

شبیه‌سازی عددی اثر مخروطی شدن منیفولد بر توزیع جریان و افت فشار در مقایسه با منیفولد روزنه‌دار با مقطع ثابت دایروی

علیرضا شهابی

دانشجو کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

حمیدرضا نظیف*

دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

چکیده

در این پژوهش به تحلیل عددی منیفولد جریان موازی و معکوس پرداخته شده است. تاثیر وجود و حذف روزنه مرکزی در منیفولد با مقطع ثابت دایروی بررسی شده است. نتایج عددی بدست آمده تطابق خوبی با نتایج تجربی موجود دارد. این مطالعه نشان می‌دهد وجود روزنه مرکزی در یکسان‌سازی توزیع جرمی هوای ورودی بین شاخه‌های منیفولد با مقطع ثابت دایروی نقش اساسی دارد، به طوری که با حذف روزنه مرکزی، مقدار (ENU%)، به طور متوسط ۵۴٪، نسبت به حالت منیفولد با روزنه مرکزی افزایش می‌یابد. بنابر محدودیت‌های ساخت، همچنین افت فشار زیاد وجود روزنه مرکزی در شاخه‌های منیفولد، برای اولین بار از توزیع‌کننده و جمع‌کننده به شکل مخروطی استفاده شده است. منیفولدهای مخروطی در چهار حالت مختلف شبیه‌سازی شدند. در منیفولد مخروطی جریان معکوس، با کاهش تدریجی نسبت قطرهای از ۲/۵ به ۰/۵، کمیت بی‌بعد (ENU%) کاهش چشمگیری داشته و عملکرد آن مناسب می‌باشد. در منیفولد مخروطی جریان معکوس با نسبت قطرهای (D/d=0.5) یکسان‌سازی جریان به خوبی انجام شده و متوسط کمیت بی‌بعد (ENU%)، ۰/۰۰۶۷ می‌باشد. در نهایت اثر تغییر عدد رینولدز بر تغییرات (ENU%) ناچیز مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: منیفولد جریان موازی، منیفولد جریان معکوس، دینامیک سیالات محاسباتی، افت فشار، جریان یکنواخت.

Numerical Investigation of Flow Distribution and Pressure Drop in a Conical Manifold Compared with a Constant Circular Cross-Section Manifold with Orifices

Ali Reza Shahabi

BSc. student, Technical and Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Hamid Reza Nazif *

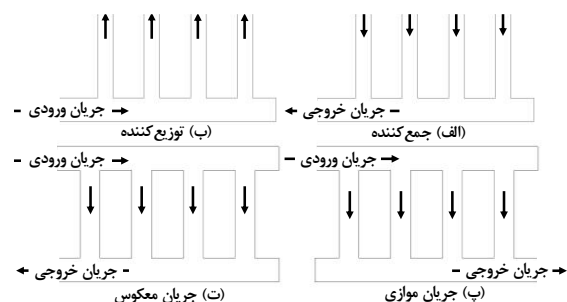
Technical and Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Abstract

In this study, a numerical analysis of a parallel and reverse flow manifold has been carried out. The effect of the presence and removal of a central orifice in a manifold with a constant circular cross-section has been investigated. The numerical results obtained are in good agreement with the existing experimental results. This study shows that the presence of a central orifice plays a fundamental role in equalizing the mass distribution of the inlet air between the branches of a manifold with a constant circular cross-section, so that by removing the central orifice, the value of (ENU%) increases by an average of 54% compared to the case of a manifold with a central orifice. Due to limitations of the construction, as well as the high pressure drop due to the presence of a central orifice in the manifold branches, a conical distributor and collector were used for the first time. The conical manifolds were simulated in four different cases. In the conical reverse flow manifold, with the decrease of the diameter ratio from 2.5 to 0.5, the dimensionless quantity (ENU%) decreases significantly and its performance is suitable. In the conical reverse flow manifold with the diameter ratio (D/d=0.5), the flow uniformity is well achieved and the average dimensionless quantity (ENU%) is 0.0067. Finally, the effect of the Reynolds number change on the changes in (ENU%) was observed to be insignificant.

Keywords: Parallel Flow Manifold, Reverse Flow Manifold, Computational Fluid Dynamics, Pressure Drop, Uniform Flow.

دایروی پرداختند. نتایج آزمایشگاهی آنها نشان داد که با بزرگ‌تر شدن قطر روزنه مرکزی، توزیع دبی جرمی جریان بدتر می‌شود.



شکل ۱- انواع منیفولد به همراه تصویر جمع کننده و توزیع کننده

ماجومدار و همکاران [۷-۵] با آزمایشات تجربی و ارائه مدل تحلیلی به بررسی نحوه توزیع جریان در منیفولدها پرداختند. آنها بر اساس نتایج آزمایشگاهی، دو پارامتر بی‌بعد (F) و (A_r) را تعریف کردند. آنها نشان دادند که با کنترل کردن مقدار این پارامترها، می‌توان پیش‌بینی دقیقی از توزیع جریان در منیفولدها داشت. ونگ و همکاران [۸،۹] نشان دادند که جهت جریان و شکل منیفولد نقش بسزایی در توزیع دبی جرمی دارد. همچنین، مطالعات متعددی در راستا بررسی و اهمیت ابعاد هندسی منیفولد [۱۲-۱۰] و شرایط کارکرد منیفولد [۱۳،۱۴] انجام شده است. مطالعات انجام شده به خوبی نشان داد که ابعاد هندسی منیفولد [۱۲-۱۰] و شرایط کارکرد منیفولد [۱۳،۱۴] در عملکرد منیفولد نقش اساسی ایفا می‌کند.

پیکربندی‌های منیفولد که در مطالعات گذشته مورد تحلیل واقع شده است، مقطع ثابت دایروی و مستطیلی داشتند. باجورا و جونز [۴] به طور خاص با آزمایشات تجربی به مطالعه سیستم‌های منیفولد با مقطع ثابت دایروی پرداختند. آنها تاثیر روزنه مرکزی $1''$ را برای تعداد شاخه‌های ۱۰ از منیفولد را مطالعه نمودند. از نتایج آزمایشگاهی باجورا و جونز [۴] برای اعتبارسنجی پژوهش فعلی استفاده شده است. به دلیل پیچیده بودن ساخت در فرآیند تولید روزنه‌های مرکزی در شاخه‌های منیفولد، در این پژوهش به دنبال روشی جایگزین و نوآورانه برای حذف روزنه شاخه‌ها هستیم. در اینجا روش نوآورانه ارائه شده مخروطی نمودن مجرای جمع کننده و توزیع کننده جریان و حذف روزنه در شاخه‌ها ارائه شده است. منیفولدهای مخروطی، با نسبت قطرهای (D/d) مختلف شبیه‌سازی شدند. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، منیفولد مخروطی پیشنهادی این پژوهش در یک نسبت قطر معین (D/d) دبی جرمی جریان را یکنواخت توزیع می‌کند. اثر عدد رینولدز برای منیفولد مخروطی نوآورانه این پژوهش با نسبت قطرهای مختلف (D/d) مطالعه شده است. منیفولد مخروطی پیشنهادی این پژوهش، مستقل از عدد رینولدز، توزیع دبی جرمی یکنواختی را فراهم می‌کند.

توزیع کننده‌های جریان هوا یا چندراهه‌ها (منیفولدها)^۱ از جمله تجهیزات مهم و پرکاربرد در حوزه‌های مختلف مهندسی، به‌ویژه مهندسی مکانیک و مهندسی شیمی، به شمار می‌روند. این تجهیزات با هدف تقسیم یا ترکیب جریان سیال مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، منیفولدها دارای آرایش‌های مختلفی بوده و از نظر جهت جریان، عمدتاً در دو گروه جریان موازی و جریان معکوس طبقه‌بندی می‌شوند. بخشی از منیفولد که شامل یک ورودی و چند خروجی است و وظیفه تقسیم جریان ورودی به جریان‌های کوچک‌تر را بر عهده دارد، مجرا^۲ توزیع کننده نامیده می‌شود. در مقابل، بخشی از منیفولد که از چند ورودی و یک خروجی تشکیل شده و جریان‌های ورودی را با یکدیگر ترکیب می‌کند، مجرا جمع کننده نام دارد. چنانچه جهت جریان ورودی به مجرای تقسیم کننده با جهت جریان خروجی از مجرای جمع کننده هم جهت باشد، آرایش حاصل منیفولد جریان موازی نامیده می‌شود. در صورتی که این دو جریان در جهت‌های مخالف حرکت کنند، منیفولد از نوع جریان معکوس خواهد بود (شکل ۱). در مجراهای توزیع کننده، با حرکت جریان در امتداد مجرا، فشار استاتیکی افزایش می‌یابد که این پدیده عمدتاً ناشی از کاهش سرعت جریان در اثر خروج بخشی از سیال از شاخه‌های جانبی است. در مقابل، در مجراهای جمع کننده، فشار در امتداد جهت جریان کاهش می‌یابد. در مجرا توزیع کننده، سیال موجود در ناحیه لایه مرزی که از انرژی کمتری برخوردار است، از طریق شاخه‌های جانبی خارج می‌شود؛ در حالی که بخش پرانرژی‌تر جریان عمدتاً در ناحیه مرکزی مجرا توزیع کننده باقی می‌ماند. این رفتار جریان می‌تواند نقش قابل توجهی در نحوه توزیع دبی جرمی جریان در میان شاخه‌های مختلف منیفولد داشته باشد. منیفولدها به دلیل نقش مؤثر خود در هدایت و توزیع جریان، در طیف گسترده‌ای از سامانه‌ها و تجهیزات مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مهم‌ترین کاربردهای منیفولدها می‌توان به سامانه‌های تهویه مطبوع، مبادله‌کن‌های گرما، یخچال‌های صنعتی، مجموعه‌های خنک کننده، سامانه‌های خنک کاری صفحات مدارهای میکروالکترونیکی، پیل‌های سوختی، سامانه‌های هیدرولیکی و تجهیزات مورد استفاده در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی اشاره کرد. اکریوس و همکاران [۱] و کوبو و یودا [۲،۳] با نتایج تجربی، معادلات دیفرانسیلی مرتبه دوم جدیدی را برای افت فشار و توزیع دبی جرمی جریان در منیفولد تعیین کردند. آنها با تعریف معادله دیفرانسیلی مرتبه دوم توانستند پیش‌بینی خوبی از رفتار جریان در منیفولد داشته باشند. باجورا و جونز [۴] با آزمایشات تجربی به بررسی اثر وجود روزنه مرکزی بر توزیع جریان در منیفولد با مقطع ثابت

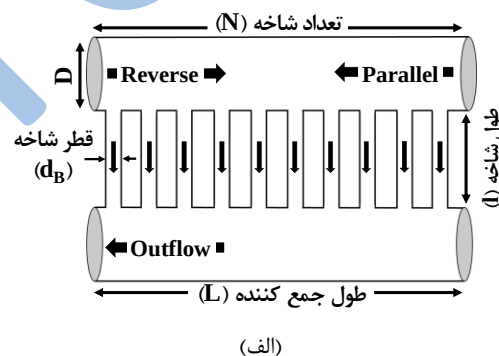
¹ Manifold

² Header

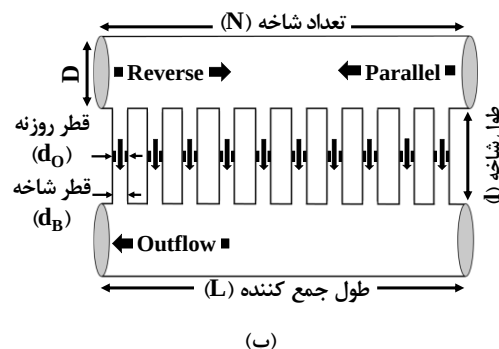
۲- تشریح هندسه سه بعدی مجموعه منیفولد

طرحواره منیفولد مورد بررسی در این پژوهش در شکل ۲ ارائه شده است. شکل ۲ (الف) پیکربندی منیفولد با مقطع دایروی ثابت و بدون روزنه مرکزی را نشان می‌دهد، در حالی که در شکل ۲ (ب)، پیکربندی مشابه با استفاده از روزنه‌های مرکزی ۱" ارائه شده است. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، منیفولد مورد مطالعه باجورا و جونز [۴] نیز دارای مقطع دایروی ثابت بوده است. در آزمایش‌های تجربی انجام شده توسط باجورا و جونز [۴]، به منظور دستیابی به توزیع یکنواخت‌تر جریان هوا، از روزنه‌های مرکزی با قطر ۱" استفاده شده است (شکل ۲(ب)). در پژوهش حاضر، عملکرد سامانه منیفولد در دو آرایش جریان شامل (۱) جریان موازی و (۲) جریان معکوس مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، به منظور مقایسه و ارزیابی نتایج، شرایط مطالعه تجربی باجورا و جونز [۴] به صورت عددی شبیه‌سازی شده است.

در ادامه این پژوهش، با هدف حذف روزنه‌های مرکزی نشان داده شده در شکل ۲ و کاهش پیچیدگی‌های مرتبط با فرایند ساخت، رویکردی ابتکاری مبتنی بر مخروطی کردن مجراهای توزیع‌کننده و جمع‌کننده به کار گرفته شده است. به منظور ارزیابی جامع عملکرد این پیکربندی، حالت‌های مختلف قابل تصور، بدون اعمال پیش‌فرض اولیه، به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (شکل ۳). مشخصات و پارامترهای هندسی مربوط به پیکربندی‌های مورد تحلیل نیز در جدول ۱ ارائه شده‌اند.



(الف)



(ب)

شکل ۲- هندسه منیفولد با مقطع ثابت دایروی

(الف) بدون روزنه مرکزی ۱" و (ب) با روزنه مرکزی ۱" [۴]

۳- تحلیل عددی

۳-۱- تعریف کمیت یکنواختی جریان (ENU%)^۱

میزان یکنواختی توزیع دبی جرمی جریان در شاخه‌ها با رابطه بی‌بعد ENU% ارزیابی می‌شود. فرمول ریاضی پارامتر بی‌بعد ENU% در رابطه (۵) ارائه شده است:

$$ENU\% = \frac{\dot{m}_i - \dot{m}_{avg}}{\dot{m}_{avg}} \times 100 \quad (5)$$

جدول ۱- اطلاعات ابعاد منیفولد استفاده شده در شکل ۲ و ۳ (cm)

تعداد شاخه‌ها (N)	10					
طول جمع‌کننده (L)	259.06					
قطر سمت چپ توزیع‌کننده (D)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵
قطر سمت راست توزیع‌کننده (d)	۲۰	۱۳.۳۳	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
نسبت قطرها (D/d)	۰.۵	۰.۷۵	۱	۱.۵	۲	۲.۵
قطر شاخه (d_B)	3.81					
قطر روزنه (d_o)	2.54					
طول شاخه (l)	156					
فاصله مراکز شاخه‌ها	25.91					

در این رابطه ($\dot{m}_i$) دبی جرمی عبوری از هر شاخه، $\dot{m}_{avg} = \frac{\dot{m}_{inflow}}{N}$ و N تعداد شاخه منیفولد می‌باشد. هر چه مقدار ENU% به صفر نزدیک‌تر باشد، سیستم منیفولدی از منظر یکنواختی توزیع جریان ایده‌آل‌تر و مناسب خواهد بود. زمانی که پارامتر ENU% مقداری مثبت می‌شود ($ENU\% > 0$) به این معناست که شاخه مورد بررسی، دبی جرمی بیشتری نسبت به حالت ایده‌آل دارد. در مقابل، زمانی که پارامتر ENU% مقداری منفی می‌شود ($ENU\% < 0$) به این معناست که شاخه مورد بررسی، دبی جرمی کمتری نسبت به حالت ایده‌آل دارد.

۳-۲- گسسته سازی معادلات، معیار همگرایی و مدل

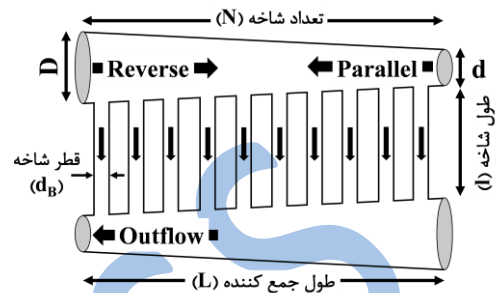
دیوار

در این تحلیل، از الگوریتم سیمپل^۲ برای برقراری ارتباط بین

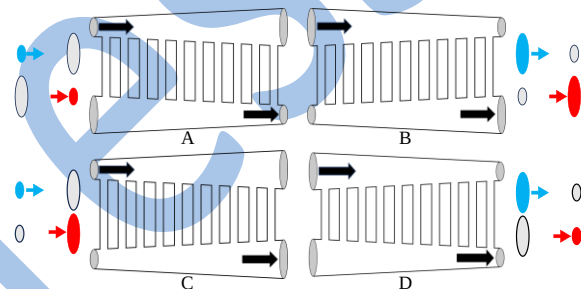
¹ Extent of non-uniformity

² Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations

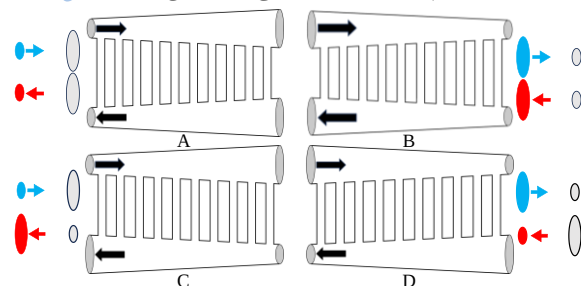
سرعت و فشار استفاده شده است. روش خطی^۱ برای گسسته سازی فشار انتخاب شده و همچنین، از طرح مرتبه دوم^۲ برای گسسته سازی و حل معادلات مومنتوم، انرژی جنبشی و تلفات انرژی تلاطم استفاده شد. در روش تکراری حل عددی، مانده‌ها به عنوان معیار همگرایی کمتر از 10^{-8} فرض شد. مدل استفاده شده در کنار دیوار، مدل استاندارد^۳ می‌باشد. الزام است که فاصله اولین سلول محاسباتی از دیواره (Y^+) بین ۳۰ تا ۳۰۰ باشد.



پیکربندی جریان موازی



پیکربندی جریان معکوس



شکل ۳- تقسیم‌بندی هندسه منیفولد مخروطی ارائه شده در این پژوهش مطابق ابعاد هندسی جدول ۱

۳-۳ شرایط مرزی

جریان هوای در ورودی دستگاه منیفولد این پژوهش با دبی جرمی $(\dot{m} = 100 \text{ gr/s})$ و $(Re = 70,000)$ و وابسته به قطر ورودی، با فشار اتمسفر به صورت توسعه یافته (نیم‌رخ سرعت از پیش تعیین شده) وارد سیستم منیفولدی می‌شود. همچنین، عدد ماخ محاسبه شده در بهترین و بحرانی‌ترین شرایط عملکردی، به ترتیب

برابر با ۰/۲۵ و ۰/۷۹ می‌باشد. با توجه به اینکه در هر دو حالت مقدار عدد ماخ به طور قابل توجهی کمتر از ۰/۳ است، جریان هوا را می‌توان در محدوده مورد بررسی، تراکم‌ناپذیر در نظر گرفت. از این رو، تغییرات چگالی ناشی از تغییرات فشار و سرعت در طول جریان ناچیز بوده و فرض چگالی ثابت برای مدل‌سازی جریان در این پژوهش قابل قبول است. مطابق آزمایش [۴] در خروجی سیستم، مقدار فشار مکش 50000 Pa- لحاظ شده است. به دلیل ناچیز بودن زبری سطحی دیوار^۴ مواد لوله کشی تجاری PVC^۵ از این مقدار صرف نظر شده است. شرط مرزی دیوارها، بدون لغزش^۶ فرض شده و همچنین از انتقال جرم و حرارت صرف نظر شده است [۴].

۴- بررسی استقلال از شبکه محاسباتی

مطابق شکل ۴، دامنه محاسباتی منیفولد مقطع ثابت دایروی با شبکه بی‌ساختار و المان‌های چهار وجهی^۷ مدل‌سازی شده است. برای مطالعه استقلال جواب تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی، یازده شبکه ایجاد شد. نتایج آن در شکل ۵ قابل مشاهده است. بررسی استقلال جواب از شبکه نیازمند ریز کردن اندازه سلول‌ها، اجرا برنامه و مقایسه آنها با یکدیگر است. محدودیت دیگری در ریز کردن شبکه محاسباتی وجود دارد که به معیار تابع دیوار در جریان متلاطم بستگی دارد. چون شبیه‌سازی با مدل تلاطم $k-\epsilon$ و مدل دیوار استاندارد انجام شده، لازمه قرارگیری مرکز اولین سلول نزدیک دیواره در نقطه‌ایست که عدد رینولدز بدون بعد Y^+ در محدوده بین ۳۰ تا ۳۰۰ قرار گیرد. با توجه به شکل ۵ ملاحظه می‌شود که با ریزتر شدن شبکه، تعداد المان‌ها افزایش می‌یابد و تغییرات یک پارامتر خاص به مقدار ثابتی همگرا می‌شود. پارامتر مورد بررسی این پژوهش برای انتخاب شبکه‌بندی مناسب، ضریب پوسته دیواره منیفولد جمع‌کننده در فاصله ۲/۷۵ متری از ورودی جریان می‌باشد [۴]. برای جلوگیری از هرگونه هزینه محاسباتی بیشتر، شبکه شماره ۷ (خط چین قرمز) با تعداد تقریبی ۶ میلیون سلول برای ادامه فرایند شبیه‌سازی انتخاب شد.

⁴ Wall Roughness

⁵ Polyvinyl Chloride

⁶ No-Slip

⁷ Tetrahedral Elements

¹ Linear Pressure Discretization Scheme

² Second Order Upwind Discretization Scheme

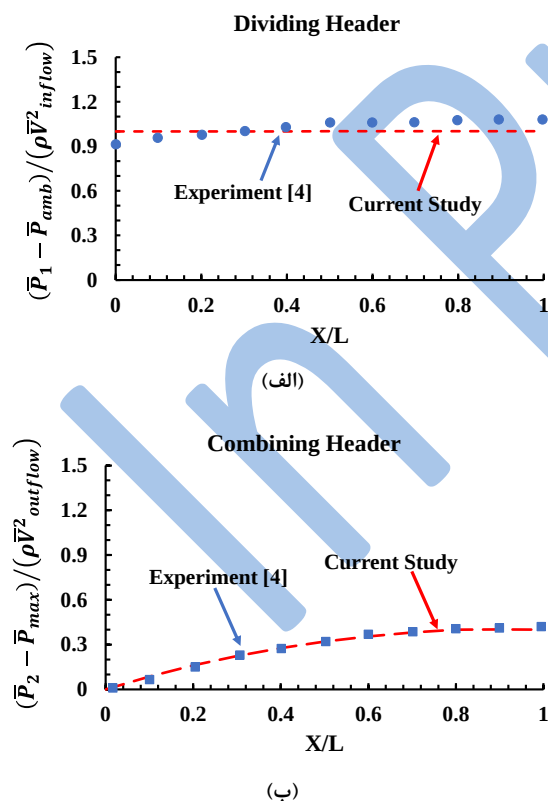
³ Standard Wall Functions

۱-۶- اثر حذف روزنه مرکزی در منیفولد با مقطع ثابت

دایروی ($D/d = 1$)

در این بخش، به تحلیل اثر حذف روزنه مرکزی ۱" در منیفولد با مقطع ثابت دایروی پرداخته می‌شود.

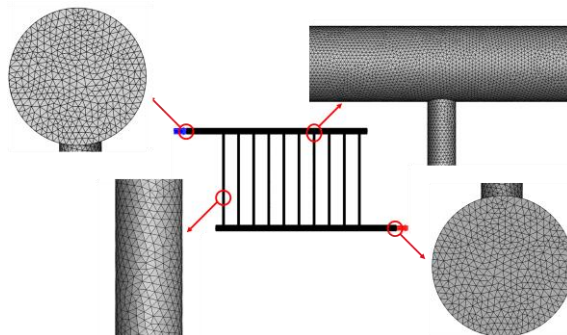
در شکل ۷، تغییرات کمیت بی‌بعد انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) بر حسب شماره شاخه‌ها برای منیفولد جریان موازی و معکوس با روزنه مرکزی ۱" در مقایسه با حالت بدون روزنه مرکزی آمده است. با حذف روزنه مرکزی ۱"، کمیت بی‌بعد انحراف جرم توزیعی از میانگین در منیفولد بدون روزنه مرکزی، به طور متوسط ۵۴٪ از حالت منیفولد با روزنه مرکزی ۱" در بحرانی‌ترین شرایط فاصله می‌گیرد. کمیت بی‌بعد (ENU%) برای منیفولد جریان موازی، در هر دو حالت (۱) با روزنه مرکزی ۱" و (۲) بدون روزنه مرکزی روند صعودی در جهت ورود جریان دارد. در مقابل، این کمیت برای منیفولد جریان معکوس، در هر دو حالت (۱) با روزنه مرکزی ۱" و (۲) بدون روزنه مرکزی روند نزولی در جهت ورود جریان دارد. حذف روزنه مرکزی، باعث افزایش کمیت بی‌بعد انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) می‌شود. کمیت بی‌بعد (ENU%) برای منیفولد جریان معکوس در شاخه‌های میانی تقریباً صفر شده و دبی جریان عبوری در این شاخه‌ها به طور تقریبی یکسان و آرمانی می‌باشد.



شکل ۶- افت فشار بی بعد بدست آمده از تحلیل عددی و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی باجورا و جونز [۴]. (الف) توزیع کننده و (ب) جمع کننده با مقطع ثابت دایروی برای منیفولد ۱۰ شاخه با قطر روزنه مرکزی ۱"

۲-۶- اثر مخروطی شدن جمع کننده و توزیع

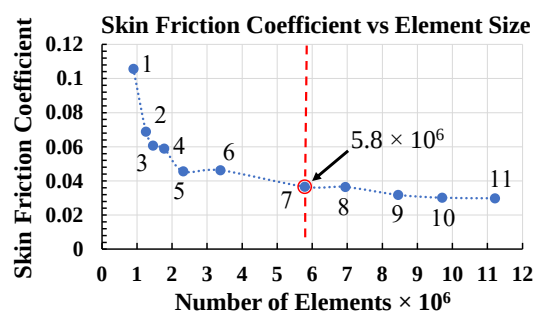
کننده و حذف روزنه مرکزی



شکل ۴- مدل سازی فیزیکی دامنه محاسباتی منیفولد با مقطع دایروی ثابت به کمک شبکه بی ساختار

۵- اعتبارسنجی پژوهش

در این بخش، به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از حل عددی، این نتایج با داده‌های به دست آمده از یک روش مستقل، نظیر نتایج تجربی، مقایسه شده‌اند. میزان انطباق میان نتایج عددی و تجربی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی اعتبار و قابلیت اطمینان روش عددی مورد استفاده قرار گیرد. از این رو، در پژوهش حاضر از داده‌های آزمایشگاهی باجورا و جونز [۴] برای اعتبارسنجی نتایج استفاده شده است. در شکل ۸، تغییرات فشار بی‌بعد محاسباتی بر حسب طول بی‌بعد به ترتیب در مجراهای (الف) توزیع کننده و (ب) جمع کننده ارائه شده است. همان گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، نتایج فشار بی‌بعد حاصل از شبیه سازی حاضر با داده‌های آزمایشگاهی سامانه ۱۰ شاخه جریان معکوس (حالت C) باجورا و جونز [۴]، با قطر روزنه ۱"، تطابق مطلوبی داشته و اختلاف میان آن‌ها در حدود ۳ درصد است.



شکل ۵- تغییرات ضریب پوسته دیواره مجرای جمع کننده ۱۰ شاخه جریان موازی در ($X = 2.75m$) با تغییر تعداد المان [۴]

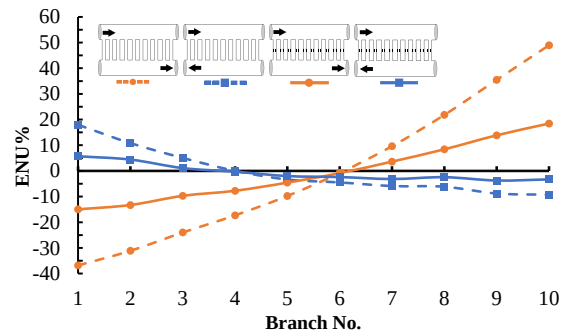
۶- بررسی اثر حذف روزنه منیفولد با مقطع ثابت

دایروی همچنین مخروطی شدن جمع کننده و

توزیع کننده به روش شبیه سازی

تحلیل عددی منیفولد پژوهش حاضر با دبی جرمی ورودی ثابت ($\dot{m} = 100 \text{ g/s}$, $D_{in} = 10.16, 4 \text{ cm}$) مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. در ادامه به ارائه و بررسی نتایج تحلیل پرداخته می‌شود.

در این بخش، نتایج تحلیل منیفولد مخروطی مطابق (شکل ۳) با دبی جرمی ورودی ثابت ($\dot{m}_{inflow} = 100 \text{ gr/s}$) ارائه می‌شود.



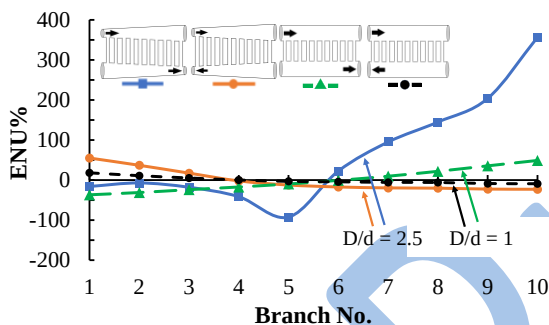
شکل ۷- انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) در منیفولد ۱۰ شاخه جریان موازی و معکوس در شبیه‌سازی حاضر

الف. نتایج شبیه‌سازی منیفولد جریان موازی و معکوس نوع (A)

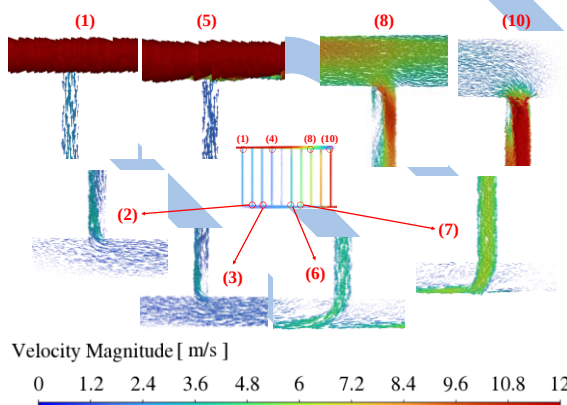
در شکل ۸، نتایج تحلیل عددی منیفولد مخروطی ($D/d=2.5$) جریان موازی و معکوس نوع (A - شکل ۳) در مقایسه با منیفولد مقطع دایروی یکنواخت بدون روزنه مرکزی ($D/d=1$) ارائه شده است. مطابق شکل ۸، منیفولد مخروطی جریان معکوس عملکرد بهتری در توزیع جریان ارائه می‌کند و همچنان مشاهده می‌شود که از شاخه شماره ۳ به بعد توزیع جریان به طور تقریبی یکسان و آرمانی می‌شود. در منیفولد مخروطی جریان موازی شکل ۸ (نمودار به رنگ آبی) انحراف شدیدی از مقدار صفر (فاصله از مقدار میانگین) مشاهده می‌شود. در شکل ۹، علت بروز این پدیده قابل تفسیر است. مطابق شکل ۹ در منیفولد جریان موازی، به دلیل کوچک بودن سطح مقطع ورودی، سرعت سیال در ورودی مجرا توزیع کننده، زیاد است. زیاد بودن سرعت باعث ایجاد فشار مکش به طرف بالا می‌شود (شاخه‌های ۱ تا ۵). بخشی از جریان که از شاخه‌های میانی (۶ و ۷) و انتهایی (۸ تا ۱۰) به طرف پایین رفته و به مجرا جمع کننده وارد شده، از شاخه‌های ابتدایی (شاخه‌های ۱ تا ۵) به صورت جریان برگشتی و بالارونده به مجرا توزیع کننده باز می‌گردد، لذا عملکرد این نوع منیفولد مناسب نمی‌باشد و دچار اختلال می‌گردد. همچنین، به دلیل کوچکتر شدن سطح مقطع مجرای جمع کننده، سرعت سیال در خروجی زیاد خواهد بود. افزایش سرعت باعث مکش جریان بیشتر از شاخه‌های انتهایی (۸ تا ۱۰) می‌شود. این درحالیست که برای منیفولد جریان معکوس شکل ۸ (نمودار نارنجی رنگ) به دلیل قرارگیری ورودی و خروجی در یک طرف، فشار مکش شاخه‌ها تقریباً یکسان خواهد بود و انتظار افت فشار یکسان در تمام مسیرها از ورود به خروج می‌شود. اختلاف فشار یکسان شاخه‌ها در منیفولد جریان معکوس، باعث یکسان بودن توزیع دبی جرمی هوای ورودی بین شاخه‌ها شده است. انتخاب و استفاده منیفولد مخروطی جریان معکوس، وابسته به انتظار کاربر برای استفاده صنعتی قابل توصیه بوده و به سطح کیفی و کاربرد صنعتی آن بستگی دارد.

ب. نتایج شبیه‌سازی منیفولد جریان موازی و معکوس نوع (B)

در شکل ۱۰، نتایج تحلیل عددی منیفولد مخروطی ($D/d=2.5$) جریان موازی و معکوس نوع (B - شکل ۳) در مقایسه با منیفولد مقطع دایروی یکنواخت بدون روزنه مرکزی ($D/d=1$) ارائه شده است. در شکل ۱۰، منیفولد مخروطی جریان موازی نوع (B) رفتاری مشابه منیفولد مقطع یکنواخت جریان موازی ($D/d=1$) دارد (منحنی آبی و خط چین سبز)، اما منیفولد مخروطی نوع (B) جریان معکوس، انحراف شدیدی نسبت به مقطع یکنواخت پیدا کرده است (منحنی نارنجی و خط چین سیاه). علت انحراف از وضعیت یکنواختی جریان در شاخه‌ها معمولاً به دلیل افزایش سرعت جریان در یک مقطع و حضور جریان برگشتی است. به عنوان مثال، در منیفولد جریان موازی نوع (B) بنابر دلایل زیر شاهد جریان برگشتی در شاخه‌های اولیه نیستیم. به دلیل بزرگ بودن سطح مقطع ورودی، سرعت سیال در ورودی مجرا توزیع کننده، نسبت به منیفولد جریان موازی نوع (A) کمتر خواهد بود. کمتر بودن سرعت در ورودی مجرا توزیع کننده منیفولد جریان موازی، باعث ایجاد فشار مکش نمی‌شود و شاخه‌های ابتدایی جریان برگشتی



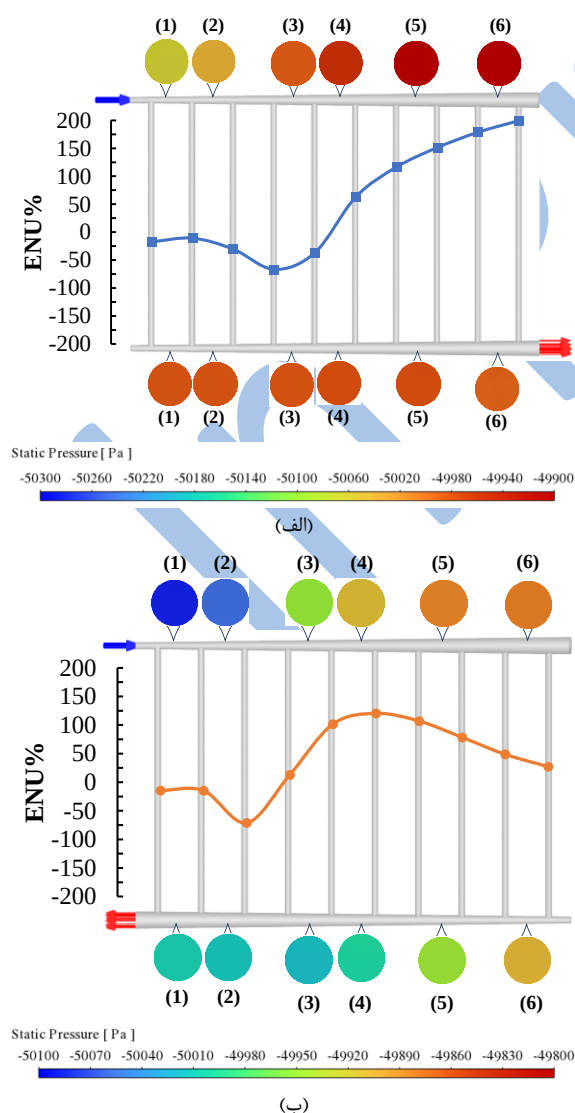
شکل ۸- انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) در منیفولد ۱۰ شاخه مخروطی نوع (A) برای حالت جریان موازی و معکوس در شبیه‌سازی حاضر



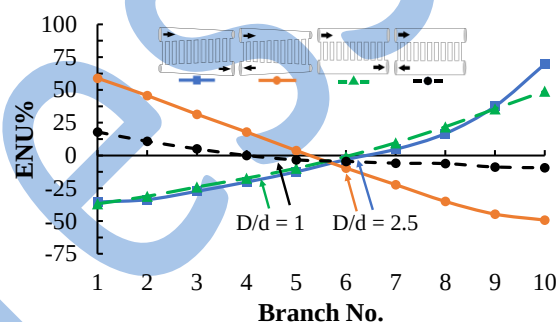
شکل ۹- بردار اندازه سرعت جریان برگشتی در منیفولد ۱۰ شاخه مخروطی جریان موازی نوع (A) در شبیه‌سازی حاضر و تفسیر علت رفتار نمودار آبی رنگ در شکل ۸

نخواهند داشت. به دلیل کوچکتر شدن مجرا در منیفولد توزیع کننده، در جهت ورود جریان سرعت سیال افزایش می‌یابد. افزایش سرعت باعث فشار مکش بیشتر می‌شود و بخش بیشتر جریان از شاخه‌های انتهایی عبور می‌کند. مطابق شکل ۱۰، در منیفولد جریان معکوس، به دلیل (۱) همسان بودن سطح مقطع‌ها و (۲) قرارگیری

فشار استاتیکی جریان هوا در مقاطع (۱، ۲، ۳ و ۴) مجرا توزیع کننده به کمترین مقدار خود می شود. افت شدید فشار استاتیکی در مقاطع (۱، ۲، ۳ و ۴) مجرا توزیع کننده، باعث ایجاد فشار مکش در این مقاطع می شود. جریان هوا که از شاخه های میانی و انتهایی به مجرا جمع کننده وارد شده، به دلیل فشار مکشی در مقاطع (۱، ۲، ۳ و ۴) از مجرا توزیع کننده، به صورت جریان بالارونده از شاخه های (۱ تا ۵) به مجرا توزیع کننده باز می گردد. جریان برگشتی از شاخه های ابتدایی (۱ تا ۵)، مجدداً از شاخه های میانی (۶ و ۷) و انتهایی (۸ تا ۱۰) به مجرا جمع کننده باز می گردد. در شکل ۱۱ (ب) کانتورهای فشار استاتیکی جریان هوا در مقاطع مختلف منیفولد مخروطی جریان معکوس نوع (C) نشان داده شده است. مطابق شکل ۱۱ (ب)، منیفولد مخروطی جریان معکوس نیز همانند منیفولد مخروطی جریان موازی به دلیل سرعت زیاد سیال ورودی و افت شدید فشار استاتیکی در مقاطع (۱، ۲ و ۳)، شاخه های ابتدایی (۱ تا ۳) دبی جرمی پایین رو ندارند. دبی جرمی هوای ورودی به مجرا توزیع کننده، توسط شاخه های میانی (۴ تا ۶) و شاخه های انتهایی (۷ تا ۱۰) به مجرا جمع کننده وارد می شوند و از شاخه های ابتدایی (۱ تا ۳) به صورت جریان بالارونده به مجرا توزیع کننده باز می گردد.



ورودی و خروجی منیفولد در یک طرف، اختلاف فشار شاخه ها و مجراها تقریباً یکسان خواهد بود. همچنین، شاخه های نزدیک به خروجی منیفولد، اختلاف فشار بیشتری دارند. مطابق شکل ۱۰، در حالت جریان موازی (منحنی آبی رنگ)، شاخه های انتهایی و در حالت جریان معکوس (منحنی نارنجی رنگ)، شاخه های ابتدایی، دبی جرم عبوری بیشتری خواهند داشت. مطابق شکل ۱۰، شاخه های میانی (۵ و ۶) منیفولد مخروطی جریان موازی (منحنی آبی رنگ) و جریان معکوس (منحنی نارنجی رنگ)، دبی جرم عبوری یکسان و آرمانی داشته و برای کاربرد صنعتی مناسب هستند. عبور دبی جرمی بیشتر با کمتر از شاخه ها نسبت به حالت آرمانی، باعث اختلال در عملکرد منیفولد می شود. همچنین، مثبت یا منفی شدن کمیت بی بعد انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) برای تمامی شاخه ها، از لحاظ ریاضیاتی غیرممکن است. انتخاب و استفاده منیفولد مخروطی نوع (B)، وابسته به انتظار کاربر برای استفاده صنعتی قابل توصیه بوده و به سطح کیفی و کاربرد صنعتی آن بستگی دارد.



شکل ۱۰- انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) در منیفولد ۱۰ شاخه مخروطی نوع (B) برای حالت جریان موازی و معکوس در شبیه سازی حاضر

ب. نتایج شبیه سازی منیفولد جریان موازی و معکوس

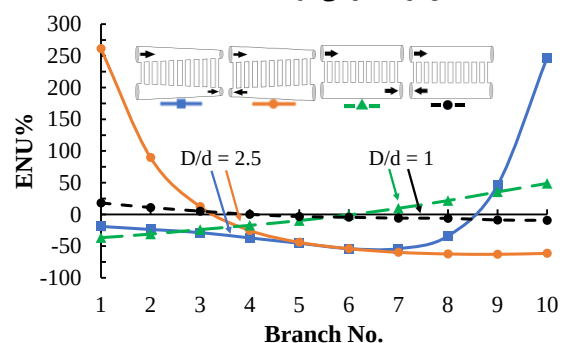
نوع (C)

در شکل ۱۱، نتایج تحلیل عددی کمیت بی بعد (ENU%) و فشار استاتیکی منیفولد مخروطی (D/d=2.5) جریان موازی و معکوس نوع (C) ارائه شده است. مطابق شکل ۱۱ (الف) و (ب)، به دلیل انحراف شدید کمیت بی بعد (ENU%) از حالت آرمانی، منیفولد مخروطی نوع (C) عملکرد مناسبی در توزیع دبی جرمی جریان ندارد و دچار اختلال می گردد. در شکل ۱۱، علت عدم کارآمدی مناسب (الف) منیفولد مخروطی جریان موازی نوع (C) و (ب) منیفولد مخروطی جریان معکوس نوع (C) توضیح داده شده است. در شکل ۱۱ (الف) نمودار با طرح رنگی (کانتور) فشار استاتیکی جریان هوا در مقاطع مختلف منیفولد مخروطی جریان موازی نوع (C) نشان داده شده است. مطابق شکل ۱۱ (الف)، به دلیل کوچک بودن سطح مقطع ورودی، سرعت سیال در ورودی مجرا توزیع کننده زیاد است. همچنین، به دلیل سرعت زیاد سیال در ورودی، شاخه های ابتدایی (۱ تا ۵) منیفولد جریان موازی دبی جرمی پایین رو ندارند (مانند ناحیه سمت چپ شکل ۹). دبی جرمی هوای ورودی به مجرا توزیع کننده، توسط شاخه های میانی (۶ و ۷) و شاخه های انتهایی (۸ تا ۱۰) به مجرا جمع کننده وارد می شوند. زیاد بودن سرعت سیال در منیفولد توزیع کننده، باعث کاهش

شکل ۱۱- انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) هر شاخه و فشار استاتیکی هر مقطع از منیفولد مخروطی نوع (C) برای حالت (الف) جریان موازی و (ب) جریان معکوس در شبیه‌سازی حاضر

ت. نتایج شبیه‌سازی منیفولد جریان موازی و معکوس نوع (D)

در شکل ۱۲، نتایج تحلیل عددی منیفولد مخروطی نوع (D) با نسبت قطر $D/d=2.5$ در آرایش‌های جریان موازی و معکوس، در مقایسه با منیفولد با مقطع دایروی ثابت و بدون روزنه مرکزی ($D/d=1$)، ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد هر دو آرایش مخروطی دارای انحراف قابل توجهی از دبی جرمی متوسط هستند، اما علت این عدم یکنواختی در آن‌ها متفاوت است. دبی جرمی عبوری از هر شاخه تابع اختلاف فشار استاتیکی بین مجرای توزیع کننده و جمع کننده در همان محل است؛ بنابراین، تغییرات این اختلاف فشار مستقیماً بر یکنواختی توزیع جریان اثر می‌گذارد. در شکل ۱۲، منحنی آبی رنگ برای منیفولد مخروطی جریان موازی نشان می‌دهد انحراف جریان در شاخه‌های ابتدایی و میانی محدود است، اما در انتهای منیفولد به‌طور ناگهانی افزایش یافته و شاخه‌های انتهایی، به ویژه شاخه‌های ۹ و ۱۰، سهم بیشتری از جریان دریافت می‌کنند. ورود پیوسته جریان شاخه‌ها به مجرای جمع کننده باعث افزایش دبی تجمعی در جهت خروج می‌شود و هم‌زمان، تغییر سطح مقطع مخروطی نیز سرعت و فشار استاتیکی را تغییر می‌دهد. ترکیب این دو عامل موجب افزایش سرعت و کاهش فشار استاتیکی در ناحیه خروجی شده و در نتیجه، اختلاف فشار دو سوی شاخه‌های انتهایی و دبی جرمی عبوری از آن‌ها افزایش می‌یابد. در مقابل، در منیفولد مخروطی جریان معکوس، بیشترین عدم یکنواختی در شاخه‌های ابتدایی مشاهده می‌شود. شاخه نخست دبی جرمی بسیار بیشتری از مقدار متوسط عبور می‌دهد و سپس مقدار ENU% در امتداد منیفولد به سرعت کاهش یافته و از شاخه‌های میانی به بعد به میانگین نزدیک‌تر می‌شود.



شکل ۱۲- انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) در منیفولد ۱۰ شاخه مخروطی نوع (D) و (C) برای حالت جریان موازی و معکوس در شبیه‌سازی حاضر

این رفتار ناشی از اختلاف فشار زیاد بین دو مجرای اصلی در ابتدای منیفولد است. عبور بخش قابل توجهی از جریان از شاخه‌های ابتدایی، همراه با تغییرات سرعت و فشار ناشی از هندسه مخروطی، شرایط فشار را در ادامه مسیر تغییر داده و نیروی محرک عبور جریان

از شاخه‌های بعدی را کاهش می‌دهد. در مجموع، عدم یکنواختی در دو آرایش مخروطی ناشی از توزیع نامناسب فشار استاتیکی و تشدید آن بر اثر تغییر سطح مقطع است؛ به طوری که در جریان موازی، تمرکز جریان در انتهای منیفولد و در جریان معکوس، در شاخه‌های ابتدایی رخ می‌دهد. بنابراین، منیفولد مخروطی نوع (D) عملکرد مناسبی از نظر یکنواختی توزیع دبی جرمی ندارد. در مقابل، منیفولدهای با مقطع ثابت ($D/d=1$) تغییرات کمتری در دبی جرمی شاخه‌ها نشان می‌دهند. ثابت بودن سطح مقطع موجب ملایم‌تر شدن تغییرات سرعت و فشار استاتیکی و یکنواخت‌تر شدن اختلاف فشار دو سوی شاخه‌ها می‌شود. این اثر در آرایش جریان معکوس محسوس‌تر است؛ زیرا تغییرات فشار در مجرای توزیع کننده و جمع کننده تا حد زیادی اثر جبرانی داشته و در نتیجه، توزیع جریان یکنواخت‌تری ایجاد می‌شود.

۳-۶- توان کمپرسور

در جدول ۲، افت فشار کل و توان کمپرسور ارائه شده است. محاسبه افت فشار کل مطابق رابطه (۶) با متوسط گیری از فشار در مقطع ورودی و خروجی امکان پذیر بوده و توان لازم کمپرسور مطابق رابطه (۷) قابل محاسبه می‌باشد. در رابطه (۶)، $\Delta \bar{P}_{tot}$ میانگین فشار کل روی سطح مقطع ورودی یا خروجی منیفولد است. در رابطه (۷)، $\Delta \dot{W}_{tot}$ افت توان کمپرسور می‌باشد. مطابق جدول ۲، مخروطی شدن مجرای توزیع کننده و جمع کننده، باعث افزایش توان لازم کمپرسور و فشار کل منیفولد می‌شود.

$$\Delta \bar{P}_{tot} = (\bar{P}_{tot})_o - (\bar{P}_{tot})_i \quad (6)$$

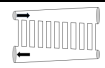
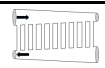
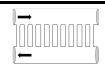
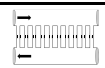
$$\Delta \dot{W}_{tot} = [(\bar{P}_{tot})_{out} A_{out} \bar{V}_{outflow}] - [(\bar{P}_{tot})_{in} A_{in} \bar{V}_{inflow}] \quad (7)$$

منیفولد مخروطی افت فشار و افت توان بیشتری نسبت به منیفولد با مقطع ثابت دایروی در هر دو حالت (۱) با روزنه مرکزی (۱) و (۲) بدون روزنه مرکزی می‌شود. منیفولد با مقطع ثابت دایروی با روزنه مرکزی (۱)، یکنواختی بهتری در توزیع جریان ارائه می‌کند در حالی که توان لازم و افت فشار بیشتری نسبت به حالت بدون روزنه مرکزی دارد. هدف مخروطی شدن مجراهای توزیع کننده و جمع کننده و حذف روزنه مرزی، پیچیده بودن فرایند ساخت روزنه مرکزی بوده است. برای انتخاب بهینه و بهره‌برداری صنعتی از یک منیفولد، باید عوامل محدود کننده‌ای مانند (۱) افت فشار، (۲) توان لازم کمپرسور و (۳) انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) را در نظر گرفت.

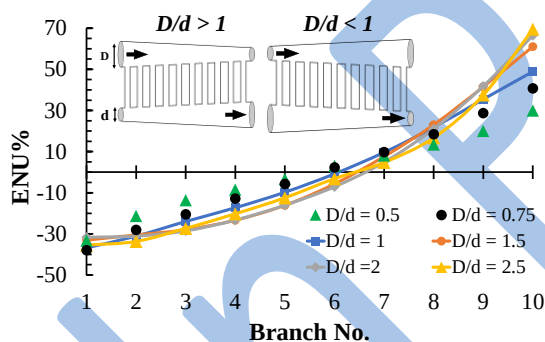
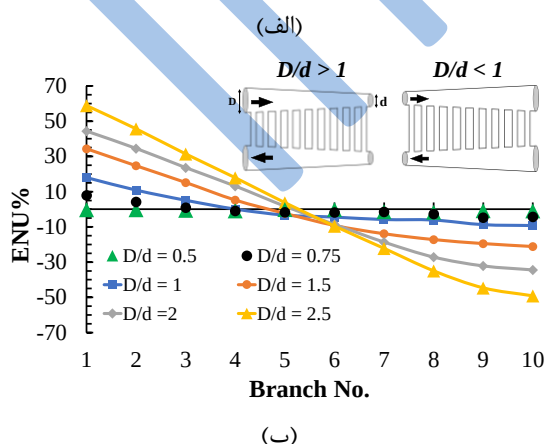
۴-۶- تاثیر مقادیر مختلف (D/d) بر روی (ENU%)

در این قسمت، به بررسی اثر مقادیر مختلف نسبت قطر (D/d) بر کمیت بی‌بعد انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) در منیفولد مخروطی پرداخته می‌شود. با مراجعه به جدول ۲، افت فشار و توان لازم برای منیفولد مخروطی نوع (B) نسبت به سایر مجراهای مخروطی کمتر بوده و همچنین منیفولد مخروطی نوع (B) عملکرد بهتری در توزیع جریان نسبت به بقیه ارائه کرده است.

در شکل ۱۳، اثر مقادیر مختلف نسبت قطر (D/d) بر انحراف جرم توزیعی از میانگین (ENU%) در منیفولد مخروطی نوع (B) برای

C		2288.8	164.76	✗
D		1801.2	166.12	✗
CCS		169.3	14.81	✓
		291.3	25.06	✓

مطابق شکل ۱۳ (ب)، در حالت جریان معکوس، منیفولد با مقطع ثابت دایروی ($D/d = 1$) (منحنی آبی رنگ)، به دلیل (۱) یکنواخت بودن مقطع منیفولد و (۲) یکسان شدن تقریبی افت فشار مجراها، عملکرد خوبی در یکسان سازی دبی جرمی هوا ورودی نسبت به منیفولد مخروطی با نسبت قطرهای بزرگتر از ۱ ($D/d > 1$) ارائه می‌کند. مطابق شکل ۱۳ (الف) و (ب)، انتخاب و استفاده از منیفولد مخروطی جریان موازی و جریان معکوس با نسبت قطرهای ($D/d = 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2$) وابسته به انتظار کاربر برای استفاده صنعتی قابل توصیه بوده و به سطح کیفی و کاربرد صنعتی آن بستگی دارد. در ادامه به بررسی اثر مقادیر مختلف عدد رینولدز ورودی، در منیفولد مخروطی جریان معکوس با نسبت قطرهای ($D/d = 0.5$) پرداخته می‌شود. علت انتخاب منیفولد مخروطی جریان معکوس ($D/d = 0.5$)، ارائه عملکرد بهتر در توزیع دبی جریان نسبت به سایر منیفولدهای مخروطی می‌باشد.



شکل ۱۳- اثر مقادیر مختلف (D/d) بر انحراف جرم توزیعی از میانگین ($ENU\%$) در منیفولد مخروطی برای حالت (الف) جریان موازی و (ب) جریان معکوس در شبیه سازی حاضر

در شکل ۱۴، اثر مقادیر مختلف عدد رینولدز ورودی بر کمیت بی بعد ($ENU\%$) در منیفولد مخروطی جریان معکوس با نسبت قطر (D/d)

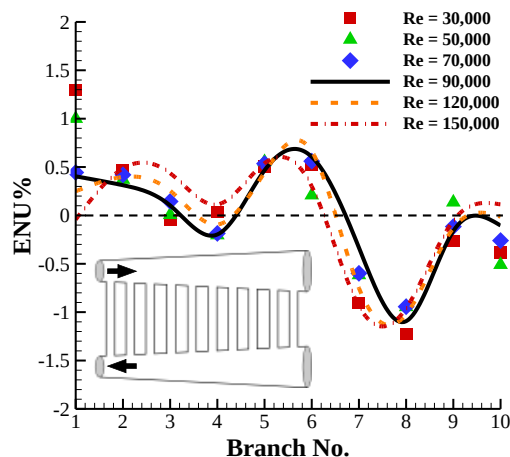
حالت (الف) جریان موازی و (ب) جریان معکوس مورد مطالعه قرار گرفته است. مطابق شکل ۱۳ (الف)، در حالت جریان موازی، به طور کلی افزایش نسبت قطرها ($D/d > 1$) بر یکسان سازی توزیع دبی جرمی جریان تاثیر قابل توجهی ندارد، درحالی که کاهش نسبت قطرها ($D/d < 1$) در یکسان سازی توزیع دبی جرمی جریان نقش اساسی ایفا می‌کند (دایره سیاه رنگ ($D/d = 0.75$) و مثلث سبز رنگ ($D/d = 0.5$)). مطابق شکل ۱۳ (الف)، در منیفولد جریان موازی افزایش (D/d) سبب تغییر چندانی در درصد (ENU) نمی‌شود، البته برای ($D/d < 1$) این منیفولد به طور قابل ملاحظه‌ای اصلاح می‌شود.

مطابق شکل ۱۳ (ب)، در حالت جریان معکوس نیز، با کاهش تدریجی نسبت قطرها (D/d) از ۲/۵ به ۰/۵، انحراف کمیت بی بعد ($ENU\%$) از حالت آرمانی کاهش چشمگیری داشته و در عمل استفاده از منیفولد معکوس با ($D/d < 1$) بسیار مناسب به نظر می‌رسد. مطابق شکل ۱۳ (ب)، در منیفولد مخروطی جریان معکوس با نسبت قطر ($D/d = 0.5$)، مقدار متوسط انحراف کمیت بی بعد ($ENU\%$) نسبت به حالت آرمانی ۰/۰۰۶۷ می‌باشد. مطابق شکل ۱۳ (ب)، در منیفولد جریان معکوس، با افزایش تدریجی مقدار نسبت قطرها (D/d)، شیب تغییرات کمیت بی بعد ($ENU\%$) برای شاخه‌های اولیه (۱ تا ۵) بیشتر می‌شود، درحالی که بعد از شاخه شماره ۵، شیب تغییرات کمیت بی بعد ($ENU\%$) برای شاخه‌های انتهایی، به مقدار صفر میل کرده (خط افقی) و ثابت می‌باشد.

جدول ۲- توان لازم برای انتقال هوا برای هر یک از منیفولدهای مورد مطالعه قرار گرفته در شبیه سازی حاضر با نسبت قطر ($D/d = 2.5$)

<u>(2.5)</u>				
نوع منیفولد		قدر مطلق افت فشار کل (Pa)	توان لازم (W)	ENU%
جریان موازی				
A		4115.0	333.17	
B		290.0	37.82	
C		2431.6	196	
D		1873.4	172.6	
CCS		181.7	17.27	
		297.9	25.62	
جریان معکوس				
A		2468.0	197.55	
B		244.9	20.75	

مورد مطالعه قرار گرفته است. مطابق شکل ۱۴، در منیفولد مخروطی جریان معکوس با نسبت قطرهای ($D/d = 0.5$)، افزایش عدد رینولدز ورودی در یکسان سازی دبی توزیعی جریان تاثیر قابل توجهی ندارد. در نتیجه جوابهای حاصل شده مستقل از عدد رینولدز رفتار می کند.



شکل ۱۴- اثر مقادیر مختلف عدد رینولدز ورودی بر کمیت بی بعد (ENU%) در منیفولد ۱۰ شاخه مخروطی جریان معکوس با نسبت قطر ($D/d=0.5$) در شبیه سازی حاضر

در ادامه به بررسی اثر مقادیر مختلف نسبت قطرهای (D/d) بر توان کمپرسور و افت فشار کل منیفولد در مخروطی جریان موازی و معکوس پرداخته می شود.

در شکل ۱۵، توان لازم کمپرسور برای انتقال هوا و قدر مطلق افت فشار کل در منیفولد مخروطی جریان موازی و جریان معکوس با نسبت قطرهای مختلف (D/d) ارائه شده است. مطابق شکل ۱۵، در منیفولد مخروطی جریان موازی و معکوس، با افزایش تدریجی نسبت قطرهای (D/d)، افت فشار کل و توان مصرفی کمپرسور برای انتقال هوا، افزایش می یابد. لازم به ذکر است که منیفولد مخروطی جریان معکوس با نسبت قطر ($D/d = 0.5$) همواره کمترین توان مصرفی کمپرسور و افت فشار کل را دارد. مطابق شکل ۱۴ و ۱۵، منیفولد مخروطی جریان معکوس با نسبت قطر ($D/d = 0.5$) وابسته به انتظار کاربر برای استفاده صنعتی قابل توصیه بوده و به سطح کیفی و کاربرد صنعتی آن بستگی دارد.

۷- نتیجه گیری

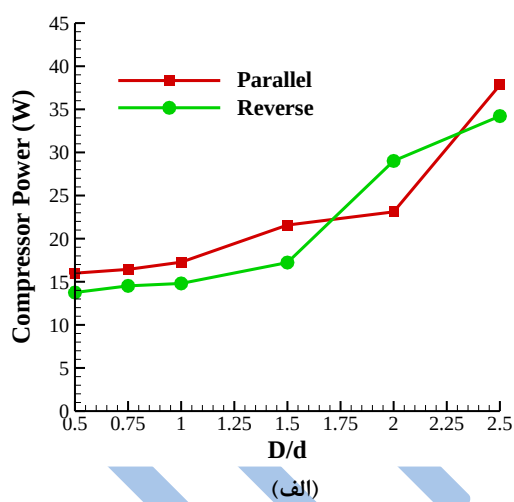
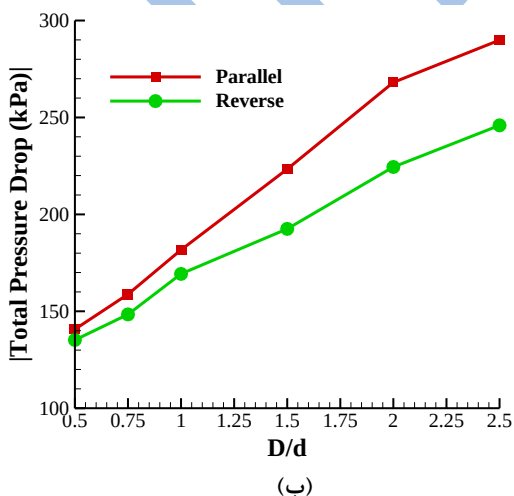
در این پژوهش، با کمک دینامیک سیالات محاسباتی به بررسی و تحلیل عددی (۱) اثر روزنه مرکزی "۱" در منیفولد با مقطع ثابت دایروی و (۲) مخروطی شدن مجرا توزیع کننده و جمع کننده با هدف حذف روزنه مرکزی "۱" و یکسان سازی توزیع دبی جریان ورودی بین شاخه ها و همسان کردن اختلاف فشار مجراها پرداخته شد.

نتایج تحلیل عددی پژوهش حاضر بدین شرح است:

۱. در منیفولد با مقطع ثابت دایروی، روزنه مرکزی، نقش اساسی در یکسان سازی توزیع دبی جرمی ورودی بین شاخه ها ایفا می کند. با حذف روزنه مرکزی در منیفولد با مقطع ثابت دایروی، دبی جرمی توزیعی بین شاخه ها به طور متوسط ۵۴٪،

نسبت به حالت منیفولد با روزنه مرکزی انحراف پیدا می کند. ۲. مخروطی شدن مجرای توزیع کننده و جمع کننده با نسبت قطر ($D/d = 2.5$)، به طور متوسط باعث افزایش ۹۰٪ توان لازم کمپرسور و ۱۰۰٪ فشار کل منیفولد مخروطی نسبت به منیفولد با مقطع ثابت دایروی در هر دو حالت (۱) با روزنه مرکزی و (۲) بدون روزنه مرکزی می شود. منیفولد با مقطع ثابت دایروی با روزنه مرکزی، توان لازم و افت فشار بیشتری نسبت به منیفولد با مقطع ثابت دایروی بدون روزنه مرکزی دارد.

۳. در منیفولد مخروطی جریان معکوس، کاهش مقدار نسبت قطرهای (D/d) بر یکسان سازی توزیع دبی جرمی جریان نقش اساسی ایفا می کند. منیفولد مخروطی جریان معکوس با نسبت قطرهای ($D/d=0.5$)، با متوسط کمیت (ENU%) برابر ۰/۰۰۶۷، بهترین منیفولد مخروطی از منظر توزیع جریان بوده و در این حالت دبی جرمی توزیعی بین شاخه ها مستقل از عدد رینولدز ورودی می باشد.



شکل ۱۵- تغییرات (الف) توان لازم کمپرسور برای انتقال هوا و (ب) قدر مطلق افت فشار کل در منیفولد مخروطی جریان موازی و جریان معکوس با

- [۳] Kubo T, Ueda T. On the characteristics of confluent flow of gas-liquid mixtures in headers. Bull JSME 1973;16:1376–84.
- [۴] Bajura RA, Jones EH. Flow distribution manifolds. J Fluids Eng 1976;98:654–65.
- [۵] Datta AB, Majumdar AK. Flow distribution in parallel and reverse flow manifolds. Int J Heat Fluid Flow 1980;2:253–62.
- [۶] Majumdar AK. Mathematical modelling of flows in dividing and combining flow manifold. Appl Math Model 1980;4:424–32.
- [۷] Datta AB, Majumdar AK. A calculation procedure for two phase flow distribution in manifolds with and without heat transfer. Int J Heat Mass Transf 1983;26:1321–8.
- [۸] Wang CC, Yang KS, Tsai JS, Chen IY. Characteristics of flow distribution in compact parallel flow heat exchangers, part I: Typical inlet header. Appl Therm Eng 2011;31:3226–34.
- [۹] Wang CC, Yang KS, Tsai JS, Chen IY. Characteristics of flow distribution in compact parallel flow heat exchangers, part II: Modified inlet header. Appl Therm Eng 2011;31:3235–42.
- [۱۰] Czetany L, Szantho Z, Lang P. Rectangular supply ducts with varying cross section providing uniform air distribution. Appl Therm Eng 2017;115:141–51.
- [۱۱] Ganguli A. CFD analysis to study single phase steam distribution in a dividing manifold for higher pressures: Effect of distributor to reduce maldistribution. London Journal of Engineering Research 2020;20:23–31.
- [۱۲] Kim B, Kim K, Kim S. Numerical study on novel design for compact parallel-flow heat exchanger with manifolds to improve flow characteristics. Energies 2020;13:6330.
- [۱۳] Minocha N, Joshi JB. 3D CFD simulation of turbulent flow distribution and pressure drop in a dividing manifold system using OpenFOAM. Int J Heat Mass Transf 2020;151:119420.
- [۱۴] Siddiqui OK, Al-Zahrani M, Al-Sarkhi A, Zubair SM. Flow distribution in U- and Z-type manifolds: Experimental and numerical investigation. Arab J Sci Eng 2020;45:6005–20.

نسبت قطرهای مختلف (D/d)

۴. در منیفولد مخروطی جریان موازی و معکوس، با افزایش تدریجی نسبت قطرها (D/d)، متوسط افت فشار کل و توان مصرفی کمپرسور برای انتقال هوا، به ترتیب ۹۵٪ و ۱۶۰٪ افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که منیفولد مخروطی جریان معکوس با نسبت قطر (D/d = 0.5) با توان مصرفی ۱۳ وات و افت فشار کل ۱۳۵ پاسکال، همواره کمترین توان مصرفی کمپرسور و افت فشار کل را دارد.
۵. منیفولد مخروطی جریان معکوس با نسبت قطر (D/d = 0.5)، به دلیل عملکرد مطلوب در یکنواخت‌سازی توزیع دبی جرمی جریان و همچنین با بهره‌مندی از حداقل توان مصرفی کمپرسور و افت فشار کل، به عنوان گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای صنعتی پیشنهاد می‌شود.
۶. برای انتخاب و بهره‌برداری صنعتی از یک منیفولد، باید حالت بهینه (۱) افت فشار کل، (۲) توان لازم سامانه و (۳) انحراف از جرم توزیعی میانگین (ENU%) را در نظر گرفت.

۸- نمادها

ρ	چگالی سیال (kg/m^3)
$\bar{V}_{inflow}$	سرعت متوسط سیال در مقطع ورودی منیفولد (m/s)
$\bar{V}_{outflow}$	سرعت متوسط سیال در مقطع خروجی منیفولد (m/s)
$\bar{P}_1$	فشار استاتیکی متوسط در منیفولد توزیع‌کننده (Pa)
$\bar{P}_2$	فشار استاتیکی متوسط در منیفولد جمع‌کننده (Pa)
$\bar{P}_{max}$	بیشترین مقدار متوسط فشار استاتیکی در منیفولد جمع‌کننده (Pa)
$\bar{P}_{amb}$	متوسط فشار اتمسفر (Pa)
$(\bar{P}_{tot})_i$	متوسط فشار کل در سطح مقطع ورودی منیفولد (Pa)
$(\bar{P}_{tot})_o$	متوسط فشار کل در سطح مقطع خروجی منیفولد (Pa)
A_{in}	سطح مقطع ورودی منیفولد (m^2)
A_{out}	سطح مقطع خروجی منیفولد (m^2)

۹- مراجع

- [۱] Acrivos A, Babcock BD, Pigford RL. Flow distributions in manifolds. Chem Eng Sci 1959;10:112–24.
- [۲] Kubo T, Ueda T. On the characteristics of divided flow and confluent flow in headers. Bull JSME 1969;12:802–9.