

الگوریتم طراحی آیرودینامیکی کنترل بردار تراست به روش پاشش مایع

مهدی هاشم‌آبادی^۱ و محمدرضا حیدری^۲

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی هوافضا، مرکز آموزشی و تحقیقاتی فضایی

چکیده

پاشش سیال مایع به درون نازل موتور یکی از روش‌های متداول کنترل بردار تراست در انواع موشک‌های سوخت‌های جامد و مایع می‌باشد. علیرغم ساده‌گی این روش، تحلیل دقیق آن پیچیده و دشوار است. این تحقیق به معرفی و بررسی اجمالی پارامترهای مختلف پاشش سیال جانبی به درون جریان اصلی محصولات احتراق از منظر دینامیک گاز می‌پردازد. مهمترین این پارامترها شامل جنس سیال، نوع پاشش، موقعیت پاشش، زاویه پاشش و دبی جریان پاشش نسبت به جریان گازهای اصلی موتور است. نحوه‌ی انتخاب بهینه‌ی این پارامترها و اثرات آنها بر یکدیگر و برآیند نهایی این اثرات بر میزان انحراف بردار تراست موشک از نتایج این تحقیق است که بر اساس آن، روند طراحی آیرودینامیکی کنترل بردار تراست به روش پاشش سیال مایع تدوین گردیده است. الگوریتم ارائه شده با ترتیب انتخاب مناسب و اهمیت هر یک از پارامترهای طراحی و مراحل مناسب اصلاح آنها مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: کنترل بردار تراست، پاشش سیال مایع، نازل موشک، طراحی آیرودینامیکی، الگوریتم طراحی

Aerodynamic Design Algorithm of Liquid Injection Thrust Vector Control

M.R.Heidari and M. hashem Abadi

Education and Research Center, Aerospace Dep't. Malek - Ashtar Univ. of Tech.

ABSTRACT

In liquid injection thrust vector control, some parameters are more important, such as injection mass flow rate, injection angle, injection position, injected liquid properties, and main flow rate of the nozzle. In this investigation, these parameters have been optimized and their effects on each other have been studied. Then, an algorithm has been introduced for liquid injection thrust vector control design. The algorithm introduces aerodynamic design process and corrects steps of choosing these parameters.

Key Words: Liquid Injection, Nozzle, Thrust Vector Control, Aerodynamic Design Algorithm

^۱ کارشناس ارشد

^۲ دانشیار (پاسخگو): mrezaheidari@yahoo.com

۱- مقدمه

نیازمندی‌های کلی بردار تراست با حداقل هزینه و مخارج سیال برآورده می‌شود.

ب- **زاویه تزریق:** سرعت نسبی بزرگتر بین گاز اصلی و قطرات کوچک و خردشده‌ی جت مایع، باعث تبخیر و مخلوط شدن بهتر می‌شود. مایع تزریقی کمی به بالادست نقطه‌ی تزریق منتقل می‌شود که اثری معادل با جابجایی جریان بالادست تزریق بوسیله‌ی این مقدار را دارد. هنگامی که جت تحت زاویه‌ای تزریق می‌شود، این کار باعث کاهش عمق نفوذ جت و حفظ مخلوط تزریقی در نزدیکی دیواره خواهد شد. لذا، فشار بیشتری در نزدیک دیواره ایجاد و موجب ایجاد نیروی جانبی بیشتری می‌شود.

پ- **نسبت دبی تزریق به دبی جریان اصلی:** نسبت دبی تزریق به دبی جریان اصلی دارای اهمیت خاصی است. زیرا با استفاده از مقدار مطلوب این پارامتر، می‌توان کارایی سیستم بردار تراست با تزریق مایع را به میزان زیادی بالا برد و نیروی تراست جانبی مورد نیاز را ایجاد نمود.

ت- **مایع تزریقی و خصوصیات آن:** فاکتورهای مختلفی در انتخاب مایع تزریقی حائز اهمیت می‌باشند. نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که مایع تزریقی باید یک مانع در برابر جریان اصلی ایجاد کند. همچنین، این مایع باید واکنش‌پذیر بوده یا تجزیه‌ی آن همراه با آزادسازی حرارت باشد. در حالتی که سیال یک مایع بی‌اثر است، باید بخار شدن یا تفکیک آن با کمترین جذب حرارت انجام شود. اولین گزینه‌ها برای مایع تزریقی، نیتروژن ترا اکسید و یک محلول آبی استرونتیوم پرکلرات هستند. دیگر گزینه‌ها هیدروژن، فرئون B₂-۱۱۴ و هیدروژن پراکسید می‌باشند. خصوصیات مایع تزریقی مورد بررسی شامل موارد زیر است:

- ۱- گرمای ویژه فازهای مایع و بخار،
- ۲- نقطه جوش،
- ۳- گرمای تبخیر،
- ۴- واکنش‌پذیری (گرمای واکنش) و
- ۵- وزن مولکولی.

ث- **چیدمان پاشش (تعداد انژکتورها و نحوه توزیع دبی پاشش آن‌ها):** بطور واقعی در موشک‌های عملیاتی

برای ساخت و بررسی تحلیلی یک سیستم لازم است که طراحی دقیقی از این سیستم انجام گیرد. این طراحی را می‌توان شامل طراحی آیرودینامیکی، طراحی سیستمی و بهینه‌سازی در نظر گرفت. البته این دسته‌بندی یک دسته‌بندی کلی است و هر بخش ممکن است شامل بخش‌های متعدد دیگری باشد و یا در قسمت بهینه‌سازی از هر دو طراحی آیرودینامیکی و سیستمی استفاده شود.

شناخت دقیق‌تر کلیه‌ی اجزاء سیستم، پارامترهای طراحی، پارامترهای مؤثر بر طراحی آیرودینامیکی سیستم و مانند آن، موجب طراحی دقیق‌تر و عملکرد بهتر سیستم کنترل بردار تراست با تزریق مایع خواهد شد. به منظور طراحی اولیه و تهیه‌ی الگوریتم طراحی آیرودینامیکی سیستم کنترل بردار تراست با تزریق مایع، لازم است که پارامترهای مختلفی که بر روی کنترل بردار تراست با تزریق مایع تأثیر دارند معرفی شده و با اجزای متعدد میزان تأثیر و اهمیت پارامترهای مختلف بر روی کنترل بردار تراست بررسی شود. سپس الگوریتمی متناسب با اهمیت پارامترها و تعیین شرایط دلخواه به دست می‌آید. در زیر به‌طور اجمالی پارامترهای مؤثر بر کنترل بردار تراست معرفی و سپس نتایج به دست آمده و تأثیر این پارامترها آورده شده‌اند و در نهایت با توجه به این نتایج، الگوریتم طراحی آیرودینامیکی ارائه شده است.

پارامترهای مؤثر در اندازه‌گیری نیروی تراست و زاویه‌ی انحراف بردار تراست در روش کنترل بردار تراست با تزریق مایع به‌صورت زیر می‌باشند [۱].

الف- محل تزریق: نتایج تجربی نشان دهنده‌ی این موضوع است که برای یک نرخ جریان تزریقی بسیار کم، موقعیت تزریق بهینه روی دیواره نازل در بالادست جریان و تقریباً نزدیک به گلوگاه می‌باشد. اما برای یک نرخ جریان تزریقی بیشتر، موقعیت بهینه در پایین دست گلوگاه و نزدیکتر به خروجی نازل است. بهترین نقطه‌ی تزریق مناسب برای یک موتور خاص در موقعیت متوسطی می‌باشد که برنامه‌ی

پاشش از چند انژکتور صورت می‌گیرد. مشاهده می‌شود که تعداد انژکتورها، چیدمان پاشش و نیز نسبت دبی خروجی انژکتورها، تأثیر به‌سزایی بر روی عملکرد کلی سیستم کنترل بردار تراست دارند.

ج- خصوصیات گاز اصلی (محصولات پیشران)

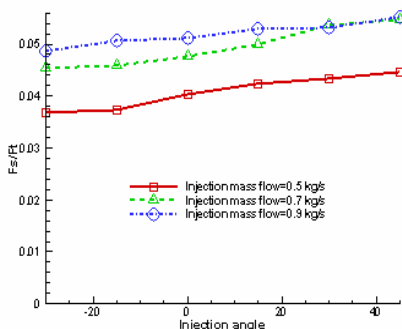
۲- اثرات پارامترهای مختلف طراحی آیرودینامیکی

در این قسمت تأثیر پارامترهای مختلف بر روی انحراف بردار تراست مورد بررسی قرار می‌گیرد. با جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده از این قسمت می‌توان الگوی خوبی برای روند طراحی ایجاد نمود. در زیر تأثیر پارامترهای مختلف، حاصل از تحقیقات قبلی آورده شده است [۲].

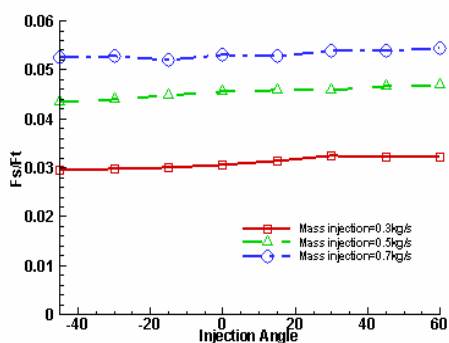
۱-۲- تأثیر زاویه پاشش

شکل‌های ۱-الف، ۱-ب، ۲-الف و ۲-ب به ترتیب تأثیر زاویه‌ی پاشش بر انحراف زاویه‌ی بردار تراست را در دبی‌ها و موقعیت‌های پاشش مختلف برای دو نوع ماده‌ی پاشش فرئون و نیتروژن تترااکسید، در پاشش تک انژکتوره نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها، مشخص است که تأثیر زاویه‌ی پاشش بر روی انحراف بردار تراست بسیار کم می‌باشد. نتایج نشان‌گر این مسئله است که در یک دبی تزریق مشخص، زوایای تزریق مختلف تأثیر زیادی بر روی اختلاف انحراف بردار تراست ندارد.

شکل ۲ نشان‌گر این موضوع است که در یک موقعیت تزریق مشخص، زوایای تزریق مختلف تأثیر زیادی بر روی اختلاف انحراف بردار تراست ندارد. ولی بهترین حالت زاویه‌ی تزریق زاویه‌ی ۳۰ درجه می‌باشد. قابل ذکر است که برخی منابع بهترین زاویه‌ی تزریق برای حالت کنترل بردار تراست با تزریق مایع را در حدود ۲۵ تا ۳۰ درجه معرفی کرده‌اند. نتایج به‌دست آمده نیز مؤید این موضوع می‌باشد. با توجه به نتایج مشخص است که در دبی‌های تزریق بسیار بالا، زاویه‌ی تزریق تأثیر بیشتری بر مقدار زاویه‌ی انحراف بردار تراست می‌گذارد.

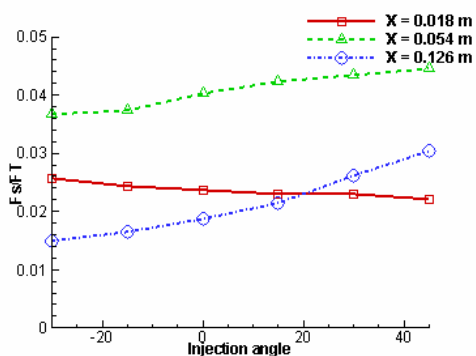


شکل ۱- الف

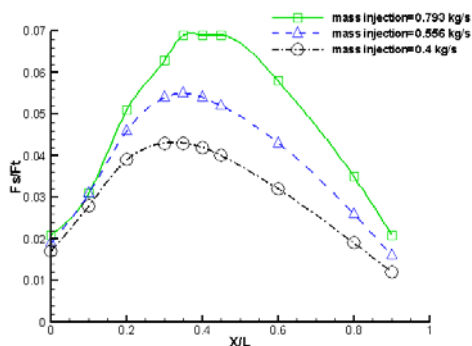


شکل ۱- ب

شکل (۱): تغییرات زاویه انحراف بردار تراست نسبت به زاویه پاشش برای دبی‌های پاشش مختلف.



شکل ۲- الف

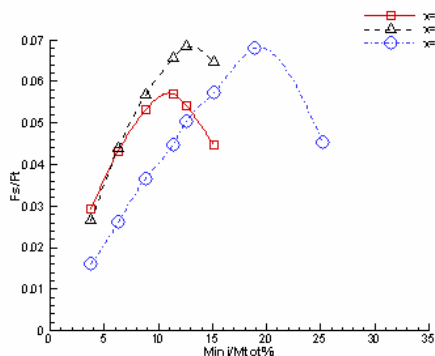


شکل ۳- ب

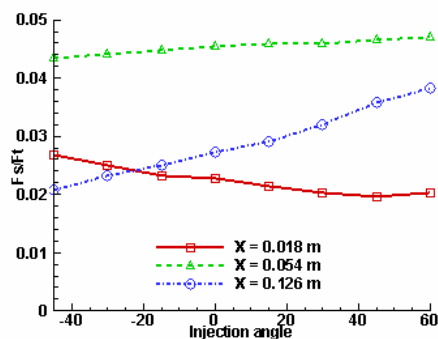
شکل (۳): تغییرات زاویه انحراف بردار تراست نسبت به موقعیت نسبی

۳-۲- تأثیر نسبت دبی پاشش

شکل ۴ تأثیر نسبت دبی پاشش بر روی انحراف زاویه بردار تراست را برای دو نوع ماده‌ی فرئون و نیتروژن ترا اکسید در پاشش تک انژکتوره نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در موقعیت‌های مختلف پاشش، حداکثر زاویه انحراف بردار تراست تقریباً در نسبت دبی ۱۰-۱۲ درصد بدست می‌آید. البته استثنائاً در موقعیت پاشش نزدیک خروجی نازل برای ایجاد حداکثر انحراف بردار تراست به نسبت دبی ۲۰-۲۵ درصد (بسته به نوع سیال پاشش) نیاز می‌باشد. از شکل‌ها مشخص است که برای موقعیت‌های میانی پاشش نسبت دبی ۱۰ الی ۱۲ درصد بهترین بازدهی را داراست و برای نسبت دبی‌های بیشتر و کمتر از این مقادیر، بازدهی سیستم کمتر می‌شود و هرچه انحراف از این نسبت دبی بهینه بیشتر باشد، بازدهی سیستم دچار افت شدیدتری خواهد شد.



شکل ۴- الف

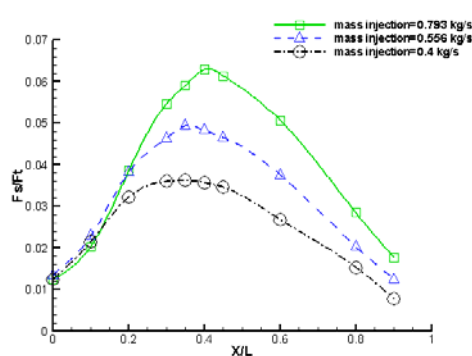


شکل ۲- ب

شکل (۲): تغییرات زاویه انحراف بردار تراست نسبت به زاویه پاشش برای موقعیت‌های مختلف پاشش

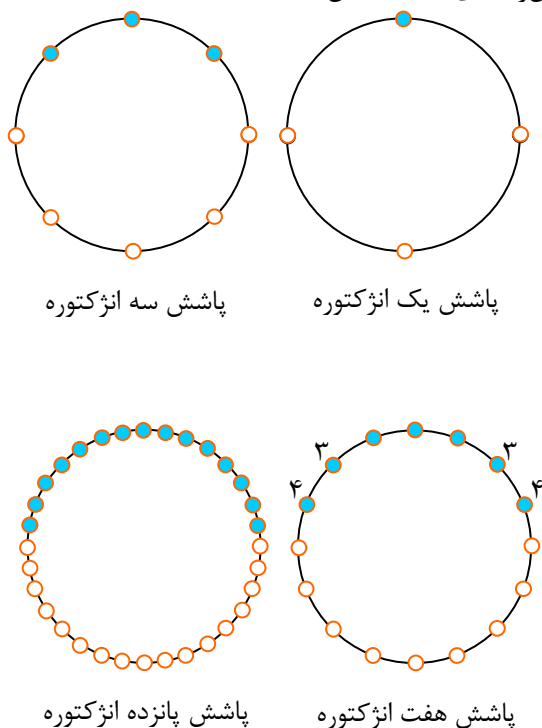
۲-۲- تأثیر موقعیت پاشش

شکل ۳ تأثیر موقعیت تزریق بر روی زاویه انحراف بردار تراست برای دو نوع ماده‌ی پاشش مختلف را در حالت تزریق تک انژکتوره نشان می‌دهد. از نتایج به دست آمده مشخص است که حداکثر انحراف بردار تراست در نسبت دبی‌های مختلف پاشش در موقعیت پاشش (طول موقعیت پاشش از گلوگاه نسبت به طول قسمت واگرایی نازل) حدود ۰/۳ رخ می‌دهد. از این شکل همچنین می‌توان نتیجه گرفت که اگر نقطه پاشش نزدیک گلوگاه باشد، برای تمامی نسبت‌های دبی به‌طور تقریبی، انحراف زاویه بردار تراست یکسان خواهد بود. بنابراین در موقعیت‌های پاشش $\frac{L_{inj}}{L_{div}} \leq 20\%$ می‌توان با نسبت دبی پاشش کمتر، همان زاویه انحراف بردار تراستی را ایجاد کرد که با نسبت دبی بیشتر ایجاد که با نسبت دبی بیشتر ایجاد می‌شود.



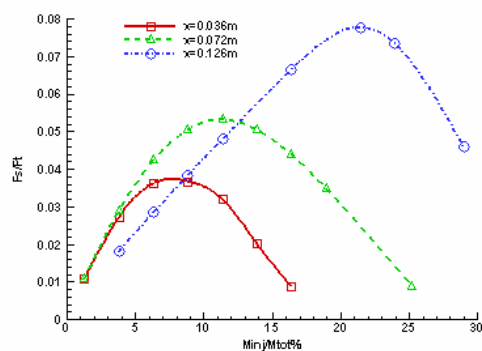
شکل ۳- الف

برابر دبی کل پاشش مورد نظر است. هنگامی که $n=2$ است، دبی انژکتور اول دو برابر دبی انژکتور دوم و انژکتور دوم، دو برابر دبی انژکتور سوم (و به همین ترتیب برای سایر انژکتورها)، را دارا می‌باشد. آنچه مسلم است مجموع دبی انژکتورها برابر دبی کل پاشش است. نکته‌ی دیگری که باید در زمینه‌ی نحوه‌ی پاشش بیان کرد، آن است که پاشش فقط در نیمی از مقطع نازل انجام می‌شود تا گشتاور مورد نظر را ایجاد نماید، لذا در نیمه روبرو هیچ دبی پاششی انجام نمی‌شود چرا که پاشش از انژکتورهای روبرو با هم، راندمان کار را معکوس می‌کند. به دلیل مشابه، دو انژکتوری که در دو سر نیمه‌ی مقطع نازل قرار دارند نیز باید بسته باشند. بنابراین پاشش تنها از نصف منهای یک از تعداد انژکتورها انجام می‌شود. در شکل‌های (۵) الف و ب چگونگی قرارگیری پاشنده‌ها نشان داده شده است. در این شکل، انژکتورهایی که پاشش از آنها صورت می‌گیرد با رنگ پس‌زمینه‌ی کمرنگ و انژکتورهایی که هیچ دبی‌ای از آنها عبور نمی‌کند با رنگ پس‌زمینه‌ی سفید نمایان است.



شکل (۵): نحوه چیدمان انژکتورها.

اکنون تعدادی از نتایج شبیه‌سازی‌ها بیان می‌شود تا بتوان تصویری کلی از اثر پاشش سیستم چندگانه بر کنترل بردار



شکل ۴- ب

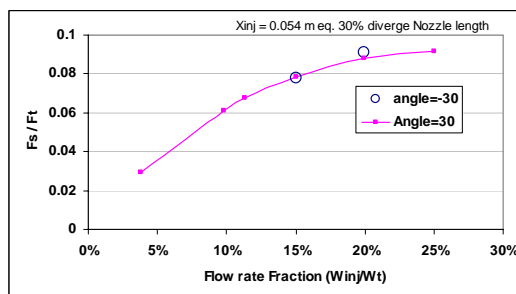
شکل (۴): تغییرات زاویه انحراف بردار تراست نسبت به دبی پاشش.

۲-۴- تأثیر چیدمان انژکتورها (تعداد و نحوه توزیع دبی پاشنده‌ها)

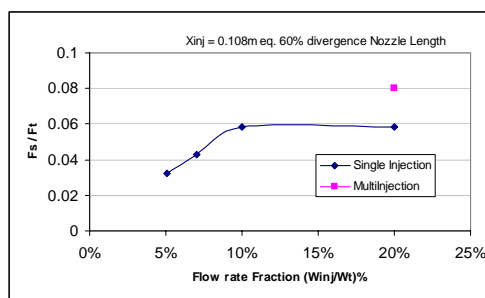
برای بررسی پاشش چندگانه در سیستم کنترل بردار تراست، موقعیت پاشش ۳۰٪ در نظر گرفته شد. این انتخاب بدلیل بهینه‌بودن نسبی این موقعیت در بررسی‌های قبلی و نتایج تجربی بوده است [۳]. شش مقدار مختلف دبی پاشش انتخاب گردیده که برابر ۰٫۳، ۰٫۷۸، ۰٫۹، ۱٫۱۸۹۵، ۱٫۵۸۴ و ۱٫۹۸۲۵ کیلوگرم بر ثانیه است که به ترتیب معادل ۳٫۷۸، ۹٫۸۴، ۱۱٫۳۵، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد از دبی کل عبوری از نازل می‌باشد. زاویه‌ی پاشش برابر ۳۰ درجه تعیین شده است که زاویه‌ای بهینه می‌باشد. برای پاشش چندگانه، باید دو پارامتر برای انجام شبیه‌سازی تعیین شود. این دو پارامتر تعداد انژکتورها و نحوه‌ی توزیع دبی در هر یک از آنها می‌باشد. پاشش تک انژکتوره در واقع به معنی تعبیه ۴ انژکتور روی محیط مقطع مورد نظر نازل است. بنابراین علاوه بر پاشش تک انژکتوره (۴ انژکتور)، پاشش‌های ۳ (۸ انژکتور)، ۷ (۱۶ انژکتور) و ۱۵ (۳۲ انژکتور) نیز انتخاب گردید. این انژکتورها در فاصله‌های مساوی از یکدیگر قرار گرفته و هندسه‌های مشابهی دارند. چهار نوع توزیع برای پاشش دبی سیال جانبی در نظر گرفته شده است. توزیع دبی‌های پاشش بدین صورت است که دبی هر انژکتور n برابر دبی انژکتور بعدی می‌باشد. شبیه‌سازی‌ها برای مقادیر n برابر ۱ تا ۴ انجام شد. بنابراین، هنگامی که $n=1$ است، مقدار دبی پاشش همه انژکتورها با هم برابر بوده و مجموع دبی آنها

شکل (۷): مقایسه پاشش تک‌انژکتوره با چندانژکتوره در سیستم کنترل بردار تراست.

بیشترین مقدار انحراف زاویه‌ی بردار تراست از محور نازل، به میزان ۵/۲۴ درجه در دبی ۰/۲۵ و چیدمان ۳۲ تایی انژکتورها و توزیع دو برابر دبی‌ها بدست آمده است.



شکل (۸): بررسی اثر تغییر زاویه پاشش در پاشش چندانژکتوره..

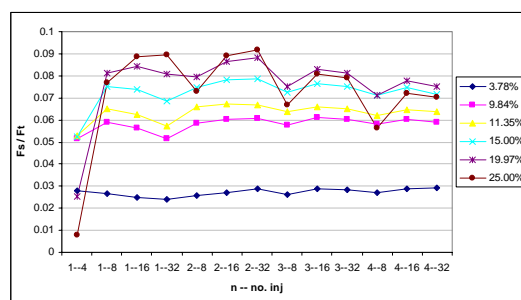


شکل (۹): بررسی اثر تغییر زاویه پاشش در پاشش چند انژکتوره.

در قسمت‌های قبل، اثر زاویه‌ی پاشش در حالت پاشش تک‌انژکتوره بررسی و نتایج آن ارائه شد. در شکل ۸ برای نمونه دو شبیه‌سازی انجام شده که در آنها زاویه‌ی پاشش بجای ۳۰ درجه برابر ۳۰- درجه انتخاب شده است. این دو شبیه‌سازی برای دبی‌های ۱۵ و ۲۰ درصد انجام گردیده‌است. همانطور که از قبل انتظار می‌رفت، نتایج تغییر چندانی از خود نشان نمی‌دهند.

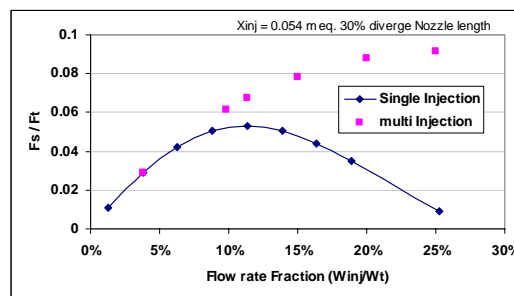
شبیه‌سازی دیگری نیز انجام شده که موقعیت پاشش در آن تغییر یافته و به موقعیت ۶۰٪ انتقال یافته است. مقدار دبی پاشش برابر ۰/۲۰ دبی اصلی بوده و پاشش از ۱۵ انژکتور (نازل ۳۲ انژکتوره) انجام شده‌است. توزیع بکار رفته در این مرحله ۱/۲ است ($n = 2$). همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، پاشش چند انژکتوره‌ی سیال

تراست نازل ارائه داد. برای این منظور، ابتدا نتایج ترکیب اثرات پارامترهای پاشش چند انژکتوره در شکل ۶ نشان داده شده است. در ادامه، به مقایسه‌ی اثر پاشش چند انژکتوره با تک انژکتوره پرداخته شده و یک شبیه‌سازی در نقطه‌ای دیگر از نازل انجام شده و همچنین اثر تغییر زاویه‌ی پاشش نیز برای نمونه، مدل شده‌است. در این شکل، محور افقی نشان‌دهنده‌ی نحوه توزیع و چگونگی چیدمان پاشش است. به این صورت که عدد اول پارامتر توزیع و عدد دوم تعداد انژکتورهای نصب‌شده روی نازل را نشان می‌دهد (n —no.inj). این شکل نشان می‌دهد که در توزیع و چیدمان پاشش ۱۶—۲ و ۳۲—۲، بیشترین مقدار تأثیر پاشش بر نسبت نیروها قابل مشاهده است. همانطور که پیش از این نیز بیان شد و در این نمودار هم قابل مشاهده است، بجز در دبی پایین در تمام نمودارها پاشش چندگانه تأثیر بیشتری نسبت به پاشش تک انژکتوره از خود نشان می‌دهد.



شکل (۶): نمودار کلی نتایج پاشش چندگانه برای دبی‌های مختلف.

در شکل ۷ پاشش‌های چندانژکتوره و تک‌انژکتوره با یکدیگر مقایسه شده‌اند. این شبیه‌سازی که برای موقعیت پاشش ۳۰٪ طول واگرای نازل انجام شده است تا دبی پاشش ۰/۲۵ دبی کل را در بر می‌گیرد.



جانبی سبب شده است که نسبت نیروی جانبی به نیروی محوری ۳۷٪ افزایش یابد.

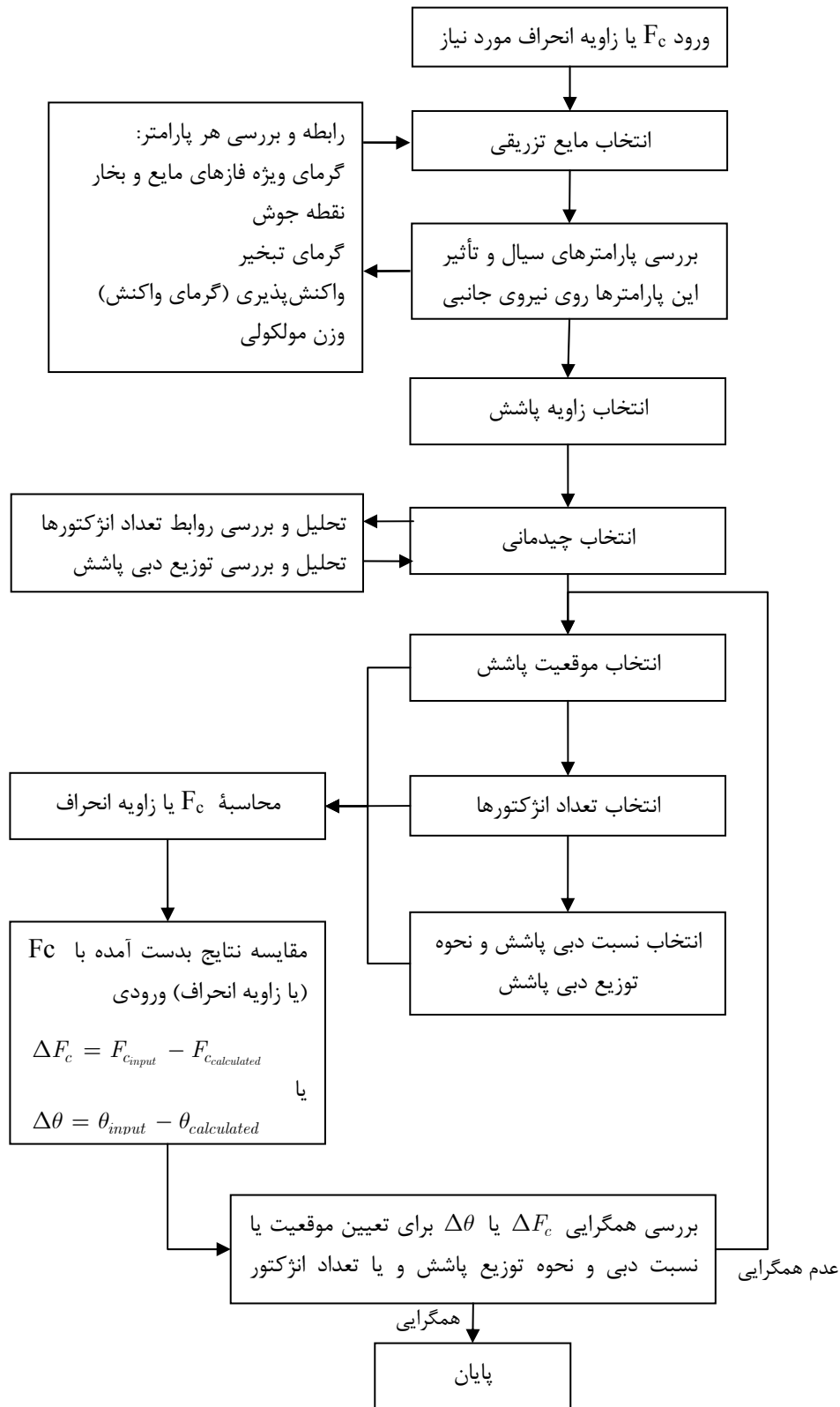
۲- الگوریتم طراحی مفهومی

با توجه به بررسی‌های انجام شده بر روی پارامترهای مختلف و نتایج به دست آمده از این پارامترها، می‌توان الگوی مناسبی جهت طراحی آیرودینامیکی کنترل بردار تراست با تزریق مایع به دست آورد. با توجه به این که انتخاب سیال پاشش از اولین ملزومات سیستم کنترل بردار تراست می‌باشد، بنابراین گزینش سیال پاشش و خصوصیات این سیال جزء اولین انتخاب‌ها در سیستم کنترل بردار تراست خواهد بود. در میان دیگر پارامترهای بررسی شده و نتایج به دست آمده از تأثیر این پارامترها بر زاویه‌ی انحراف بردار تراست، می‌توان روند طراحی آیرودینامیکی را بدین صورت در نظر گرفت که با توجه به این که تغییرات در زاویه‌ی پاشش تقریباً تأثیر چندانی بر روی انحراف زاویه‌ی بردار تراست ندارد، انتخاب این زاویه را می‌توان در مراحل اولیه‌ی طراحی آیرودینامیکی قرار داد که البته با توجه به این مسئله که بیشترین بازده سیستم تقریباً در زاویه پاشش ۳۰ درجه می‌باشد، این زاویه‌ی پاشش به عنوان زاویه‌ی پاشش مناسب اولیه پیشنهاد می‌شود. سپس چیدمان مورد نظر انتخاب شده و روابط کلی مربوط به چیدمان انتخابی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه‌ی مراحل طراحی، با توجه به این مسئله که نسبت دبی پاشش، تعداد انژکتورها و نحوه توزیع دبی پاشش و موقعیت پاشش تأثیر زیادی بر روی زاویه‌ی انحراف بردار تراست دارند، می‌توان با انتخاب مقادیر بهینه برای این دو پارامتر، بیشترین زاویه‌ی انحراف بردار تراست را برای سیستم کنترل بردار تراست به دست آورد. در صورتی که مقدار خاصی برای زاویه‌ی انحراف بردار تراست سیستم موتور لازم باشد، می‌توان با انتخاب مقادیر اولیه برای تعداد انژکتورها، موقعیت پاشش، نسبت دبی پاشش و نحوه‌ی توزیع دبی پاشش، مقدار زاویه‌ی انحراف بردار تراست را به دست آورد و با مقایسه‌ی این مقدار با مقدار مورد نیاز سیستم و با توجه به نمودارهای به دست آمده، مقدار جدیدی برای موقعیت و نسبت پاشش به دست آورد. سپس این روند را تا تحویل پارامترهای نهایی مورد نیاز برای ایجاد زاویه‌ی انحراف بردار تراست تکرار کرد. الگوریتم و سیکل

طراحی آیرودینامیکی پیشنهادی در شکل ۱۰ آورده شده است.

۴- جمع‌بندی

پارامترهای مهم در شبیه‌سازی و تحلیل کنترل بردار تراست موشک به وسیله‌ی پاشش سیال مایع درون نازل شامل جنس سیال، موقعیت پاشش، زاویه پاشش، دبی جریان پاشش نسبت به جریان گازهای اصلی موتور، نحوه‌ی چیدمان انژکتورها و توزیع دبی پاشش بین آنها می‌باشد. اثرات و مقادیر بهینه‌ی هر یک از این پارامترها، با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها بررسی شده است. تحلیل اثرات متقابل پارامترهای طراحی کنترل بردار تراست به روش پاشش سیال مایع، از منظر دینامیک گازی، موضوع اصلی این تحقیق بود که منجر به تدوین سیکل طراحی آیرودینامیکی این سیستم گردید. در این الگوریتم، ابتدا جنس سیال و زاویه پاشش با توجه به زاویه‌ی انحراف بردار تراست مورد نیاز تعیین شدند. سپس موقعیت پاشش، تعداد انژکتورها و توزیع دبی بین آنها تخمین زده شد. در انتهای هر دور نیز با مقایسه‌ی زاویه‌ی انحراف بردار تراست حاصله (یا نیروی بردار جانبی) با مقدار مورد نیاز، به اصلاح این پارامترها برای دور بعد پرداخته شد و این روند تا دستیابی به مقادیر نهایی تکرار گردید.



شکل (۱۰): الگوریتم طراحی مفهومی آیرودینامیکی کنترل بردار تراست با پاشش مایع

مراجع

- ۱- حیدری، م.ر. و پورامیر، ع.، "تحلیل اثرات تداخل جت جانبی با جریان اصلی درون نازل"، مجله علمی- پژوهشی مواد پرنرژی، نمایه ISSN- 1735-3629، جلد ۳، شماره ۵، ص ص ۱۴-۳، ۱۳۸۷.
- ۲- حیدری، م.ر.، پورامیر، ع.، هاشم‌آبادی، م.، و نورالهی، ا.، "شبیه‌سازی کنترل بردار تراست به روش پاشش تک‌انژکتوره سیال مایع"، گزارش تحقیقاتی شماره SRI/G2-R-1385-06-0142، مرکز آموزشی و تحقیقاتی فضایی، اردیبهشت ۱۳۸۶.
- ۳- حیدری، م.ر. و پورامیر، ع.، "شبیه‌سازی کنترل بردار تراست به روش پاشش چندانژکتوره سیال مایع"، گزارش تحقیقاتی شماره SRI/G2-R-1386-05-0212، مرکز آموزشی و تحقیقاتی فضایی، مرداد ۱۳۸۶.