع انرژی و یک سرمایه ملی بسیار مورد توجه قرار دارد. افزایش روز افزون بهای حامل های انرژی و همچنین پایان پذیر بودن منابع سوخت فسیلی اهمیت حفظ و استفاده بهینه از این نوع منابع را دوچندان می نماید. در ایران بطور متوسط، گاز طبیعی با ترکیب عمدۀ متان، در بین ۹۵٪ ساکنین شهری و روستایی توسط لوله کشی گسترده توزیع شده است که این میزان دسترسی در دنیا بی رقیب بوده و مقام نخست را دارا می باشد [۱]. توسعه شبکه گسترده مشترکین گاز خانگی علاوه بر مزایایی همچون بهره مندی آسان از این منبع انرژی با ارزش حرارتی بالا، معایبی همچون امکان افزایش اتلاف در بخش های مختلف شبکه را نیز بدنبال خواهد داشت [۲]. انواع نشتی به دو بخش نشتی های مدفون شامل ولو، تی سرویس، شیر پیاده رو، کیسینگ، پای علامک، و شبکه و همچنین نشتی های روکار شامل اتصالات علامک، شیر رایزر، و رگلاتور قابل تقسیم بندی است [۳]. در مورد نشتی در خطوط شبکه گاز مطالعات متعددی صورت گرفته است. به عنوان نمونه ابراهیمی و همکاران [۴] یک چارچوب نوآورانه مبتنی بر یادگیری عمیق را معرفی نموده که برای شناسایی دقیق، مکان یابی و تخمین نرخ نشت در سیستم های خطوط لوله توزیع گاز طراحی شده است. این روش پیشنهادی از رویکردهای آماری متداول، به ویژه روش های مبتنی بر استنتاج بیزی، پیشی می گیرد زیرا می تواند رفتارهای پیچیده سیستم، از جمله مصرف و تولید متغیر از منابع و مصرف کننده ها را در نظر بگیرد. یادگیری عمیق راه حلی قدرتمند برای چالش های شناسایی و مکان یابی نشت در شبکه های گاز ارائه می دهد [۵]-[۱۲] که به دو دسته روش های نظارت شده و نظارت نشده تقسیم می شوند. روش های نظارت شده از مجموعه داده های گسترده ای که شامل شرایط عادی و وجود نشت هستند بهره می گیرند. اخیراً، برخی مدل ها هوش مصنوعی را در دو قلوهای دیجیتال شبکه های گاز ادغام کرده اند [۱۳]-[۱۴] که توانایی آن ها در شناسایی نشت را بهبود بخشیده است. مطابق آمار شرکت گاز بیش از ۸۳٪ اتلاف گاز شبکه مربوط به نشتی های روکار می باشد که از این مقدار، اتلاف از رگلاتور گاز میزان نزدیک به ۱۰٪ را به خود اختصاص داده است [۱۵]. در یک محاسبه ساده، با توجه به رگلاتورهای گاز مشترکین استان مازندران که در سال ۱۴۰۰ تعداد آن ۸۵۱۴۱۲ عدد بوده است، صرفاً از محل نشتی رگلاتورها سالانه میزان ۲۷۹۶۸۸۸۴ متر مکعب اتلاف گاز را شاهد هستیم. از طرفی میزان متوسط مصرف یک واحد توربین گازی نیروگاه ۱۲۰۰۰۰۰ متر مکعب گاز در هر روز است که با جبران نشتی گاز فقط از رگلاتورهای گاز استان مازندران، می توان ۲۳ روز سوخت گاز یک واحد توربین گازی نیروگاه را تامین نمود. این نکته را نیز باید مورد توجه قرار داد که رگولاتور گاز خانگی که یکی از مهمترین و ضروری ترین قسمت های شبکه گازرسانی است، در بخشی از مسیر شبکه توزیع گاز شهری قرار دارد که در صورت بروز خرابی یا نشتی، هزینه اتلاف گاز آن بر عهده مشترک نمی باشد و کاملاً متوجه شرکت گاز خواهد بود لذا معمولاً مشترکین گاز خانگی توجهی به تعمیرات و رفع نشتی آن ندارند [۱۶]. بنابراین لزوم توجه زیرساختی به حل مشکل اتلاف گاز از رگلاتورها برای حفظ این سرمایه ملی بسیار ضرورت دارد .

رگلاتور نوعی فشارشکن است که باعث کاهش فشار سیال شده و جریان خروجی گاز را مطابق با مقدار مورد تقاضا تنظیم می کند و سبب خروج جریان ثابت می شود [۱۷]. صرف نظر از اینکه جریان خروجی گاز چه نوساناتی دارد، رگلاتور گاز موجب می شود که گاز با دبی ثابتی عبور نماید. به عبارتی دیگر رگلاتور دستگاهی است که در صورت تغییر جریان ناگهانی گاز، می تواند فشار آن را در حد معینی کنترل و آن را به حد تعدیل برساند [۱۸]. مطابق شکل ۱، بخش های اصلی رگلاتور گاز خانگی از قسمت بارگذار شامل پلیت، فنر و فشار گاز، قسمت اندازه گیر شامل دیافراگم، و قسمت عمل کننده (شیر مانع) شامل سیت و اروفیس تشکیل شده است. عدم کارکرد صحیح هر کدام از این بخش ها می تواند موجب اتلاف گاز گردد [۱۹].



شکل ۱. اجزای بخش فشار پایین رگلاتور گاز طبیعی

بصورت کلی عواملی که می تواند موجب خرابی و نقصان در عملکرد رگلاتورها شود عبارتند از: [۲۰]

- یخ زدگی داخل رگولاتور بعلت وجود آب در شبکه و متعاقب آن از کار افتادگی قطعات
- جمع شدن رسوب زیر صفحه فلزی دیافراگم و شیر ونت
- نداشتن درپوش و ورود مواد زائد بداخل که متعاقب آن باعث نشتی می گردد
- تکان دادن و یا نیروهای وارده به علمک به هر دلیل
- عدم انطباق رزوه های نیپل متصل به رگلاتور
- شل بودن پیچ و مهره های رگلاتور
- خراب شدن بوش اسپندل فشار پایین
- خرابی دیافراگم ونت رگلاتور
- دستکاری توسط مشترکین
- تحت تنش بودن رگولاتور
- ریزش آوار و مصالح ساختمانی
- برخورد وسایل نقلیه
- در گیری ناقص رزوه ها
- فشارهای مکانیکی وارده

در این میان به ترتیب خرابی قطعات همچون پکینگ محور ایمنی، دیافراگم فشار پایین، دیافراگم فشار بالا، شیر ونت و اورینگ بیشترین عامل نشت از رگلاتورها را داشته اند [۱۵]. دیافراگم فشار پایین نقش اصلی در کنترل جریان گاز دارد و با کمک فنر و بخش سمت راست رگلاتور، اریفیس را بسته نگه می دارد. در شرایط عملکردی عادی، این مکانیزم مانع از ورود گاز بیش از حد به محفظه فشار پایین می شود. هنگامی که فشار در محفظه کاهش یابد (مثلاً به دلیل مصرف گاز)، دیافراگم به نشیمنگاه خود بازمی گردد و جریان گاز به صورت کنترل شده برقرار می شود. یکی از مهمترین دلایلی که موجب نقصان در عملکرد رگلاتور گاز طبیعی می گردد وجود ریز ذرات معلق در گاز است. در رگلاتور، گاز پس از عبور از بخش فشار بالا و اوریفیس، بطور گردشی وارد بخش فشار پایین شده و آن بخش را با جریانی آزاد پر نموده و به

سمت لوله رابط گاز و کنتور مشترک طی مسیر می‌کند. در بخش فشار پایین رگلاتور، در محدوده فشار تا ۲۳ میلی بار، سیستم بدون هیچگونه فشار اضافی به عملکرد خود ادامه می‌دهد. از فشار ۲۳ میلی بار تا محدوده ۵۵ الی ۷۰ میلی بار بسته به تنظیم فنر رگلاتور، دیافراگم تحت فشار فنر قرار می‌گیرد و در بالاتر از این محدوده به جهت حفظ سیستم، دیافراگم از نشیمنگاه خود فاصله گرفته تا گاز اضافی تخلیه گردد [۲۱] و پس از تعدیل فشار دوباره دیافراگم در محل پیشین خود مستقر خواهد شد. حال اگر در جریان این تخلیه، ریز ذرات ذکر شده، بین نشیمنگاه و دیافراگم فاصله یافته قرار گیرد، دیافراگم نخواهد توانست بطور صحیح در محل خود بنشیند و یک مجرای همواره باز برای تخلیه ایجاد خواهد شد. برای اصلاح فیزیکی این مشکل، لازم است رگلاتور از محل خود باز شده و به کارگاه تعمیرات انتقال یابد و پس از تعمیر به محل خود بازگردانده و نصب گردد.

یکی از چالش‌های اصلی در عملکرد رگلاتورهای گاز شهری، نشت گاز از بخش فشار پایین آن است. این نشت معمولاً در اثر خرابی دیافراگم یا تجمع ذرات معلق در نشیمنگاه دیافراگم رخ می‌دهد. اگرچه نشتی دیافراگم ناشی از پارگی یا خرابی مکانیکی آن از دلایل رایج است، اما تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که تجمع ذرات معلق در گاز نیز می‌تواند نقش مهمی در بروز این مشکل ایفا کند. این ذرات با تجمع در نشیمنگاه، عملکرد صحیح دیافراگم را مختل کرده و باعث ایجاد مسیرهای غیرمجاز خروج گاز می‌شوند.

مطالعات پیشین عمدتاً بر بهبود مواد دیافراگم و یا تغییرات کلی در ساختار رگلاتور متمرکز بوده‌اند، اما تاکنون به نقش الگوی جریان و توزیع ذرات در بخش فشار پایین توجه کافی نشده است. این تحقیق با ارائه مدلی نوآورانه از مانع هدایت‌کننده جریان در ورودی بخش فشار پایین، به بررسی اثر آن بر کاهش تجمع ذرات و بهبود عملکرد رگلاتور پرداخته است. از جمله جنبه‌های نوآوری کار حاضر را می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- طراحی و تحلیل مانع هدایت‌کننده سبک و توخالی که جریان گاز ورودی را به صورت یکنواخت توزیع کرده و از برخورد مستقیم ذرات به نشیمنگاه دیافراگم جلوگیری می‌کند.

- ترکیب ویژگی‌های هندسی بهینه برای حداقل تغییر در ساختار رگلاتور و افزایش سهولت ساخت.

- انجام آزمایش‌های عملی برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی در شرایط واقعی و بررسی کاهش تجمع ذرات و جلوگیری از نشت گاز.

از اهداف این نوآوری‌ها می‌توان به تغییر الگوی جریان در بخش فشار پایین رگلاتور به منظور کاهش تمرکز جریان و تجمع ذرات در نشیمنگاه دیافراگم، بررسی اثرات مانع پیشنهادی بر میزان نشت گاز و عملکرد دیافراگم و ارائه مدلی کاربردی که علاوه بر تضمین عملکرد بهینه رگلاتور در محدوده فشار عملیاتی ۲۳ تا ۷۰ میلی‌بار، توسط صنعت قابل اجرا باشد و تأییدیه‌های لازم را دریافت کند، اشاره نمود. این پژوهش، ضمن پر کردن شکاف علمی موجود در بررسی الگوی جریان و نقش آن در کاهش نشتی گاز، گامی در جهت بهبود طراحی و افزایش بهره‌وری رگلاتورهای گاز شهری برداشته است.

پیشینه پژوهش

تعامل انسان و هوش مصنوعی یک زمینه چندرشته‌ای است که بر درک و طراحی تعامل بین انسان و سیستم‌های هوش مصنوعی تمرکز دارد. این شامل پرکردن شکاف بین سیستم‌های هوش مصنوعی و کاربران آنها برای پشتیبانی از هماهنگی روان و شهودی است [۶]. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که هوش مصنوعی تأثیر قابل توجهی بر تعامل انسان و

رایانه داشته است؛ از یک سو، باعث بهبود تجربیات کاربری و کیفیت کلی زندگی ما شده است و از سوی دیگر، هوش مصنوعی مدل‌سازی الگوهای تعامل پیچیده‌ای را که قبلاً ثبت آن‌ها با استفاده از مدل‌های مبتنی بر اکتشاف سنتی دشوار بود، فعال کرده است [۷]. هدف از تعامل انسان و هوش مصنوعی، بهبود تجربیات کاربر، عملکرد کار و کیفیت کلی زندگی از طریق طراحی، ارزیابی و استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات است [۸]. به‌طور کلی تحقیقات در زمینه هوش مصنوعی با هدف بررسی عملکردهای شناختی ماشین در ارتباط با انسان مانند درک، استدلال، یادگیری، تعامل و تصمیم‌گیری انجام می‌شود [۲]. تحقیقات جدید در حوزه هوش مصنوعی در درجه اول بر رویکردهای آماری یادگیری ماشین متمرکز شده‌اند؛ بدین شکل که ماشین با شناسایی الگوها، مدل‌ها را از داده می‌آموزد؛ سپس با استفاده از مدل به‌دست‌آمده، پیش‌بینی‌هایی را روی داده‌های جدید انجام می‌دهد [۳]. با ظهور یادگیری عمیق به‌خصوص شبکه‌های عصبی، ماشین‌ها قادر به انجام وظایفی در سطح انسانی یا حتی بالاتر از آن شدند [۹]. ویژگی‌های منحصربه‌فرد سیستم‌های مجهز به هوش مصنوعی، دستورالعمل‌های پیشین در زمینه تعامل انسان و رایانه را به چالش کشیده است. این تحول، ضرورت انجام تحقیقات هدفمندتر در مورد تعامل انسان و هوش مصنوعی هم به‌صورت تحقیقات مفهومی و هم در قالب آزمون‌های تجربی را روشن می‌سازد [۹].

لی و ژانگ [۴] دو عامل عدم اطمینان در مورد قابلیت‌های هوش مصنوعی و پیچیدگی خروجی هوش مصنوعی را به‌عنوان منبع اصلی معضلات طراحی هوش مصنوعی شناسایی کردند. رزپکا و برگر [۵] بر پایه چارچوب لی و ژانگ [۴] طی مروری نظام‌مند از سیستم اطلاعاتی در مورد تعامل انسان و هوش مصنوعی به یک چارچوب تحقیقاتی رسیدند. بر اساس چارچوب رزپکا و برگر [۵]، تعامل بین سیستم و کاربر با هدفی خاص در زمینه‌ای مشخص صورت می‌گیرد بنابراین کاربر، سیستم، وظیفه و زمینه، هرکدام ویژگی‌های خاصی را نشان می‌دهند که تعامل را شکل می‌دهند. آنها به بررسی چگونگی آسان‌تر کردن طراحی و نوآوری تعاملات انسان و هوش مصنوعی پرداختند و پنج موضوع کلی را در این مجموعه بررسی کردند: ۱. بهبود سواد فنی طراحان. ۲. تسهیل کاوش داده‌های طراحی محور. ۳. بهبود تعامل طراحان با هوش مصنوعی به‌گونه‌ای که حس محسوس از آنچه هوش مصنوعی می‌تواند انجام دهد به‌دست آورند. ۴. کمک به طراحان در ارزیابی خروجی‌های هوش مصنوعی. ۵. ایجاد فرایندهای طراحی خاص هوش مصنوعی. محدودیت اصلی مطالعه آنها تمرکز انحصاری بر سیستم‌های اطلاعاتی و نادیده گرفتن ماهیت میان‌رشته‌ای این حوزه پژوهشی است. در [۱۰] بررسی می‌کنند که تفویض اختیار بین انسان و هوش مصنوعی چه تفاوت‌هایی دارد، شکل بهینه آن به چه صورت است و چه عواملی تفویض اختیار انسان را محدود می‌کند. آنها با استفاده از مطالعات تجربی در زمینه تشخیص تصویر دریافتند که زمانی بهترین عملکرد حاصل می‌شود که انسان‌ها و هوش مصنوعی با هم همکاری کنند، به‌خصوص زمانی که هوش مصنوعی بیشتر تصمیم‌ها را انجام دهد و صرفاً مواردی که در تشخیص آن اطمینان ندارد را به انسان محول کند.

مطالعه [۱۱]، آزمایش آنلاین برای بررسی ادراکات مردم در مورد هوش مصنوعی اجتماعی در مقابل هوش مصنوعی کاربردی را انجام داده است. نتایج اولیه نشان می‌دهد که افراد، نگرش مثبت‌تری نسبت به هوش مصنوعی کاربردی در مقایسه با هوش مصنوعی اجتماعی دارند. اثر میانجی سودمندی درک‌شده از هوش مصنوعی نشان می‌دهد هوش مصنوعی کاربردی، در مقایسه با هوش مصنوعی اجتماعی، منجر به سودمندی درک‌شده قوی‌تری می‌شود که در نتیجه نگرش‌های مثبت و واقع‌گرایی درک‌شده را تقویت می‌کند.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل در پژوهش [۱۲] نشان می‌دهد که شباهت درک‌شده توسط مصرف‌کنندگان از چت بات‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، یک پیش‌بینی مثبت از حضور اجتماعی و پردازش تصویر است. این یافته‌های تجربی،

^۱Li & Zhang

^۲Rzepka & Berger

مستلزم مفاهیم عملی برای توسعه‌دهندگان چت‌بات‌های هوش مصنوعی و پیامدهای مدیریتی برای برندهای تجاری است به طوری که (۱) افزایش انسان‌انگاری چت‌بات‌ها و القای حس حضور مشترک با ربات‌های گفتگو، عوامل مهمی هستند که طراحان و توسعه‌دهندگان ربات‌های چت هوش مصنوعی به آن نیاز دارند و (۲) در نظر گرفتن تصور واضح از محصولات تأیید شده توسط چت‌بات‌ها متغیر مهمی است که بازارپایان باید آن را درک کنند.

در یک پژوهش کتاب‌سنجی بررسی شده است که چگونه هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلفی از جمله علوم سلامت، پرستاری، اطلاعات پزشکی، دقت در علائم و دارو مورد استفاده قرار گرفته است. مقاله همچنین بررسی می‌کند که چگونه هوش مصنوعی می‌تواند در مدیریت نیروی کار به کار گرفته شود و به دنبال شناسایی خطاهای طبیعی یا انسانی است. با پیشرفت روش‌های تعاملی و کاربرد یادگیری ماشین در حوزه سلامت، تحلیل‌های پیچیده‌تری اکنون ممکن است. این تحقیقات به درک تعامل بیمار و پرستار کمک می‌کند، جایی که می‌توانند کمک‌های لازم به بیمار را درک کنند و به هوش مصنوعی یاد بدهند که چگونه به بیمار کمک کند. در نهایت، مقاله بر این نکته تأکید دارد که کشورهای توسعه‌یافته همچنان تأثیر زیادی بر چگونگی درک پژوهشگران در مورد اتوماسیون و هوش مصنوعی، چگونگی حمایت و سرمایه‌گذاری دولت‌های آنها یا چگونگی کارکردن آنها برای دستیابی به اهداف خود در ارائه مشارکت در نیروی کار و صنایع دارد [۱۳].

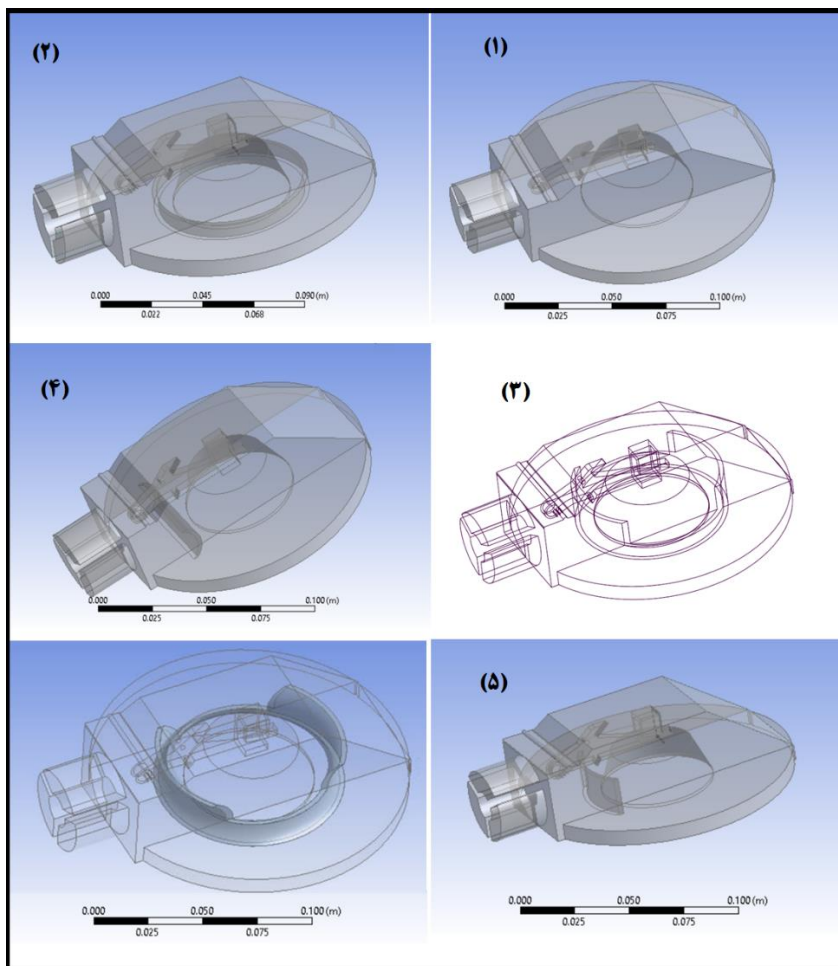
برای تمرکز بر هوش مصنوعی انسان‌محور نیاز است تحقیقات برای درک جنبه‌های انسان‌گرایانه هوش مصنوعی در دستور کار قرار گیرد. باید مکانیسم‌هایی که می‌تواند نگرانی‌های کاربر را کاهش دهد کشف شود تا بر پذیرش هوش مصنوعی تأثیر مثبت بگذارد. برای پرکردن این خلأ، «آگاهی از موقعیت» به‌عنوان یک چارچوب مفهومی برای در نظر گرفتن تعامل انسان و هوش مصنوعی معرفی شده‌اند. در [۱۴] استدلال می‌شود که آگاهی از موقعیت، یک لنز نظری مناسب و ارزشمند است که از طریق آن می‌توان تعامل بین انسان و هوش مصنوعی را به زیرمجموعه‌های متعدد، تجزیه و مشاهده کرد که امکان تحقیق و کشف دقیق‌تر را فراهم می‌کند. تجزیه و تحلیل مکرر دلایل نظری منجر به آشکار شدن سه نکته در تعامل انسان و هوش مصنوعی شد که می‌توانند بر آگاهی از موقعیت کاربر تأثیر منفی بگذارد: (۱) اتوماسیون و عامل انسانی (۲) عدم اطمینان سیستم و اطمینان کاربر و (۳) پیچیدگی عینی سیستم و پیچیدگی درک شده کاربر.

محققان با استفاده از یافته‌های ذکر شده در حوزه‌های تعامل، هوش مصنوعی و تعامل انسان و ربات متمرکز شدند بنابراین ضرورت بررسی جامع در ادبیات موجود در حوزه هوش مصنوعی حول محور انسان‌انگاری احساس می‌شود. بر این اساس هدف پژوهش حاضر، مطالعه کتاب‌سنجی تحقیقات متمرکز بر تعامل انسان و هوش مصنوعی و یافتن متغیرهای کلیدی با روش هم‌رخدادی واژگان است تا از این طریق یک مدل مفهومی برای پژوهش‌های آتی احصا شود.

معادلات حاکم و هندسه مورد مطالعه

هندسه مورد مطالعه در این تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است. همانطور که در مقدمه بیان گردید، در این مطالعه با ایجاد موانع ابداعی بر روی جریان ورودی در قسمت فشار پایین رگولاتور گاز، به بررسی الگوی جریان و نحوه توزیع آن پرداخته شده است. بخش فشار پایین رگولاتور گاز استفاده شده در این تحقیق مورد تأیید شرکت ملی گاز ایران می‌باشد.

¹ Human robot interaction



شکل ۲. هندسه مورد بررسی: حالت (۱) بدون مانع، حالت (۲) مانع رینگ صفحه ای صاف، حالت (۳) مانع رینگی صاف پله ای، حالت (۴) مانع منحنی با انحنای رو به ورودی، حالت (۵) مانع منحنی با انحنای پشت به ورودی و حالت (۶) مانع رینگی با انحنای رو به ورودی

سیال مورد استفاده در این مطالعه، متان CH_4 در نظر گرفته شده است. معادلات حاکم بر جریان مورد بررسی به صورت زیر ارائه شده است.

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i) = 0 \quad (1)$$

معادله مومنتم:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i U_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

$$\tau_{ij} = \frac{\mu^* \partial U_i}{\partial x_j} \quad (۳)$$

$$\mu^* = \mu + \mu_t \quad (۴)$$

با توجه به مسئله مورد بررسی جهت مدل سازی جریان آشفته از روش دو معادله ای SST k- ω استفاده شده است، که برای نواحی نزدیک و دور از دیواره خوب عمل کرده و برای جریان های حاوی گردان فشار معکوس بسیار دقیق می باشد. دو معادله مورد استفاده در روش SST k- ω شامل معادلات انرژی جنبشی (k) و نرخ اضمحلال ویژه (ω) توربلانسی می باشند:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(U_i \rho k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \sigma_k \mu_i) \frac{\partial}{\partial x_j} k \right) + P_k - \beta^* \rho \omega k \quad (۵)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(U_i \rho \omega) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \sigma_\omega \mu_i) \frac{\partial}{\partial x_j} \omega \right) + \frac{\rho \gamma}{\mu_t} S^2 - \beta \rho \omega^2 + 2\rho(1 - F_1) \frac{1}{\omega} \frac{1}{\sigma_{\omega,2}} \frac{\partial}{\partial x_j} k \frac{\partial}{\partial x_j} \omega \quad (۶)$$

که μ_t ، ویسکوزیته دینامیکی توربلانسی بوده و برابر است با:

$$\mu_t = \frac{\rho a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)} \quad (۷)$$

ضرایب و روابط کمکی مورد نیاز به صورت زیر ارائه شده است.

$$P_k = \mu_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \rightarrow \tilde{P}_k = \min(P_k, 10 \cdot \beta^* \rho \omega k), \tau = \rho a_1 k, S = \frac{\partial U_t}{\partial x_j}$$

$$F_2 = \tanh \left(\left\{ \left[\max \left(\frac{2\sqrt{k}}{0.09\omega y}; \frac{500\nu}{y^2\omega} \right) \right] \right\} \right), F_1 = \tanh \left(\left\{ \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{0.09\omega y}; \frac{500\nu}{y^2\omega} \right); \frac{4\rho\sigma_{\omega,2}k}{CD_{k\omega}y^2} \right] \right\} \right)$$

$$CD_{k\omega} = \max \left(2\rho \frac{1}{\omega} \frac{1}{\sigma_{\omega,2}} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}; 10^{-10} \right), \varphi = \varphi_1 F_1 + \varphi_2 (1 - F_1), \gamma_1 = \left(\frac{\beta_1}{\beta^*} \right) - \left(\frac{\sigma_{\omega,1} \kappa^2}{\sqrt{\beta^*}} \right) = 0.5532$$

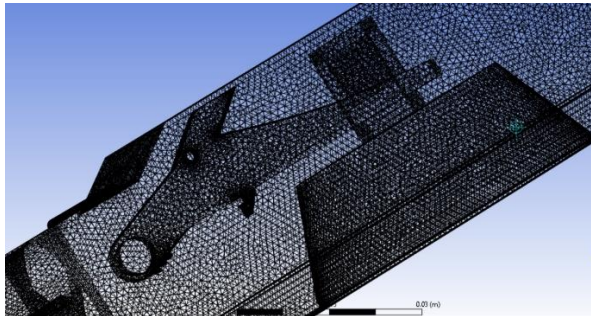
$$\sigma_{k1} = 0.85, \sigma_{\omega 1} = 0.5, \beta_1 = 0.075, \gamma_2 = \left(\frac{\beta_2}{\beta^*} \right) - \left(\frac{\sigma_{\omega,2} \kappa^2}{\sqrt{\beta^*}} \right) = 0.44, \sigma_{k2} = 1.0, \sigma_{\omega 2} = 1.168,$$

$$\beta_2 = 0.0828, a_1 = 0.31, \beta^* = 0.09, \kappa = 0.41$$

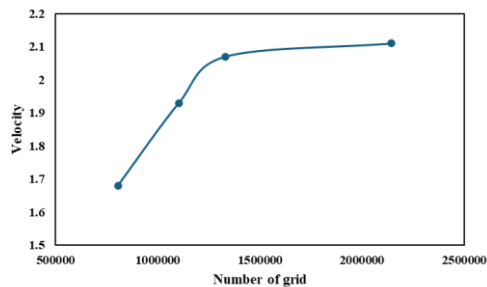
برای حل معادلات بالا از روش عددی حجم محدود و استفاده از نرم افزار Ansys Fluent استفاده گردید. از روش کوپل (Coupled) برای کوپل میدان فشار - سرعت استفاده گردید. برای گسسته سازی معادلات مومنتوم، طرح آپ ویند مرتبه دوم (Second order upwind) بکار گرفته شد. حل در حالت گذار بوده و مقدار گام زمانی (time step) برابر با ۰/۰۰۶ s و تعداد گام زمانی برابر با ۱۶ در نظر گرفته شد. شرط مرزی ورودی با سرعت ثابت ۲/۶ m/s و فشار نسبی ۷۰۰۰ Pa در نظر گرفته شد.

همانطور در شکل ۳- الف نشان داده شده، در شبکه بندی هندسه مورد مطالعه از سلول های چهار وجهی (Tetrahedral) استفاده گردید. برای اطمینان از استقلال نتایج از اندازه شبکه بندی ایجاد شده، سرعت در نقطه ای از میدان حل در اندازه های مختلف شبکه مورد مقایسه قرار گرفت. همانگونه که در شکل ۳-ب نشان داده شده است، نتایج بدست آمده در شبکه با تعداد ۱۳۳۰۰۰۰ دارای اختلافی کمتر از دو درصد با نتایج حاصل از

شبکه با تعداد ۲۱۰۰۰۰۰ را دارد. لذا جهت کاهش زمان محاسبات، شبکه با تعداد ۱۳۳۰۰۰۰ جهت ادامه محاسبات، انتخاب گردید.



شکل ۳-الف. نمونه هندسه شبکه بندی شده

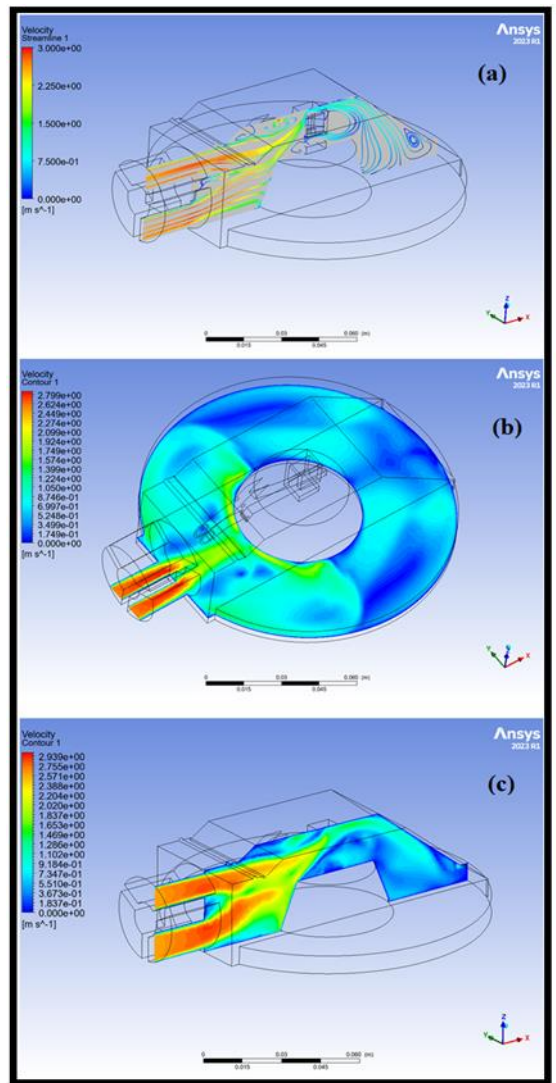
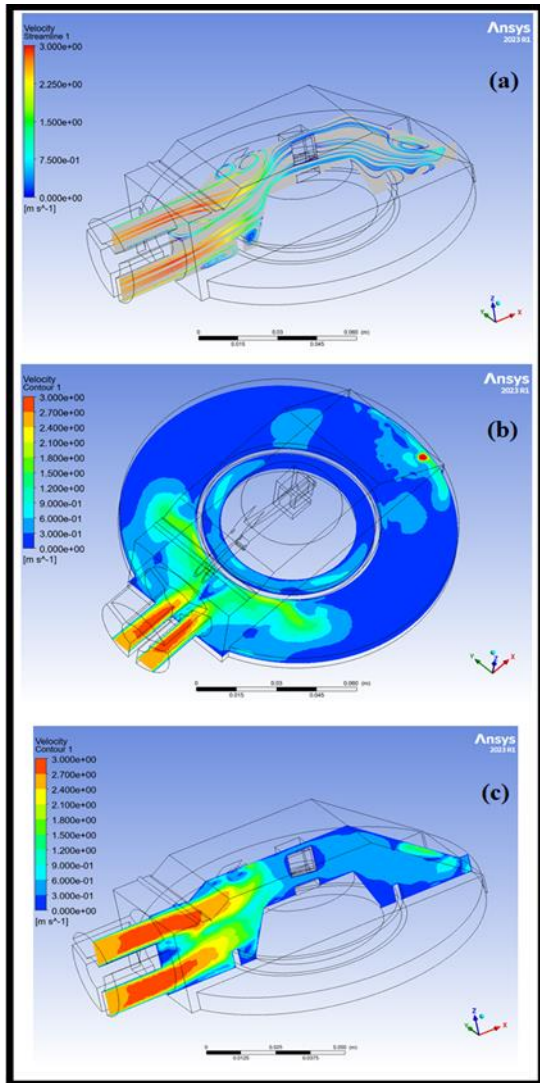


شکل ۳-ب. بررسی استقلال نتایج از شبکه بندی شده ایجاد شده

نتایج و بحث

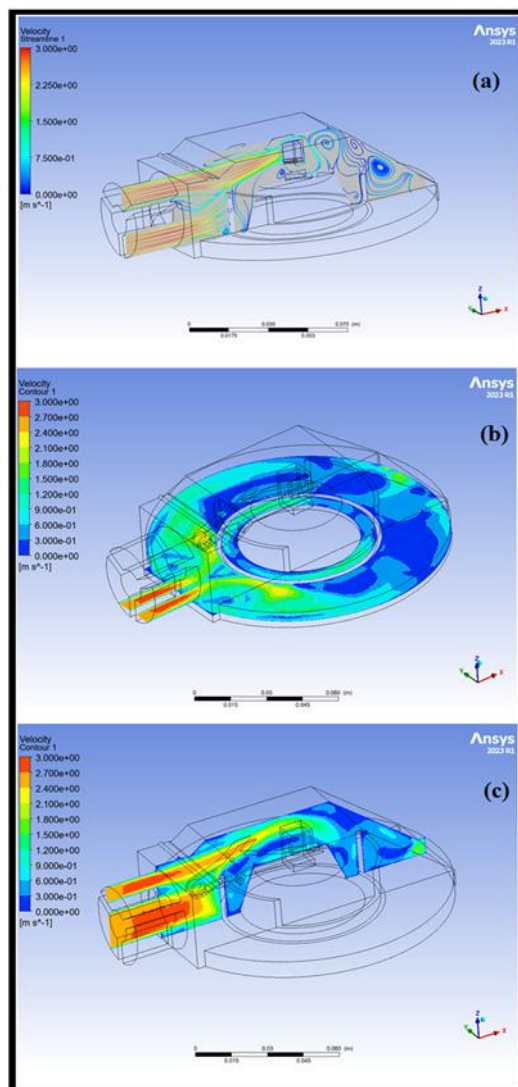
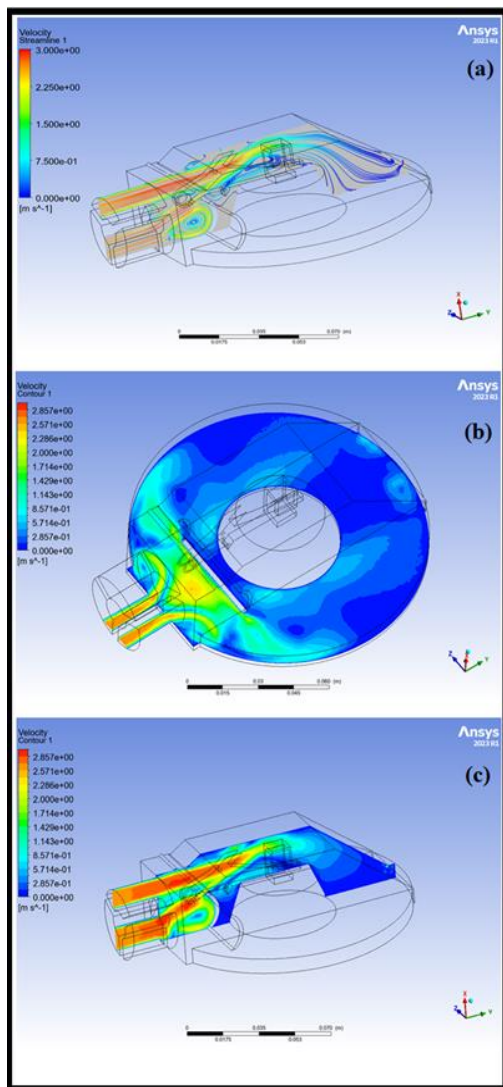
نتایج شبیه سازی عددی

در این قسمت نتایج شبیه سازی عددی مدل های مختلف هندسه مورد بررسی ارائه شده است. در این نتایج توزیع میدان سرعت و خطوط جریان برای مدل های مختلف رگولاتور گاز بدون مانع و با موانع مختلف در شکل های ۴ تا ۹ ارائه شده است.



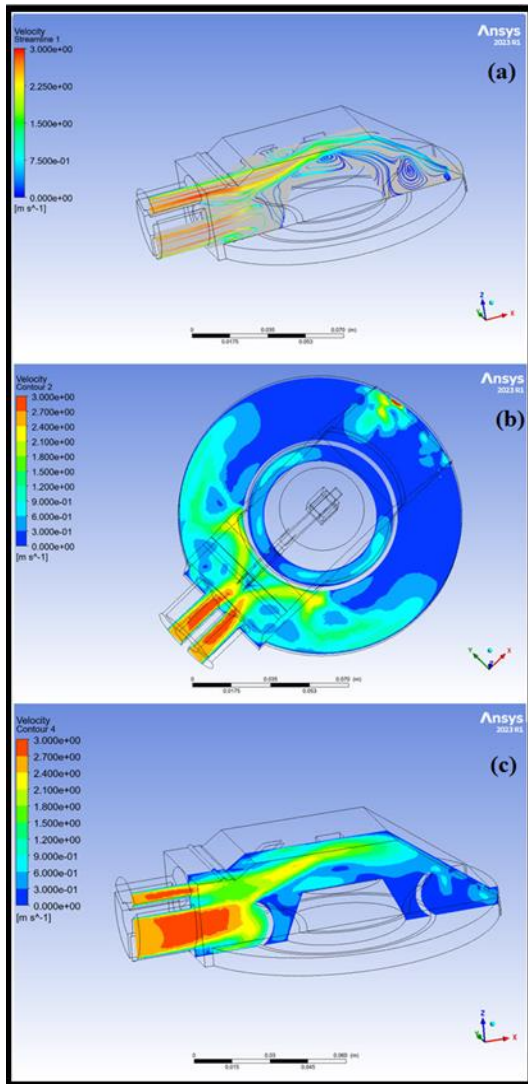
شکل ۵. مدل مانع رینگ صفحه ای صاف ، خط مسیر سیال (a)، کانتور توزیع سرعت مقطع طولی (b)، کانتور توزیع سرعت مقطع عرضی

شکل ۴. مدل بدون مانع، خط مسیر سیال (a)، کانتور توزیع سرعت مقطع طولی (b)، کانتور توزیع سرعت مقطع عرضی (c)

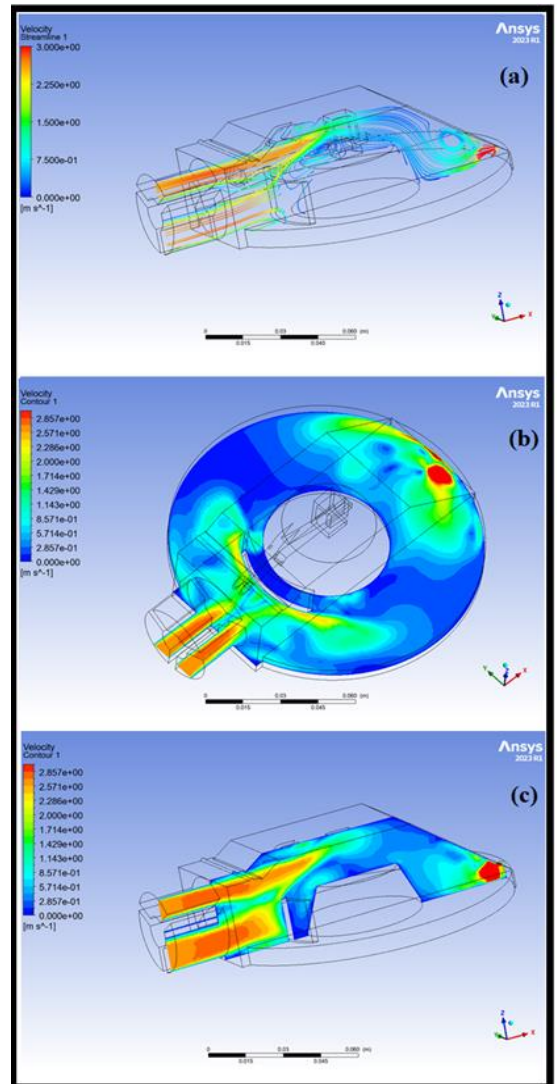


شکل ۷. مدل مانع منحنی با انحنای رو به ورودی، خط مسیر سیال (a)، کانتور توزیع سرعت مقطع طولی (b)، کانتور توزیع سرعت عرضی (c)

شکل ۶. مدل مانع رینگی صاف پله ای، خط مسیر سیال (a)، کانتور توزیع سرعت مقطع طولی (b)، کانتور توزیع سرعت مقطع عرضی (c)



شکل ۹. مدل مانع رینگی با انحنای رو به ورودی ، خط مسیر سیال (a)، کانتور توزیع سرعت مقطع طولی (b)، کانتور توزیع سرعت مقطع عرضی (c)



شکل ۸. مدل مانع منحنی با انحنای پشت به ورودی ، خط مسیر سیال (a)، کانتور توزیع سرعت مقطع طولی (b)، کانتور توزیع سرعت مقطع عرضی (c)

برای انتخاب مدل بهینه، تحلیل نتایج شبیه‌سازی‌ها با استفاده از معیارهای کمی و کیفی متعددی انجام شد. این معیارها شامل موارد زیر بودند:

- بررسی الگوی جریان: کانتورهای سرعت برای شناسایی نحوه توزیع جریان گاز و هدایت آن به سمت خروجی بررسی شدند.
- بررسی نقاط تجمع ذرات: نقاطی که احتمال برخورد جریان گاز با نشیمنگاه دیافراگم و تجمع ذرات وجود داشت، شناسایی شدند.
- افت فشار: میزان افت فشار در مدل‌های مختلف مقایسه شد تا تأثیر مانع بر عملکرد کلی رگلاتور ارزیابی گردد.
- سادگی ساخت: مدل‌هایی با تغییرات هندسی کمتر، که ساخت آنها ساده‌تر و عملی‌تر بود، در اولویت قرار گرفتند.

نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که مدل‌های با انحناى رو به ورودی در صفحه XYZ (شکل ۷) و انحناى بالا به پایین در صفحه XYZ (شکل ۹)، تأثیر قابل توجهی در کاهش تجمع ذرات در نشیمنگاه و هدایت بهتر جریان گاز به سمت خروجی دارند. با این حال، برای دستیابی به مزایای هر دو مدل، در کنار سهولت ساخت و حداقل تغییرات در هندسه رگلاتور، مدلی ترکیبی از ویژگی‌های مدل‌های ارائه‌شده در شکل‌های ۷ و ۹، مطابق شکل ۱۰ طراحی و ساخته شد. این مدل دارای انحناى رو به ورودی و بالا به پایین است و سبب کاهش اندازه حرکت جریان سیال ورودی به نشیمنگاه رگولاتور شده و جریان گاز را به‌طور یکنواخت توزیع کرده و از تجمع ذرات در زیر نشیمنگاه جلوگیری می‌کند.

مدل ترکیبی ارائه‌شده در شکل ۱۰، وزن اضافه‌شده به دیافراگم را کاهش داده و فرآیند ساخت را ساده‌تر کرده است. این طراحی، پس از تأیید توسط شرکت ملی گاز ایران، در آزمایش‌های تجربی مورد استفاده قرار گرفت.

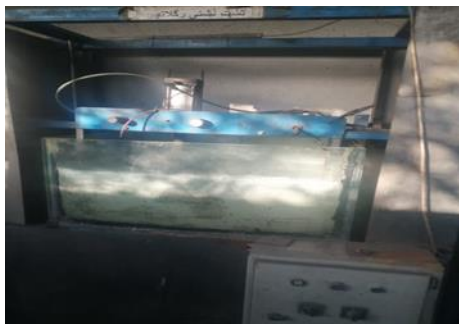


شکل ۱۰. نمونه ساخته شده مانع در مسیر گاز در بخش کم فشار

ساخت نمونه و نتایج آزمایش تجربی آن:

با توجه به نتایج بخش شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل آن، مناسبترین نمونه مانع ساخته و بر روی دیافراگم رگولاتور نصب و آماده برای آزمایش در آزمایشگاه شرکت گاز در فاز اول گردید. در سیستم آزمایش فشار (شکل

شماره ۱۱)، رگلاتور گاز در مسیر جریان هوا با قابلیت فشار قابل تنظیم قرار گرفته و با افزایش فشار تا مقدار حدی، صحت کارکرد رگلاتور مورد بررسی قرار می گیرد. دقت دستگاه کالیبره شده ۱ میلی بار و حداکثر فشار اعمالی دستگاه ۱۲۰ میلی بار بوده که رگلاتورهای سالم می بایست در فشار حدود ۷۰ میلی بار جهت ونت عمل نمایند. عملکرد دستگاه آکواریوم (شکل شماره ۱۲) بدین ترتیب است که ورودی و خروجی رگلاتور در مسیر جریان هوا با فشار ۱۰ psi قرار گرفته و کل مجموعه در حوضچه آب با جدار شیشه ای قرار می گیرد. در صورت بروز نشتی در سیستم، این نقص با انتشار حباب در محل نشت قابل رویت خواهد بود. دقت لازم اندازه گیری در آکواریوم دید بصری است که مورد تایید بخش بازرسی شرکت گاز می باشد.



شکل ۱۲. آکواریوم تست نشتی رگلاتور گاز



شکل ۱۱. دستگاه تست صحت عملکرد رگلاتور با تغییرات فشار گاز

در فاز اول تستهای فشار و نشتی رگولاتور نمونه ساخته شده، در آکواریوم واقع در آزمایشگاه شرکت گاز انجام گرفته و عدم نشتی و صحت عملکرد آن به تایید شرکت گاز استان مازندران قرار گرفت. در ادامه در فاز دوم این رگولاتور جایگزین یک رگلاتور گاز خانگی در شرایط کارکرد واقعی در یک واحد مسکونی واقع در سطح شهر شد و در حین استفاده برای یک دوره ۶ ماهه مورد بررسی عملکرد دیافراگم، پایش نشتی بصری، تست کف، و نهایتاً دمونتاز و بررسی شرایط داخلی رگلاتور از جهت تجمع ذرات و جرم گیری قرار گرفت.

نتایج بازرسی بصری در بازه زمانی مذکور، نشان از عملکرد صحیح رگلاتور در موقعیت استقرار یافته داشته است و این مورد به تایید بازرسان شرکت گاز استان مازندران رسید. در بررسی نشتی با کف نیز هیچگونه نشتی و اتلاف گاز مشاهده نشد (حذف تقریباً ۱۰۰٪ نشتی) (شکل شماره ۱۳). دستگاه تست نشتی گاز واحد بازرسی گاز استان مازندران نیز صحت عملکرد رگلاتور نصب شده و عدم نشت گاز در محیط اطراف آن را تایید نمود. در بازبینی رگلاتور باز شده پس از استعمال شش ماهه نیز به خوبی هدایت مواد معلق گاز به سمت مصرف و عدم تجمع ذرات در اطراف نشیمنگاه ونت را نشان می دهد (شکل شماره ۱۴). لازم به ذکر است اگرچه بررسی تأثیر مانع بر پارامترهای ارتعاشی و دیگر ویژگی‌های دیافراگم در این مطالعه مورد نظر نبود، اما این موضوع می تواند در مطالعات آینده بررسی شود. هدف اصلی این تحقیق، بهبود الگوی جریان و کاهش تجمع ذرات بود که به طور کامل محقق شد و عملکرد بهینه سیستم در انتهای بازه شش ماهه این مطالعه با تایید شرکت گاز استان مازندران، تأیید گردید و مطالعه مذکور خاتمه یافت.



شکل ۱۳. بازدید بصری تست نشت گاز در محل استقرار رگلاتور اصلاح شده



شکل ۱۴. تصویر اجزای داخلی رگلاتور اصلاح شده پس از شش ماه استعمال

جمع بندی

در این تحقیق عددی-تجربی، طراحی و شبیه‌سازی مدل‌های مختلف موانع هدایت‌کننده جریان در بخش فشار پایین رگلاتور گاز شهری مورد بررسی قرار گرفت. هدف اصلی، کاهش تجمع ذرات معلق در نشیمنگاه دیافراگم و بهبود عملکرد رگلاتور بود. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که:

- توزیع یکنواخت جریان: مدل ترکیبی (شکل ۱۰) با انحنای رو به ورودی و بالا به پایین توانست جریان گاز را به‌طور یکنواخت به سمت خروجی هدایت کند.

- کاهش تجمع ذرات: این مدل توانست احتمال تجمع ذرات در محل نشیمنگاه دیافراگم را تا تقریباً ۱۰۰٪ نسبت به مدل بدون مانع کاهش دهد.
 - عملکرد رگلاتور: با اضافه نمودن، هیچ تغییری در عملکرد عادی دیافراگم مشاهده نشد و مانع پیشنهادی تأثیر منفی بر وزن، ارتعاش یا عملکرد کلی دیافراگم نداشت.
- مدل ساخته شده، به مدت شش ماه در شرایط عملیاتی آزمایش شد. نتایج تجربی نشان دادند که:
- هیچ گونه تجمع ذرات در نشیمنگاه دیافراگم مشاهده نشد.
 - عملکرد دیافراگم در طول دوره آزمایش پایدار بود.
 - نتایج شبیه سازی با داده های تجربی مطابقت داشت.
- مقایسه نتایج شبیه سازی ها با داده های عملی نشان داد که مدل نهایی با دقت بالایی اهداف تحقیق را برآورده کرده است. شبیه سازی ها به درستی پیش بینی کردند که مدل با انحنای ترکیبی می تواند جریان گاز را بهینه کند و از تجمع ذرات و هدر رفت گاز جلوگیری نماید. تطابق این نتایج با آزمایش های عملی و همچنین تایید شرکت گاز استان مازندران، صحت و اعتبار روش پیشنهادی را تأیید کرد. پیشنهاد می شود در تحقیقات آینده، تأثیر این موانع بر پارامترهای ارتعاشی و طول عمر دیافراگم نیز بررسی شود.

References

- [1] R Behruzifar, M., & Bayati, Sh. (2012). The world market of natural gas or natural gas markets of the world. *Energy Economy Studies*, 9(33), 151–168. (In Persian). <https://sid.ir/paper/466980/fa>
- [2] Khatami, S. M. (2020). A review of new methods of estimating methane emissions in the natural gas distribution network. *Iranian Gas Engineering Journal*, 1(7), 25–36. (In Persian). <https://civilica.com/doc/1628428/>
- [3] Sohankar, A., Heydari, H., & Akbari, M. (2021). The challenges of managing peak gas consumption in Iran and the necessity of developing the capacity of underground natural gas storage facilities. *Oil and Gas Exploration and Production Monthly*, 187, 17–27. (In Persian). <https://civilica.com/doc/1639574/>
- [4] Ebrahimi, E., Kazemzadeh, M., & Ficarella, A. (2024). Leak identification and quantification in gas network using operational data and deep learning framework. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 39, Article 101496. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2024.101496>
- [5] Lindemann, B., Maschler, B., Sahlab, N., & Weyrich, M. (2021). A survey on anomaly detection for technical systems using LSTM networks. *Computers in Industry*, 131, Article 103498. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103498>
- [6] Esen, H., Ozgen, F., Esen, M., & Sengur, A. (2009). Artificial neural network and wavelet neural network approaches for modeling of a solar air heater. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11240–11248. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.02.073>
- [7] Zhang, X., He, S., Stojanovic, V., Luan, X., & Liu, F. (2021). Finite-time asynchronous dissipative filtering of conic-type nonlinear Markov jump systems. *Science China Information Sciences*, 64(5), Article 152206. <https://doi.org/10.1007/s11432-020-2913-x>

- [8] Song, X., Sun, P., Song, S., & Stojanovic, V. (2022). Event-driven NN adaptive fixed-time control for nonlinear systems with guaranteed performance. *Journal of the Franklin Institute*, 359(9), 4138–4159. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2022.04.003>
- [9] Zheng, J., Wang, C., Liang, Y., Liao, Q., Li, Z., & Wang, B. (2022). Deep pipe: A deep-learning method for anomaly detection of multi-product pipelines. *Energy*, 259, Article 125025. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125025>
- [10] Korlapati, N. V. S., Khan, F., Noor, Q., Mirza, S., & Vaddiraju, S. (2022). Review and analysis of pipeline leak detection methods. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 2(4), Article 100074. <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2022.100074>
- [11] Spandonidis, C., Theodoropoulos, P., Giannopoulos, F., Galiatsatos, N., & Petsa, A. (2022). Evaluation of deep learning approaches for oil and gas pipeline leak detection using wireless sensor networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 113, Article 104890. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104890>
- [12] Zhang, X., Shi, J., Huang, X., Xiao, F., Yang, M., Huang, J., Yin, X., Usmani, A. S., & Chen, G. (2023). Towards deep probabilistic graph neural network for natural gas leak detection and localization without labeled anomaly data. *Expert Systems with Applications*, 231, Article 120542. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120542>
- [13] Priyanka, E., Thangavel, S., Gao, X.-Z., & Sivakumar, N. (2022). Digital twin for oil pipeline risk estimation using prognostic and machine learning techniques. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, Article 100272. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100272>
- [14] Liang, J., Ma, L., Liang, S., Zhang, H., Zuo, Z., & Dai, J. (2023). Data-driven digital twin method for leak detection in natural gas pipelines. *Computers and Electrical Engineering*, 110, Article 108833. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108833>
- [15] Babaii, F. (2016). Statistical and technical analyzes of the observed leaks. Gas Waste Seminar, *Golestan Gas Company*. (In Persian). <https://www.nigc-golestan.ir/orgpage.aspx?id=1>
- [16] Abbaspoor, N., & Abdi, M. (2023). The impact of electricity, gas, and water price increases on the price index of the tourism sector. *Karafan Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University*, 20, 759–776. (In Persian). [doi:10.48301/KSSA.2023.380133.2404](https://doi.org/10.48301/KSSA.2023.380133.2404)
- [17] Seyed Kolbadi, S. M. (2021). The effect of flexible connection on reducing the damage of buried gas pipes due to ground displacement. *Karafan Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University*, 18(1), 99–120. (In Persian). [doi:10.48301/KSSA.2021.131039](https://doi.org/10.48301/KSSA.2021.131039)
- [18] Seyed Kolbadi, S. M. (2021). The effect of flexible connection on reducing the damage of buried gas pipes due to ground displacement. *Karafan Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University*, 18(1), 99–120. (In Persian). [doi:10.48301/KSSA.2021.131039](https://doi.org/10.48301/KSSA.2021.131039)
- [19] Seyed Kolbadi, S. M., Hassani, N., & Safi, M. (2024). Development application of wave connection to prevent local buckling on buried gas pipelines due to strike-slip faulting. *Karafan Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University*. 21(1), 627-649. (In Persian). [doi:10.48301/kssa.2023.390046.2486](https://doi.org/10.48301/kssa.2023.390046.2486)
- [20] Ghazi Zade, A., Darvishi, M. M., & Asgari, A. (2016). Research and analysis of the effects of noise caused by the regulator and its effect on the ultrasonic meter at

- Kermanshah LAB Petrochemical Gas Station. *Master's thesis, Payame Noor University, Tehran, Iran.* (In Persian). <https://elmnet.ir/doc/11185418-41664>
- [21] Mirsane, E., & Karimi, H. (2016). Measuring the sensitivity of the pressure reducer regulator to physical parameters and observing the regulator's performance when disturbance occurs. *International Conference of the Iranian Aerospace Association, Tehran, Iran.* (In Persian). <https://www.sid.ir/paper/882780/fa>