

****

**عنوان:**

بهینه سازی عملکرد ایرفویل دوبعدی با تغییر فرکانس پلاسما در جریان مغشوش

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **نویسندگان** | مرتضی نامور |  |
| محمدامین ذوالجناحی |  |
| **تاریخ تنظیم سند** | 7/1/1397 | |
| **شناسه سند** | **MC2F008F1** | |

**فهرست مطالب**

[فصل 1- راهنمای کاربری 1](#_Toc512699215)

[1-1- فایل ورودی 1](#_Toc512699216)

[1-2- اجرای برنامه 2](#_Toc512699217)

[1-3- فایل های خروجی 2](#_Toc512699218)

[1-4- توانایی ها و محدودیت ها 2](#_Toc512699219)

[فصل 2- اعتبارسنجی نتایج 3](#_Toc512699220)

[2-1- مقدمه 3](#_Toc512699221)

[2-1-1- بهینه سازی ایرفویل با تغییر فرکانس پلاسما 3](#_Toc512699222)

[فصل 3- پیاده‌سازی و زیربرنامه‌های مورد استفاده 9](#_Toc512699223)

[3-1- برنامه اصلی Airfoil\_Optimization 9](#_Toc512699224)

**چکیده:**

در این پژوهش از روش الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات به عنوان الگوریتم بهینه سازی استفاده شده است که یکی از کاراترین روش ها و مناسبترین آنها برای بهینه سازی ایرفویل است. به علاوه از یک حلگر که به روش دینامیک سیالات محاسباتی با در نظر گرفتن جریان آشفته کار می کند برای محاسبه تابع هدف که همان ضرایب آیرودینامیکی ایرفویل هستند استفاده شده است. در این جا بنا داریم تا با ثابت ماندن شکل ایرفویل و موقعیت پلاسما و با تغییر فرکانس آن بتوان بهینه سازی را انجام داد. بنابراین در اینجا مقدار بهینه فرکانس عملگر پلاسما که بهترین نتیجه ممکن را برای ضریب برا و پسا خواهد داشت مد نظر قرار می دهیم.

**کلمات کلیدی:** الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، حلگر دینامیک سیالات محاسباتی، ضرایب آیرودینامیکی.

# راهنمای کاربری

در این پژوهش قصد داریم به کمک الگوریتم pso و تغییر فرکانس عملگر پلاسما بتوانیم تغیییرات ضرایب برا و پسا را در یک جریان آشفته پایش کنیم و بهینه ترین مقدار برای فرکانس پلاسما را باحفظ موقعیت آن و عدم تغییر شکل هوابر بدست آوریم.

## فایل ورودی

ورودی این برنامه یک فایل حاوی اطلاعات شبکه محاسباتی حول ایرفویل مورد نظر به نامMesh.Gid می باشد که ساختار آن در مستندات زیربرنامه Read\_2DMesh بطور کامل گفته شده است و باید برای اجرای برنامه تهیه شده و در پوشه حاوی برنامه اصلی قرار داده شود. . از آنجا که در کد حلگر CFD و در روند بهینه سازی و تغییر شبکه بندی تمام اطلاعات بر پایه اضلاع و شماره نقاط هستند و در نتیجه لازم است که پارامترسازی نیز بر همین اساس انجام پذیرد؛ بنابراین در این برنامه ابتدا اضلاع و نقاط مرزی شبکه که بر روی ایرفویل قرار گرفته اند مشخص شده و تعداد و مختصات و شماره نقاط تشکیل دهنده بخش بالایی و پایینی ایرفویل مورد نظر به صورت جداگانه تعیین شده و سپس تابع شکل متناظر با هندسه ایرفویل ساخته می شود. پس از اینکه تابع شکل به دست آمد نیاز است که به صورت یک تابع ریاضی که در واقع یک چند جمله ای بِرن اشتاین خواهد بود پارامتری سازی شود بنابراین مرتبه چند جمله ای نیز به عنوان ورودی برنامه باید مدنظر قرار گیرد. یک فایل به نام CST\_Parameters.txt که شامل شماره ناحیه مربوط به ناحیه های بالایی و پایینی ایرفویل در فایل Mesh.Gid(توجه شود که در هنگام تولید شبکه باید سطح بالایی و پایینی ایرفویل هر کدام یک بخش جداگانه باشد وگرنه برنامه دچار خطا می شود) و همچنین مرتبه دلخواه چندجمله ای برای پارامتری سازی است که این فایل نیز پس از مشخص نمودن مرتبه مورد نظر باید برای اجرای برنامه در پوشه حاوی برنامه اصلی قرار داده شود. علاوه بر فایل­های ذکر شده یک فایل به نام Setting.txt که حاوی اطلاعات جریان از جمله عدد ماخ، زاویه حمله و اطلاعات مربوط به همگرایی و متغیرهای دیگر مربوط به کد حلگر یا سابروتین Solver می­باشد نیز باید در پوشه حاوی برنامه اصلی قرار داده شود.

## اجرای برنامه

این برنامه با استفاده از زبان برنامه نویسی فرترن تدوین و از کامپایلر Compaq Visual Fortran 90 استفاده شده است.

## فایل های خروجی

پس از اجرای این برنامه فایل هایی به نام­ های Contours.Plt ، Cp.plt به عنوان خروجی های برنامه که حاوی اطلاعات آیرودینامیکی جریان حول ایرفویل بهینه به دست آمده و نمودار ضریب توان آن می باشند تولید می شوند. همچنین تمامی ضرایب شکل مربوط به تمامی ذرات در روش PSO و ضریب اینرسی ، در تمام تکرار ها به علاوه هندسه بهترین نقطه به دست آمده ذخیره در یک فایل خروجی به نام Check.dat ذخیره می گردد. به علاوه اینکه مقدار تابع هدف برای تمامی ذرات ایجاد شده در و در هر تکرار نیز برای نمایش روند همگرایی الگوریتم بهینه سازی در فایلی به نام Converge Check.dat ذخیره می شود.

## توانایی ها و محدودیت ها

در این کد پایداری عددی نیز بسیار بسیار بالاست. به علاوه این برنامه طوری نوشته شده است که تنها با تغییر تابع هدف و تعداد متغیرها، برای هر تابع هدف و هر تعداد متغیری، بدون اعمال هیچگونه تغییری در کلیت برنامه بهینه سازی به بهترین نحو انجام شود. البته واضح است که قیدهای در نظر گرفته شده و همچنین ضرایب مربوطه در روش ازدحام ذرات باید با توجه به مسأله تغییر یابند. اما در این پروژه با ثابت ماندن شکل ایرفویل و صرفا با تغییر پارامتر های پلاسما استفاده می شود.

# اعتبارسنجی نتایج

## مقدمه

با توجه به ماهیت پلاسما در این قسمت به بررسی جریان آشفته اطراف ایرفویل S809 با استفاده از بهینه سازی پلاسما(DBD) پرداخته می­شود بدین صورت که فرکانس پلاسما به عنوان متغیر کنترلی قرار می­گیرد.

لازم به ذکر است که در تمامی مراحل بهینه سازی از شبکه مخصوص تحلیل جریان آشفته استفاده شده و مدل توربولانسی به کار رفته در تحلیل مدل K-W SST بوده و گسسته سازی ترم جابجایی معادله نویر استوکس نیز با روش AUSM+UP به عنوان روش منتخب و سریع مرتبه اول انجام می­پذیرد. عدد کورانت (CFLx) برای تمامی آزمایشات برابر 9/0 بوده و میزان خطای همگرایی باقیمانده ها (Ermax) 4- تعیین شده است.

### بهینه سازی ایرفویل با تغییر فرکانس پلاسما

در این بخش به بهینه سازی ترکیبی ایرفویل S809پرداخته شده است. در این آزمایش ماخ ورودی 0852/0 در نظر گرفته شده است. همچنین بهینه سازی برای زاویه حمله 22/9 درجه انجام شده است .طول کورد ایرفویل که بین 0 تا 1 است و بازه تغییرات پارامتر فرکانس در ‏جدول (1) آمده است. در رابطه با شرایط اعمال شده در الگوریتم بهینه سازی نیز باید گفت که مقدار سرعت اولیه 001/0و سرعت ماکزیمم 025/0 در نظر گرفته شده است و همچنین ضریب اینرسی نیز به گونه ای درنظر گرفته شده است که با توجه به دقت نزدیک شدن به مقدار بهینه از مقدار 75/0 تا 1/0 تغییر می کند. مقادیر ضرایب آیرودینامیکی ایرفویل اولیه و بهینه شده با در نظر گرفتن Cd/Cl به عنوان تابع هدف در‏جدول (2) آمده است. همچنین ‏شکل (1) هندسه ایرفویل بهینه شده به دست آمده را در مقایسه با هندسه اولیه S809 نشان می دهد. ‏شکل (2) نیز نمودار ضریب فشار دو ایرفویل را در مقایسه با یکدیگر نمایش می دهد.

1. : شرایط اولیه و قیود بهینه سازی برای S809 در نوع دوم الگوریتم بهینه سازی

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Vmaxshape** | **Swarm size** | **ObtIter** | **ObtConvergeError** | | **Frequency Domain** | **Reinolds** | | **Mach** | **AOA** |
| 0.025 | 5 | 300 | 0.01 | 2000 < P <5000 | | | 2.0 e+6 | 0.0852 | 9.22º |

1. مقادیر ضرایب آیرودینامیکی مربوط به ایرفویل اولیه S809 و ایرفویل بهینه شده با در نظر گرفتن Cd/Cl به عنوان تابع هدف در نوع دوم بهینه سازی

**Minimizing Cd/Cl:**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **% difference** | **optimized** | **original** | **Coefficient** |
| +72.94 | 1.8159 | 1.0565 | Cl |
| -12.06 | 0.077568 | 0.08876 | Cd |
| -49.89 | 0.04246 | 0.08485 | Cd/Cl |
| +99.59 | 23.75986 | 11.9196 | Cl/Cd |
| -16.5 | 2350.0 | 3000.0 | Frequency |



1. هندسه ایرفویل اولیه S809 و موقعیت پلاسما با در نظر گرفتن Cd/Cl



1. مقایسه نمودار ضریب فشار ایرفویل اولیه S809 و ایرفویل بهینه شده با در نظر گرفتن Cd/Cl به عنوان تابع هدف با حضور پلاسما

در ادامه خصوصیات جریان از جمله سرعت و مؤلفه های افقی و عمودی آن، فشار و چگالی نیز حول ایرفویل­های اولیه و بهینه شده با شرایط ذکر شده در بالا در شکل ذیر نمایش داده شده اند.

|  |  |
| --- | --- |
| Optimized | Original (S809) |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
| 1. مقایسه کانتورهای سرعت(ماخ)، فشار، چگالی، سرعت افقی و سرعت عمودی جریان حول ایرفویل اولیه S809 و ایرفویل بهینه شده با در نظر گرفتن Cd/Cl به عنوان تابع هدف با در نظر گرفتن پلاسما و تغییر شکل ایرفویل | |

‏شکل (4) نمودار تعداد تکرار های الگوریتم بهینه سازی را بر حسب تابع هدف نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود با توجه به میزان تعیین شده برای همگرایی برابر 0.01 الگوریتم به کار خود پایان داده است. به ترتیب شکل هندسی ایرفویل جدید و نمودار ضریب فشار آن را در مقایسه با ایرفویل اولیه نشان می دهند. ‏شکل (5) بیانگر تغییرات و همگرایی Swarm ها بعد از یک تعداد تکرار مشخص هستند که همگی به یک مقدار CD/CL رسیده اند. ‏شکل (6) و ‏شکل (7) نمودارهای بهترین تابع هدف و ضریب لیف و ضریب درگ را به ترتیب بر حسب زاویه حمله قبل و بعد از بهینه سازی با هم مقایسه می کند. همانطور که مشخص است تابع هدف به میزان خوبی با وجود پلاسما در زوایای حمله پایین و بالا کاهش پیدا کرده است و ضرایب لیفت و درگ در زوایای مختلف بهبود یافته اند.



1. نمودار بهترین تابع هدف هر تکرار بر حسب تعداد تکرار ها در الگوریتم بهینه سازی برایS809



1. نمودار همگرایی swarm ها نسبت به تکرار های بهینه سازی در S809

|  |
| --- |
|  |
| 1. نمودار تغییرات تابع هدفCD/CL برحسب زاویه حمله در آزمایش مادون صوت S809 |



1. نمودار های تغییرات CL و CD بر حسب زاویه حمله در آزمایش مادون صوت S809

# پیاده‌سازی و زیربرنامه‌های مورد استفاده

در ادامه زیربرنامه های بکار رفته برای پیاده سازی توضیح داده می شود.

## برنامه اصلی Airfoil\_Optimization

در برنامه اصلی پس از تعریف پارامترها و آرایه­های لازم، قسمت های مختلف برنامه اجرا می­شود. در ادامه چگونگی پیاده شدن برنامه آورده شده است.:

1. خواندن فایل ورودی

با فراخوانی زیربرنامه Read\_2DMesh تمام اطلاعات مربوط به شبکه حول ایرفویل اولیه از کاربر گرفته می­شود. این کار برای این لازم است که در حل CFD و در روند بهینه سازی و تغییر شبکه بندی تمام اطلاعات بر پایه اضلاع و شماره نقاط هستند و در نتیجه لازم است که پارامترسازی نیز بر همین اساس انجام پذیرد.

1. خواندن مشخصات جریان آزاد و اطلاعات مورد نیاز برای حل معادلات جریان

در این بخش با فراخوانی زیربرنامه Read\_Setting تمام اطلاعات مربوط به جریان آزاد و اطلاعات مورد نیاز برای حل معادلات از طریق یک فایل به نام Setting.Txt از کاربر گرفته می شود.

1. مرتب سازی و طبقه بندی اطلاعات شرایط مرزی شبکه بندی حول ایرفویل اولیه

در این بخش با فراخوانی زیربرنامه MeshBC ابتدا تمام اضلاع مرزی به ابتدای آرایه مربوط به ذخیره اطلاعات اضلاع منتقل می شود. برای اینکار تمام اضلاعی که دارای یک نوع شرایط مرزی می باشد در کنار هم قرار داده می شوند. ترتیب قرار گیری آنها در آرایه مربوط به ذخیره اطلاعات اضلاع نیز بر اساس شاخص در نظر گرفته شده برای شرایط مرزی می باشد. در انتها شماره اولین و آخرین ضلع موجود بر روی هر کدام از انواع مرزها تعیین می گردد.

1. محاسبه و ذخیره اطلاعات مربوط به سلول های شبکه و اضلاع آنها

در این بخش با فراخوانی زیربرنامه GeoCal2D مساحت و مختصات مرکز هر کدام از سلول های شبکه و همچنین بردار های عمود و طول اضلاع تشکیل دهنده شبکه، محاسبه شده و در آرایه های مربوطه ذخیره می گردد.

1. تعیین مقدار اولیه برای شروع حل جریان حول ایرفویل

در این بخش با فراخوانی زیربرنامه InitMeanFlow مشخصات جریان حول ایرفویل مقدار دهی اولیه می شوند.

1. محاسبه فشارو دما و لزجت مولکولی

مقدار فشار طبق رابطه زیر برای هر کدام از سلول ها محاسبه می گردد.

1. 

مقدار دما با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد.

1. 

مقدار لزجت مولکولی هر کدام از سلول های محاسباتی با استفاده از رابطه زیر محاسبه و در آرایه مربوطه ذخیره می گردد. همانگونه که قبلا اشاره شد، لزجت مولکولی با استفاده از رابطه شبه تجربی ساترلند محاسبه می شود. از آنجا که باید از مقادیر بی بعد شده استفاده گردد بنابرای این رابطه پس از بی بعد سازی بصورت زیر در می آید:

1. 

دمای استاتیک نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است:

1. 
2. مقداردهی اولیه به متغیرهای توربولانسی

در این قسمت برنامه برخی از ثوابت و متغیرهایی که در مدل مورد نظر استفاده می شود و دارای مقادیر مشخصی هستند معین میشوند.

1. محاسبه فاصله از دیواره

در این زیر برنامه کمترین فاصله تا دیواره توسط الگوریتم ارائه شده محاسبه می شود.

1. تشخیص تعداد و شماره اضلاع تشکیل دهنده هر سلول

در اینجا تعداد و شماره اضلاع تشکیل دهنده هر سلول پیدا می شود تا در مراحل بعدی از این اطلاعات استفاده گردد.

1. پیدا کردن شماره نقاط تشکیل دهنده هر سلول

پس از تشخیص تعداد و شماره اضلاع تشکیل دهنده یک سلول نقاط تشکیل دهنده هر سلول پیدا می شود در در هنگام چاپ اطلاعات در فایل های tecplot از آنها استفاده گردد.

1. دریافت مشخصات عملگر پلاسما

در این بخش متغیر ها و پارامتر های مربوط به پلاسما شامل ولتاژ ، فرکانس، فاصله دی الکتریک ها و ... مقداردهی اولیه می شوند.

1. اختصاص حافظه به متغیر های بهینه سازی و ایجاد فایل های کنترل روند بهینه سازی

در این قسمت فضای مورد نیاز متغیرها و پارامترهایی که در ادامه به آن ها نیاز داریم معین میگردد.

1. مقدار دهی اولیه پارامترهای الگوریتم بهینه سازی

در این بخش با فراخوانی زیربرنامه PSO\_Initial\_Plasma پارامترها و متغیرهای الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات ، که در این برنامه به عنوان الگوریتم بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفته است، مقدار دهی اولیه می گردند تا برنامه اصلی آماده اجرای الگوریتم بهینه سازی شود . در این بخش با توجه به مقادیر اولیه چند ذره جدید ساخته شده و مقادیر بیشینه و کمینه مربوط به هر ذره، مکان اولیه و تصادفی هر ذره، سرعت اولیه هر ذره و مقادیر اولیه بهینه محلی در این زیربرنامه مشخص می شوند.

1. تعیین مقدار اولیه بهینه کلی و بهینه های محلی

در این بخش قبل از شروع حلقه بهینه سازی و به دلیل اینکه مقدار بهینه کلی و بهینه های محلی در اولین تکرار همان مقدار محاسبه شده قرار داده شوند برای این مقادیر در حالت مینیمم کردن یک عدد خیلی بزرگ در نظر گرفته شده که مقدار محاسبه شده تابع هدف در اولین تکرار در مقایسه با آن کوچکتر باشد و برعکس برای حالت ماکزیمم کردن یک عدد خیلی کوچک در نظر گرفته می شود.

1. شروع حلقه بهینه سازی به روش الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات

پس از پارمتری سازی هندسه اولیه و مشخص کردن و مقداردهی اولیه پارامترهای جریان و شبکه بندی در این بخش وارد حلقه بهینه سازی می شویم. شرط خروج از حلقه تکرار به این صورت در نظر گرفته شده است یا به شرط همگرایی برسیم یا اینکه تعداد تکرار از مقدار ماکزیمم در نظر گرفته شده بیشتر شود.

1. شروع فرآیند حل برای هر ذره

برای اینکه فرآیند بهینه سازی انجام شود باید برای هر یک از ذرات به صورت مجزا حل انجام شود تا مراحل مختلف آن طی شود. در این بخش داخل حلقه تکرار برای هر ذره ابتدا مقادیر ذرات به عنوان ضرایب شکل هندسه ایرفویل وارد فرآیند می شود. و موقعیت ذرات در پارامترPlasmaParameter ذخیره می شود.

1. معین کردن سلول هایی که تحت الشعاع پلاسما خواهند بود

در این بخش با فراخوانی زیر برنامه مربوطه سلول هایی از شبکه که پلاسما آنها را تحت تاثیر قرار می دهد، فعال شده و به صورت خروجی Delta از برنامه خارج می شوند. این سلول ها در طول روند بهینه سازی ثابت اند.

1. فراخوانی زیر برنامه PlasmaShayy

در این بخش با فراخوانی زیر برنامه مربوطه سلول هایی که تحت تاثیر پلاسما بوده اند به عنوان ورودی Delta به برنامه داده می شود و نهایتا این زیر برنامه F\_DBD\_x و F\_DBD\_y را که نیرو های تاثیر پلاسما بر روی سلول های شبکه هستند به عنوان خروجی تحویل می دهد.

1. حل جریان حول ایرفویل و محاسبه مشخصات جریان

در این بخش با فراخوانی زیربرنامه Solver\_AirFlowTurb\_withsource جریان حول ایرفویل ساخته شده با شبکه بندی به روز رسانی حل شده و مشخصات جریان از جمله سرعت افقی و عمودی و فشار در تمام سلول های فضای حل به دست می آید.

1. محاسبه تابع هدف

در این بخش با فراخوانی زیربرنامه PresslifttodragCo\_Viscous با توجه به نتایج حل تابع هدف در نظر گرفته شده برای هر ذره (ایرفویل) محاسبه می گردد.

1. تعیین مقدار بهینه محلی برای هر ذره

در روش بهینه سازی به روش انبوه ذرات به منظور به روزرسانی پارامترهای بهینه سازی نیاز است که بهترین مقدار محاسبه شده برای هر swarm طی فرآیند بهینه سازی ذخیره شود. بنابراین در هر تکرار مقدار تابع هدف محاسبه شده در آن تکرار برای هر swarm با مقدار بهینه محلی به دست آمده طی تکرارهای قبلی، مقایسه می شود و اگر مقدار آن بهتر بود به عنوان مقدار بهینه محلی جدید در نظر گرفته شده و ذرات مربوط به آن مقدار هم به عنوان ذرات بهینه محلی جدید قرار داده می شوند.

1. تعیین مقدار بهینه کلی

در روش بهینه سازی به روش انبوه ذرات به منظور به روزرسانی پارامترهای بهینه سازی نیاز است که بهترین مقدار محاسبه شده کلی طی فرآیند بهینه سازی ذخیره شود. بنابراین در هر تکرار مقدار تابع هدف محاسبه شده در آن تکرار برای هر swarm با مقدار بهینه کلی به دست آمده طی تکرارهای قبلی، مقایسه می شود و اگر مقدار آن بهتر بود به عنوان مقدار بهینه کلی جدید در نظر گرفته شده و ذرات مربوط به آن مقدار هم به عنوان ذرات بهینه کلی جدید قرار داده می شوند.

1. به روز رسانی پارامترهای الگوریتم بهینه سازی برای شروع تکرار بعدی

در این بخش با فراخوانی زیربرنامه PSO\_Update\_Plasma مقادیر مکان و سرعت ذرات با توجه به مقادیر بهینه محلی و کلی به دست آمده در تکرارهای قبلی و با توجه به قیدهای در نظر گرفته شده، به روزرسانی می شوند و در نتیجه در تکرار بعد هندسه جدید ساخته می شود.

1. چک کردن شرط همگرایی

در این بخش پس از انجام محاسبات مربوط به همه Swarm ها، در هر تکرار شرط همگرایی چک می شود و در صورت ارزا شدن شرط از حلقه بهینه سازی خارج می شود. شرط همگرایی در نظر گرفته شده به این صورت است که فاصله همه ذرات در همه Swarm ها از مقدار ذرات بهینه کلی به دست آمده از مقدار در نظر گرفته شده کم تر باشد.

ذخیره توابع هدف نهایی در صورت اتمام عملیات بهینه سازی در یک فایل

در این قسمت توابع هدفی که از حل مراحل قبل بدست امده اند در فایلی ذخیره می شوند

1. ذخیره ی بهترین متغیر های بدست آمده در اثر بهینه سازی در الگوریتم و تکرار روند

در این بخش بهترین متغیر ها ذخیره شده و مراحل برای نتیجه گیری های نهایی و چاپ در فایل از مرحله 17 تا 19 تکرار می شوند و در آخر نتایج حل جریان در فایل های مرتبط با ضریب فشار و درگ و یا کانتورحل میدان ذخیره می شود.