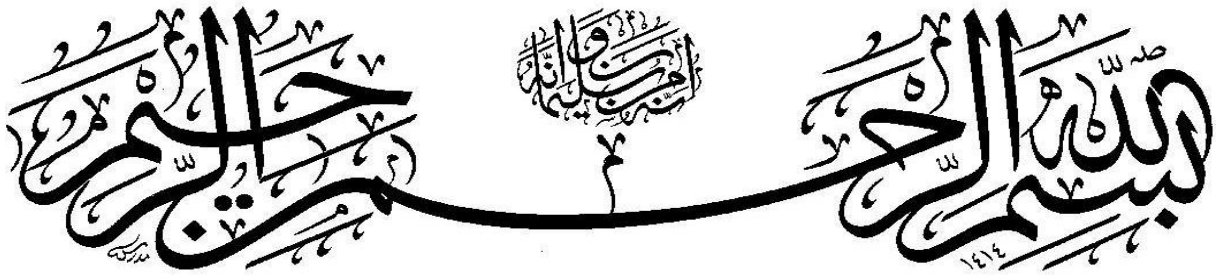

بسم الله الرحمن الرحيم
إنه من سليمان وإنه
١٤١٤

بسمه تعالی

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

عنوان :

بررسی عددی تأثیر مکش جانبی هوا از نازلهای تزریق بر عملکرد دستگاه ورتکس تیوب

استاد راهنما :

دکتر نادر پورمحمود

داور داخلی : دکتر صمد جعفرمدار **داور خارجی : دکتر شهرام خلیل‌آریا**

تنظیم کننده و نگارنده :

سید علیرضا ایزدی

مهر ماه 1391

سپاس خدای را که هر چه دارم از اوست

به امید آنکه توفیق یابم جز خدمت به خلق او نکوشم.

تقدیم به مهربان فرشتگانی که:

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست

تقدیم به خانواده عزیزم.

چکیده

در این مطالعه با استفاده از تکنیک دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، به بررسی تأثیر پارامترهای کلیدی مانند تأثیر مکش جانبی از نازلهای تزریق بر عملکرد ورتکس تیوب ، پارامتر بی بعد δ (درصد نسبی دبی جرمی خروجی از حفره به دبی جرمی ورودی به ورتکس تیوب) ، جریانهای برگشتی، نواحی پر فشار و جدایش انرژی در آن پرداخته شده است. معادلات بنیادی میدان جریان بوسیله کد استاندارد نرم افزار فلوئنت و با یک مدل تراکم پذیر سه بعدی و توربولانس با مدل استاندارد $k\text{-}\varepsilon$ حل گردیده‌اند. به منظور درک و بررسی تأثیر مکش جانبی از نازلها، سوراخی در خروجی هر نازل ایجاد شده و به ازای دبی‌های ورودی مختلف به دستگاه، نتایج استخراج و تحلیل می‌شوند بدین منظور برای دستیابی به مینیمم دمای خروجی سرد در ورتکس تیوب، غلبه بر تأثیر نامطلوب ناحیه پر فشار، ساماندهی الگوی جریان و همچنین دستیابی به عملکرد سرمایشی بهتر از پارامتر OPH که همان فشار خروجی حفره می باشد، استفاده گردیده و مقادیر 0.1 ، 0.2 ، 0.3 ، 0.4 و 0.5 بار برای OPH تخصیص داده شده است. نتایج حاکی از آن است که با غلبه بر اثر نامطلوب ناحیه پر فشار ، الگوی جریان بهبود یافته و این امر باعث کاهش دمای خروجی سرد می‌شود. نتایج عددی بدست آمده با نتایج تجربی موجود اعتبار دهی اولیه می‌شوند که تطابق قابل قبولی بین آنها وجود دارد.

کلمات کلیدی

ورتکس تیوب، مکش جانبی، پارامتر OPH، پارامتر بی بعد δ، جریانهای برگشتی، شبیه سازی عددی، جدایش دمایی

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

1-1 رانکیو-هیلش ورتکس تیوب 2

2-1 تحقیقات رانکیو 3

3-1 تحقیقات هیلش 4

4-1 ورتکس تیوب مخروطی یا واگرا 5

5-1 ساختار کلی دستگاه 6

6-1 مزایا و معایب ورتکس تیوب 7

1-6-1 مزیت‌های عمده ورتکس تیوب 7

2-6-1 برخی معایب ورتکس تیوب 8

7-1 ورتکس تیوب‌های تجاری 8

8-1 کاربردهای ورتکس تیوب 8

1-8-1 خنک کاری موضعی 8

2-8-1 گرمایش موضعی 10

3-8-1 خنک کننده هوای شخصی 10

4-8-1 کاربرد به عنوان یک سیستم جدا کننده رسوب 10

5-8-1 کاربرد به عنوان یک سیستم پالاینده در صنایع نفت و گاز 11

6-8-1 کاربرد در جوشکاری اولتراسونیک 11

9-1 کارهای آزمایشگاهی 12

10-1 ساختار کلی پایان نامه 12

فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته

1-2 تحقیقات آزمایشگاهی بر روی ورتکس تیوب 15

1-1-2 پارامترهای ترموفیزیکی 16

2-1-2 پارامترهای هندسی 16

2-2 تحقیقات تئوری بر روی ورتکس تیوب 17

1-2-2 مدل تراکم و انبساط آدیاباتیک 17

2-2-2 اثر اصطکاک و توربولانس 17

3-2-2 مدل جریان آکوستیک 19

4-2-2 مدل چرخش ثانویه 19

3-2 تحقیقات عددی بر روی ورتکس تیوب 21

2-3-1 محل نقاط سکونی طولی و شعاعی داخل ورتکس تیوب 21
2-4 بررسی نازل‌های تزریق دستگاه 23
2-4-1 تحقیقات آزمایشگاهی بر روی نازل‌های تزریق دستگاه ورتکس تیوب 23
2-5-2 مطالعات عددی بر روی نازل‌های تزریق دستگاه ورتکس تیوب 25
فصل سوم: تجزیه و تحلیل نظری ورتکس تیوب
3-1 بررسی ترمودینامیکی ورتکس تیوب 27
3-1-1 قانون اول ترمودینامیک 28
3-1-2 قانون دوم ترمودینامیک 29
3-2 مدل چرخش ثانویه آلبرن 32
3-2-1 مدل چرخش ثانویه آلبرن (مدل مبدل حرارتی) 32
3-2-2 مدل اصلی چرخش ثانویه آلبرن 34
3-2-3 تفسیر مدل آلبرن 34
3-2-4 مدل آلبرن اصلاح شده 35
فصل چهارم: مدل عددی بررسی شده
4-1 شبیه سازی عددی ورتکس تیوب 41
4-1-1 معادلات حاکم 41
4-1-2 مدل‌سازی توربولانس 43
4-2 توصیف هندسی ورتکس تیوب مدل شده 44
4-3 شرایط مرزی 45
4-3-1 ورودی (Inlet) 45
4-3-2 خروجی سرد (Cold Exit End) 46
4-3-3 خروجی گرم (Hot Exit End) 46
4-3-4 دیواره ورتکس تیوب (Wall) 46
4-4 اهداف و دورنمای بررسی و تحقیق عددی 46
4-5 بررسی استقلال نتایج عددی از مش بندی 47
4-6 بررسی مدل توربولانس 48
4-7 مقایسه نتایج عددی با تجربی و اعتباردهی به نتایج عددی 49
4-8 بررسی قانون دوم ترمودینامیک برای ورتکس تیوب 50

فصل پنجم: بررسی تأثیر مکش جانبی از نازلهای تزریق بر عملکرد ورتکس تیوب

5-1 مفهوم جریان برگشتی در ورتکس تیوب 56
5-2 مفهوم پارامتر بی بعد δ 58
5-3 بررسی عدد ماخ در محفظه چرخش و پدیده شوک 59
5-4 بررسی تأثیر مکش جانبی بر دماهای خروجی سرد وگرم ورتکس تیوب 60
5-4-1 توزیع دما و خطوط مسیر 64
5-5 بررسی مولفه چرخشی سرعت و ماکزیمم مقدار آن 67
5-6 مقایسه ماکزیمم سرعت چرخشی بین حالتهای حفره دار و بدون حفره 69
5-7 نرخ توان سرمایشی و گرمایشی 71
5-8 ضریب عملکرد 73

فصل ششم: نتایج و پیشنهادات

6-1 خلاصه نتایج 76
6-2 پیشنهاد برای کارهای آتی 78
فهرست منابع و مأخذ 79

فهرست جداول

جدول 2-1: طول و قطر ورتکس تیوبهای استفاده شده در برخی از مقالات 20
جدول 4-1: مشخصات هندسی ورتکس تیوب مدل شده 45
جدول 5-6:جدایش دمایی خروجی سرد به ازای ورودی‌ها و OPH های مختلف 62
جدول 5-8: دمای خروجی گرم بر حسب کلوین به ازای ورودی‌ها و OPH های مختلف 64
جدول 5-13: دمای خروجی سرد و ماکزیمم سرعت چرخشی در Z/L = 0.1 برای حالتهای حفره دار و بدون حفره 68

فهرست اشکال

شکل 1-1: نحوه عملکرد و اجزای یک ورتکس تیوب 2
شکل 1-2: سطح مقطع ورتکس تیوب طراحی شده توسط رانکیو 3
شکل 1-3: ورتکس تیوب مربوط به شرکت Exair 3
شکل 1-4: شماتیک ورتکس تیوب با جریان مخالف 5
شکل 1-5: شماتیک ورتکس تیوب با جریان موازی 5
شکل 1-6: شماتیک ورتکس تیوب مخروطی 6
شکل 1-7: اجزا تشکیل دهنده ورتکس تیوب به همراه پلان مونتاژ 7
شکل 1-8: یک نمونه از ورتکس تیوب ساخت شرکت ITW Vortec (تفنگ هوای سرد) 9
شکل 1-9: کابینت کنترلی ساخته شرکت Exair 9
شکل 1-10: جزئیات خنک کاری یک کابینت کنترلی توسط ورتکس تیوب ساخته‌ی شرکت Exair 9
شکل 1-11: کاربرد ورتکس تیوب در جلیقه‌ی هوا 10
شکل 1-12: استفاده از ورتکس تیوب بعنوان استخراج و جدا کننده رسوب از یک جریان 10
شکل 1-13: استفاده از ورتکس تیوب به عنوان پالاینده و جدا کننده هیدروکربن‌های سنگین 11
شکل 1-14: استفاده از ورتکس تیوب برای خنک کاری محل جوشکاری اولتراسونیک 11
شکل 1-15: نمونه آزمایشگاهی از ورتکس تیوب ساخته شده توسط پورمحمود 12
شکل 2-1: جریان ثانویه در ورتکس تیوب 19

شکل 2-2: مولفه‌های سرعت چرخشی و محوری در z=0/007L و z=0/5L برای کسر دبی-های مختلف 22
شکل 2-3: توزیع مولفه‌های سرعت محوری برای نسبت‌های دبی جرمی مختلف در خروجی سرد 22
شکل 3-1: حجم کنترل در نظر گرفته شده برای آنالیز ترمودینامیکی 28
شکل3-2: نتایج حاصل از آنالیز ترمودینامیکی برای دمای سرد و گرم خروجی به صورت تابعی از کسر جرمی سرد α و ضریب فرآیند بازگشت ناپذیری Θ_{ir} در $T_{in} = 300K$ و bar $p_{in} = 6$ و bar $p_a = 1$. شماره روی منحنی ها مقدار ضریب Θ_{ir} می باشد. 31
شکل 3-3: مدل چرخش ثانویه (الف) جریان چرخشی درونی و محیطی در ورتکس تیوب (ب) حلقه چرخش ثانویه و محیطی در ورتکس تیوب (شماره های 0 تا 5 موقعیت هایی است که فرایند به صورت فرضی آغاز و اتمام می‌یابد.) 33
شکل 3-4: توزیع سرعت رانکین در محفظه چرخش 36
شکل 3-5: رابطه بین نسبت فشار بی بعد X و عدد ماخ $M_{a,0}$ 38
شکل 4-1: الگوریتم حل تفکیکی بکار گرفته شده در حل معادلات 42
شکل 4-2: پروفیل شبکه ایجاد شده در مدل سه بعدی پریودیک با نمایش میدان محاسباتی مساله 44
شکل 4-3: مطالعه استقلال از مش بندی بر مبنای حداکثر جدایش دمایی سرد 48
شکل 4-4: مطالعه استقلال از مش بندی بر مبنای حداکثر سرعت چرخشی در محفظه چرخش 48
شکل 4-5: دمای گاز در خروجی سرد به ازای مدل های مختلف توربولانس 49
شکل 4-6: دمای گاز در خروجی گرم به ازای مدل های مختلف توربولانس 49
شکل 4-7: جدایش دمایی به دست آمده در خروجی سرد 49
شکل 4-8: جدایش دمایی به دست آمده در خروجی گرم 49
شکل 4-9: اختلاف آنتروپی ایجاد شده به ازای فشارهای مختلف ورودی به ورتکس تیوب 51
شکل 5-1: نمایش دو بعدی خطوط مسیردر نزدیکی‌خروجی سرد بر حسب سرعت محوری 56
شکل 5-2: طیف دمای کل در مقطعی نزدیک خروجی سرد 57
شکل 5-3: درصد نسبی δ به ازای دبی‌های جرمی ورودی مختلف 58
شکل 5-4: کانتور توزیع عدد ماخ در محفظه چرخش 59

شکل 5-5: دمای خروجی سرد به ازای دبی های ورودی و فشارهای حفره مختلف 61
شکل 5-7: دمای خروجی گرم به ازای دبی های ورودی و فشارهای حفره مختلف 63
شکل 5-9: کانتور دما بر حسب کلوین در مقاطع مختلف ورتکس تیوب برای ورودی 8.34 g/s و OPH=0.2 bar 65
شکل 5-10: توزیع دمای کل در سرتاسر ورتکس تیوب 65
شکل 5-11: خطوط مسیر برای سیال در ورتکس تیوب بر حسب دمای کل 66
شکل 5-12: نمودار سرعت چرخشی برای فشارحفره 0.1 bar ، به ازلی ورودی های مختلف در مقطع بدون بعد Z/L=0.1 67
شکل 5-16: نمایش سرعت چرخشی برای دبی ورودی 9.72 g/s 70
شکل 5-17: توان گرمایشی خروجی گرم به ازای دبی‌های ورودی و فشارهای حفره مختلف 71
شکل 5-18: توان گرمایشی خروجی گرم به ازای دبی‌های ورودی و فشارهای حفره مختلف 72
شکل 5-19: ضریب عملکرد ورتکس تیوب به ازای نسبت فشارهای ورودی 73

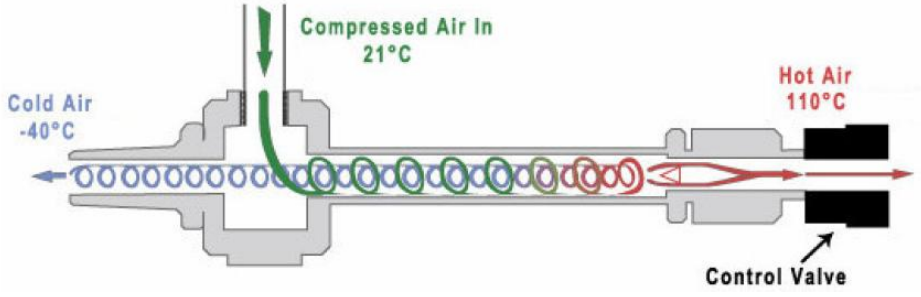
فصل اول

مقدمه

ورتکس تیوب یک اختراع ابتکارانه از دو دانشمند به نامهای جورج ژوزف رانکیو و رودولف هیلش می‌باشد، که جداگانه این دستگاه را در طول جنگ در دهه 1940 درست کردند.[1] به همین خاطر ورتکس تیوب را به افتخار این دو، رانکیو-هیلش ورتکس تیوب[1] نیز می‌نامند.
ورتکس تیوب جریان گاز ورودی به لوله را به دو جریان جداگانه تقسیم می‌کند: یکی گرمتر و دیگری سردتر نسبت به ورودی. نکته جالب توجه در مورد این دستگاه، عدم وجود هیچ جزء متحرک، قطعه الکتریکی یا شیمیایی و یا کار ورودی به آن می‌باشد. علی‌رغم اینکه هندسه ورتکس تیوب ساده می‌باشد ولی فرآیند دینامیک سیالات و ترمودینامیک آن بسیار پیچیده می-باشد. تا کنون کارهای آزمایشگاهی، تئوریک و عددی فراوانی برای بررسی پدیده‌ی جدایش دما[2] در ورتکس تیوب انجام گرفته است. واضح است که با استفاده از تکنیک دینامیک سیالات محاسباتی[3] می‌توان از پیچیدگی‌ها و هزینه‌های مربوط به کارهای تجربی کاست.

۱-۱ رانکیو-هیلش ورتکس تیوب

در قرن نوزدهم فیزیکدان بریتانیایی جیمز ماکسول پیشنهاد داد که یک سیستم با دو خروجی مجزای آب سرد و گرم عبوری از یک لوله می‌توان ساخت که با باز و بسته کردن یک شیر کوچک کار کند. شیر باید به طور خودکار زمانیکه یک مولکول از آب گرم به آن می‌رسد، باز و هنگامیکه یک مولکول از آب سرد به آن می‌رسد، بسته شود.[2] این وسیله خیالی می‌توانست به عنوان منبعی جهت دست‌یابی به سیال‌های سرد و گرم به طور همزمان باشد. این دستگاه که ابتدا با نام لوله جنّی ماکسول نامیده می‌شد، یک قرن بعد به واقعیت تبدیل شد و امروزه به نام ورتکس تیوب شناخته می‌شود. شکل 1-1 یک طرح شماتیک از این دستگاه را نشان می‌دهد که هوای متراکم ورودی را به دو جریان هوای سردتر و گرمتر تقسیم می‌کند. جذابیت این وسیله برای محققین همانطور که اشاره شد، عدم استفاده از هر گونه ابزار متحرک و یا کار ورودی به آن می‌باشد.



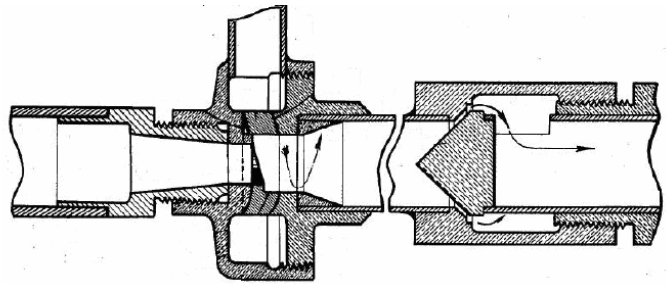
شکل 1-1: نحوه عملکرد و اجزای یک ورتکس تیوب [3]

[1] Ranque-Hilsch Vortex Tube
[2] Temperature Separation
[3] Computational Fluid Dynamics (CFD)

همانطورکه اشاره شد در اصل ورتکس تیوب به نام دو دانشمند شناخته می‌شود، اولی یک فرانسوی به نام رانکیو که در سال 1933 ورتکس تیوب را کاملاً به طور تصادفی کشف نمود و دوم یک آلمانی به نام رودولف هیلش که در سال 1946 با انجام کارهای آزمایشگاهی جامع و انتشار مقاله‌ای در این زمینه، دستگاه را با موفقیت ساخت و تست نمود. تحقیقات این دو نفر به صورت جزئی‌تر در ادامه بحث می‌شود.

1–2 تحقیقات رانکیو

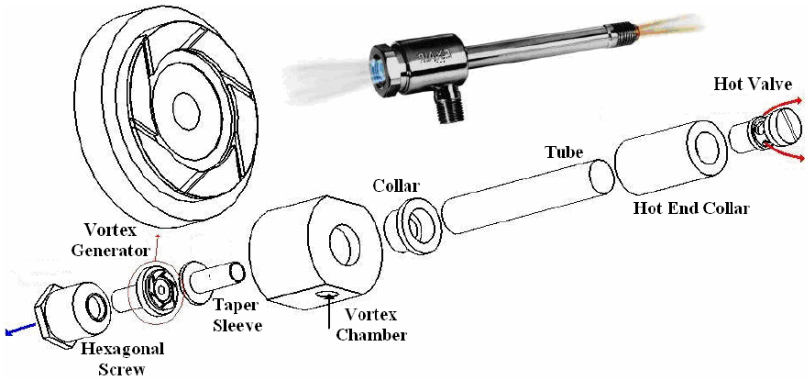
یکی از جامع‌ترین مقالات دارای جزئیات مربوط به آنالیز نحوه کشف ورتکس تیوب، توسط فولتن [1]اندکی بعد از کشف آن توسط رانکیو منتشر شد که در آن اشاره به این موضوع شده است که رانکیو دمای سکون[1] را با دمای استاتیک[2] اشتباه گرفت و برای همین ورتکس تیوب ساخته شده توسط وی درست کار نکرد. شکل 1–2 ورتکس تیوب طراحی شده توسط رانکیو[4] را نشان می‌دهد.



شکل 1–2: سطح مقطع ورتکس تیوب طراحی شده توسط رانکیو [4]

ورتکس تیوبهای مدرن امروزی از لحاظ ساختار و نحوه طراحی شبیه آنچه در شکل 1–3 نمایش داده شده است، می‌باشد که همراه با نقشه انفجاری آن است. این ورتکس تیوب ساخته‌ی شرکت Exair می‌باشد.

[1] Stagnation Temperature
[2] Statics Temperature



شکل 1-3: ورتکس تیوب مربوط به شرکت Exair [5]

نخستین مقاله انتشار یافته در زمینه ورتکس تیوب مربوط به رانکیو در سال 1931 می‌باشد. وی در این مقاله نشان داد که ورودی هوا به صورت مماسی و شامل یک یا چند نازل تزریق[1] می‌تواند باشد. او همچنین توضیح داد که چگونه می‌توان با تنظیم اندازه قطر خروجی سرد یا تغییر مساحت خروجی گرم، به میزان سرمایش مورد نظر رسید. همچنین نتیجه گرفت که اگر خروجی گرم بسته باشد، دمای روی دیواره لوله[2] به بیشترین مقدار خود می‌رسد و نیز اینکه با افزایش فشار، دمای خروجی سرد کاهش می‌یابد. خلاصه تئوری رانکیو به این صورت است که جریان گاز دارای چرخش در یک ورق ضخیم روی دیواره منبسط می‌شود و لایه‌های داخلی این ورق روی لایه‌های خارجی بوسیله‌ی یک نیروی گریز از مرکز فشار می‌آورند و آنها را فشرده می‌سازند و بنابراین باعث حرارت دادن به آنها می‌شوند. در همان زمان لایه‌های داخلی منبسط می‌شوند و سرد می‌گردند و اصطکاک میان لایه‌ها نیز به کمترین مقدار خود می‌رسد.[4]

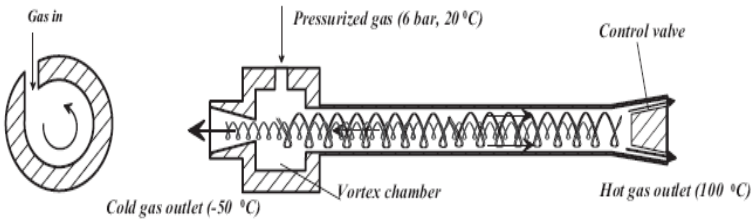
3-1 تحقیقات هیلش

هیلش[6] یک مقاله در سال 1946 منتشر نمود و در آن به طور مختصر به کار رانکیو در سال 1933 به عنوان منبع اصلی این ایده اشاره نمود و به طراحی مشابهی برای ورتکس تیوب خود دست یافت. او در این مقاله نوشت که هوا از طریق اریفیس در یک میدان سانتریفیوژی از ناحیه فشار بالا در دیواره لوله به یک ناحیه فشار پایین در نزدیکی محور لوله انبساط می‌یابد. در طول این انبساط هوا بخش قابل توجهی از انرژی جنبشی خود را از طریق افزایش اصطکاک به لایه‌های محیطی می‌دهد. بنابراین این لایه‌ها با افزایش دما روبرو می‌شوند. اصطکاک داخلی باعث جریان

[1] Injection Nozzle
[2] Wall Temperature

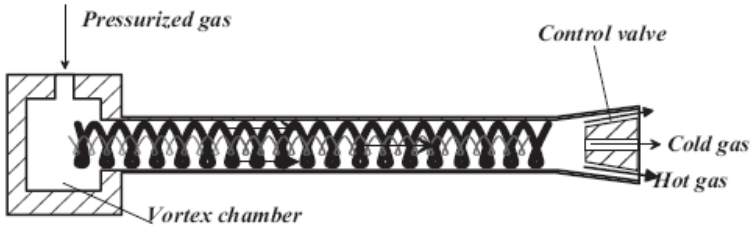
یافتن انرژی از محور لوله به محیط آن می‌شود و سعی در رسیدن به یک سرعت زاویه‌ای واحد[1] و یکنواخت در سطح کل لوله می‌نماید. [6]

نکته قابل ذکر این است که طبقه بندی ورتکس تیوب بر اساس محل قرارگیری خروجی هوای سرد در دو نوع بنا شده است. اولی ورتکس تیوب با جریان مخالف[2] که با توجه به شکل 1-4، این وسیله شامل یک قسمت ورودی با یک سری نازل‌های دارای یک سوراخ مرکزی، یک لوله گرم و یک شیر مخروطی می‌باشد. گاز فشرده با فشار و سرعت بالا به درون نازل ها وارد می‌شود. با انبساط هوای داخل لوله، گردابه‌ای سریع تشکیل شده که با تنظیم شیر مخروطی می‌توان مقدار هوای سرد را تغییر داد و در نهایت گازهایی که از اطراف سوراخ عبور می‌کنند سرد و باقی مانده آن، گرم می-شود.



شکل 1-4: شماتیک ورتکس تیوب با جریان مخالف [7]

ورتکس تیوب نوع دوم، ورتکس تیوب با جریان موازی[3] می‌باشد و همانند حالت قبلی بوده با این تفاوت که هوای سرد به طور هم مرکز با هوای گرم خارج می شود. عملکرد آن نیز شبیه به حالت جریان مخالف است. طرح کلی این نوع ورتکس تیوب در شکل 1-5 نشان داده شده است.



شکل 1-5: شماتیک ورتکس تیوب با جریان موازی [7]

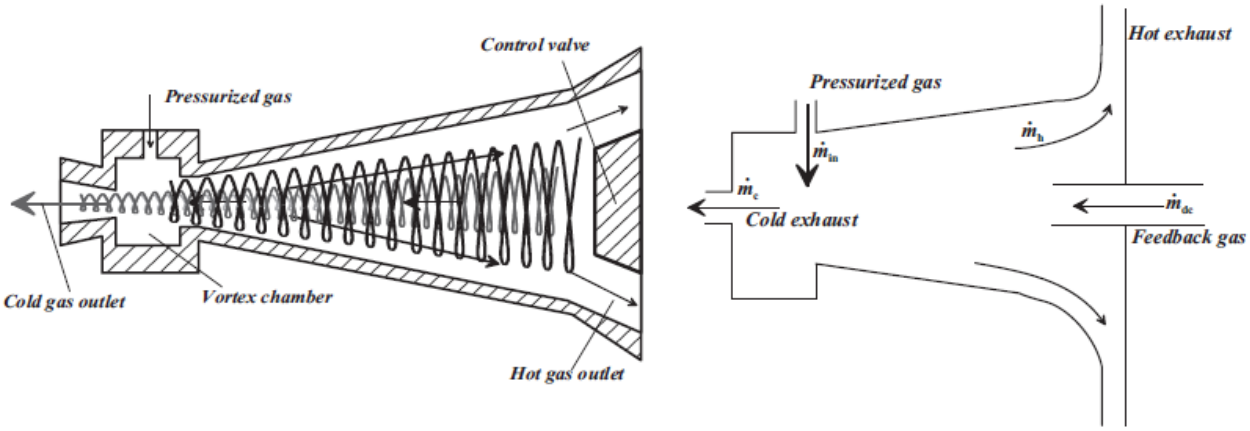
بعد از هیلش، تقریباً همه از طراحی ورتکس تیوب با جریان مخالف استفاده کرده‌اند تا نوع جریان موازی آن. این امر به این خاطر است که طراحی و ساخت ورتکس تیوب با نوع جریان مخالف

[1] Unique Angular Velocity
[2] Counter-Flow Vortex Tube
[3] Uni-Flow Vortex Tube

ساده‌تر است و دو جریان سرد و گرم مجزا در دو خروجی روبروی هم بدست می‌آید. در این پایان نامه نیز بر روی ورتکس تیوب با جریان مخالف کار می‌شود.

1–4 ورتکس تیوب مخروطی یا واگرا [1]

در این نوع از ورتکس تیوبها که در شکل 1–6 دیده می‌شود، تیوب یا لوله‌ی ورتکس تیوب دارای زاویه واگرایی حدوداً 4 الی 7 درجه می‌باشد، این نوع از ورتکس تیوبها در مقایسه با انواع مرسوم از طول کارکرد کمتری برخوردارند و برای کاربردهای خاص استفاده می‌شوند.



شکل 1–6: شماتیک ورتکس تیوب مخروطی [7]

1–5 ساختار کلی دستگاه

همان‌گونه که قبلاً گفته شد ورتکس تیوب دارای هندسه‌ای نسبتا ساده می باشد و به دور از هر گونه پیچیدگی در تعدد اجزاء تشکیل دهنده بوده که این مساله از مهمترین امتیازات در مورد ورتکس تیوب می‌باشد. به طور کلی یک ورتکس تیوب شامل بدنه‌ای ساخته شده از یک لوله با طول و قطر مشخص و نیز از یک یا چند نازل برای ورود جریان به داخل دستگاه که ابعاد هندسی نازلها و لوله بسته به طراحی متغیر خواهند بود، می‌باشد. همچنین یک شیر کنترل کننده در انتهای گرم وجود دارد که میزان بازشدگی این شیر نقش تعیین کننده‌ای در بازده‌ی دستگاه دارد و در نهایت یک خروجی سرد اجزای اصلی تشکیل دهنده ورتکس تیوب هستند. شکل 1–7 ساختار کلی دستگاه به همراه اجزای تشکیل دهنده وکلیه قطعات موجود در یک ورتکس تیوب را نشان می دهد.

اجزای دستگاه عبارتند از :

1 -یک یا چند نازل ورودی Injection Nozzle

[1] Conical or Divergent flow Vortex Tube

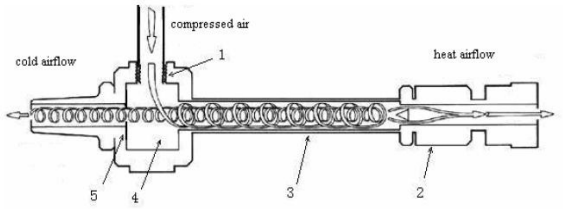
2 -بدنه لوله Tube

3 - محفظه چرخش Vortex Chamber

4 -اورینگ یا واشر های حلقوی O-ring

5 -خروجی هوای سرد Cold Exit

6 -خروجی هوای گرم(دریچه قابل تنظیم) Hot End Valve



1. nozzle 2. hot valve 3. hot end tube 4 .vortex chamber 5. separating cold plate

Fig.1. schematic diagram of vortex tube

شکل 1-7: اجزا تشکیل دهنده ورتکس تیوب به همراه پلان مونتاژ [7]

1-6 مزایا و معایب ورتکس تیوب

باید خاطر نشان کرد هر چند ورتکس تیوب برخی معایب مانند پایین بودن راندمان به نسبت سایر وسایل مهندسی را دارد اما این وسیله یک وسیله منحصر بفرد می‌باشد. از آنجایی که در مراکز صنعتی و کارخانجات، خط هوای فشرده موجود می‌باشد و از طرفی چون ورتکس تیوب‌ها به عامل محرک دیگری به جز هوای متراکم نیاز ندارند، از این وسیله در مراکز صنعتی به طور گسترده می-توان استفاده نمود. کوچک بودن، سبک و کم حجم بودن، تعمیر و نگهداری آسان، هزینه ساخت پایین، تولید هوای سرد فوری، دوام بالا (زیرا از استیل ضد زنگ ساخته می‌شود و دارای محیط کاری تمیز می‌باشد)، امکان تنظیم هوای سرد و گرم، قیمت ارزان، نداشتن قسمت متحرک و ... همگی از مزایای ورتکس تیوب به شمار می‌روند. همچنین هوا در این دستگاه به عنوان یک مبرد بدون آلایندگی‌های زیست محیطی محسوب می‌شود [8 و 9].

1-6-1 مزیت‌های عمده ورتکس تیوب

- **نداشتن قسمتهای متحرک ونیز وسیله‌ای با قابلیت اطمینان بالا**
- **عدم نیاز به نگهداری که این امر به نوبه خود باعث کاهش هزینه‌ها خواهد شد.**
- **ساختمان فشرده وکم حجم**
- **عدم وجود فن و ...**
- **قابل کنترل**

- **عدم آلودگی محیط زیست و عاری از هر گونه ماده خطرناک مثل گاز فرئون و ...**
- **عدم نیاز به انرژی حرارتی، الکتریکی و مکانیکی یا فرایند شیمیایی**
- **هزینه ساخت پایین**
- **تولید هوای سرد و گرم جداگانه**
- **دوام بالا**
- **امکان تنظیم هوای سرد و گرم**

- **قیمت ارزان**
- **و ...**

1–6–2 برخی معایب ورتکس تیوب

ورتکس تیوب وسیله ای بسیار مفید و کاربردی است طوری که برخی آنرا لوله جادویی نیز نامیده-اند اما با این وجود برخی معایب نیز برای آن متصور است. از جمله:

- **پایین بودن راندمان تبرید در مقایسه با سایر وسایل مهندسی**
- **نیاز به منبع هوای فشرده**
- **ایجادآلودگی صوتی**

در مورد ایجاد آلودگی صوتی باید گفت که امروزه شرکتهای تولید کننده ورتکس تیوب این مشکل را با اتصال خفه کن[1] تا حدود زیادی حل نموده‌اند.

1–7 ورتکس تیوب‌های تجاری

اگرچه هنوز دلیل قانع کننده‌ای برای توجیه پدیده‌ی جدایش دما در ورتکس تیوب ارائه نشده است، اما این مانع از رشد کاربرد این وسیله در صنایع مختلف نمی‌شود. خصوصاً اینکه اندازه کوچک دستگاه و جاگیر نبودن آن بسیار مورد توجه است و برای خنک‌کاریهای موضعی استفاده فراوان از آن می‌شود. این نکته را باید ذکر کرد که اگرچه ورتکس تیوب، دو جریان سرد و گرم تولید می‌کند اما عمده کاربردهای صنعتی آن در خنک‌کاری می‌باشد. شرکت‌ها و کارخانه‌های زیادی در دنیا در زمینه ساخت ورتکس تیوب فعالیت می‌کنند، از جمله شرکت‌های Exair و ITW Vortec که هر دو در آمریکا هستند و برای بازارهای بریتانیا، ایرلند و سایر کشورهای اروپایی محصولات خود را صادر می‌کنند.

[1] Muffler

1–8 کاربردهای ورتکس تیوب

1–8–1 خنک کاری موضعی

ورتکس تیوب کاربردهای صنعتی وسیعی در زمینه سرمایش موضعی(نقطه‌ای) برای دستگاههای مختلف، خطوط تولید و فرآیند دارد. یک نمونه آن تفنگ مغناطیسی هوای سرد می‌باشد. شکل 1–8 نمونه‌ای از آن را نمایش می‌دهد که ساخت شرکت ITW Vortec می‌باشد و برای خنک کاری در فرآیندهای ماشین کاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل 1–8: یک نمونه از ورتکس تیوب ساخت شرکت ITW Vortec (تفنگ هوای سرد) [10]

بعضی دیگر از کاربردهای خنک کاری ورتکس تیوب عبارتند از:

- **خنک کاری قالب‌های تزریق پلاستیک**
- **دستگاههای رطوبت‌گیر گاز**
- **خنک کاری دستگاههای آب بندی حرارتی**
- **خنک کاری کابینت کنترل حرارتی دیواری – یک نمونه از کابینت کنترلی ساخته شرکت Exair در اشکال 1–9 و 1–10 نمایش داده شده است.**
- **و ...**

شکل 1–9: کابینت کنترلی ساخته شرکت Exair [5]