



دانشگاه بلوچستان  
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در (مکانیک و تبدیل انرژی)

عنوان:

## بهینه سازی پره فن گریز از مرکز

استاد راهنما:

دکتر: امین بهزاد مهر

تحقیق و نگارش:

ابراهیم آینه رستمی

شهریور ۱۳۸۹

## بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان یافتن شکل پره بهینه برای فن گریز از مرکز قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی توسط دانشجو ابراهیم آیینه رستمی تحت راهنمایی استاد پایان نامه دکتر امین بهزادمهر تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

ابراهیم آیینه رستمی

این پایان نامه ۸ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه..... به آن تعلق گرفت.

تاریخ

امضاء

نام و نام خانوادگی

امین بهزاد مهر

استاد راهنما:

استاد راهنما:

استاد مشاور:

داور ۱:

داور ۲:

نماینده تحصیلات تکمیلی:



## تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب ابراهیم آیینہ رستمی تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: ابراهیم آیینہ رستمی

امضاء

تقدیم به:

همه وجودم، رهبرم

## سپاسگزارى

با سپاس از پدرم، مادرم كه هم و غم خویش را پرورشتم قرار دادند، همسر و همراهم، استاد و همه ی دوستان كه یاریم كردند.

## چکیده:

در این پایان نامه سعی شده، که برای کانال بین دو پره فن گریز از مرکز روبه عقب معادلات دو بعدی تراکم ناپذیر ناویر-استوکس جریان متلاطم با استفاده از روش عددی حجم محدود، به منظور محاسبه توزیع جریان و فشار در کانال بین دو پره فن حل گردد. در این کار دبی ورودی، قطر ورودی، قطر خروجی، ارتفاع پره و سرعت دورانی ثابت در نظر گرفته شده و اثر شکل منحنی پره بر راندمان بررسی گردیده است. از الگوریتم ژنتیک برای بدست آوردن شکل پره بهینه به گونه ای که راندمان آن ماکزیمم گردد، استفاده شده است. الگوریتم برای سه شکل فن حل گردیده است. نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک به همراه پاره ای از نتایج مربوط به توزیع جریان و فشار در پره بهینه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک آورده شده است. نتایج نشان می دهد که برای شکل پره ای بهینه بدست آمده، شار ورودی نقطه کار فن می باشد.

**کلمات کلیدی:** CFD، کدنویسی، الگوریتم بهینه سازی ژنتیک، فن گریز از مرکز، پره، راندمان، روش عددی

حجم محدود

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	فصل اول: مقدمه.....
۳	۱-۱- مقدمه.....
۵	۲-۱- تعریف مسئله.....
۶	۳-۱- کارهای انجام شده.....
۱۰	فصل دوم: معادلات حاکم بر مسئله و الگوریتم حل.....
۱۱	۱-۲- مقدمه.....
۱۱	۲-۲- توصیف جریان متلاطم.....
۱۲	۳-۲- معادلات کلی حل جریان متلاطم.....
۱۳	۴-۲- مدل های تلاطمی.....
۱۶	۵-۲- معادلات حاکم بر مسئله.....
۱۶	۶-۲- روش های حل عددی.....
۱۸	۷-۲- شبکه بندی.....
۱۹	۸-۲- استفاده از روش حجم محدود برای حل مسئله.....
۲۴	۹-۲- گسسته سازی معادلات.....
۲۷	۱۰-۲- الگوریتم حل.....
۳۳	۱۱-۲- شرایط مرزی.....
۳۵	۱۲-۲- محاسبه راندمان.....

۳۸	..... فصل سوم: الگوریتم ژنتیک.
۳۹	..... ۱-۳- مقدمه.
۴۰	..... ۲-۳- برخی اصطلاحات الگوریتم ژنتیک.
۴۱	..... ۳-۳- چگونگی کار الگوریتم ژنتیک.
۴۲	..... ۴-۳- شکل کلی الگوریتم.
۴۶	..... فصل چهارم: نتایج.
۴۷	..... ۱-۴- مقدمه.
۴۷	..... ۲-۴- اعتبار سنجی کد نوشته شده.
۵۰	..... ۳-۴- تعریف مسئله.
۵۰	..... ۴-۴- نتایج.
۷۴	..... فصل پنجم: نتیجه گیری.
۷۵	..... ۱-۵- بحث و نتیجه گیری.
۷۶	..... ۲-۵- پیشنهادات.
۷۷	..... مراجع.



## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان جدول
3	جدول ۱-۱- اختلاف میان دمنده ها، فن ها و کمپروسورها
۴	جدول ۲-۱- انواع فن های گریز از مرکز و پره های شعاعی
۴۸	جدول ۱-۴- مشخصات فن بکار رفته برای اعتبارسنجی
۴۹	جدول ۲-۴- نتایج فن مورد استفاده برای اعتبارسنجی
۴۹	جدول ۳-۴- نتایج بدست آمده از کد محاسباتی برای اعتبارسنجی
۵۰	جدول ۴-۴- مشخصات فن
۵۱	جدول ۵-۴- شایستگی متوسط و بهترین شایستگی
۵۳	جدول ۶-۴- زوایای مماس بر پره برای پره بهینه
۵۵	جدول ۷-۴- فشار و راندمان برای شارهای مختلف
۵۶	جدول ۸-۴- فشار کل بر حسب شعاع
۵۷	جدول ۹-۴- فشار استاتیکی
۵۸	جدول ۱۰-۴- فشار دینامیکی
۵۸	جدول ۱۱-۴- مشخصات فن
۵۹	جدول ۱۲-۴- شایستگی متوسط و بهترین شایستگی
۶۰	جدول ۱۳-۴- زوایای مماس بر پره برای پره بهینه

- ۶۲ جدول ۴-۱۴ - فشار و راندمان برای شارهای مختلف
- ۶۳ جدول ۴-۱۵ - فشار کل برحسب شعاع
- ۶۴ جدول ۴-۱۶ - فشار استاتیکی
- ۶۵ جدول ۴-۱۷ - فشار دینامیکی
- ۶۵ جدول ۴-۱۸ - مشخصات فن
- ۶۶ جدول ۴-۱۹ - شایستگی متوسط و بهترین شایستگی
- ۶۷ جدول ۴-۲۰ - زوایای مماس بر پره برای پره بهینه
- ۶۹ جدول ۴-۲۱ - فشار و راندمان برای شارهای مختلف
- ۷۰ جدول ۴-۲۲ - فشار کل برحسب شعاع
- ۷۱ جدول ۴-۲۳ - فشار استاتیکی
- ۷۲ جدول ۴-۲۴ - فشار دینامیکی

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان شکل
۵	شکل ۱-۱ - انواع فن
۶	شکل ۲-۱ - دستگاه مختصات
۱۸	شکل ۱-۲ - گره بندی
۲۱	شکل ۲-۲ - سلول سرعت شعاعی
۲۲	شکل ۳-۲ - سلول سرعت مماسی
۲۳	شکل ۴-۲ - سلول فشار
۳۲	شکل ۵-۲ - الگوریتم سیمپلر
۳۷	شکل ۶-۲ - مثلث سرعت ها
۴۲	شکل ۱-۳ - فرزند دورگه
۴۲	شکل ۲-۳ - فرزند جهشی
۴۴	شکل ۳-۳ - جمعیت اولیه
۴۸	شکل ۱-۴ - فن گریز از مرکز
۵۰	شکل ۲-۴ - کانال عبور جریان
۵۱	شکل ۳-۴ - شایستگی متوسط و بهترین شایستگی
۵۳	شکل ۴-۴ - شکل پره اولیه
۵۴	شکل ۵-۴ - شکل پره بهینه شده

- ۵۵ شکل ۴-۶ - فشار و راندمان برای شارهای مختلف
- ۵۶ شکل ۴-۷ - فشار کل بر حسب شعاع
- ۵۷ شکل ۴-۸ - فشار استاتیکی
- ۵۸ شکل ۴-۹ - فشار دینامیکی
- ۵۹ شکل ۴-۱۰ - شایستگی متوسط و بهترین شایستگی
- ۶۰ شکل ۴-۱۱ - شکل اولیه پره
- ۶۱ شکل ۴-۱۲ - شکل پره بهینه شده
- ۶۲ شکل ۴-۱۳ - فشار و راندمان برای شارهای مختلف
- ۶۳ شکل ۴-۱۴ - فشار کل بر حسب شعاع
- ۶۴ شکل ۴-۱۵ - فشار استاتیکی
- ۶۵ شکل ۴-۱۶ - فشار دینامیکی
- ۶۶ شکل ۴-۱۷ - شایستگی متوسط و بهترین شایستگی
- ۶۷ شکل ۴-۱۸ - شکل اولیه پره
- ۶۸ شکل ۴-۱۹ - شکل پره بهینه شده
- ۶۹ شکل ۴-۲۰ - فشار و راندمان برای شارهای مختلف
- ۷۰ شکل ۴-۲۱ - فشار کل بر حسب شعاع
- ۷۱ شکل ۴-۲۲ - فشار استاتیکی
- ۷۲ شکل ۴-۲۳ - فشار دینامیکی

۷۳

شکل ۴-۲۴ - سرعت نسبی شعاعی

۷۳

شکل ۴-۲۵ - سرعت نسبی مماسی

## فهرست علائم

نشانه	علامت
مساحت مرز سلول	$A \text{ (m}^2\text{)}$
سرعت مطلق سیال در فن ها	$C \left(\frac{m}{s}\right)$
ثابت انتگرال	$E$
نیروی حجمی	$F \text{ (N)}$
نیروی حجمی	$g \text{ (N)}$
ثابت فون کارمن	$K$
انرژی جنبشی	$k \text{ (J)}$
انرژی جنبشی در گره هم مرز با دیوار	$k_p \text{ (J)}$
فشار	$P \text{ (Pa)}$
شعاع	$r \text{ (m)}$
چشمه وابسته به گره مرکزی	$s_p$
چشمه مستقل از گره مرکزی	$s_v$
چشمه بدست آمده در جداسازی معادلات	$s_\phi$
شدت تلاطم	$T_i$
سرعت در گره هم مرز با دیوار	$u_p \left(\frac{m}{s}\right)$
نوسانات سرعت	$\acute{u} \left(\frac{m}{s}\right)$
مولفه مماسی سرعت نسبی	$v_\theta \left(\frac{m}{s}\right)$
حجم سلول	$V \text{ (m}^3\text{)}$
چگالی	$\rho \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
ویسکوزیته	$\mu \left(\frac{Ns}{m^2}\right)$

تنش برشی	$\tau \left( \frac{N}{m^2} \right)$
ویسکوزیته گردابی	$\mu_t \left( \frac{Ns}{m^2} \right)$
تنش برشی دیوار	$\tau_w \left( \frac{N}{m^2} \right)$
تلفات انرژی جنبشی	$\varepsilon (j)$
فاصله عمودی گره هم مرز با دیوار با دیوار	$\Delta y_p (m)$
حجم سلول	$\Delta V (m^3)$
خاصیت سیال	$\Phi$
سرعت دورانی پره	$\omega$
ضریب نفوذ	$\Gamma$
لزجت سینماتیکی	$\nu_t \left( \frac{N.s.m}{kg} \right)$

## فصل اول

### مقدمه



## ۱-۱- مقدمه

ماشین‌هایی که از طریق دوران محور خود به سیال انرژی می‌دهند یا از سیال انرژی می‌گیرند، توربوماشین نامیده می‌شوند. فن‌ها نوعی از توربوماشین‌ها هستند که در آن‌ها انرژی به وسیله‌ی پره‌های فن به هوا که به دلیل تغییرات کم فشار و دما، تراکم ناپذیر در نظر گرفته می‌شود، منتقل می‌شود.

فن وسیله‌ای است که انرژی مکانیکی حاصل از دمنده در حال چرخش را به ایجاد حرکت در هوا و افزایش فشار کلی هوا تبدیل می‌نماید.

فن‌ها عموماً در جاهایی که نیاز به افزایش فشار زیاد نباشد و هوا فشرده نشود، از قبیل دمنده‌های ورودی برای سیستم‌های خنک‌کاری مانند برج خنک‌کن، در ورودی تونل باد برای تامین هوای ورودی که معمولاً از فن‌های محوری و به ندرت از فن‌های گریز از مرکز استفاده می‌شود، تهویه مطبوع و خنک‌کاری سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اکثر کارخانه‌های صنعتی از فن یا دمنده به منظور تهویه یا برای فرایندهای صنعتی که نیازمند به جریان هواست، استفاده می‌کنند.

فن، دمنده و کمپروسور با روش استفاده شده در انتقال هوا در آن‌ها و میزان فشاری که ایجاد می‌کنند، از هم جدا می‌گردند. انجمن مهندسان مکانیک امریکا از یک نسبت خاص که نسبت افزایش فشار در فن به فشار

ورودی است، برای تعریف فن دمنده و کمپروسور استفاده می‌کند. جدول (۱-۱). [۱]

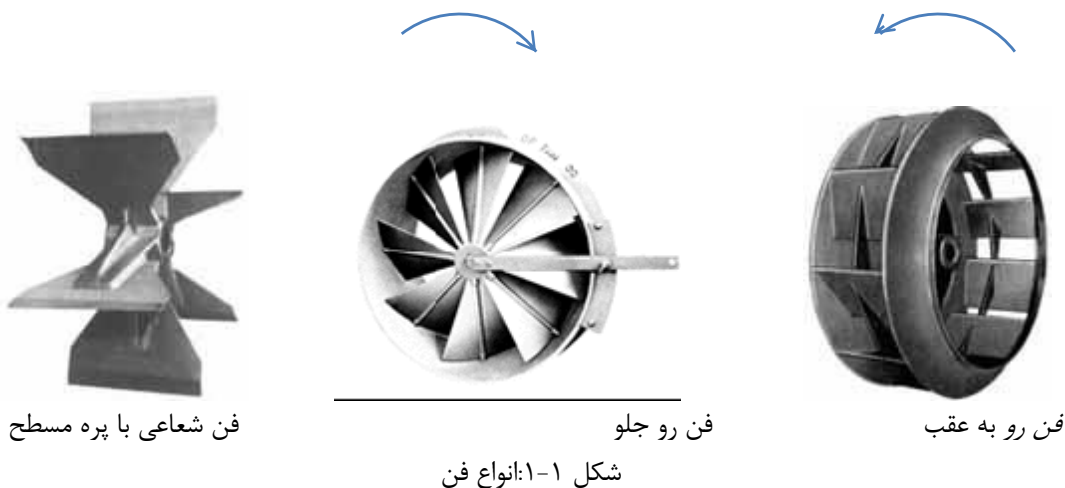
جدول ۱-۱. اختلاف میان دمنده‌ها، فن‌ها و کمپروسورها

افزایش فشار (میلیمتر جیوه)	نسبت مخصوص	وسایل
۱۱۳۶	تا ۱.۱۱	فن
۱۱۳۶-۲۰۶۶	۱.۱۱ تا ۱.۲۰	دمنده
-	بیشتر از ۱.۲۰	کمپروسور

فن‌ها را از لحاظ شکل پره و شکل کلی فن می‌توان به صورت زیر تقسیم بندی نمود. جدول (۲-۱). [۱]

جدول ۱-۲. انواع فن های گریز از مرکز و پره های شعاعی

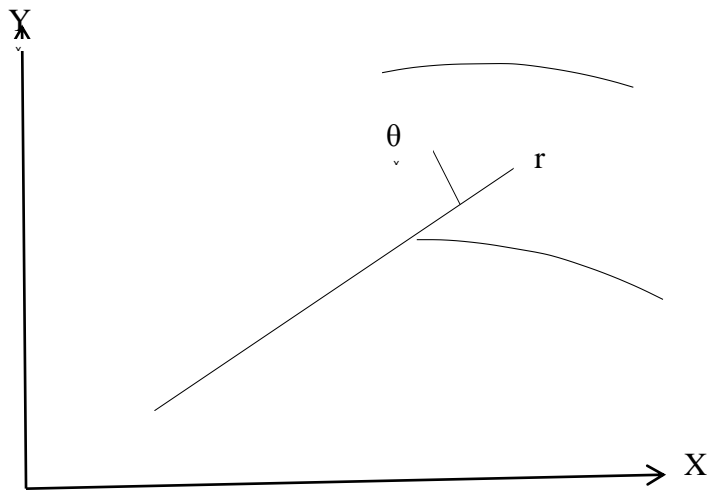
انواع فن و پره	مزایا	معایب
فن های شعاعی	<p>۱- برای فشار استاتیک بالا (تا ۱۴۰۰ میلیمتر جیوه) و دمای بالا مناسب اند.</p> <p>۲- طراحی آسان اجازه می دهد که برای کاربرد های خاص یک نمونه مخصوص ساخته شود.</p> <p>۳- در جریان های کم هوا بدون مشکل لرزش می تواند کار کند.</p> <p>۴- مقاومت و ماندگاری بالا</p> <p>۵- بازده بالای ۷۵ درصد</p> <p>۶- قابلیت تمیز کردن در حال کار، که برای جامدات هوابرد (گرد و غبار، تراشه های چوب و ذرات فلز) مناسب است.</p>	<p>۱- فقط برای نرخ جریان متوسط و کم مناسب اند.</p>
فن های رو به جلو	<p>۱- مقدار حجم زیادی را با فشار پایین می تواند جابجا کند.</p> <p>۲- ابعاد نسبتا کوچک</p> <p>۳- سطح صدای کم (سرعت پایین) و مناسب برای گرمایش مناطق مسکونی، تهویه و کاربرد های هوای مناسب</p>	<p>۱- فقط برای کاربرد های تمیز مناسبند، اما نه برای قسمت های فشار بالا و ناملایم</p> <p>۲- خروجی فن به سختی تعدیل می گردد.</p> <p>۳- محرک باید با دقت انتخاب شود تا از مسلط شدن بار به موتور اجتناب گردد. بدلیل اینکه منحنی توان همواره با جریان هوا افزایش می یابد.</p> <p>۴- بازده انرژی نسبتا کم (۶۵-۵۵ درصد)</p>
فن های رو به عقب که پره آن ها به صورت مسطح، منحنی و ایرفول می باشند	<p>۱- می تواند با تغییر در فشار استاتیک کار کند (این نمی تواند از ظرفیت بار موتور فزونی یابد).</p> <p>۲- هنگامی که رفتار سیستم در هوای بالادست متغیر است مناسب می باشد.</p> <p>۳- برای قسمت هایی که پیش بار دارند مناسب است.</p> <p>۴- فن ها با پره های مسطح سبترترند.</p> <p>۵- فن های با پره های منحنی دارای بازده بیشتری هستند. (متجاوز از ۸۵ درصد)</p> <p>۶ = پره های ایرفویل نازک دارای بیشترین بازده اند.</p>	<p>۱- برای جریان کثیف نامناسب است (شکل فن انباشتگی گرد و غبار را بیشتر می کند).</p> <p>۲- فن های با پره های ایرفول ناپایدارند به دلیل اینکه آن ها روی نیروی بالا برنده ی یک پره تکیه می کنند.</p> <p>۳- فن های با ایرفول نازک مشکل فرسودگی دارند.</p>



## ۱-۲- تعریف مسئله

پارامترهای موثر بر راندمان فن دبی ورودی به فن، قطر ورودی و خروجی، ارتفاع پره، سرعت دورانی و شکل منحنی پره می باشند. در این کار تمام مشخصات پره ثابت در نظر گرفته شده و تنها اثر شکل منحنی روی راندمان پره بررسی شده است. یک کد محاسباتی به منظور محاسبه توزیع سرعت و فشار نوشته شده، که زاویه مماس بر منحنی نسبت به راستای مماسی در شعاع های مختلف (متغیر مستقل) ورودی این کد می باشند. دیگر مشخصه های فن در کد به شکل مقادیر ثابت آورده شده است. با در نظر گرفتن نقطه شروع روی شعاع ورودی و با استفاده از شیب های مماس بر منحنی پره در ورودی و شعاع بعدی که در ورودی کد، مقادیر آن ها آمده است، یک معادله درجه دوم برای منحنی شکل پره بدست می آید. نقطه انتهایی این منحنی نقطه ی ابتدایی منحنی بعدی می گردد و می توان با استفاده از شیب های مماس بر منحنی و این نقطه بدست آمده منحنی بین دو شعاع بعدی بدست می آورد. به همین ترتیب کل منحنی پره رسم می گردد.

با بدست آوردن منحنی پره کانال بین دو منحنی مشخص می گردد. برای کانال بدست آمده معادلات جریان با روش CFD حل گردیده و توزیع فشار و سرعت بدست آمده است. با استفاده از اختلاف فشار بدست آمده راندمان تعریف شده و خروجی کد در نظر گرفته شده است. این کد به منظور پیدا کردن منحنی پره ای که بهترین راندمان را داشته باشد، در الگوریتم ژنتیک قرار داده شده است. الگوریتم با حدس متغیرهای مستقل (ورودی های کد محاسباتی)، اجرای کد محاسباتی و مقایسه متغیر وابسته (خروجی کد محاسباتی)، متغیرهای مستقل (شیب های مماس بر پره- شکل پره) را به شکلی پیدا می کند، که متغیر وابسته (راندمان) بهترین باشد. جریان نسبی در مختصات قطبی حل شده و برای بدست آوردن سرعت های مطلق سرعت های نسبی با سرعت پره به صورت برداری جمع می شود.



شکل ۱-۲: دستگاه مختصات

از آنجا که حل عددی به دلیل هزینه کم برای بسیاری از مسائل مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد، تلاش هایی برای بدست آوردن توزیع جریان و فشار در درون فن و همچنین بهینه سازی عملکرد فن ها با استفاده از روش های عددی صورت گرفته شده است. از آنجا که جریان به دلیل وجود عضو دوار در فن ها بسیار پیچیده و معمولا با جدایی جریان همراه است، پیش بینی جریان با حل عددی بسیار مشکل می باشد. در زیر به چند نمونه از کارهای انجام شده در حل عددی جریان فن ها اشاره می گردد.

### ۱-۳- کارهای انجام شده

لین<sup>۱</sup> و هانگ<sup>۲</sup> [۲] کار طراحی، ساخت نمونه اولیه و بررسی آزمایشگاهی و عددی یک فن گریز از مرکز جلو برنده که به منظور خنک کاری لب تاب استفاده می شود را به انجام رسانده اند. آن ها شکل پره، زاویه ی ورودی پره و هندسه خروجی محفظه فن را مورد بررسی قرار دادند.

وانگ<sup>۳</sup>، و همکاران [۳] میدان جریان متلاطم پایدار و غیر قابل تراکم سه بعدی یک فن گریز از مرکز چند پره مورد استفاده در تهویه مطبوع را به صورت عددی بررسی کردند. برای این منظور معادلات ناویر استوکس رینولدز متوسط با مدل تلاطمی  $k-\epsilon$  استاندارد و با روش حجم محدود حل شده است. نتایج، جدایی لایه مرزی

<sup>1</sup> - Sheam-Chyun Lin    <sup>2</sup> - China-Lieh Huang  
<sup>3</sup> - Jiabing Wang