مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان 1394، دوره 15، شماره 8، ص‌ص 371-378

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

طراحی معکوس مجرای خم 90درجه بین دیفیوزر شعاعی و دیفیوزر محوری یک کمپرسور گریز از مرکز

محمد شومال[1]، مهدی نیلی احمد آبادی[2*]، ابراهیم شیرانی[3]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
3- استاد، مهندسی مکانیک، موسسه آموزش عالی فولاد، فولادشهر
*اصفهان، صندوق پستی 8415683111، m.nili@cc.iut.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 05 اردیبهشت 1394
پذیرش: 20 خرداد 1394
ارائه در سایت: 16 تیر 1394

کلید واژگان:
طراحی معکوس
خم 90 درجه
کمپرسور گریز از مرکز
الگوریتم گلوله-اسپاین
جریان لزج چرخشی

چکیده

در کار حاضر روش طراحی معکوس گلوله-اسپاین بر روی مجرای خم 90 درجه بین دیفیوزر شعاعی و دیفیوزر محوری یک کمپرسور گریز از مرکز، در شرایطی که جریان ورودی به مجرای خم دارای چرخش می‌باشد، توسعه یافته‌است. فرآیند اصلاح هندسه با ترکیب الگوریتم طراحی معکوس و تحلیل عددی شبه سه‌بعدی به عنوان حلگر جریان انجام شده است. بدین منظور از نرم افزار انسیس سی اف ایکس به عنوان حلگر شبه سه بعدی استفاده و الگوریتم طراحی معکوس توسط برنامه نویسی در این نرم افزار اعمال شده‌است. جهت مشاهده اثر لزجت جریان بر نرخ همگرایی فرایند اصلاح شکل، تحلیل جریان به دو صورت لزج و غیرلزج انجام شده و در هر حالت تحلیل جریان، طراحی معکوس مجرای خم 90 درجه صورت گرفته است. همچنین اثر سرعت چرخشی بر فرآیند اصلاح هندسه با در نظر گرفتن فشار افزایش یافته به عنوان پارامتر هدف بررسی شده است. قابلیت روش گلوله-اسپاین با انتخاب هندسه‌های متفاوت به عنوان حدس اولیه بررسی گردیده‌است. در پایان به منظور کاهش تلفات در مجرای خم 90 درجه، طراحی آیرودینامیکی مجرای خم با روش گلوله-اسپاین انجام شده‌است. اصلاح هندسه با بهبود توزیع فشار دیواره‌های هندسه موجود و اعمال آن به الگوریتم طراحی معکوس صورت پذیرفته‌است. نتایج بدست آمده بیانگر سرعت همگرایی بالا و پایداری مطلوب روش گلوله-اسپاین در طراحی مجاری با وجود جریان چرخشی لزج می‌باشد. بگونه‌ای که ضریب بازیابی فشار مجرای خم 90 درجه 4 درصد افزایش یافته است.

Inverse Design of 90-Degree Bend between Radial and Axial Diffuser of a Centrifugal Compressor

Mohammad Shumal[1], Mahdi Nili Ahmad Abadi[1*], Ebrahim Shirani[2]

1- Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2- Department of Mechanical Engineering, Foulad Institute of Technology, Fouladshahr, Iran
*P.O.B. 8415683111Isfahan, m.nili@cc.iut.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 25 April 2015
Accepted 10 June 2015
Available Online 07 July 2015

Keywords:
Inverse design
90-degree bend
Centrifugal compressor
Ball-Spine algorithm
Swirling viscous flow

ABSTRACT

In this research an inverse design algorithm, called ball-spine algorithm (BSA) is developed on a 90-degree bend duct between the radial and axial diffuser of a centrifugal compressor with viscous swirling inflow to bend duct. The shape modification process integrates inverse design algorithm and a quasi-3D analysis code. For this purpose, Ansys CFX software is used as flow solver and inverse design algorithm is written as a code inside it. Shape modification is accomplished for viscous and inviscid flow to check the effect of viscosity on convergence rate. Also, the effect of swirl velocity in shape modification process is investigated by considering increased pressure as the target parameter. The algorithm reliability for swirling flow is verified by choosing different initial geometries. Finally, aerodynamic design of the bend duct with BSA is accomplished to reduce losses in 90-degree bend. Shape modification process is carried out by improving the current wall pressure distribution and applying it to the inverse design algorithm. Results show that convergence rate and stability of BSA are favorable for designing ducts with swirling viscous flow. So the pressure recovery coefficient of the 90-degree bend duct is increased 4%.

1- مقدمه

فرآیند طراحی معکوس بعنوان یک روش بهینه، از روش‌های مورد توجه طراحی هندسه است. در این روش برای یک توزیع مشخص از پارامترهای جریان، هندسه مطلوب حاصل می‌شود. بطور اساسی دو الگوریتم متفاوت تکراری (غیرکوپل) و غیرتکراری (کوپل یا مستقیم) برای حل مسائل طراحی شکل اجسام وجود دارد. در روش‌های کوپل یا غیرتکراری، شکل جسم به متغیرهای وابسته‌ای در معادله حاکم ارتباط داده شده و در واقع فرم جدیدی از معادلات حاکم ایجاد می‌شود که با حل آن‌ها شکل جسم بطور مستقیم

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
M. Shumal, M. Nili Ahmad Abadi, E. Shirani, Inverse Design of 90-Degree Bend between Radial and Axial Diffuser of a Centrifugal Compressor, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 15, No. 8, pp. 371-378, 2015 (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.37.7]

بدست می‌آید. استانیتز [1]، با تبدیل فضای فیزیکی (y,x) به فضای محاسباتی (φ و ψ) موفق به معکوس کردن معادله لاپلاس برای جریان-های ایده آل دو بعدی شد. اشرفی زاده و همکارانش [2] این روش را برای طراحی مجراهای مستقیم و S شکل بکار برد، و سپس از این ایده در طراحی ایرفویل در جریان خارجی بهره جست.

در الگوریتم‌های تکراری، متغیرهای جریان و پارامترهای هندسی در فرآیند حل از یکدیگر مستقل هستند. در روش‌های طراحی تکراری، دنباله‌ای از مسائل تحلیلی حل می‌شود که در هر مرحله تحلیل، یک اصلاح شکل برای رسیدن به توزیع پارامتر هدف انجام می‌گردد. یکی از روش‌های تکراری، روش‌های تصحیح باقیمانده است. در این نوع روش‌ها، مسئله کلیدی چگونگی ارتباط بین تفاوت‌های محاسبه شده (تفاوت میان مقدار توزیع پارامتر هدف و توزیع محاسبه شده) با تغییرات مورد نیاز در هندسه است. روش های تصحیح باقیمانده تلاش می‌کند که از روش‌های تحلیلی بعنوان یک جعبه سیاه برای حل مسئله طراحی معکوس استفاده کند. برگر و بروک [3] روش انحنای خط جریان را ارائه داد که تغییر در انحنای سطح را به تغییر در سرعت ربط داد. پس از آن، تعداد زیادی از روش ها مبتنی بر این ایده توسعه پیدا کرد. از این روش کمپ‌بل و اسمیت [4] جهت معادلات پتانسیل کامل، بل وسدر [5] برای معادلات اویلر و مالون [6] جهت معادلات ناویر- استوکس استفاده کردند. مزیت اصلی این روش ها اینست که می‌توان از کدهای تحلیل جریان که در رژیم‌های مختلف و هندسه‌های پیچیده توسعه یافته‌اند، براحتی استفاده کرد.

بورگز [7] و زنگنه [8] با فرض جریان پتانسیل و استفاده از توزیع سیرکولاسیون بعنوان پارامتر هدف، پره‌های جریان شعاعی و مختلط را طراحی نمودند. بورگز یک توربین شعاعی سرعت پایین را طراحی نمود و پیشنهاداتی هم جهت انتخاب توزیع سرعت چرخشی متوسط بهینه ارائه کرد. دمولینار و براامبسچه [9] از مدل دیواره نفوذپذیر استفاده کرد و در طراحی معکوس پره‌های توربین و کمپرسور محوری، توزیع فشار را پارامتر طراحی قرار داد. او جریان را بصورت غیرلزج مدل کرد و معادلات سه بعدی اویلر را با شرط دیواره نفوذپذیر حل نمود. ایشان بر روی دیواره سرعت عمودی نفوذ جریان را تعریف کرد که از اختلاف توزیع فشار طراحی در هر مرحله و توزیع فشار هدف بدست می‌آید. پس از تکرارهای متوالی، توزیع فشار به توزیع فشار هدف می‌رسد و به تبع آن شار تراوش نیز صفر خواهد شد و هندسه هدف حاصل می‌شود.

رحمتی [10] پره روتور و استاتور یک کمپرسور محوری را طراحی نمود. او دیواره‌های پره را با فرض غشاء الاستیک مدل کرد و معادلات غشاء الاستیک را برای پره حل نمود. توزیع فشار و ضخامت پره داده‌های ورودی بوده و مشخص می‌باشند و اختلاف فشار دو طرف پره پارامتر هدف است.
نیلی و پورصادق [11] هندسه خم 90 درجه رابط دیفیوزر شعاعی و دیفیوزر محوری را با طراحی معکوس اصلاح کردند که افزایش 10 درصدی راندمان را نتیجه داد. آن‌ها معادلات اویلر را برای جریان حل نمودند.

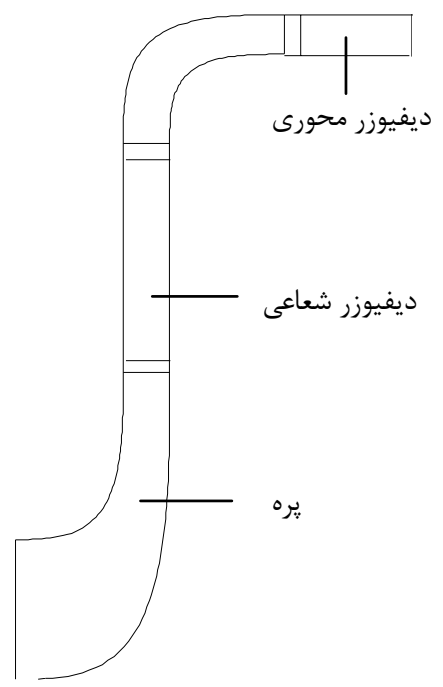
وظیفه اصلی مجرای خم 90 درجه تغییر راستای جریان می‌باشد ولی با توجه به افزایش شعاع و سطح مقطع در مجرای خم 90 درجه، بازیابی فشار نیز در این مجرا صورت می‌پذیرد. براساس نتایج کار نیلی و پورصادق [11]، اصلاح مجرای خم 90 درجه تأثیر بسزایی در بهبود عملکرد کمپرسور گریز از مرکز دارد.

در این پژوهش در ادامه کار نیلی و پورصادق [11]، روش طراحی معکوس گلوله-اسپاین در رژیم جریان لزج چرخشی توسعه می‌یابد و اثرات لزجت، سرعت چرخشی (مولفه مماسی سرعت) و هندسه حدس اولیه در فرایند اصلاح هندسه بررسی می‌گردد و از روش گلوله-اسپاین جهت بهبود عملکرد مجرای خم 90 درجه تقارن محوری در رژیم جریان لزج چرخشی استفاده می‌شود.به طور خلاصه وجه تمایز مهم این کار نسبت به مرجع [11]، توسعه روش گلوله-اسپاین به رژیم جریان لزج چرخشی، اصلاح شرط مرزی در خروجی مجرا و بررسی پارامتر هدف مناسب در فرایند اصلاح شکل می-باشد.

با توجه به اهمیت مجرای خم 90 درجه تقارن محوری، طراحی معکوس این هندسه در شرایطی که جریان ورودی به مجرای خم دارای زاویه 60 درجه نسبت به راستای شعاعی است، به روش گلوله-اسپاین انجام می‌پذیرد. بدین منظور، ابتدا قابلیت روش گلوله-اسپاین در طراحی این هندسه ارزیابی می‌گردد و در این ارزیابی، اثرات لزجت جریان، سرعت چرخشی (مولفه مماسی سرعت) و هندسه حدس اولیه در فرایند طراحی معکوس بررسی می-شود. در پایان توزیع فشار دیواره‌های هندسه خم 90 درجه موجود با هدف حذف واماندگی موضعی و بهبود ضریب بازیابی فشار اصلاح می‌شود و طراحی مجرا با استفاده از توزیع فشار اصلاح شده انجام می‌پذیرد.

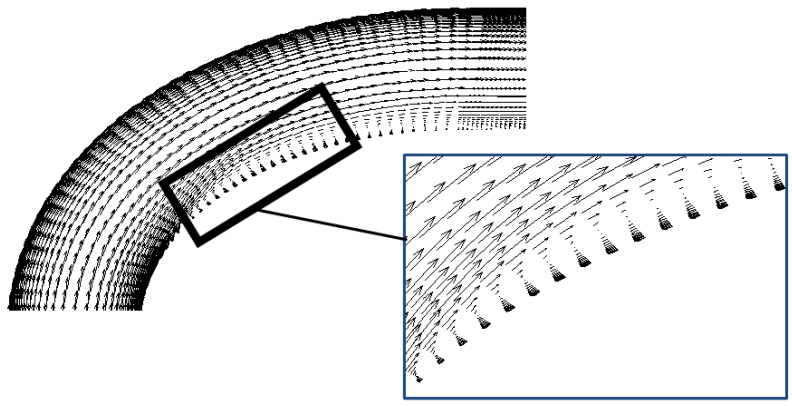
2- تعریف هندسه

خم 90 درجه مورد بحث به عنوان رابط بین دیفیوزر محوری و دیفیوزر شعاعی در خروجی کمپرسور گریز از مرکز عمل می‌کند. شکل 1 نمای نصف النهاری کمپرسور گریز از مرکز و مجموعه دیفیوزرها را نشان می‌دهد. مطابق شکل، ورودی مجرای خم، خروجی دیفیوزر شعاعی و خروجی آن، ورودی دیفیوزر محوری می‌باشد. دیواره‌های بالا و پایین مجرای خم 90 درجه پروفیل بیضی است. استفاده از پروفیل بیضی کنترل سطح مقطع جریان را در طول مسیر نتیجه می‌دهد. نسبت شعاع متوسط خروج به ورود برای مجرای خم 90 درجه مورد مطالعه 1/3، نسبت سطح خروج به ورود 1/18 و نسبت طول محوری به عرض ورودی برابر 3/8 می‌باشد. شعاع و عرض ورودی مجرا در فرآیند اصلاح هندسه ثابت می‌ماند. با افزایش طول محوری مجرای خم 90 درجه، انحنای دیواره پایین شدت می‌یابد. افزایش انحنای دیواره پایین، احتمال وقوع واماندگی جریان بر روی این دیواره را بیشتر می‌کند. ملاک واماندگی جریان، صفر و منفی شدن مولفه محوری تنش برشی است. شکل 2 نمونه‌ای از واماندگی جریان را نشان می‌دهد.



شکل 1 نمای نصف النهاری کمپرسور گریز ازمرکز و ایستگاه‌های آن

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.37.7]



شکل ۲ واماندگی موضعی بر روی دیواره پایینی مجرای خم ۹۰ درجه

۳- مبانی طراحی معکوس به روش گلوله-اسپاین

روش گلوله-اسپاین جزء روش‌های تکراری و اصلاح باقی‌مانده است. در این روش جریان بر روی هندسه حدس اولیه حل می‌شود و توزیع فشار دیواره-های آن بدست می‌آید. سپس اختلاف توزیع فشار هدف و توزیع فشار بدست آمده از مرحله قبل محاسبه می‌شود. اگر این مقدار به حد همگرایی تعیین شده نرسیده باشد، هندسه بر اساس الگوریتم گلوله-اسپاین اصلاح می‌شود و این‌بار توزیع فشار روی هندسه جدید بدست می‌آید. این روند تکرار تا رسیدن به حد همگرایی تعیین شده ادامه می‌یابد. شکل ۳، الگوریتم اصلاح هندسه را نشان می‌دهد. مطابق شکل، توزیع فشار هدف و هندسه اولیه ورودی فرایند اصلاح هندسه می‌باشد.

در الگوریتم طراحی گلوله-اسپاین، دیواره مجهول کانال از تعداد معینی گلوله فرضی با جرم مشخص تشکیل شده است. این گلوله‌ها می‌توانند آزادانه در راستای مشخص اسپاین‌ها جابجا شوند. شکل ۴ جایگزینی دیواره‌ها با گلوله فرضی را نشان می‌دهد. راستای اسپاین متناسب با هندسه مورد مطالعه تعریف می‌شود. برای خم ۹۰درجه، اسپاین‌ها در راستای عمود بر جریان در هر نقطه تعریف می‌شود. نیروی ناشی از اختلاف بین توزیع فشار موجود و مطلوب در هر نقطه از دیواره به گلوله فرضی متناظر در آن نقطه اعمال شده و باعث جابجائی آن می‌شود. در شکل ۵ دیاگرام آزاد گلوله فرضی آمده است. به محض اینکه شکل مطلوب حاصل شود، اختلاف فشار به صفر رسیده و باعث توقف گلوله‌ها می‌شود.در مسائل طراحی معکوس برای یکتا بودن جواب، لازم است طول مشخصه‌ای از کانال ثابت باشد. در کارحاضر در فرآیند اصلاح هندسه، طول محوری خم ثابت می‌ماند.

جابه‌جایی گلوله در هر اصلاح هندسه مطابق رابطه (۱) تعریف می-شود.در رابطه (۱)، (C) ضریب اصلاح هندسه است و نرخ همگرایی فرایند اصلاح شکل را مشخص می‌کند. یافتن مقدار بهینه این ضریب اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا افزایش بیش از حد این ضریب سبب واگرایی فرآیند اصلاح هندسه می‌شود.

$$\Delta S_i = C \times \Delta P_i \qquad (۱)$$

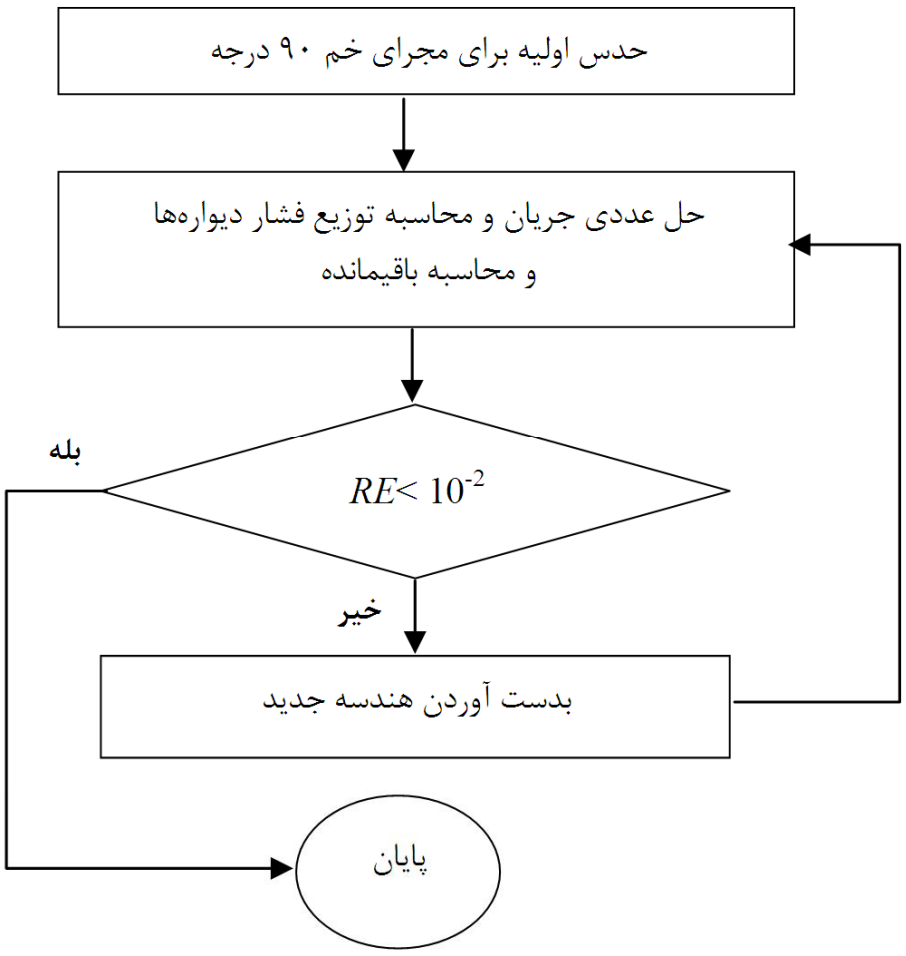
رابطه (۱) با فرض آنکه جابه‌جایی گلوله‌ها فقط در اثر نیروی حاصل از اعمال اختلاف فشار باشد، از روابط (۲) و (۳) بدست آمده است:

$$F = \Delta P.A.\cos\theta = m.a \rightarrow a = \frac{\Delta P \times A \times \cos\theta}{m} \qquad (۲)$$

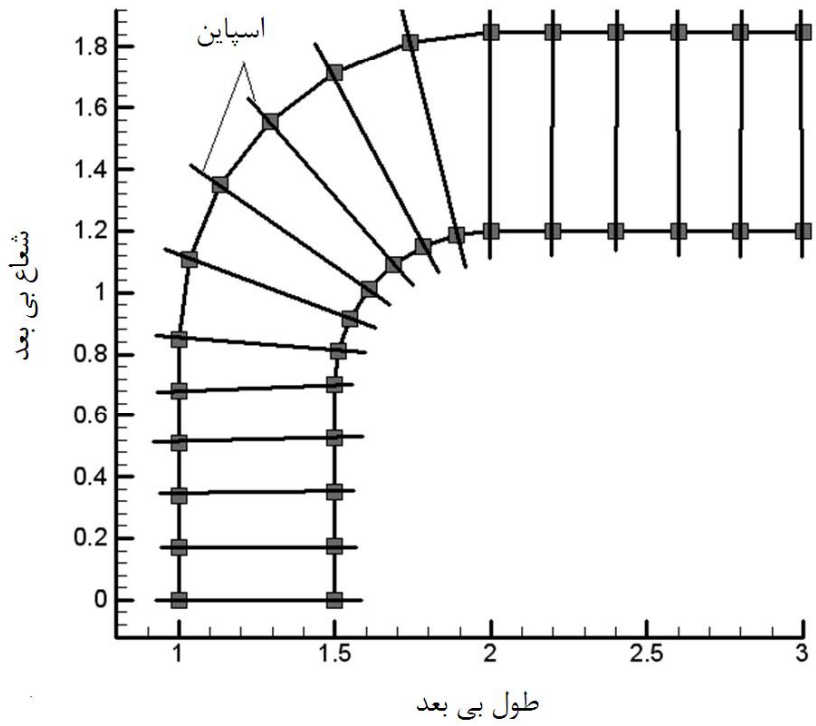
$$\Delta S = \frac{1}{2}\frac{\Delta P \times A \times \cos\theta}{\rho_b \times A}(\Delta t)^2 = \frac{(\Delta t)^2}{2\rho_b}\Delta P.\cos\theta \qquad (۳)$$

در این الگوریتم باقیمانده مطابق رابطه (۴)، برای هر یک از دیواره‌ها تعریف می‌شود. با رسیدن هر دو باقیمانده به کمتر از $۱۰^{-۲}$، فرآیند تصحیح هندسه پایان می‌یابد و هندسه مطلوب حاصل می‌گردد.

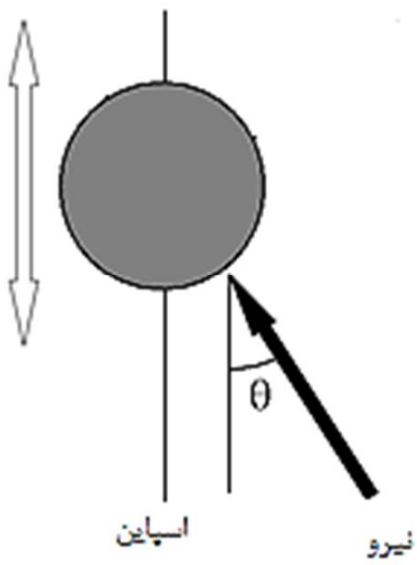
$$RE = \frac{\sum_{i=1}^{N}[P_i - (P_T)_i]}{\sum_{i=1}^{N}[(P_T)_i]} \qquad (۴)$$



شکل ۳ روند کلی طراحی معکوس



شکل۴ جایگزینی دیواره کانال با مجموعه ای از گلوله‌ها



شکل۵ دیاگرام آزاد نیرویی گلوله فرضی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.37.7]

۴-روش عددی

باتوجه به ماهیت هندسه خم ۹۰ درجه و جریان ورودی به آن، مسأله پیش رو متقارن محوری است و برای کاهش زمان حل، می‌توان مسئله را به صورت شبه سه بعدی تحلیل نمود. جهت استفاده از نرم افزار انسیس سی اف ایکس به‌عنوان حلگر شبه سه بعدی می‌بایست یک قطاع نازک (در هندسه فعلی به ضخامت ۰/۱درجه) از هندسه اصلی انتخاب شده و در راستای ضخامت تنها یک المان شبکه‌بندی شود و سپس برای سطوح کناری هندسه از شرط مرزی پریودیک دورانی استفاده گردد. بدین ترتیب مسأله در نرم افزار به صورت متقارن محوری تحلیل می‌شود. قطاع انتخاب شده از مجرای خم ۹۰ درجه در شکل ۶ قابل مشاهده است. این قطاع بعنوان ناحیه حل می‌باشد.

معادلات پیوستگی، مومنتم و انرژی به روش حجم محدود گسسته سازی و حل می‌شوند. اغتشاش جریان بر اساس کار بورگیوسو همکارانش [۱۲]، با مدل آشفتگی انتقال تنش برشی[1]، مدل‌سازی می‌گردد. ملاک همگرایی تحلیل جریان در هر مرحله اصلاح شکل، کاهش حداکثر باقی مانده مومنتوم و انرژی به کمتر از 10^{-6} است.

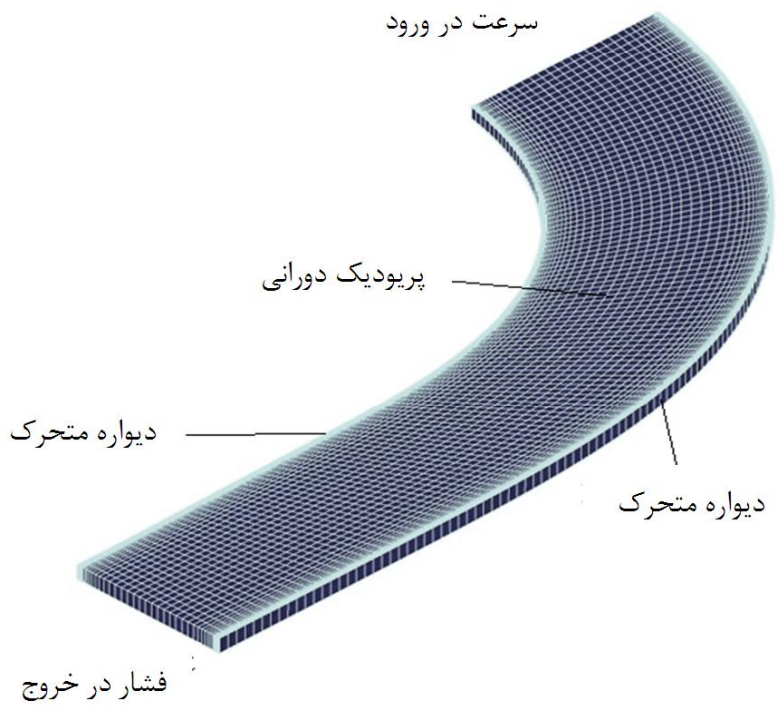
معادله مربوط به جابه‌جایی دیواره (رابطه(۱))، به صورت برنامه در داخل نرم افزار اعمال می‌گردد. بدین وسیله شبکه‌بندی در حین اصلاح هندسه تغییر نمی‌کند و تنها با اعمال رابطه جابه‌جایی به دیواره‌ها، شبکه به صورت یکنواخت جابه‌جا می‌گردد. این کار باعث می‌شود راستای جابه‌جایی گلوله-ها(اسپاین) در طول طراحی ثابت بماند و این مزیت مهم این روش است.

۴-۱- شرایط مرزی

شکل ۷، شرایط مرزی استفاده شده را نشان می‌دهد. برای حل شبه سه بعدی و براساس تقارن محوری موجود، از شرط مرزی پریودیک دورانی برای سطوح کناری استفاده می‌شود. در ورود مقدار سرعت جریان با زاویه ۶۰ درجه و دمای استاتیک معلوم است و در خروج توزیع فشار استاتیک جریان شرط مرزی اعمال شده است. سرعت و دمای ورود و متوسط فشار خروجی برمبنای شرایط عملکردی مجموعه کمپرسور و دیفیوزرها محاسبه گشته است. زاویه جریان در ورودی مجرا، مولفه دورانی سرعت را ایجاد می‌کند. این مولفه سرعت در طول مسیر از ورود تا خروج وجود دارد. زمانی که جریان سیال عبوری از یک مجرا دارای مولفه مماسی باشد، به صورت طبیعی تغییرات فشار با شعاع مجرا مرتبط می‌شود. این ارتباط که از معادله مومنتوم در راستای شعاعی حاصل می‌شود، تعادل شعاعی نام دارد. در خروجی مجرای خم ۹۰ درجه نیز با توجه به وجود مولفه دورانی سرعت،فشار خروجی براساس تعادل شعاعی و مطابق رابطه۵ محاسبه می‌شود. با انتگرال‌گیری از این رابطه و با فشار متوسط معلوم، رابطه (۶) بعنوان شرط مرزی در خروجی مجرا بدست می‌آید.

شکل۶ قطاع نازکی از مجرای خم ۹۰ درجه

1- Shear Stress Transport (SST)



شکل۷ شرایط مرزی مجرای خم ۹۰ درجه

$$\mathrm{d}P = \rho \frac{V_\theta^2}{r}\mathrm{d}r \qquad (۵)$$

$$P = P_{\mathrm{ave}} + \rho V_\theta^2 [\ln\left(\frac{r}{r_{\mathrm{down}}}\right) + 1 - \frac{r_{\mathrm{up}}}{r_{\mathrm{up}} - r_{\mathrm{down}}} \ln\left(\frac{r_{\mathrm{up}}}{r_{\mathrm{down}}}\right)] \qquad (۶)$$

۴-۲- شبکه محاسباتی

شبکه‌بندی تمام ناحیه محاسباتی به صورت با سازمان صورت گرفته است. این شبکه محاسباتی در نزدیکی دو دیواره بالا و پایین جهت مشاهده گرادیان‌های شدید و اثرات لایه مرزی ریزتر شدهاست. استقلال حل عددی از شبکه محاسباتی با مشاهده توزیع مؤلفه محوری تنش برشی دیواره پایینی مجرای خم ۹۰ درجه برای چهار شبکه‌بندی متفاوت بررسی می‌شود. همانگونه که از شکل ۸ مشخص است، توزیع تنش برشی در دو شبکه آخر یکسان است. توزیع وای پلاس[2]نیز در شکل ۹ قابل ملاحظه است. مطابق این نمودار، توزیع وای پلاس در دو شبکه آخر بسیار مطلوب است. لذا باتوجه به مقدار وای پلاس مناسب، شبکه با اندازه ۴۳۷۷۶ المان از لحاظ هزینه محاسباتی مناسب به نظر می‌رسد.

۵-اعمال روش گلوله-اسپاین بر خم ۹۰ درجه

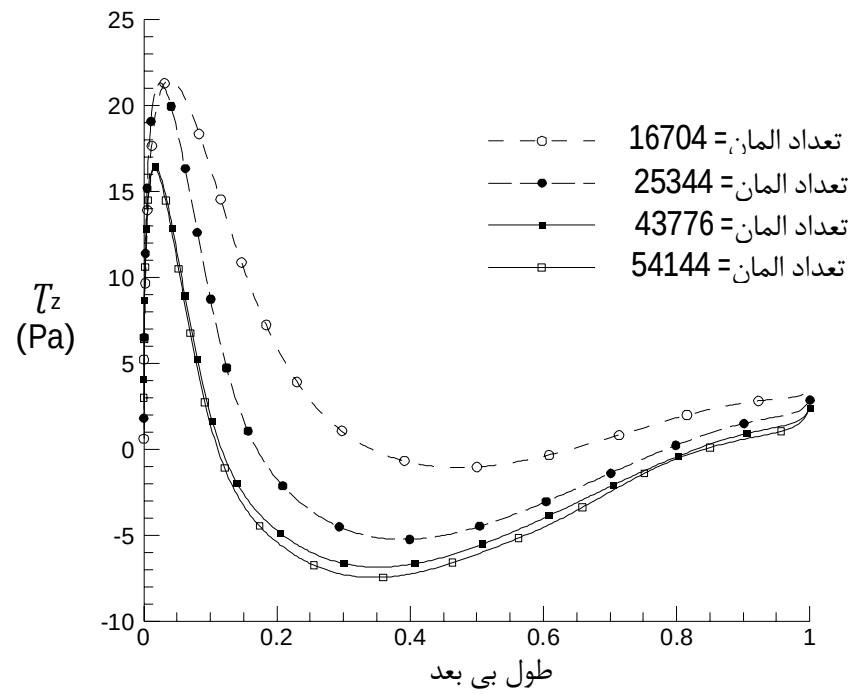
در این بخش روش طراحی معکوس گلوله-اسپاین بر روی خم ۹۰ درجه رابط بین دیفیوزر شعاعی و دیفیوزر محوری کمپرسور گریز از مرکز، اعتبارسنجی گردیده‌است. برای اعتبارسنجی روش طراحی معکوس، ابتدا دیواره‌های مجرای خم در راستای اسپاین‌ها جابه‌جا می‌شود. هندسه ایجاد شده به عنوان هندسه حدس اولیه می‌باشد. سپس با اعمال روش طراحی معکوس و استفاده از توزیع فشار مجرای خم بعنوان پارامتر هدف، می‌بایست هندسه حدس اولیه بر هندسه مجرا که از آن تحت عنوان هندسه هدف نام می‌بریم منطبق گردد.در شکل ۱۰ هندسه حدس اولیه و هندسه هدف نشان داده شده‌است.

۵-۱- بررسی فشار مؤثر بر رشد لایه مرزی

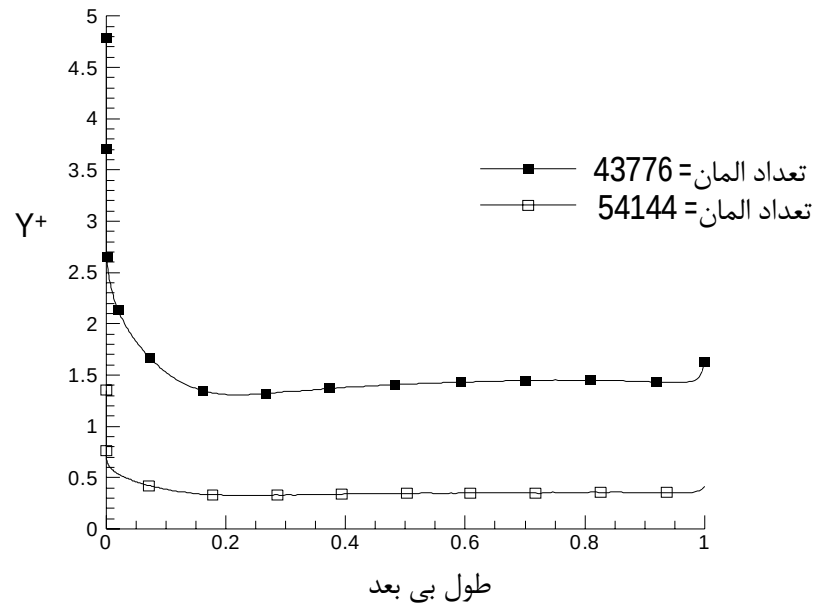
در یک جریان چرخشی متقارن محوری، با توجه به معادله پیوستگی، تنها مؤلفه سرعت عمود بر مقطع جریان به تغییرات سطح مقطع مجرا مربوط می-شود و سرعت چرخشی تأثیری بر تغییرات سطح مقطع نخواهد داشت.

2- Y^+

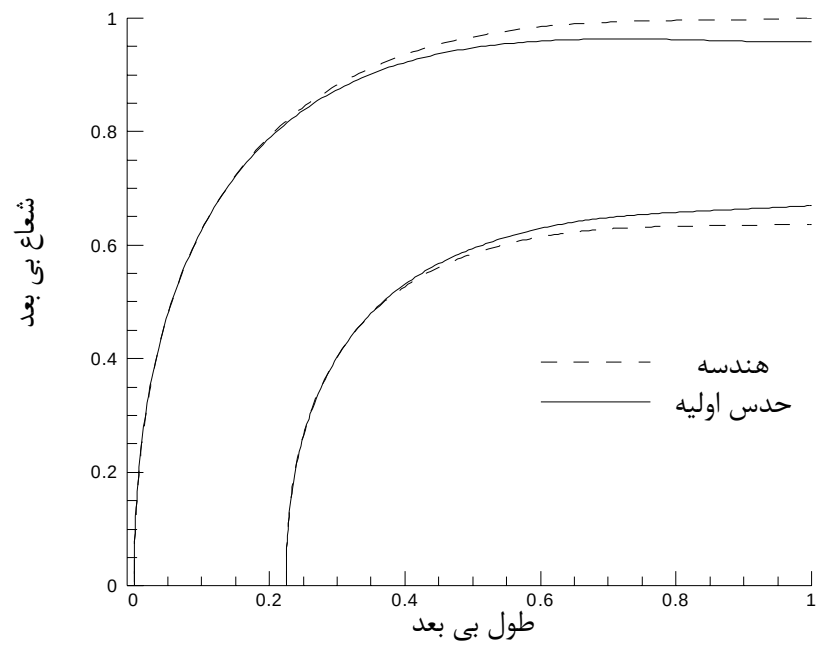
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.37.7]



شکل8 توزیع مولفه محوری تنش برشی دیواره پایینی مجرای خم 90 درجه برای چهار اندازه شبکه مختلف



شکل9 توزیع وای پلاس دیواره پایینی مجرای خم 90 درجه برای دو اندازه شبکه



شکل10 هندسه هدف و حدس اولیه

به عبارت دیگر، با وجود چرخش در جریان، فشار مؤثر بر تغییر ضخامت لایه مرزی و جدایش جریان، فشار افزایش یافته است که در آن اثر سرعت مماسی جریان دیده شده است. رابطه (7) بیان‌کننده فشار افزایش یافته برای هر نقطه از جریان است.

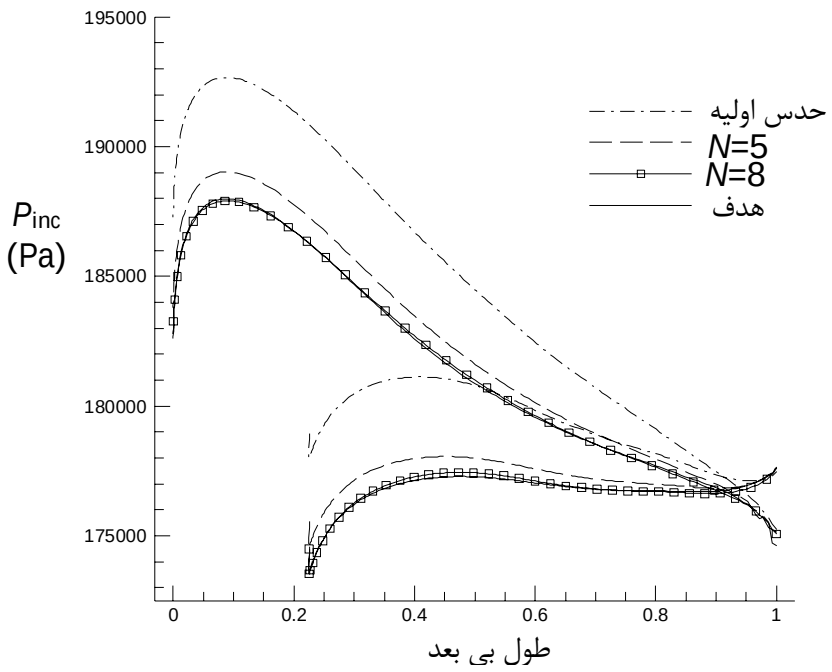
$$P_{\mathrm{inc}} = P + \frac{1}{2}\rho . V_{\theta}^{2} \qquad (7)$$

برای استفاده از فشار افزایش یافته بعنوان پارامتر هدف می‌بایست معادلات اویلر برای جریان حل شوند. به این ترتیب با تحلیل جریان به صورت لزج و غیرلزج، می‌توان اثر لزجت را نیز مقایسه نمود.

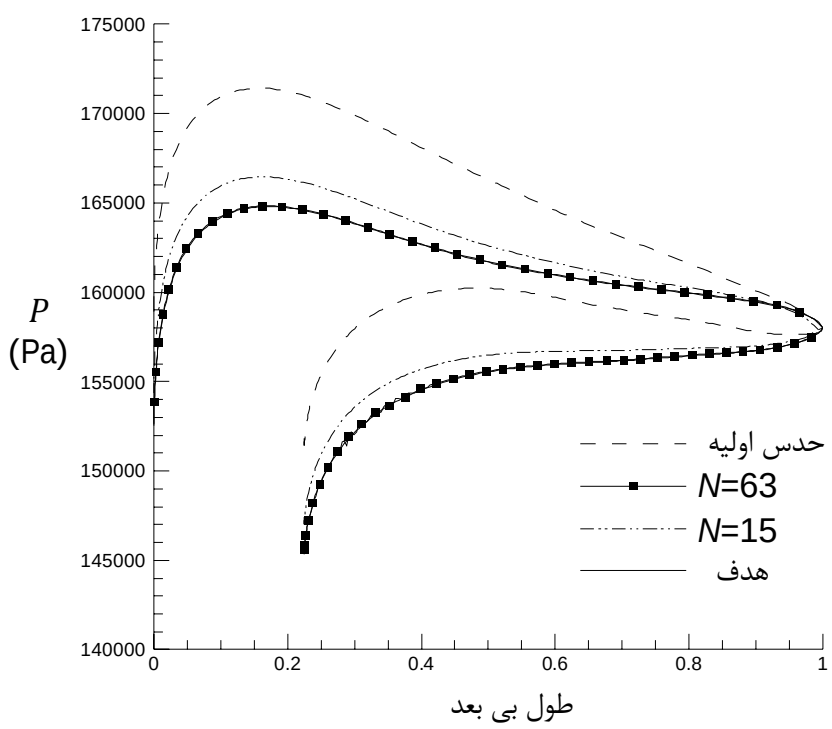
در ابتدا از فشار افزایش یافته بعنوان پارامتر هدف استفاده می‌گردد. شکل 11 روند همگرایی توزیع فشار افزایش یافته را نشان می‌دهد. مطابق شکل پس از تنها هشت اصلاح شکل انطباق کامل صورت گرفته‌است. پس از آن طراحی معکوس با انتخاب توزیع فشار استاتیک بعنوان پارامتر بارگذاری و حل معادلات اویلر برای جریان انجام می‌گیرد. مطابق شکل 12 که روند همگرایی توزیع فشار دیواره‌ها را نشان می‌دهد، پس از 63 اصلاح شکل، فشار تکرار بر فشار هدف منطبق شده‌است. همانگونه که انتظار می‌رود، روند همگرایی فرایند اصلاح هندسه با استفاده از فشار افزایش یافته سریع‌تر می‌باشد.

5-2- بررسی اثر نوع تحلیل جریان

در این مرحله معادلات ناویراستوکس برای مجرای خم 90 درجه حل می‌شود و از توزیع فشار استاتیک بعنوان پارامتر هدف در الگوریتم اصلاح شکل استفاده می‌شود. مطابق شکل 13، توزیع فشار دیواره‌ها پس از 300 تکرار به صورت کامل منطبق شده‌است. همانگونه که انتظار می‌رود، با در نظر گرفتن لزجت،به دلیل پیچیدگی معادلات حاکم و تغییر پروفیل سرعت روند همگرایی سخت‌تر می‌شود. با اعمال ضریب اصلاح هندسه بزرگ‌تر می‌توان سرعت همگرایی را افزایش داد.

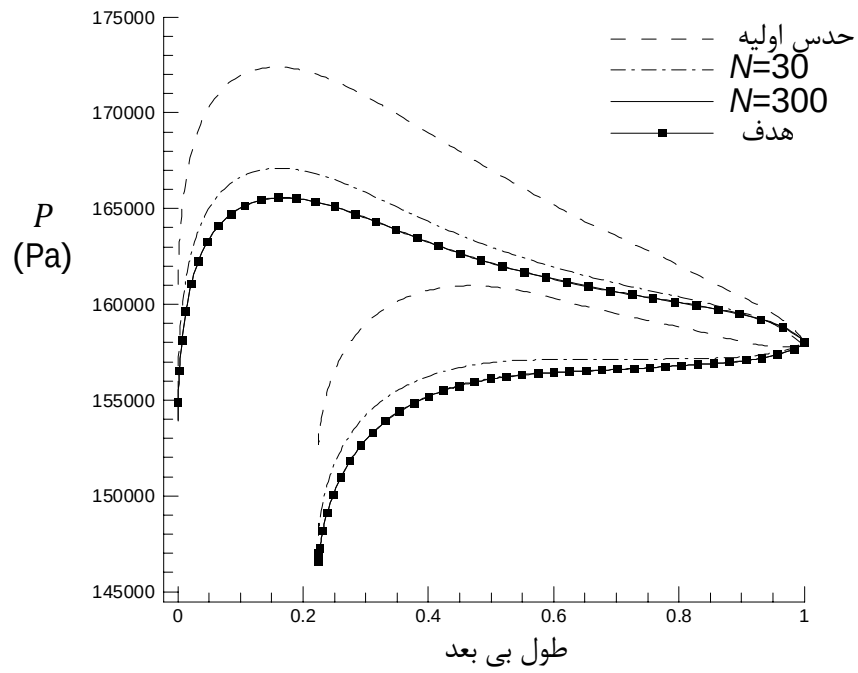


شکل11روند همگرایی توزیع فشار افزایش یافته



شکل12 روند همگرایی توزیع فشار استاتیک در جریان غیر لزج

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.37.7]



شکل13 روند همگرایی توزیع فشار استاتیک در جریان لزج

3-5- بررسی اثر هندسه حدس اولیه

جهت بررسی حساسیت روش طراحی معکوس نسبت به هندسه حدس اولیه، از هندسه‌ای متفاوت بعنوان حدس اولیه استفاده می‌شود. هندسه حدس اولیه مطابق شکل 14 می‌باشد. در این هندسه نیز راستای جابه‌جایی دیواره‌ها منطبق با اسپاین‌ها است و میزان جابه‌جایی اولیه نقاط دیواره در طول مسیر بصورت خطی افزایش می‌یابد، ولی در ابتدای خم یک ناپیوستگی وجود دارد. این ناپیوستگی سبب ایجاد گرادیان شدید در توزیع فشار دیواره‌ها می‌شود. این هندسه با استفاده از توزیع فشار افزایش یافته بعنوان پارامتر هدف، طراحی می‌شود و با وجود این ناپیوستگی، فرایند اصلاح شکل پس از 193 تکرار همگرا می‌شود.

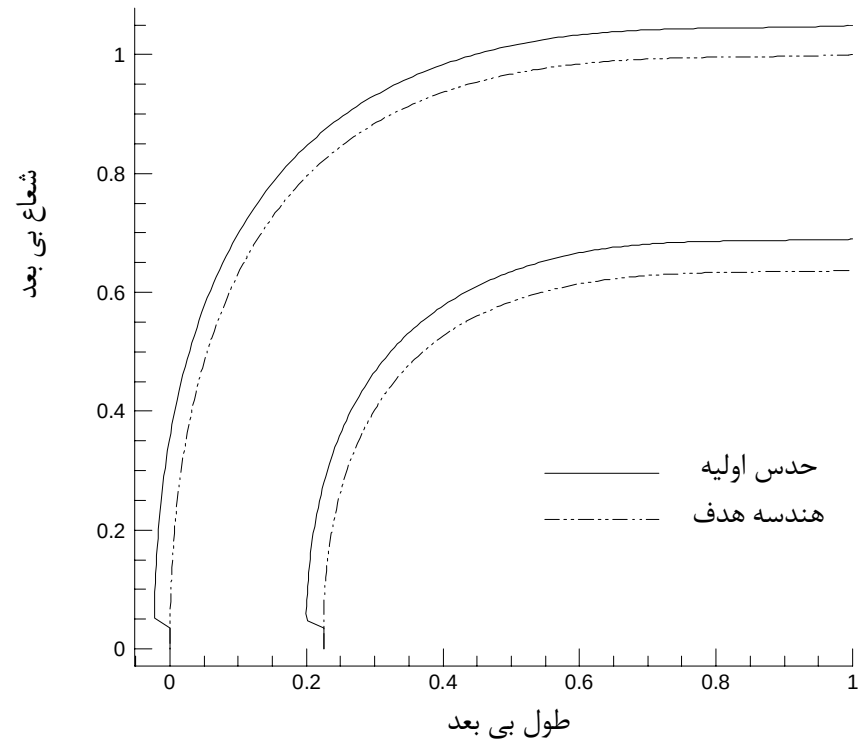
6-اصلاح هندسه خم با طراحی معکوس

پس از اطمینان از عملکرد الگوریتم طراحی معکوس،می‌توان از این روش جهت اصلاح مجرای خم استفاده نمود. هدف از اصلاح مجرای خم 90 درجه کاهش تلفات آیرودینامیکی است. شکل15 جریان درون مجرای خم 90 درجه را نشان می‌دهد. مطابق شکل، جریان درون خم دارای واماندگی موضعی است. در این بخش فرایند اصلاح شکل با استفاده از توزیع فشار استاتیک بعنوان پارامتر هدف انجام می‌پذیرد. دلیل استفاده از توزیع فشار استاتیک به جای توزیع فشار افزایش یافته (علی رغم اینکه نرخ همگرایی روند اصلاح شکل با استفاده از توزیع فشار افزایش یافته بالاتر است) این است که شکل کلی توزیع فشار استاتیک و فشار افزایش یافته یکسان می‌باشد و از طرف دیگر در نظر گرفتن لزجت جریان در فرایند اصلاح واماندگی موضعی در هندسه موجود اهمیت بالایی دارد.

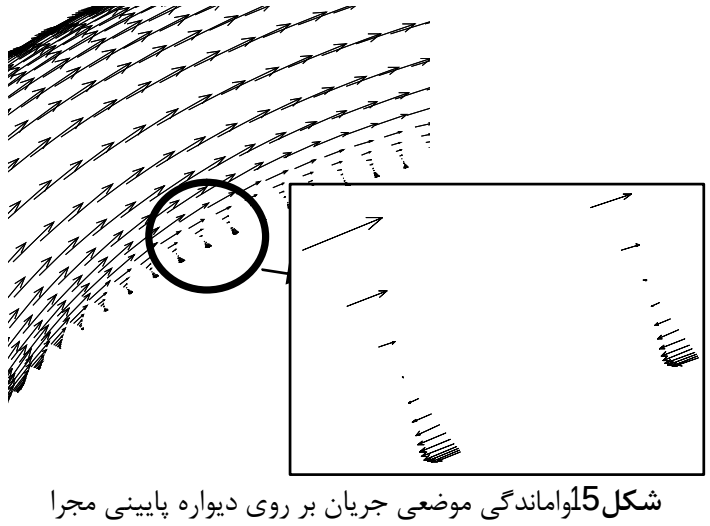
جهت حذف واماندگی موضعی ابتدا توزیع فشار دیواره‌ها بهبود می‌یابد. در اصلاح توزیع فشار دیواره‌ها چند نکته حائز اهمیت است. اولاً در بهبود توزیع فشار، نقاط ابتدایی و انتهایی توزیع فشار بدون تغییر باقی می‌مانند. علاوه بر این، مساحت محصور شده بین توزیع فشار دیواره بالا و پائین در شکل16، با تغییر زاویه مجرا از ورود تا خروج مستقیماً در ارتباط است. لذا در توزیع فشار اصلاح شده تا حد ممکن این مساحت محصور بدون تغییر می‌ماند تا زاویه مجرا همچنان در حدود 90 درجه باقی بماند.

شکل16 توزیع فشار دیواره‌های هندسه موجود به همراه توزیع فشار اصلاح شده را نشان می‌دهد. مطابق شکل، در اصلاح توزیع فشار سعی بر کاهش گرادیان‌های فشار و ارائه هموارترین توزیع فشار ممکن است. هندسه متناظر با توزیع فشاراصلاح شده و هندسه موجود در شکل17 مشاهده می‌شود. الگوریتم اصلاح شکل پس از 117 تکرار همگرا می‌شود.

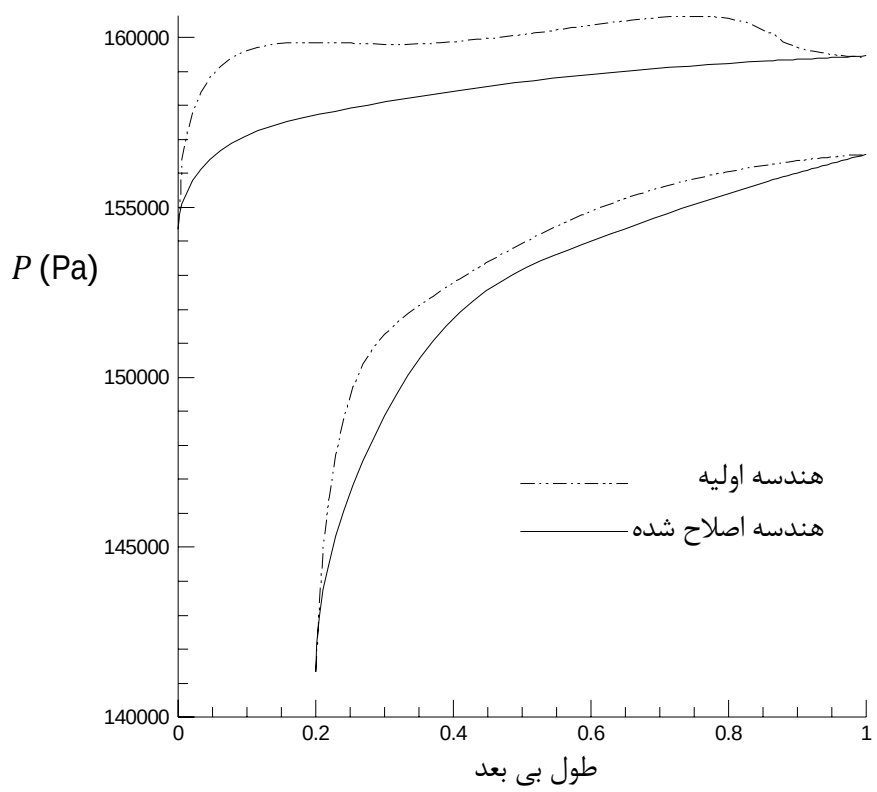
برای ارزیابی طراحی صورت گرفته، هندسه اصلاح شده خم90درجه، بدون هیچ تغییری در محدوده محاسباتی، اندازه شبکه، شرایط مرزی و روش حل، تحلیل عددی می‌شود. مطابق شکل18 ناحیه واماندگی در هندسه اصلاح شده از بین رفته و ضریب بازیابی فشار مجرا 4 درصد افزایش یافته است.



شکل14هندسه حدس اولیه با ناپیوستگی

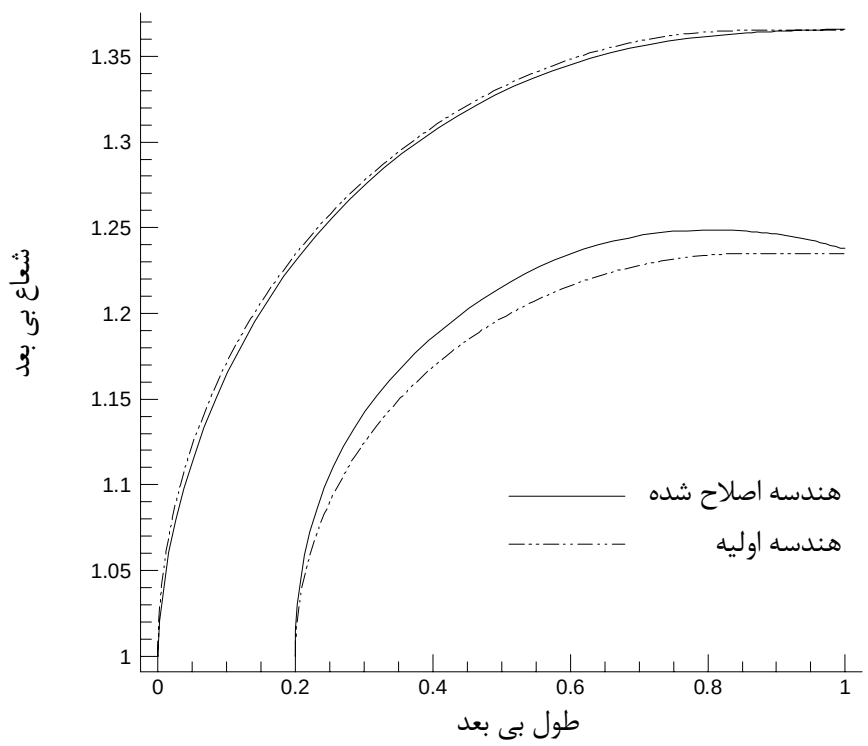


شکل15واماندگی موضعی جریان بر روی دیواره پایینی مجرا

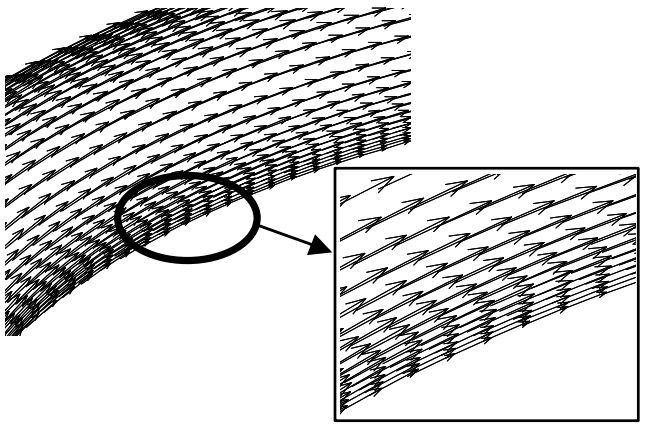


شکل16 توزیع فشار اولیه و اصلاح شده مجرای خم 90 درجه

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.37.7]

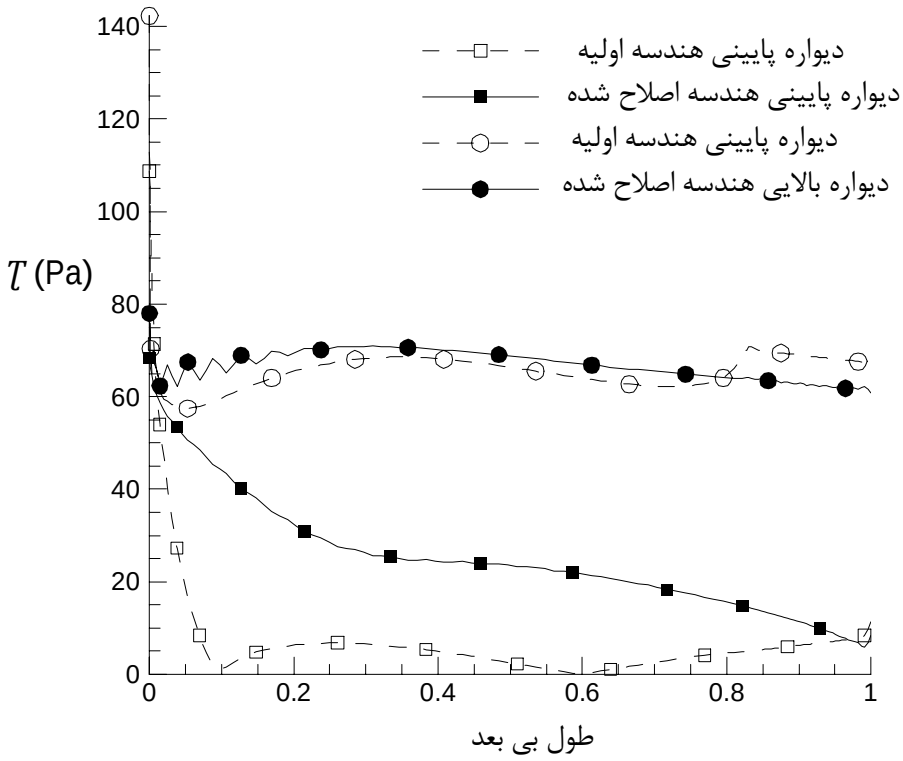


شکل17 هندسه اولیه و اصلاح شده مجرای خم 90 درجه

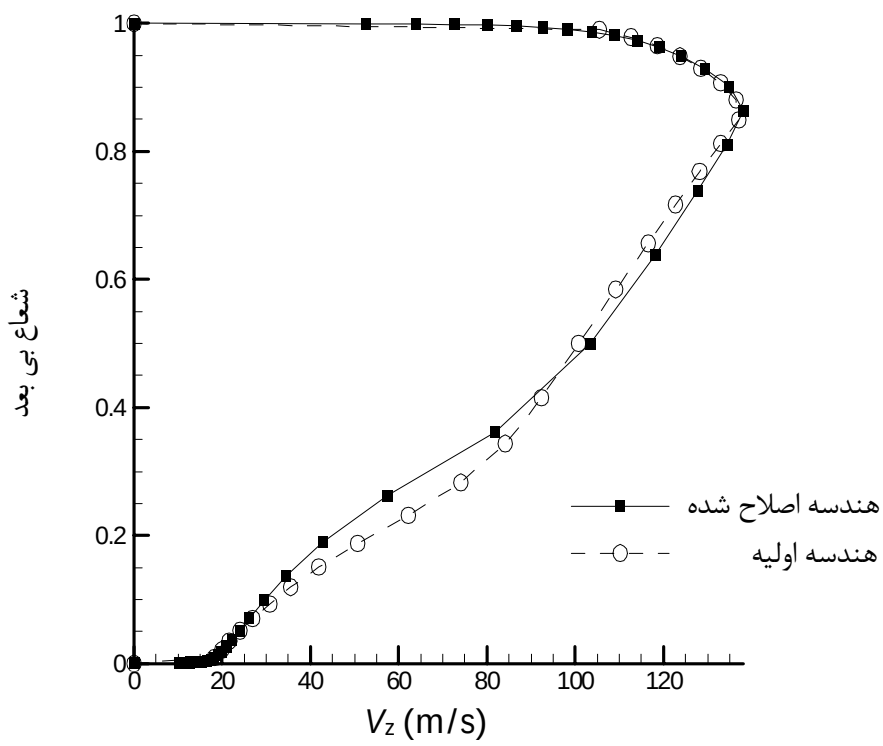


شکل18خطوط جریان هندسه اصلاح شده

جهت مشاهده تغییرات ضخامت لایه مرزی در فرایند طراحی معکوس، توزیع تنش برشی دیواره‌های مجرا مقایسه می‌شود. شکل19 توزیع تنش برشی در صفحه نصف النهاری را نشان می‌دهد. مطابق شکل با اصلاح هندسه مجرای خم، تنش برشی افزایش یافته است. این به معنای کاهش ضخامت لایه مرزی در مجرای اصلاح شده است. شکل20 توزیع سرعت محوری در خروجی خم موجود و اصلاح شده نشان می‌دهد. واضح است که شرایط خروجی تغییر چندانی نکرده و این بدلیل ثابت ماندن دهانه خروجی پس از طراحی است. بدین ترتیب با این روش، امکان اصلاح جریان در طول خم بدون تغییر در شرایط خروجی، فراهم شده‌است.



شکل19 توزیع تنش برشی در صفحه نصف النهاری برای مجرای اولیه و اصلاح شده



شکل20 توزیع سرعت محوری در خروجی مجرای خم اولیه و اصلاح شده

7-نتیجه گیری

در این پژوهش روش طراحی معکوس گلوله-اسپاین بر روی خم 90 درجه بین دیفیوزر شعاعی و دیفیوزر محوری یک کمپرسور گریز از مرکز، در شرایطی که جریان ورودی به مجرای خم 90 درجه دارای چرخش می‌باشد، توسعه یافت. طراحی معکوس با استفاده از نرم افزار انسیس سی اف ایکس انجام پذیرفت و روابط مربوط به اصلاح شکل بصورت برنامه در داخل نرم افزار اعمال گردید. این کار باعث می‌شود راستای جابه‌جایی دیواره‌های مجرا در طول فرایند اصلاح شکل ثابت بماند. این نکته به همراه نرخ همگرایی بالای تحلیل جریان مزیت مهم استفاده از این نرم افزار است. اثر لزجت با انتخاب توزیع فشار استاتیک بعنوان پارامتر هدف و تحلیل جریان به صورت لزج و غیرلزج بررسی گردید. مطابق نتایج، لزجت جریان باعث کند شدن روند همگرایی فرایند اصلاح هندسه می‌شود. با توجه به وجود جریان چرخشی، اثر فشار مؤثر بر رشد لایه مرزی بررسی گردید. این کار با انتخاب توزیع فشار افزایش یافته بعنوان پارامتر هدف و مقایسه روند همگرایی فرایند اصلاح هندسه با زمانی که توزیع فشار استاتیک بعنوان پارامتر هدف انتخاب شده است انجام شد. بدلیل اثر غالب سرعت چرخشی جریان، نرخ همگرایی فرایند اصلاح شکل در حالتی که توزیع فشار افزایش یافته پارامتر هدف است بالاتر می‌باشد. بر این اساس، در شرایطی که جریان دارای چرخش است، اگر بتوان توزیع فشار افزایش یافته را اصلاح نمود، استفاده از توزیع فشار افزایش یافته اصلاح شده بعنوان پارامتر هدف در الگوریتم طراحی معکوس، باعث افزایش قابل ملاحظه سرعت همگرایی فرایند اصلاح شکل می‌شود. در پایان با اصلاح توزیع فشار استاتیک مجرای خم و استفاده از الگوریتم طراحی معکوس، طراحی آیرودینامیکی خم 90 درجه به منظور رفع واماندگی موضعی آن انجام گردید. رفع واماندگی موضعی بدون تغییر در شرایط خروجی جریان اتفاق افتاد و ضریب بازیابی فشار مجرا 4 درصد افزایش یافت و ضخامت لایه مرزی نیز کاهش پیدا کرد. بدین ترتیب با این روش می‌توان بدون نگرانی از تغییرات در جریان خروجی، شرایط میانه مسیر جریان را بهبود بخشید.

8- فهرست علائم

a شتاب گلوله فرضی ($m\ s^{-2}$)

A سطح مقطع گلوله فرضی (m^2)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.37.7]

C	ضریب اصلاح هندسه (m^2s^2kg)
F	نیروی وارد بر گلوله فرضی($kg\ m\ s^{-2}$)
m	جرم گلوله فرضی (kg)
P	فشار ($kgm^{-1}s^{-2}$)
r	شعاع انحنای خم 90 درجه (m)
RE	باقی مانده
S	جابه‌جایی دیواره در هر اصلاح شکل (m)
t	زمان جابه‌جایی گلوله فرضی (s)
V	سرعت ($m\ s^{-1}$)

علائم یونانی

ρ	چگالی (kgm^{-3})
τ	تنش برشی ($kgm^{-1}s^{-2}$)

زیرنویس‌ها

1	ورودی خم
ave	مقدار متوسط
b	گلوله فرضی
d	دیواره پایین
i	شمارنده گلوله فرضی
inc	افزایش یافته
r	مولفه شعاعی
T	هدف
u	دیواره بالا
z	مولفه محوری
θ	مولفه مماسی

9- مراجع

[1] J. D. Stanitz, Design of Two-Dimensional Channels with Prescribed Velocity Distributions along the Duct Walls,*Technical Report 1115,* Lewis Flight PropulsionLaboratory, 1953.
[2] A. Ashrafizadeh, G.D.Raithby, G.D. Stubley, Direct design of ducts, *Journal of Fluids Engineering*,Transaction ASME, 125, pp. 158-165, 2003.
[3] R. L. Barger, C.W. Brook, A streamline curvaturemethod for design of supercritical and subcritical airfoils, *NASA TN D-7770,* 1974.
[4] R. L. Campbell, L. A. Smith, A hybrid algorithmfor transonic airfoil and wing design, *AIAA Paper,* pp. 87-2552, 1987.
[5] R. A. Bell, R. D. Cedar, An inverse method forthe aerodynamic design of three-dimensional aircraft engine nacelles, Dulikravich, pp. 405-17, 1991.
[6] J.B.Malone,J. C. Narramore, L. N. Sankar, An efficient airfoil design method using the Navier-Stokes equations, AGARD, Paper 5, 1989.
[7] J. E.Borges, A three-dimensional inverse method for turbomachinery: Part 1-theory, *Journal of Turbomachinery,* Vol. 112, No. 3, pp. 346-354, 1990.
[8] M.Zangeneh , A compressible three-dimensional design method for radial and mixed flow turbomachinery blades,*International Journal for Numerical Methods in Fluids,* Vol. 13, No. 5, pp. 599-624, 1991
[9] A. Demeulenaere, R. Braembussche, Three-dimensional inverse method for turbine and compressor blades, *Journal of Turbomachinery,* Vol. 120, No. 2, pp. 247-255, 1998.
[10] M. Rahmati, Inverse Approach to Turbomachinery Blade Design,*AIAA JOURNAL,* Vol. 47, No. 3,2009.
[11] M. Nili-Ahmadabadi, , F. Poursadegh, Centrifugal compressor shape modification using a proposed inverse design method, *Journal of Mechanical Science and Technology,* Vol. 27, No.3,pp. 1-8,2013.
[12]J. Bourgeois, R. Martinuzzi, E. Savory, C. Zhang, D. Roberts, Assessment of Turbulence Model Predictions for an Aero-Engine Centrifugal Compressor, *Journal of Turbomachinery,* Vol. 133, No. 1, pp. 11-25, 2010

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.37.7]