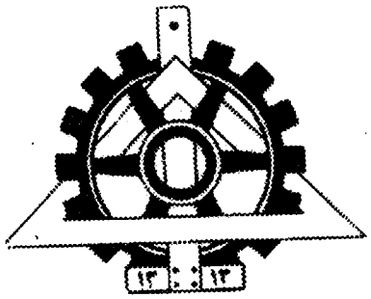
مرکز اطلاعات علمی ایران
تقدیم مدارک

۱۳۷۸ /۱۱/ ۹



**دانشگاه تهران**

**دانشکده فنی**

**پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک**

**(تبدیل انـــرژی)**

**عنوان :**

# فرمولاسیون و تولید شبکه سه بعدی جهت حل معادلات ناویر استوکس در مبدل کشتاور خودرو

**استاد راهنما :**

**دکتر وحید اصفهانیان**

14884

**نگارش:**

**رضـــا سعیدا**

۲۷۹۱۲

**تابستان ۱۳۷۸**

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

۲۷۹۱۲

## قدردانی

بدینوسیله از استاد گرامی جناب آقای دکتر وحید اصفهانیان که مرا در انجام این پروژه با راهنمایی های ارزشمند و نظارت مستمر یاری نمودند، نهایت تشکر را دارم. همچنین از آقایان دکتر سیداحمد نوربخش و دکتر فرشاد کوثری که مسئولیت نظارت بر این پروژه را پذیرا شده‌اند سپاسگزارم .

فهرست مطالب

عنوان | صفحه


فهرست علائم

چکیده

مقدمه

## فصل اول

۱) تاریخچه و شرح کارکرد مبدل گشتاور ۱

۱-۱) تاریخچه ۱

۱-۲) مبدل گشتاور سه عضوی ۴

۱-۲-۱) اصول کارکرد مبدل گشتاور سه عضوی ۶

۱-۲-۲) دیاگرام سرعت مبدل گشتاور سه عضوی ۷

۱-۳) مشخصات مبدل گشتاور هیدرودینامیکی ۱۰

## فصل دوم

۲) فرمولاسیون ۱۲

۲-۱) مقدمه ۱۲

۲-۲) درآمدی برجابجایی المانهای شبکه بندی ۱۸

۲-۲-۱) پره‌ها در حال حرکت دورانی هستند ۱۸

۲-۲-۲) خمش و پیچش پره‌ها ۱۸

۲-۳) دیدگاه اول ۱۹

۲-۴) دیدگاه دوم ۲۸

۲-۵) ساده سازی و نمایش بصورت شکل تانسوری ۳۲

فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| **فصل سوم** | |
| ۳) شبکه بندی عددی | ۴۳ |
| ۳-۱) بررسی انواع شبکه بندی | ۴۳ |
| ۳-۱-۱) شبکه بندی با سازمان (باقاعده) | ۴۳ |
| ۳-۱-۲) شبکه بندی با ساختار بلوکی | ۴۴ |
| ۳-۱-۳) شبکه بندی باسازمان ، با بلوکهای هم پوشان | ۴۵ |
| ۳-۱-۴) شبکه بندی بدون سازمان | ۴۶ |
| ۳-۱-۵) سیستم مختصات و شبکه بندی مناسب برای معادلات دیفرانسیل جریان تراکم ناپذیر درهندسه های پیچیده | ۴۷ |
| ۳-۱-۶) اعمال تقریب پلکانی برای شبکه بندی باقاعده | ۴۷ |
| ۳-۱-۷) شبکه بندی همپوشان | ۴۸ |
| ۳-۱-۸) شبکه بندی غیرمتعامد منطبق بر مرز | ۴۹ |
| ۳-۲) آشنایی با روشهای تولید شبکه | ۴۹ |
| ۳-۲-۱) شبکه سازی با استفاده از اعداد مختلط و نگاشت همدیس (روشهای کلاسیک) | ۵۰ |
| ۳-۲-۲) شبکه سازی به روش جبری | ۵۰ |
| ۳-۲-۳) شبکه سازی با استفاده از معادلات دیفرانسیل | ۵۱ |
| ۳-۳) شبکه سازی به روش بیضوی | ۵۳ |
| ۳-۳-۱) تاریخچه و شرح روش | ۵۵ |

فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| **فصل چهارم** | |
| ۴) حل جریان | ۶۲ |
| ۴-۱) بررسی روشهای مختلف حل عددی جریان | ۶۲ |
| ۴-۱-۱) روش اختلاف محدود | ۶۲ |
| ۴-۱-۲) روش المان محدود | ۶۲ |
| ۴-۱-۳) روش حجم محدود | ۶۳ |
| ۴-۲) شرح روش حجم محدود | ۶۳ |
| ۴-۲-۱) روشهای میانیابی | ۶۶ |
| ۴-۲-۱-۱) روش میانیابی بالادست | ۶۶ |
| ۴-۲-۲-۲) میانیابی خطی | ۶۷ |
| ۴-۲-۱-۳) روش پیوندی | ۶۷ |
| ۴-۲-۲) گسسته سازی | ۶۸ |
| ۴-۳) محاسبه میدان جریان | ۷۰ |
| ۴-۳-۱) نشان دادن جمله گرادیان فشار | ۷۰ |
| ۴-۳-۲) نمایش معادله پیوستگی | ۷۲ |
| ۴-۴) استفاده از شبکه جابجا شده | ۷۳ |
| ۴-۵) گسسته سازی معادلات مومنتوم | ۷۴ |
| ۴-۶) تصحیح فشار و سرعت | ۷۶ |
| ۴-۷) معادله تصحیح فشار | ۷۷ |
| ۴-۸) رویه SIMPLE | ۷۸ |

فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| ۴-۱-۸) ترتیب عملیات | ۷۹ |
| ۴-۹) استفاده از شبکه جابجا نشده | ۷۹ |
| ۴-۹-۱) شرح الگوریتم SIMPLE برای شبکه جابجا نشده | ۸۷ |
| ۴-۱۰) مدل آشفتگی | ۹۰ |
| ۴-۱۰-۱) معادلات معدل جریان | ۹۰ |
| ۴-۱۰-۲) مدل اغتشاشی k-ε | ۹۲ |
| **فصل پنجم** | |
| ۵) شرایط مرزی | ۹۵ |
| ۵-۱) پمپ | ۹۵ |
| ۵-۲) توربین | ۹۶ |
| ۵-۳) استاتور | ۹۶ |
| ۵-۴) تکنیک تقابل پایدار | ۹۷ |
| ۵-۵) شرایط مرزی برای مقادیر اغتشاشی | ۹۸ |
| ۵-۵-۱) انرژی جنبشی اغتشاشی (k) | ۹۸ |
| ۵-۵-۲) میران اتلاف انرژی (ε) | ۹۸ |
| ۵-۶) شرط مرزی دیواره برای معادلات مومنتوم | ۹۹ |
| **فصل ششم** | |
| ۶-۱) نحوه تولید شبکه سه بعدی | ۱۰۳ |
| ۶-۱-۱) نحوه دریافت اطلاعات | ۱۰۳ |
| ۶-۱-۲) نحوه ساختن شبکه در پمپ و توربین | ۱۰۴ |

فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
| --- | --- |
| ۶-۱-۳) نحوه ساختن شبکه در استاتور | ۱۰۴ |
| ۶-۲) شرح برنامه حل جریان ایجاد شده درون یک حفره مستطیلی شکل به روش حجم محدود | ۱۰۳ |
| ۶-۲-۱) حل معادله x-momentum | ۱۰۷ |
| ۶-۲-۱-۱) محاسبه ضرایب پخش | ۱۰۸ |
| ۶-۲-۲) حل معادله Y-momentom | ۱۰۹ |
| ۶-۲-۲-۱) محاسبه ضرایب پخش | ۱۱۰ |
| ۶-۲-۳) حل معادله تصحیح فشار | ۱۱۱ |
| ۶-۲-۴) محاسبه عبارت منبع | ۱۱۱ |
| ۶-۲-۵) شرح الگوریتم برنامه | ۱۱۲ |
| ۶-۲-۶) شرایط مرزی | ۱۱۶ |
| ۶-۲-۶-۱) شرط مرزی برای حل u | ۱۱۶ |
| ۶-۲-۶-۲) شرط مرزی برای حل V | ۱۱۸ |

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

## فصل اول


**شکل (۱-۱)** طرح شماتیک نحوه عملکرد کوپلینگ هیدرولیکی ۲

**شکل (۱-۲)** کوپلینگ هیدرولیکی ۲

**شکل (۱-۳)** ارتباط میان گشتاور، ظرفیت، راندمان و سرعت خروجی ۴

**شکل (۱-۴)** عملکرد مبدل گشتاور سه عضوی ۶

**شکل (۱-۵)** مبدل گشتاور سه عضوی ۸

**شکل (۱-۶)** اصول کارکرد مبدل گشتاور یک مرحله‌ای ۹

**شکل(۱-۷)** منحنی مشخصه کارکرد برای مبدل گشتاور سه عضوی ۱۱

**شکل(۱-۸)** منحنی مشخصه کارکرد برای مبدل گشتاور بر مبنای سرعت خروجی ۱۱


## فصل دوم


**شکل(۲-۱)** ۱۳

**شکل(۲-۲)** ۱۵

**شکل (۲-۳)** ۱۵


## فصل سوم


**شکل (۳-۱)** مثالی از یک شبکه‌بندی با قاعده غیرمتعامد که برای محاسبات جریان در یک بخش متقارن یکسری لوله انتقال حرارت طراحی شده‌است. ۴۳

**شکل (۳-۲)** مثالی از یک شبکه بندی با ساختار بلوکی که شبکه در مرزها با هم منطبقند. این شبکه‌بندی برای محاسبه جریان حول یک استوانه داخل یک کانال به کار می‌رود. ۴۴

**شکل (۳-۳)** مثالی از یک شبکه‌بندی با ساختار بلوکی دو بعدی که شبکه‌ها در مرزها بر هم منطبق نیستند. این شبکه برای محاسبات جریان حول یک هیدروفیل زیر سطح آب طراحی شده است. ۴۵

فهرست اشکال

| عنوان | صفحه |
|---|---|
| **شکل (۳-۴)** یک نمایش شماتیک از شبکه‌بندی مرکب دو بعدی، که می‌تواند برای محاسبه جریان حول یک استوانه داخل یک کانال به کار رود. (نقاط سیاه با گرههایی را نشان می‌دهند که درآنها شرایط مرزی با میانیابی بدست می‌آیند.) | ۴۵ |
| **شکل (۳-۵)** مثالی از یک شبکه‌بندی بی‌قاعده دو بعدی | ۴۶ |
| **شکل (۳-۶)** یک مثال برای شبکه‌بندی که روش تقریب پلکانی را برای تقریب یک مرز شیبدار به کار می‌رود. | ۴۸ |
| **شکل ( ۳-۷ )** خطهای هم دما برای یک قلمرو مستطیلی | ۵۳ |
| **شکل ( ۳-۸ )** جوابهای منطبق بر هم برای قلمرو مستطیلی | ۵۴ |
| **شکل ( ۳-۹ )** واژه شناسی تولید شبکه بروش بیضوی | ۵۶ |

## فصل چهارم

| | |
|---|---|
| **شکل (۴-۱)** حجم کنترل سه‌بعدی | ۶۴ |
| **شکل (۴-۲)** نمایش حجم کنترل سه بعدی برای معادله ۴-۱۴ | ۶۹ |
| **شکل (۴-۳)** نمایش شبکه سه نقطه أی | ۷۱ |
| **شکل (۴-۴)** میدان فشار زیگزاگ | ۷۱ |
| **شکل (۴-۵)** میدان فشار شطرنجی | ۷۲ |
| **شکل (۴-۶)** میدان فشار موجی | ۷۳ |
| **شکل (۴-۷)** مواضع جابجا شده u و v، $u = \rightarrow$ ، $v = \uparrow$ و بقیه متغیرها $= o$ | ۷۴ |
| **شکل (۴-۸)** حجم کنترل u | ۷۵ |
| **شکل (۴-۹)** حجم کنترل برای v | ۷۶ |
| **شکل (۴-۱۰ )**حجم کنترل برای معادله پیوستگی | ۷۸ |
| **شکل (۴-۱۱)** شبکه جابجا نشده | ۸۰ |

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

## فصل پنجم


شکل (۵-۱) تکنیک تقابل پایدار ۹۷

شکل (۵-۲) قانون دیواره ۱۰۰


## فصل ششم


شکل (۶-الف) مقایسه شبکه‌بندی $u$ ، $v$ و $w$ ۱۰۵

شکل(۶-ب) شبکه‌بندی بکار رفته برای معادله x مومنتوم ۱۰۷

شکل (۶-ج) شبکه‌بندی به کار رفته برای معادلات مومنتوم ۱۰۹

شکل (۶-د) شبکه‌بندی به کار رفته برای معادله فشار ۱۱۱

شکل (۶-۱) نمایش مجموعه سوار شده مبدل گشتاور ۱۲۱

شکل (۶-۲) نمایش موقعیت فضایی کانالهای پمپ ، توربین و استاتور نسبت به یکدیگر ۱۲۲

شکل (۶-۳) شکل سه بعدی پره پمپ ۱۲۳

شکل (۶-۴) موقعیت پره پمپ نسبت به پوسته پمپ ۱۲۴

شکل (۶-۵) شکل یک کانال بین دو پره پمپ ۱۲۵

شکل (۶-۶) حجم ایجاد شده توسط نرم افزار Anvil 5k و مقاطع دو بعدی آن ۱۲۶

شکل (۶-۷) شبکه سه بعدی ایجاد شده پمپ با کنار هم نهادن شبکه های دو بعدی در مقاطع دو بعدی ۱۲۷

شکل (۶-۸) نمای سه بعدی استاتور ۱۲۸

شکل (۶-۹) حجم سه بعدی پره استاتور ایجاد شده بوسیله نرم افزار Anvil 5k به همراه مقطع شعاعی ۱۲۹

شکل (۶-۱۰) مقاطع شعاعی و تصاویر دو بعدی آنها در شعاعهای مختلف در پره استاتور ۱۳۰

شکل (۶-۱۱) شبکه دو بعدی ایجاد شده بین دو مقاطع تصویر شده از استاتور ۱۳۱

شکل (۶-۱۲) شبکه‌های نگاشته شده بر روی سطوح سه بعدی مقاطع مختلف بین دو پره استاتور ۱۳۲

# فهرست اشکال


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| **شکل (۶-۱۳)** شبکه سه بعدی ایجاد شده بین دو پره استاتور | ۱۳۳ |
| **شکل (۶-۱۴)** شبکه سه بعدی ایجاد شده در پمپ ، توربین و استاتور | ۱۳۴ |
| **شکل (۶-۱۵)** شبکه مورد استفاده برای حل جریان به شیوه حجم مجدد با استفاده از شبکه جابجا شده | ۱۳۵ |
| **شکل (۶-۱۶)** خطوط همتراز فشار و خطوط جریان بردارهای سرعت برای جریان ورودی و خروجی در یک حفره دو بعدی | ۱۳۶ |
| **شکل (۶-۱۷)** خطوط همتراز فشار و خطوط جریان در یک لوله با خم صفر درجه | ۱۳۷ |
| **شکل (۶-۱۸)** خطوط همتراز انرژی جنبشی اغتشاشی در یک لوله با خم نود درجه | ۱۳۸ |
| **شکل (۶-۱۹)** خطوط همتراز برای اتلاف انرژی در یک لوله با خم نود درجه | ۱۳۹ |
| **شکل (۶-۲۰)** خطوط همتراز فشار و خطوط جریان در یک لوله با خم U شکل | ۱۴۰ |
| **شکل (۶-۲۱)** خطوط همتراز انرژی جنبشی اغتشاشی در یک لوله با خم U شکل | ۱۴۱ |
| **شکل (۶-۲۲)** خطوط همتراز اتلاف انرژی در یک لوله با خم U شکل | ۱۴۲ |
| **شکل (۶-۲۳)** خطوط همتراز فشار و خطوط جریان در مجرای دو بعدی بین دو پره استاتور (سرعت ورودی ۳ متر بر ثانیه ) | ۱۴۳ |
| **شکل (۶-۲۴)** خطوط همتراز فشار و خطوط جریان در مجرای دو بعدی بین دو پره استاتور (سرعت ورودی ۴ متر بر ثانیه ) | ۱۴۴ |
| **شکل (۶-۲۵)** خطوط همتراز فشار و خطوط جریان در مجرای دو بعدی بین دو پره استاتور (سرعت ورودی ۵ متر بر ثانیه ) | ۱۴۵ |

## فهرست علائم:

| | |
|---|---|
| $a$ | ضریب در معادله انفصال |
| $A$ | سطح |
| $J$ | دترمینان ماتریس ژاکوبی |
| f | ضریب میان یابی |
| I | شار کلی (جابجایی و پخش ) |
| $\vec{n}$ | بردار یکه عمود |
| P | فشار |
| P′ | تصحیح فشار |
| $P_k$ | جمله مولد در مدل K - ε |
| S | جمله چشمه در معادله عمومی |
| Γ | ضریب پخش |
| CV | حجم یک حجم کنترل |
| ε | میزان اتلاف انرژی جنبشی اغتشاشی |
| ρ | جرم حجمی |
| ϕ | متغیر عمومی جریان |
| $\tau_w$ | تنش برشی دیوار |
| ∇ | گرادیان |
| U | مولفه پادوردای سرعت در جهت $\xi$ |
| V | مولفه پادوردای سرعت در جهت $\eta$ |
| W | مولفه پادوردای سرعت در جهت $\zeta$ |
| $u$ | مولفه مطلق سرعت در جهت $x$ |
| $v$ | مولفه مطلق سرعت در جهت $y$ |
| $w$ | مولفه مطلق سرعت در جهت $z$ |
| $u_r$ | مولفه نسبی سرعت در جهت $x$ |
| $v_r$ | مولفه نسبی سرعت در جهت $y$ |
| $w_r$ | مولفه نسبی سرعت در جهت $z$ |
| $x,y,z$ | مختصات کارتزین |

$\varepsilon, \eta, \zeta$ مختصات منحنی الخط

$\overline{\mu}$ لزجت کلی(مجموع لزجت های آرام و درهمی)

$\tau$ تنش برشی

## زیرنویسها :

l,h,s,n,w,e وجوه شرق، غرب، شمال، جنوب ، بالا و پایین یک حجم کنترل دلخواه

nb همسایه دلخواه

## بالانویس ها :

ur مقدار زیر تخفیف شده

* مقدار قدیمی

/ تصحیح

- میانگین خطی

# فرمولاسیون و تولید شبکه سه بعدی جهت حل معادلات ناویراستوکس در مبدل گشتاور خودرو

**نام و نام خانوادگی : رضا سعیدا**

**رشته تحصیلی وگرایش : مکانیک - تبدیل انرژی**

**گروه : مکانیک**

**تاریخ دفاع : ۷۸/۶/۲۱**

**استاد راهنما : وحید اصفهانیان**

**چکیده پایان نامه**

در خودروهای دارای جعبه دنده خودکار برای انتقال قدرت از یک مبدل گشتاور به علاوه جعبه دنده خورشیدی استفاده می‌شود. طراحی دقیق وبهینه سازی عملکرد یک مبدل گشتاور و در نتیجه بهبود کارآیی آن یکی از مهمترین عوامل در جهت کاهش مصرف سوخت و کاهش آلودگی هوا می‌باشد. این مهم بدون دانستن دقیق جزییات ساختار جریان سیال درون آن امکانپذیر نمی‌باشد. برای شناخت جریان سیال درون مبدل گشتاور از روشهای آزمایشگاهی و حل جریان سیال درون مبدل گشتاور استفاده می‌شود. روشهای آزمایشگاهی احتیاج به تجهیزات ویژه و بسیار پرهزینه داشته و برای آزمایش ساخت نمونه‌های ویژه مبدل گشتاور برای قراردادن وسایل اندازه گیری مورد نیاز است .

فواید استفاده از روشهای عددی سرعت تحلیل ، عدم نیاز به ساخت نمونه و آسانی ایجاد تغییرات در نمونه و بررسی اثر این تغییرات بر مشخصه های عملکردی مبدل گشتاور می‌باشد.

پروژه حاضر تلاشی در جهت تحلیل سه بعدی جریان سیال درون مبدل گشتاور خودرو می‌باشد برای تحلیل جریان سیال باید از معادلات ناویراستوکس استفاده کرد. به علت هندسه پره‌ها عضوهای مختلف مبدل گشتاور این معادلات باید در سیستم مختصات منطبق برجسم نوشته شود و همچنین چون المانهای مبدل گشتاور در حال چرخش می‌باشند این سیستم مختصات باید چرخشی در نظر گرفته شود . مرحله بعد تولید شبکه سه بعدی در المانها مختلف مبدل گشتاور می‌باشد. برای تولید شبکه ابتدا با استفاده از دستگاه CMM اطلاعات مربوط به هندسه پره‌ها بدست آمده و سپس از آنها بوسیله نرم افزار CAD/CAM ( Anvil 5k ) سطوح دقیقی گذرانده شده است و مقاطع دو بعدی از حجم بین دو پره بدست می‌آید و با روشهای جبری و بیضوی در این مقاطع شبکه تولید می‌شود و بدینوسیله شبکه در حجم بین دو پره بوجود می‌آید، مرحله بعد حل جریان می‌باشد که با استفاده از روش حجم محدود انجام شده است .

در این پروژه روش حجم محدود هم با شبکه جابجا شده و هم جابجا نشده مد نظر قرار گرفته است . در آخر جریان سیال با استفاده از روش حجم محدود با شبکه جابجا نشده در بین دو پره استاتور حل شده است . نتایج در بخش مربوطه مورد بررسی قرار گرفته است .