

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شیراز  
دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی هوافضا  
(گرایش آیرودینامیک)

# بررسی عددی فن مجرای با استفاده از کنترل فعال جریان در یک نوع پهنپاد عمود پرواز

نگارش:

مهدی نادرزاده

اساتید راهنما:

دکتر محسن جهانمیری

دکتر امیرحسین نیک سرشت

بهمن ۱۳۹۱

بسمه تعالی

# بررسی عددی فن مجرای با استفاده از کنترل فعال جریان در یک نوع پهپاد عمود پرواز

نگارش:

مهدی نادرزاده

پایان نامه ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی  
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا گروه آیرو دینامیک

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیئت داوران با درجه :

دکتر محسن جهانمیری، دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا (استاد راهنما).....

دکتر امیر حسین نیک سرشت، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا (استاد راهنما).....

دکتر مسعود خراتی کوپایی، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا (داور).....

دکتر امیر امیدوار، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا (داور).....

---

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه : .....

---

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

بهمن ۱۳۹۱

تقدیم بہ

پدر و مادر عزیزم

کہ ہموارہ مدیون زحمات بی دریغ و محبت ہای بی پایانشان ہستم۔

# پاسکزاری

تقدیم به آستان حقیقت  
و آمان که وصالش رامی جویند  
و آمان که در آغوشش کشیده اند  
و آمان که خود، عین حقیقت اند

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایشار و از خودگذشتگان  
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است  
به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناشان به شجاعت می گراید  
و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم...

در نهایت بر خود لازم می دانم که از زحمات:

استاد عزیزم جناب آقایان دکتر محسن جهانگیری و دکتر امیر حسین نیک سرشت که در تمام مدت انجام پایان نامه مراراً بهمانی کردند؛

از پدر و مادر عزیزم که همواره دعای خیر آنها بدرقه راه من بوده؛

از دست اندرکاران محترم مرکز محاسبات سریع دانشگاه صنعتی شیراز

از دوست عزیزم مهندس امیر حسین جازی بخاطر کمک های بی مضائقه

مشکر کنم.

با شکر از مشوقان همیشگی ام

پدر و مادر

## چکیده

# بررسی عددی فن مجرای با استفاده از کنترل فعال جریان در یک نوع پهپاد عمود پرواز

نگارش:

مهدی نادرزاده

فن های مجرای با توانایی فرود و برخاست عمودی و بدون نیاز به باند به طور وسیع در پهپادها مورد استفاده قرار می گیرند. افزایش نیروی پیشرانش به علت وجود مجرا، باعث پیچیده تر شدن آیرودینامیک موجود در مقایسه با روتورهای بدون مجرا شده است. اما هنوز مسائل حل نشده ای در رابطه با این سیستم وجود دارد. نشتی جریان نوک روتور، جدایش جریان درون و خارج از مجرا، منابع مهمی از اتلاف آیرودینامیکی فن های مجرای است و تاثیر مخالف، روی کارایی آیرودینامیکی اصلی این وسیله دارد. تحقیق حاضر از روش عددی به منظور بهینه سازی رفتار آیرودینامیکی پهپاد، از جمله محاسبه ضرایب آیرودینامیکی و محاسبه مسیر جریان اطراف وسیله استفاده می کند. کنترل فعال جریان یکی از عرصه های پیشرو در تحقیقات مهندسی و محققین در مکانیک سیالات است. مزایای کنترل جریان شامل بهبود کارایی و مانور پذیری، بهره اقتصادی، افزایش برد و محموله است. تحقیق حاضر ارائه کننده روش های جدید برای تغییر آیرودینامیک فن مجرای با استفاده از کنترل فعال جریان است. در این بخش با استفاده از روش عددی حجم کنترل، معادلات میانگیری شده رینولدز حل شده اند. ابتدا نتایج با استفاده از روش آزمایشگاهی یک سیلندر مدور، معتبرسازی شده و سپس با قرار دادن عملگر جت مصنوعی در نقاط مختلف آن، نقطه و فرکانس بهینه آن بدست آمده است. در بررسی دیگر که بر روی مجرا و فن مجرای انجام شد، پس از معتبر سازی با نتایج تجربی، تاثیر عملگر بر روی مجرای آن ها مشاهده گشت. نتایج افزایش ضریب برا در هنگام مکش و در هنگام دمش تا زاویه حدوداً ۲۰ درجه افزایش ضریب برا و پس از آن کاهش ضریب برا را نشان می دهد.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج	فهرست جدول‌ها
ج	فهرست شکل‌ها
د	فهرست نشانه‌های اختصاری
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- پیشگفتار
۵	۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده
۷	۱-۳- اصول کاربرد
۹	۱-۴- اهداف
۷	فصل دوم: معادلات حاکم بر جریان
۸	۲-۱- مقدمه‌ای بر روش‌های حل جریان سیال
۱۱	۲-۲- آشنایی با نرم‌افزار Gambit و Fluent
۱۸	۲-۳- معادلات حاکم بر جریان
۱۹	۲-۳-۱- معادله پیوستگی در جریان غیر قابل تراکم
۲۰	۲-۳-۲- معادله بقای مومنتوم

صفحه	عنوان
۲۰	۴-۲- معادلات حاکم در دستگاه مختصات چرخان
۲۳	۵-۲- روش‌های مدل کردن جریان‌های چرخشی
۳۰	۶-۲- مدل‌سازی جریان متلاطم
۳۱	۱-۶-۲- مدل دو معادله‌ای $k-\omega$
۳۱	۲-۶-۲- مدل دو معادله‌ای انتقال تنش برشی $k-\omega$ (SST)
۳۴	<b>فصل سوم: تئوری مساله و روابط تجربی</b>
۳۵	۱-۳- مقدمه
۳۵	۲-۳- مفاهیم اولیه
۳۶	۱-۲-۳- معادله برنولی
۳۷	۲-۲-۳- کاربرد معادله ممنتوم برای ملخ‌ها
۳۸	۲-۲-۴- تئوری جریان پیشرونده فن مجرای
۴۱	۳-۲-۳- کاربرد در حال ایستایی
۴۲	۴-۲-۳- توان روتور
۴۳	۳-۳- میدان جریان روی اجسام و مفهوم لایه مرزی
۴۵	۱-۳-۳- جریان روی اجسام با لبه پهن
۴۷	۴-۳- مکش/دمش توسط عملگر



صفحه	عنوان
۵۰	فصل چهارم: بررسی نتایج تحلیل عددی
۵۱	۴-۱- مقدمه
۵۱	۴-۲- حل عددی جریان اطراف استوانه مدور
۶۳	۴-۳- بررسی فن مجرای
۶۳	۴-۳-۱- مقدمه
۶۴	۴-۳-۲- مشخصات کلی هندسه فن مجرای مورد بررسی
۶۵	۴-۴- دامنه محاسباتی، شرایط مرزی و تنظیمات نرم افزاری برای مجرا
	۴-۵- دامنه محاسباتی، شرایط مرزی و تنظیمات نرم افزاری برای فن مجرای
۷۲	بوسیله روش Sliding Mesh
	۴-۶- دامنه محاسباتی، شرایط مرزی و تنظیمات نرم افزاری برای فن مجرای
۷۷	بوسیله روش Actuator Disk Model
۸۲	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۳	۵-۱- نتیجه گیری
۸۴	۵-۲- پیشنهادات

## فهرست جداول

جدول (۴-۱): مقایسه ضرایب پسا در بیشترین سرعت مکشی فرکانس‌های مختلف عملگر در زاویه ۱۰۵ درجه.....	۵۷
جدول (۴-۲): مقایسه ضرایب پسا در بیشترین سرعت مکشی فرکانس‌های مختلف عملگر در زاویه ۱۱۲/۵ درجه.....	۵۷
جدول (۴-۳): مقایسه ضرایب پسا در بیشترین سرعت مکشی فرکانس‌های مختلف عملگر در زاویه ۱۱۶ درجه.....	۵۷
جدول (۴-۴): مقایسه ضرایب پسا در بیشترین سرعت مکشی فرکانس‌های مختلف عملگر در زاویه ۱۲۰ درجه.....	۵۸
جدول (۴-۵): مقایسه ضرایب پسا در بیشترین سرعت مکشی عملگر در زاویه ۱۱۲/۵ درجه.....	۵۸
جدول (۴-۶): مقایسه ضرایب پسا در بیشترین سرعت دمشی عملگر در زاویه ۱۱۲/۵ درجه.....	۵۸
جدول (۴-۷): شرط مرزی فن.....	۷۸
جدول (۴-۸): مقادیر مرجع.....	۷۹

## فهرست اشکال و نمودارها

شکل (۱-۱): تغییرات پیشرانس با تعداد دور بر دقیقه همراه با فاصله نوک.....	۶
شکل (۱-۲): کنترل جریان لبه حمله مجرا با استفاده از عملگر جت ترکیبی.....	۷
شکل (۱-۳): کنترل جریان لبه فرار مجرا با استفاده از عملگر جت ترکیبی.....	۷
شکل (۱-۴): مثلث کنترل فعال جریان.....	۸
شکل (۲-۱): نقاط شبکه تفاضل محدود دوبعدی.....	۱۴
شکل (۲-۲): حجم کنترل جهت گسسته سازی نقاط داخلی دامنه دو بعدی.....	۱۵
شکل (۲-۳): دستگاه مختصات چرخان.....	۲۱
شکل (۲-۴): تانک مخلوط‌کن به عنوان یک نمونه از مدل MRF.....	۲۵
شکل (۲-۵): نمایی از برهم کنش‌های ناپایدار.....	۲۷

- شکل (۲-۶): استفاده از شبکه لغزشی در حل مسائل..... ۲۸
- شکل (۲-۷): نحوه حرکت شبکه لغزشی ..... ۲۹
- شکل (۲-۸): سطوح داخلی مشترک شبکه دوبعدی..... ۳۰
- شکل (۳-۱): جریان در یک مجرا..... ۳۶
- شکل (۳-۲): ملخ ساکن در معرض جریان سیال..... ۳۷
- شکل (۳-۳): جریان عبوری از فن‌های چرخنده مخالف جهت یکدیگر در درون مجرا..... ۳۹
- شکل (۳-۴): مشخصات جریان پایا و ویسکوز روی یک استوانه در رینولدزهای مختلف..... ۴۵
- شکل (۳-۵): مقایسه دمش پایا و نوسانی برای بازیابی پیش از واماندگی در  $NACA0015$  و  $Re=300000$ ..... ۴۷
- شکل (۳-۶): عملگر جت ترکیبی و مسیر جریان..... ۴۸
- شکل (۴-۱): مدل سیلندر مدور..... ۵۲
- شکل (۴-۲): شبکه محاسباتی و شرایط مرزی اطراف استوانه دوار..... ۵۳
- شکل (۴-۳): نمایی نزدیک از شبکه محاسباتی اطراف استوانه مدور..... ۵۳
- شکل (۴-۴): مقایسه عددی ضرایب فشار سیلندر ۲ بعدی و ۳ بعدی..... ۵۴
- شکل (۴-۵): مقایسه نتایج عددی و تجربی جریان اطراف استوانه مدور..... ۵۴
- شکل (۴-۶): نوسان دوره‌ای دمش و مکش جت ترکیبی و نقاط مورد بررسی..... ۵۵
- شکل (۴-۷): بزرگنمایی محل نقطه جدایش..... ۵۶
- شکل (۴-۸): تغییرات ضریب پسا بر حسب فرکانس با استفاده از عملگر در زاویه  $112/5$ ..... ۵۹
- شکل (۴-۹): مقایسه نتایج عددی ضریب فشار حول سیلندر با نتایج تجربی و بهینه سازی آن توسط عملگر در حالت مکشی ..... ۶۰
- شکل (۴-۱۰): محل نقطه جدایش در زاویه  $95$  درجه..... ۶۱
- شکل (۴-۱۱): خطوط جریان و جدایش آن در زاویه  $95$  درجه..... ۶۲
- شکل (۴-۱۲): خطوط جریان و جدایش آن در حالت مکش..... ۶۲
- شکل (۴-۱۳): خطوط جریان و جدایش آن در حالت دمش..... ۶۲
- شکل (۴-۱۴): مقایسه تغییرات فشار در سه حالت بدون عملگر، با عملگر در حالت مکشی و با عملگر در حالت دمشی..... ۶۳
- شکل (۴-۱۵): نمایی از مدل هندسی مورد بررسی..... ۶۴

- شکل (۴-۱۶): تعریف زاویه حمله در حرکت رو به جلو..... ۶۵
- شکل (۴-۱۷): شبکه محاسباتی به کاررفته برای مجرا..... ۶۶
- شکل (۴-۱۸): شبکه محاسباتی و شرایط مرزی اطراف مجرا..... ۶۷
- شکل (۴-۱۹): پروفیل سرعت در قسمت خروجی مجرا با مقطع NACA0012 و  
معتبرسازی آن با نتایج تجربی..... ۶۸
- شکل (۴-۲۰): نمودار ضریب برای مجرا بر حسب زاویه حمله و مقایسه آن با نتایج تجربی..... ۶۹
- شکل (۴-۲۱): نمودار ضریب پسای مجرا بر حسب زاویه حمله..... ۶۹
- شکل (۴-۲۲): خطوط جریان در زاویه واماندگی در مجرا..... ۷۰
- شکل (۴-۲۳): محل قرار گرفتن عملگر در نیمه بالایی مجرا..... ۷۰
- شکل (۴-۲۴): نمودار ضریب برای عددی مجرا و تاثیر عملگر در حالت مکشی..... ۷۱
- شکل (۴-۲۵): نمودار ضریب برای عددی مجرا و تاثیر عملگر در حالت دمشی..... ۷۱
- شکل (۴-۲۶): شبکه محاسباتی اطراف مدل سه بعدی و نحوه اعمال شرایط مرزی..... ۷۳
- شکل (۴-۲۷): شبکه بندی اطراف ملخ..... ۷۴
- شکل (۴-۲۸): خطوط جریان حاصل از چرخش ملخ پس از ۱۰ دور..... ۷۵
- شکل (۴-۲۹): معتبر سازی ضریب برا نسبت به زاویه حمله با روش Sliding Mesh..... ۷۶
- شکل (۴-۳۰): ضریب پسا نسبت به زاویه حمله با روش Sliding Mesh..... ۷۶
- شکل (۴-۳۱): ضریب فشار در ۱/۲ از طول ملخ..... ۷۷
- شکل (۴-۳۲): پروفیل سرعت در روش ADM..... ۷۹
- شکل (۴-۳۳): معتبر سازی ضریب برا نسبت به زاویه حمله با روش ADM..... ۸۰
- شکل (۴-۳۴): نمودار ضریب برای فن مجرای و تاثیر عملگر در حالت مکشی..... ۸۱
- شکل (۴-۳۵): نمودار ضریب برای فن مجرای و تاثیر عملگر در حالت دمشی..... ۸۱

## فهرست نشانه‌های اختصاری

### لاتین

$c$	طول وتر
$k$	انرژی جنبشی توربولانس
$P$	فشار استاتیکی
$x, y, z$	مختصات کارتزین
$F$	نیرو
$R$	شعاع ملخ
$V$	سرعت مطلق
$A_{rot}=\pi D^2/4$	مساحت ناحیه چرخشی

### یونانی

$\alpha$	نرخ اتلاف حرارتی
$\varepsilon$	نرخ اتلاف توربولانس
$\gamma$	نرخ گرمایی مخصوص
$\mu$	ویسکوزیته دینامیک
$\mu_t$	ویسکوزیته توربولانس
$\nu$	ویسکوزیته سینماتیک

$\Phi$  تابع پتانسیل

$\Psi$  تابع جریان

$\rho$  چگالی

$\bar{\Omega}, \omega$  سرعت دورانی

$\omega$  نرخ اتلاف مخصوص توربولانس

زیرنویس

$\infty$  مقدار جریان آزاد

$t$  توربولانس

$i, j, k$  راستای گرید

$x, y, z$  راستای مختصات کارتزین

اعداد بدون بعد

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{0.5\rho V_\infty^2}$$

ضریب فشار

$$C_d = \frac{D}{0.5\rho V_\infty^2 S}$$

ضریب نیروی پسا

$$C_l = \frac{L}{0.5\rho V_\infty^2 S}$$

ضریب نیروی برآ

$$C_T = \frac{T}{0.5\rho V_\infty^2 A}$$

ضریب تراست

$$Re = \frac{V_\infty L}{\nu}$$

عدد رینولدز

# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱- پیشگفتار

قرار دادن ملخ در مجرا، ابتدا در آغاز قرن بیستم پیشنهاد شد و همان سال ها به طور گسترده در صنایع هوافضا و دریایی مورد استفاده قرار گرفت [۱].

علاقه به فن های مجرای برای استفاده در پهپاد<sup>۱</sup> و ریز پهپاد<sup>۲</sup> در سال های اخیر گسترش یافته و مزایای منحصر به فردی از ساختار این وسیله شناخته شده است که برای مأموریت های خاصی مناسب می باشد. پهپادهای دارای فن مجرای<sup>۳</sup> می توانند به صورت عمودی برخیزند، قادر به پرواز ایستایی و همچنین پرواز رو به جلو می باشند.

به کار بردن مجرا باعث بالا رفتن ۲۵ تا ۳۰ درصد مقدار پیشرانس نسبت به حالت روتور بدون پوشش با همان قطر می شود. مجرا در اصل اتلاف پیشرانس را که بخاطر نشتی جریان نوک است کم می کند [۱].

به طور کلی توزیع فشار بوجود آمده بوسیله جریان و القای فن، موجب توزیع نیروها و گشتاورهای روی فن مجرای می شود. بخصوص در جریان های سرعت بالا سبب ایجاد ناحیه فشار بالا در لبه حمله مجرا می گردد. این پدیده روی مجموع نیروها در جهت پیشرانس حین پرواز ایستایی تاثیر گذاشته و در حین پرواز رو به جلو نیروی برا و گشتاور پیچشی ایجاد می کند [۲].

در واقع مجرای فن ها در پهپاد ها سه وظیفه اصلی دارند: [۱، ۲، ۳ و ۴]

○ اولین و مهمترین وظیفه، ایمنی خدمه زمینی در تماس با آن ها بخصوص در سرعت های بالا است. همچنین در صورت آسیب دیدن ملخ، دیگر قطعات سازه هواپیما از آسیب در امان می مانند.

○ وجود فن درون محفظه باعث کم شدن صدای سیستم پیشرانس می شود و در نتیجه برای اهداف نظامی مناسب است.

○ افزایش نیروی پیشرانس را موجب می گردد که تحقیقات گسترده ای برای بدست آوردن رابطه بین هندسه مجرا و نیروی پیشرانس انجام شده است.

از معایب فن های مجرای در پهپاد ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

○ در حالت کروز (در تراست پایین) کارایی کمتری نسبت به ملخ تنها دارد.

<sup>1</sup> Unmanned Aero Vehicle(UAV)

<sup>2</sup> Micro Aero Vehicle(MAV)

<sup>3</sup> Ducted Fan



○ کارایی خوب نیازمند فضای خیلی کم بین نوک ملخ و مجرا است که کم کردن فضا به سادگی امکان پذیر نمی باشد.

○ نیازمند چرخش بالا و لرزش کم اند، که رسیدن به این مهم دشوار می باشد.

○ طراحی مجرا پیچیده است. در صورتی که از مواد کامپوزیت پیشرفته استفاده نشود وزن بالا می رود.

در شرایط خاص جریان روی لبه مجرا می تواند جدا شده و باعث تغییر ناگهانی در نیروی پیشرانش، نیروی برا و گشتاور پیچشی این وسیله پرنده شود. این مساله پیچیده، به شکل، زاویه حمله، سرعت جریان آزاد و چرخش فن وابسته است [۶و۵].

ممکن است فن مجرای در زوایای برخورد<sup>۱</sup> بیشتر از ۳۰ درجه با جریان، دچار واماندگی شده و نیروی پسای زیادی تولید کند. همچنین حین انتقال از پرواز ایستایی<sup>۲</sup> به پرواز مستقیم در سرعت های پایین و زوایای حمله بالا گشتاور پیچشی روبه بالای بزرگی را تجربه می کند که باید جهت کنترل پذیری آسان کاهش یابد [۷].

جدایش جریان یک پدیده ناخواسته جریان حول اجسام است که بیشتر اوقات به عنوان یک عامل مضر برای وسیله مطرح می شود. جدایش جریان موجب اتلاف انرژی، عدم پایداری، کاهش راندمان، افزایش هزینه عملیاتی و موارد دیگر می شود. بنابراین همزمان با طراحی وسایل مختلف که به نوعی با یک جریان حول آنها سروکار داریم، باید جدایش جریان را هم مدنظر داشته باشیم. این پدیده در سیستم های مهندسی مختلفی روی می دهد. در هر کدام از این زمینه ها، جدایش جریان اثرات منفی بر روی کل سیستم برجا می گذارد که بازده عملیاتی را کاهش می دهد [۸].

در زمینه های صنعتی مانند توربوماشین ها، جدایش جریان باعث کاهش راندمان پره و کاهش دور آن می شود. با بکار بستن روش های کنترل جریان می توان تعداد دور پره و در نتیجه راندمان آن را افزایش داد. برخی از این روش ها می توانند بر روی دمای بیشینه قابل تحمل توسط پره تأثیر بگذارند. همچنین در خطوط انتقال مانند گاز، آب و... جدایش جریان باعث افت فشار، افزایش خوردگی و کاهش طول عمر خطوط می شود. بنابراین استفاده از ترفندهایی برای جلوگیری از جدایش جریان ضروری است.

<sup>1</sup> Incidence Angle

<sup>2</sup> Hovering

در زمینه حمل و نقل زمینی در ماشین‌ها و قطارها، این پدیده باعث افزایش مصرف سوخت، کاهش سرعت و شتاب حرکت و افزایش هزینه حمل و نقل می‌گردد. بدین سبب در این وسایل نقلیه، برخی سطوح اضافی بکار بسته می‌شود. در کامیون‌ها یک سطح شیبدار، سقف کابین را به قسمت باربر آن متصل می‌کند. این سطح باعث می‌شود که در این گوشه، جدایش رخ نداده و سبب کاهش مصرف سوخت گردد. همچنین جلوی ماشین‌ها بصورت آئروپنماتیکی طراحی می‌شوند تا برخورد هوا به این وسایل با پسای کمتری صورت پذیرد. دماغه قطارها طوری ساخته می‌شوند که در سرعت‌های بالا، شکافت هوا توسط قطار به آسانی صورت گیرد و سرعت آن پایین نیاید. همچنین سطوحی بصورت هشتی بر روی سقف قطار قرار می‌گیرند تا اثرات سه بعدی، باعث به تعویق انداختن جدایش بر روی سقف صاف قطار گردند.

در حمل و نقل دریایی مانند قایق‌ها و کشتی‌های سریع‌السیر، جدایش جریان بوجود آمده در پشت این وسایل نقلیه می‌تواند کاهش سرعت و مانورپذیری را نتیجه دهد. شکل مخصوص بیضی‌وار قایق‌ها سبب می‌شود که شکافت آب در قسمت جلوی قایق باعث افت نیروی کمتری از آن شود. همچنین طراحی پشت قایق سبب می‌شود که بهم پیوستن آب حول قایق طوری صورت پذیرد که پسای ناشی از آن به کمترین میزان ممکن برسد.

جدایش جریان ممکن است در حمل و نقل هوایی مانند بال هواپیماها، منجر به کاهش سقف پروازی، افت برا و افزایش پسا (و بطور کلی کاهش نسبت برا به پسا)، افزایش زمان مانور و افزایش مصرف سوخت گردد. طراحی بال‌ها و سطوح کنترلی باید طوری باشد که در موقعیت‌های پروازی مختلف، گردابه کمتری بر روی بال و حول هواپیما ایجاد شود. همچنین جدایش جریان می‌تواند در ورودی موتور وسایل پرنده نیز اتفاق افتد و باعث ایجاد شوک، کاهش هوای ورودی به موتور و عملکرد بد ورودی موتور در مکش هوای با عدد ماخ مناسب گردد. بدین سبب طراحی شکل کلی ورودی موتور، زوایای برخورد و اندازه آن بسته به شرایط پروازی است که وسیله پرنده در آن مأموریت دارد.

در زمینه‌های نظامی نیز مشکلات این اثر قابل ملاحظه است. در هواپیماهای جنگنده، جدایش جریان موجب کاهش مانورپذیری، کاهش سقف پروازی و کاهش ماخ پروازی می‌گردد. همچنین در جنگ هوایی امکان به دام انداختن و یا فرار از دید دشمن کاهش می‌یابد. بدین سبب طراحی بال و بدنه این جنگنده‌ها باید طوری باشد که در زوایای حمله و زوایای جنب بالا، حتی‌الامکان جدایش صورت نگیرد و یا به میزان خیلی کم جدایش جریان داشته باشیم. طراحی زاویه هشتی بال، طراحی دماغه جنگنده‌ها، طراحی ورودی مافوق صوت، طراحی سطوح کنترلی و تمام سطوح بدنه باید طوری باشد که در مانورهای شدید، جدایش کمتری صورت پذیرد.

در زمینه‌های تسلیحاتی مانند موشک‌ها، جدایش جریان باعث کاهش برد شلیک، افزایش مصرف سوخت، افزایش وزن موشک، کاهش سقف پروازی، کاهش دقت شلیک و کاهش مانورپذیری می‌شود. بدین سبب طراحی طول موشک، نسبت طول به قطر موشک، طول دماغه موشک، بال‌ها، کاناردها و دم‌های موشک باید بگونه‌ای باشند که در زوایای حمله متفاوت بتوانند پروازی با کمترین اثرات ناشی از جدایش جریان حول آن صورت پذیرد. در توپ‌ها و گلوله‌های جنگی نیز جدایش جریان می‌تواند باعث کاهش برد آتش، کاهش دقت آتش و کاهش نفوذپذیری گلوله شود. به همین علت طراحی آئرودینامیکی این گونه تسلیحات، در نوک و پشت آنها بسیار مهم است و باید کمترین اثرات پسای شکل و پایه در طراحی آنها منظور گردد.

در زمینه فضائی مانند شاتل‌ها، جدایش جریان می‌تواند باعث افزایش شدید پسا، افزایش مصرف سوخت و حتی برهم خوردن تعادل فضاپیما در شرایط خاص شود. بنابراین طراحی شکل فضاپیما، دماغه فضاپیما و پشت آن بسیار مهم است و همزمان با طراحی حرارتی المان‌ها (برای تحمل دمای بالا در ماخ بالا)، در روند کلی طراحی، به این نکته نیز باید توجه نمود.

در زمینه ساختمان‌های بلند مرتبه نیز جدایش جریان می‌تواند اثرات مخربی داشته باشد. در این نوع ساختمان‌ها، جدایش جریان می‌تواند موجب ایجاد سروصدا و نیز ارتعاشات زیاد ساختمان گردد. همچنین در برج‌های بزرگ، جدایش جریان می‌تواند باعث افزایش پسا در نوک برج شده و در نتیجه میزان گشتاور وارد بر پایه برج را افزایش داده و باعث ارتعاشات متناوب و در نتیجه تضعیف استحکام برج شود.

با وجود این مشکلات، روش‌های مناسبی جهت کنترل جریان موجود است که برای تغییر این رفتارها مفید می‌باشند.

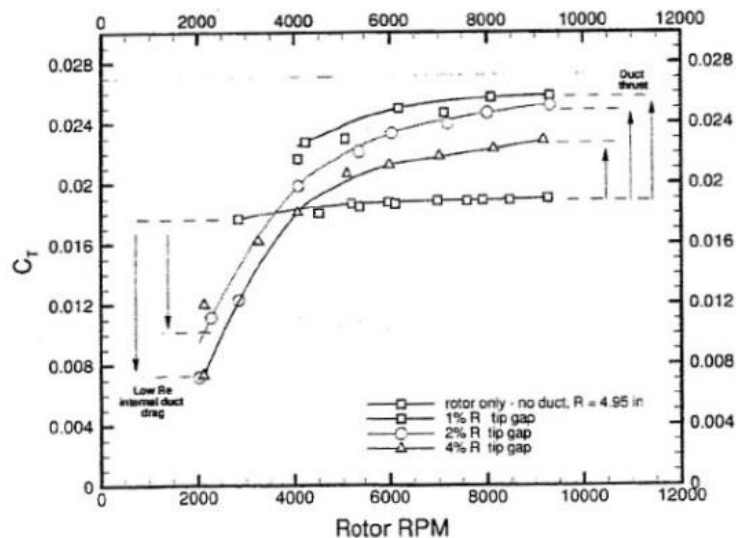
## ۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده

ابتدایی‌ترین کار مربوط به تاریخ فن مجرای به سال ۱۹۳۰ باز می‌گردد. استیپا [۸] در ایتالیا و کورت [۹] در آلمان پیشگامان این زمینه بودند. استیپا ملخ را بالا دست لوله ونتوری تجربه کرد، در صورتی که کورت ملخ را درون یک نازل (مجرا) جهت بدست آوردن نیروی محرکه در کشتی استفاده نمود.

کروگر [۱۰] اولین کسی بود که کارهای زیادی در مورد ساختار فن‌های مجرای انجام داد. وی پانزده مقطع عرضی مجرا را برای دو ملخ متفاوت بررسی کرد. همچنین مزیت فن مجرای را در

مقایسه با ملخ تنها مشاهده نمود. وی توانست بطور تجربی رابطه قطر دنباله خروجی را با هندسه مجرا بیان کند.

مارتین و تانگ [۱۱] در مورد جریان فن مجرای به بررسی فاصله نوک و تاثیرات شکل مجرا پرداختند (۱-۱).



شکل ۱-۱- تغییرات پیشرانش با تعداد دور بر دقیقه همراه با فاصله نوک

آکتورک و همکارانش [۱۲] با استفاده از روش سرعت نگاری ذره ای<sup>۷</sup> در مورد جریان اطراف مجرا تحقیق کردند. آن ها به این نتیجه رسیدند که کارایی فن های مجرای در مواجهه با بادهای عرضی به طور قابل توجهی بالا می رود.

برلی و هوانگ [۱۳] نشان دادند که دمش مماسی در دیفیوزر و ورودی موتور پهپاد در موتور های توربوفن قادر به تاخیر جدایش جریان در زوایای حمله بالا است. آن ها در تحلیل خود از دمش پایای سرعت بالا استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که دمش در لبه ورودی بهتر از دمش در پایین دست دیواره موتور است.

اوهانیان و همکارانش [۱۴] در مورد کنترل جریان لبه حمله و لبه فرار با استفاده از جت ترکیبی در پهپاد کوچک تحقیق کردند. دمیدن ناپایای عملگرهای جت ترکیبی با دمیدن پایا مقایسه شد تا کارایی کاهش گشتاور پیچشی تعیین شود. همچنین آن ها کنترل جریان به صورت ایستایی را بخوبی شرایط رو به جلو در زوایای حمله مختلف تحلیل کردند. شکل های ۲ و ۳ این نوع کنترل را بخوبی نمایش می دهند.