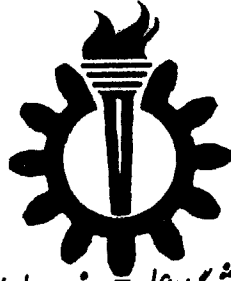


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٣٧٧٤

۱۳۸۰ / ۱۸ / ۳۰

از اطلاعات آراء علمی  
مستند است



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مکانیک

طراحی شبکه آزمایش بخارتر در شیپوره

سام بهمنش

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

013777

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر محمد حسن شجاعی فرد

تیرماه ۱۳۸۰

۳۷۱۷۴

از روزی که چشم گشودم کهکشانی دیدم پر از رمز و راز به ژرفای  
جاودانگی، ولی می‌دانم همه اینها گذرگاهی بیش نیست و اینک که گامی دیگر از این  
عبور ابدی را هرچند به سختی پیموده‌ام، در برابر لطف خداوند شکر می‌گزارم و بر  
قدرتش که در درون خود یافته‌ام سپاس می‌گویم و به تمامی کسانی که پشتیبان من  
بوده‌اند درود می‌فرستم، تمامی کسانی که تا ابد دوستشان دارم، پدرم، مادرم و  
تمام خانواده‌ام. در برابر مهرشان بوسه‌ای مملو از عشق و ارادت هدیه خواهم کرد  
و در برابر همتشان سر به سجده خواهم آورد. گامی بود بس سخت و دشوار ولی  
ناچیز. من قدرتی، اراده‌ای و عزمی را در درون خود یافته‌ام که جلوه‌گاد موجودیت  
پروردگار است، شاید برای یافتن او که بی شک بزرگترین گام دانش و اندیشه  
بشری است، تنها باید اندکی به خود نظر کنیم.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم به پاس زحمات بیدریغشان

## چکیده

با توجه به انبساط بخار در طبقات آخر توربین بخار، بخار خشک به بخار مرطوب تبدیل می‌شود، لذا یک جریان دو فاز حاصل می‌گردد. تشکیل قطره سبب فرسودگی پره‌ها و نهایتاً کم شدن راندمان توربین خواهد شد. برای جلوگیری از این عمل، فوق داغ و گرم کردن مجدد بخار یکی از قدیمی‌ترین پیشنهادهای عملی است. از آنجا که تیغه‌های توربین به صورت یک شیبوره همگرا - واگرا در کنار هم قرار می‌گیرند، طراحی شکل مناسبی از این شیبوره‌ها با ویژگی خاص که در آن دما و قطر قطرات (Drop Diameter) حاصل از تقطیر قابل کنترل باشند نیز یکی دیگر از راه‌های افزایش راندمان توربین‌ها است که قسمتی از این پروژه را در بر دارد.

برای این طراحی ابتدا به تحقیق پیرامون تئوری هسته شدن بخار (تشکیل قطره) و تقطیر خودبخود پرداخته‌ایم. سپس با استفاده از روابط ترمودینامیکی در شیبوره‌ها، بررسی و تحقیق در خصوص اثرات تقطیر در شیبوره و نهایتاً با استفاده از نرم‌افزاری که تحلیل ترمودینامیکی بخار و قطره را درون شیبوره انجام می‌دهد و در دانشگاه بیرمنگهام تهیه گردیده است، شیبوره با ابعاد مناسب را طراحی کرده‌ایم.

حال برای بررسی جریان در شیبوره باید بخار تر به صورت مصنوعی ایجاد گردد. این سیستم تولید بخار تر متشکل از مخزن، دیگ بخار، شیبوره، مبدل حرارتی، اتصالات و Scanivalve است.

طراحی مخزن بر اساس ثابت ماندن فشار در بالا دست شیبوره، با استفاده از روابط گاز کامل و بخار تر و افت‌های سیال انجام گرفته است. مبدل حرارتی که

به منظور تقطیر بخار خروجی از شیپوره تعبیه شده است با استفاده از تئوری‌های موجود طراحی گردیده است. از آنجا که استفاده از 33 فشارسنج برای نشان دادن فشار در هر مقطع از شیپوره مقرون به صرفه نمی‌باشد. از دستگاهی به نام Scanvalue استفاده کرده‌ایم که این دستگاه در کمتر از 3 ثانیه فشار 48 را اندازه می‌گیرد.

نهایتاً نتایج تئوری با کار آزمایشگاهی مشابه که در دانشگاه بیرمنگهام انجام گرفته است مقایسه شده که نتایج مؤید تطبیق تئوری و کار آزمایشگاهی (تجربی) می‌باشد.

قدردانی:

با سپاس و قدردانی فراوان از جناب آقای دکتر محمد حسن شجاعی فرد،  
استاد ارجمند که از راهنمایی‌های خالصانه ایشان در انجام این پروژه بهره‌مند

شدم.

I..... مقدمه

## فصل اول - دینامیک گازها - تئوری هسته شدن

۱-۱- بخارتر..... ۱

۱-۲- نسبت فوق اشباعی، دمای مادون سرد..... ۱

۱-۳- انبساط واقعی بخار - نقطه ویلسون..... ۲

۱-۴- هسته شدن بخار..... ۴

۱-۴-۱- بخار اشباع..... ۴

۱-۴-۲- بخار مافوق گرم..... ۵

۱-۴-۳- بخار مافوق سرد..... ۷

۱-۵- شعاع بحرانی قطره ( $r^*$ )..... ۸

۱-۶- معادله نرخ هسته‌ای شدن..... ۱۰

۱-۶-۱- بخار فوق داغ..... ۱۰

۱-۶-۲- بخار مافوق سرد..... ۱۲

۱-۷- رشد قطره..... ۱۵

۱-۸- انتقال گرما..... ۱۶

۱-۹- انتقال جرم..... ۱۷

۱-۹-۱- در ناحیه آزاد ملکولی..... ۱۷

۱-۹-۲- در ناحیه پیوسته..... ۱۸

## فصل دوم - شیپوره‌ها

۱-۲- شارش تراکم‌پذیر (Compressible flow)..... ۲۲

صفحه	عنوان
۲۳	۲-۲- گاز کامل
۲۴	۲-۳- سرعت موج (Velocity of wave)
۲۴	۲-۴- عدد ماخ (Mach No.)
۲۵	۲-۵- شرایط آیزنتروپیک
۲۵	۲-۵-۱- شرایط آیزنتروپیک سکون
۲۶	۲-۵-۲- شرایط بحرانی آیزنتروپیک
۲۶	۲-۶- نحوه تغییرات سرعت جریان بر حسب تغییرات سطح مقطع، در جریان تراکم‌پذیر آیزنتروپیک
۲۶	۲-۷- نحوه تغییرات فشار بر حسب تغییرات سطح مقطع، در جریان تراکم‌پذیر آیزنتروپیک
فصل سوم - تأثیر تقطیر در شیپوره همگرا - واگرا	
۳۱	۳-۱- مقدمه
۳۱	۳-۲- نرخ انبساط
۳۲	۳-۳- تأثیر افزایش حرارت سیال قابل تراکم
۳۴	۳-۴- توزیع فشار
۳۷	۳-۵- معادلات اصلی جریان
۳۷	۳-۵-۱- معادله پیوستگی
۲۹	۳-۵-۲- معادله حالت
۴۰	۳-۵-۳- عدد ماخ در فاز بخار



عنوان	صفحه
۲-۵-۴- معادله اندازه حرکت.....	۴۰
۲-۵-۵- معادله انرژی.....	۴۱
۳-۶- نرخ انبساط در شیپوره.....	۴۳
۳-۷- حل معادلات اصلی جریان.....	۴۳
۳-۸- تأثیر قطرات تشکیل شده در راندمان توربین ها.....	۴۵
۳-۸-۱- اثرات مکانیکی.....	۴۶
۳-۸-۲- ترمودینامیکی.....	۴۶
۳-۸-۳- آیرودینامیکی.....	۴۷

#### فصل چهارم - استفاده از برنامه کامپیوتری در طراحی شیپوره و بررسی خواص

##### ترمودینامیکی در نازل مربوطه

۴-۱- مقدمه.....	۵۰
۴-۲- نازل با نرخ انبساط $(\frac{1}{3000})$ .....	۵۰
۴-۳- چگونگی رشد قطر قطره در نازل با نرخ انبساط ثابت.....	۵۲
۴-۴- بررسی توزیع فشار در طول نازل با نرخ انبساط ثابت.....	۵۳
۴-۵- بررسی دمای قطره برحسب شعاع آن در طول نازل با نرخ انبساط ثابت.....	۵۴
۴-۶- مقایسه رشد قطر قطره در نازل با طول مختلف و نرخ انبساط ثابت.....	۵۵
۴-۷- نتیجه گیری.....	۵۶

عنوان	صفحه
فصل پنجم - شبکه تولید بخار و طراحی مخزن و کندانسور	
۱-۵-۱- مقدمه	۵۸
۲-۵-۲- مخزن بخار	۶۰
۳-۵-۳- طراحی مخزن و اتصالات	۶۱
۱-۳-۵- محاسبه افت داری (افت ناشی از اصطکاک درون لوله)	۶۳
۲-۳-۵- محاسبه افت ناشی از ورود سیال به لوله	۶۴
۳-۳-۵- محاسبه افت QAV	۶۴
۴-۳-۵- محاسبه افت ناشی از انقباض ناگهانی سطح مقطع	۶۴
۵-۳-۵- محاسبه افت با لوله خروجی مخزن به قطر 12/E	۶۵
۶-۳-۵- محاسبه افت با لوله خروجی مخزن به قطر 6/E	۶۶
۷-۳-۵- نتیجه گیری - مشخصات مخزن	۶۷
۱-۷-۳-۵- مقایسه نتایج با نتایج تجربی مشابه	۶۸
۴-۵-۴- بویلر و سوپرهیترها	۷۰
۵-۵-۵- شیر عمل کن سریع (Quick Acting Valve)	۷۰
۶-۵-۶- مبدل حرارتی (CD)	۷۰
۱-۶-۵-۱- مقدمه	۷۳
۲-۶-۵-۲- طراحی مبدلها	۷۶
۱-۲-۶-۵-۱- محاسبه ضریب انتقال حرارت سمت پوسته	۷۶
۱-۱-۲-۶-۵-۱- عدد رینولدز سمت پوسته	۷۹

صفحه	عنوان
۷۹	۵-۶-۲-۱-۲- ضریب کولبرن (Ji).....
۷۹	۵-۶-۲-۱-۲- ضریب انتقال حرارت جریان ایددآل عمود بر لوله.....
۸۰	۵-۶-۲-۲- افت فشار سمت پوسته.....
۸۲	۵-۶-۲-۱-۲- ضریب اصطکاک (fi).....
۸۲	۵-۶-۲-۲- افت فشار جریان خالص عمود بر مجموعه لوله ها.....
۸۲	۵-۶-۲-۲-۳- افت فشار برای جریان سیال از یک پنجره ایددآل.....
۸۲	۵-۶-۲-۲-۴- افت فشار سمت پوسته.....
۸۲	۵-۶-۲-۳- فرمول های محاسباتی و قدم های دیگر برای طراحی.....
۹۸	۵-۶-۳- مبدا حرارتی طراحی شده برای این سیستم.....
۹۸	۵-۷- خرطومی ها.....
۹۹	۵-۸- وسایل ابزار دقیق.....
۹۹	۵-۸-۱- اندازه گیری درجه حرارت.....
۱۰۰	۵-۸-۲- اندازه گیری فشار.....
۱۰۰	۵-۸-۱- دستگاہ Scanivalue.....
۱۰۵	پیوست.....
۱۱۰	مراجع.....

## فهرست تصاویر و نمودارها

صفحه

عنوان

۳	۱-۱- مکان هندسی نقاط ویلسون ( خط ویلسون )
۷	۱-۲- بخار اشباع
۸	۱-۳- بخار فوق داغ
۸	۱-۴- بخار فوق سرد
۹	۱-۵- تغییرات شعاع قطره بر حسب تغییرات انرژی آزاد گیبس
۲۸	۲-۱- تغییرات فشار و سرعت جریان در اثر تغییرات سطح مقطع در شیپوردها
۲۹	۲-۲- تغییرات فشار و سرعت جریان در اثر تغییرات سطح مقطع در دیفیوزرها
۳۲	۳-۱- خطوط ریلی
۳۵	۳-۲- تغییرات فشار استاتیکی در طول نازل
۳۵	۳-۳- نمدار انتالپی - انتروپی در طول نازل
۳۸	۳-۴- حجم کنترلی از مقطع شیپوره
۴۸	۳-۵- تغییرات عدد ماخ در طول نازل بر اساس تغییرات درجه حرارت
۵۱	۴-۱- نازل طراحی شده با نرخ انبساط ثابت 3000 l/Sec-
۵۹	۵-۱- شبکه تولید بخار تر طراحی شده
۷۱	۵-۲- شیر عمل کن سریع
۷۱	۵-۳- سیستم کنترل شیر عمل کن سریع
۷۴	۵-۴- انواع استاندارد سر جلو ، سر عقب و پوسته در مبدل پوسته-لوله
۷۴	۵-۵- مبدل پوسته - لوله
۷۷	۵-۷- ضریب تصحیح برای شکل صفحات نگهدارنده
۷۷	۵-۸- ضریب تصحیح برای نشد سیال از صفحات نگهدارنده
۷۸	۵-۹- ضریب تصحیح برای جریان میان بر موازی با جریان عمود بر لوله ها
۷۸	۵-۱۰- ضریب کولبرن ؛ل برای جریان میان بر عمود بر لوله های ساده
۸۱	۵-۱۱- ضریب تصحیح افت فشار برای نشد سیال از صفحات نگهدارنده
۸۱	۵-۱۲- ضریب تصحیح افت فشار برای جریان میان بر از اطراف لوله ها
۸۳	۵-۱۳- ضریب اصطکاک جریان عمود بر مجموعه لوله های با آرایش مربعی
۱۰۱	۵-۱۴- نقاطی از نازل که فشار آنها مورد نظر است
۱۰۲	۵-۱۵- دستگاه SCANIVALVE
۱۰۳	۵-۱۶- دستگاه SCANIVALVE
۱۰۴	۵-۱۷- دستگاه SCANIVALVE ,CONTROLLER و اتصالات آنها با کامپیوتر

## فهرست علائم

کیفیت بخار (نسبت جرم بخار به جرم کل)	$X$
انرژی آزاد گیبس	$G$
حجم مخصوص مایع	$V_f$
حجم مخصوص بخار	$V_g$
شعاع قطره	$r$
شعاع بحرانی قطره	$r^*$
تعداد ملکول‌ها در یک قطره	$g^*$
جرم یک ملکول	$m_m$
کشش سطحی	$\sigma$
تعداد دسته ملکول‌های $g$ ملکولی	$N_g$
تعداد کل ملکول‌های بخار بر واحد جرم	$N_1$
تغییر انرژی آزاد گیبس	$\Delta G$
نرخ تبدیل دسته ملکول‌های $g$ ملکولی به $g + 1$ ملکولی	$C_g$
نرخ تبدیل دسته ملکول‌های $g + 1$ ملکولی به $g$ ملکولی	$E_g$
ضریب تقطیر	$q_c$
ضریب هدایت حرارتی بخار	$\lambda$
دمای بخار	$T_L$
دمای قطره	$T_G$
عدد بدون بعد ناسلت	$Nu$

## فهرست علائم

عدد بدون بعد ناسون	Kn
عدد بدون بعد اشمیت	$S_c$
ظرفیت گرمای ویژه در فشار ثابت	$C_p$
ظرفیت گرمای ویژه در حجم ثابت	$C_v$
انرژی داخلی	U
عدد ماخ	M
مربع عدد ماخ ( $M^2$ )	N
نرخ انبساط	$P^\circ$
دبی جرمی مایع	$M_L$
دبی جرمی بخار	$M_G$
نسبت تری	y
قطر معادی	de
ضریب اصطکاک	f
عدد بدون بعد رینولدز	Re
افت ناشی از اصطکاک	$H_D$
افت ناشی از ورود سیال به لوله	$H_{m_r}$
افت QAV	$H_{m_r}$
افت ناشی از انقباض ناگهانی سطح مقطع	$H_{m_r}$

## مقدمه

در حال حاضر بیش از ۸۰ درصد انرژی الکتریکی جهان از طریق توربین‌های بخار تولید می‌شود [۹]، لذا بهبود کیفیت این توربین‌ها و استفاده مناسب از بخار در راندمان این نیروگاه‌ها نقش به‌سزائی دارد. با پیشرفت نیروگاه‌های بخار، هنوز طراحان و محققان نیروگاه‌های بخار نتوانسته‌اند مسئله خوردگی در طبقات فشار پائین توربین‌ها و کم شدن راندمان به سبب تشکیل قطره را به طور کامل حل کنند.

در ۱۸۷۱، شخصی به نام J.J. Thomson وجود بخار تر را به عنوان اولین نفر مطرح نمود. در همان زمان مفهوم ترمودینامیکی «تغییر فاز» به وسیله Gibbs و Helmholtz شکل گرفت. تئوری این افراد بعدها به وسیله Kelvin گسترش یافت.

در سال ۱۹۷۶، پروفسور باختر در دانشگاه بیرمنگهام به تحقیق پیرامون تئوری هسته شدن بخار پرداختند. در سال‌های بعد نیز دکتر شجاعی فرد، دکتر سو، دکتر آلبیدی و دکتر زیدی نیز تحقیقات در این زمینه را ادامه دادند.

دکتر آلبیدی [۸] در دانشگاه بیرمنگهام به تحقیق پیرامون علت مرطوب شدن بخار پرداختند. دکتر شجاعی فرد [۳] به تحقیق جریان بخار دو فاز مابین پردها پرداختند و دکتر سو نیز جریان دو فاز بین پردها را حل عددی کردند.

یکی از قدیمی‌ترین پیشنهاد‌های عملی برای جلوگیری از این عمل، گرم کردن مجدد بخار و فوق داغ کردن بخار است. ولی از آنجا که تیغه‌های توربین به صورت یک شیبوره همگرا - واگرا در کنار هم قرار می‌گیرند، طراحی شکل مناسبی از شیبوره‌ها با ویژگی خاص که در آن دما و قطر قطرات حاصل از تقطیر قابل کنترل باشند یکی دیگر از راه‌های افزایش راندمان توربین‌ها است که این طراحی در فصل