

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه حکیم سبزواری

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

بررسی اثرات انعقاد در جریانهای بخار مرطوب

استاد راهنما:

دکتر اسماعیل لکزیان

استاد مشاور:

دکتر عبدالامیر بک خوشنویس

پژوهشگر:

سیما شعبانی

بهمن ۱۳۹۲



بسمه تعالی

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

با تلاوت آیاتی چند از کلام ... مجید جلسه دفاع از پایان نامه خانم سیما شعبانی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی به شماره دانشجویی ۹۰۱۳۸۰۱۰۲۱ با عنوان بررسی اثرات انعقاد در جریانهای بخار مرطوب در ساعت ۱۲ مورخه ۱۳۹۲/۱۱/۱۴ در محل دانشکده فنی و مهندسی تشکیل گردید.

پس از استماع گزارش ارائه شده توسط دانشجو و استاد راهنما هیات داوران و حاضران سئوالاتی را مطرح و خانم سیما شعبانی به دفاع از موضوع پرداخت و به سئوالات آنها پاسخ گفت. سپس پایان نامه توسط هیات داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و نمره برابر درجه برای آن تعیین گردید.

به این ترتیب ضمن تصویب پایان نامه مزبور از این تاریخ خانم سیما شعبانی به عنوان کارشناس ارشد در رشته مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی شناخته می شود.

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت	امضا
۱-	دکتر اسماعیل لکزیان	استاد راهنما	
۲-	دکتر عبدالامیر بک خوشنویس	استاد مشاور	
۳-	دکتر احسان امیری راد	استاد داور	
۴-	دکتر نیکی رضا زاده	نماینده تحصیلات تکمیلی	

نام و نام خانوادگی وامضای مدیر گروه

دکتر عبدالامیر بک خوشنویس

رونوشت

- ۱- معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه جهت اطلاع
- ۲- معاونت پژوهشی دانشگاه جهت اطلاع
- ۳- آموزش دانشکده جهت درج در پرونده دانشجو
- ۴- دانشجو



سوگند نامه دانش آموختگان دانشگاه حکیم سبزواری

به نام خداوند جان و خرد
کزین برتر اندیشه بر نگذرد

اینک که به خواست آفریدگار پاک، کوشش خویش و بهره گیری از دانش استادان و سرمایه های مادی و معنوی این مرز و بوم، توشه ای از دانش و خرد گردآورده ام، در پیشگاه خداوند بزرگ سوگند یاد می کنم که در به کارگیری دانش خویش، همواره بر راه راست و درست گام بردارم. خداوند بزرگ، شما شاهدان، دانشجویان و دیگر حاضران را به عنوان داورانی امین گواه می گیرم که از همه دانش و توان خود برای گسترش مرزهای دانش بهره گیرم و از هیچ کوششی برای تبدیل جهان به جایی بهتر برای زیستن، دریغ نوزم. پیمان می بندم که همواره کرامت انسانی را در نظر داشته باشم و ممنوعان خود را در هر زمان و مکان تا سر حد امکان یاری دهم. سوگند می خورم که در به کارگیری دانش خویش به کاری که با راه و رسم انسانی، آیین پرهیزگاری، شرافت و اصول اخلاقی برخاسته از ادیان بزرگ الهی، به ویژه دین مبین اسلام، مبیانت دارد دست نیازم. همچنین در سایه اصول جهان شمول انسانی و اسلامی، پیمان می بندم از هیچ کوششی برای آبادانی و سرافرازی میهن و هم میهنانم فروگذاری نکنم و خداوند بزرگ را به یاری طلبم تا همواره در پیشگاه او و در برابر وجدان بیدار خویش و ملت سرافراز، بر این پیمان تا ابد استوار بمانم.

نام و نام خانوادگی و امضای دانشجو

سیما شعبانی

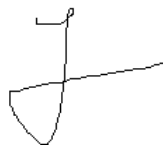
تاییدیه ی صحت و اصالت نتایج

بسمه تعالی

اینجانب سیما شعبانی به شماره دانشجویی ۹۰۱۳۸۰۱۰۲۱ رشته مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می نمایم که کلیه نتایج این پایان نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف و موارد نسخه برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده ام در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مولفان و مصنفان . قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی ضوابط و مقررات آموزشی پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد. و حق هر گونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می نمایم. در ضمن مسئولیت هر گونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: سیما شعبانی

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۲/۱۱/۱۴



مجوز بهره برداری از پایان نامه

بهره برداری از این پایان نامه در چهار چوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می شود بلامانع است :

- بهره برداری از این پایان نامه برای همگان بلامانع است.
- بهره برداری از این پایان نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما بلامانع است.
- بهره برداری از این پایان نامه تا تاریخ ممنوع است.

استاد راهنما : دکتر اسماعیل لکزیان

تاریخ: ۱۳۹۲/۱۱/۱۴

امضاء:

تقدیر و تشکر:

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

ره آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه، غبار خستگیتان را بزداید.

همچنین از استاد گرامیم جناب آقای دکتر لکزیان بسیار سپاسگذارم چرا که بدون راهنماییهای ایشان تامین این پایان نامه بسیار مشکل مینمود.

و با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.



دانشگاه حکیم سبزواری

فرم چکیده‌ی پایان‌نامه‌ی دوره‌ی تحصیلات تکمیلی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

نام خانوادگی دانشجو: شعبانی	نام: سیما	ش دانشجویی: ۹۰۱۳۸۰۱۰۲۱
استاد راهنما: دکتر اسماعیل لکزیان	استاد مشاور: دکتر عبدالامیر بک خوشنویس	
دانشکده: فنی و مهندسی	رشته: مکانیک	گرایش: تبدیل انرژی
مقطع: کارشناسی ارشد	تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۱۱/۱۴	تعداد صفحات: ۱۱۰

عنوان پایان‌نامه: بررسی اثرات انعقاد در جریانهای بخار مرطوب

کلیدواژه‌ها: جریانهای چگالشی، انعقاد، نازل همگرا-واگرا، شعاع قطرات، کسر تری، تلفات قابلیت کاردهی

چکیده: جریانهای چگالشی درون نازلها و پره‌های ثابت توربین بخار همواره موضوع بسیاری از پژوهشها بوده است. در این قبیل جریانها وجود فاز مایع در جریان بخار، ماهیت جریان را تغییر می دهد. عمده این تغییرات در اثر وقوع چهار پدیده اصلی جوانه‌زایی، رشد قطرات، انعقاد قطرات و شکست قطرات می باشد. تاکنون در مطالعات جریان چگالشی فقط پدیده های جوانه‌زایی و رشد قطرات مورد بررسی قرار گرفته اند که در این مطالعات تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای بین مقادیر محاسباتی شعاع قطرات با داده‌های تجربی گزارش شده است. در این پژوهش اثرات پدیده انعقاد بین قطرات در جریان چگالشی در نازل‌های همگرا-واگرا بصورت یک بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. با در نظر گرفتن انعقاد، شعاع قطرات به مقادیر تجربی نزدیکتر شده و نسبت به حالت بدون انعقاد افزایش یافته است و کسر تری نسبت به حالت بدون انعقاد کاهش یافته است. همچنین تولید آنتروپی (تلفات قابلیت کاردهی) با در نظر گرفتن انعقاد نسبت به حالت بدون انعقاد افزایش می یابد. داشتن نتایج دقیق‌تر از شعاع قطره و میزان رطوبت و همچنین میزان تلفات می تواند باعث بهبود طراحی پره‌های توربین و پیش بینی رفتار جریان در این پره‌ها و اتخاذ روشهایی برای کاهش اتلاف گردد.

امضای استاد راهنما

دکتر اسماعیل لکزیان

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده	۷
۱-۲- مدلهای تجربی	۸
۲-۲- مدلهای فیزیکی	۱۰
۱-۲-۲- فرکانس برخورد	۱۰
۲-۲-۲- راندمان انعقاد	۱۳
۱-۲-۲-۲- مدل انرژی	۱۴
۲-۲-۲-۲- مدل سرعت نزدیکی بحرانی	۱۵
۳-۲-۲-۲- مدل تخلیه فیلم	۱۵
۳-۲- مطالعات دیگر	۱۸
فصل سوم: معادلات جوانه زایی و رشد قطره	۲۴
۱-۳- معادلات جوانه زایی	۲۵
۱-۱-۳- جنبه ترمودینامیکی جوانهزایی	۲۵
۲-۱-۳- جنبه سینماتیکی جوانهزایی	۲۶
۲-۳- معادلات رشد قطره	۲۸
۱-۲-۳- تحولات انتقال در رژیم مولکولی آزاد	۲۸
۱-۱-۲-۳- انتقال جرم	۲۸
۲-۱-۲-۳- انتقال انرژی	۲۹
۳-۱-۲-۳- انتقال اندازه حرکت	۳۰
۲-۲-۳- معادلات نیمه تجربی برای رشد قطره	۳۰
۳-۲-۳- حل معادلات رشد قطره	۳۱
فصل چهارم: بررسی معادلات دینامیک گاز در جریان دوفازی	۳۳

۳۴	۱-۴-۱- توسعه معادلات جریان.....
۳۵	۱-۴-۱-۱- معادله بقای جرم.....
۳۵	۱-۴-۲- معادله حالت برای بخار.....
۳۶	۱-۴-۳- عدد ماخ فاز بخار.....
۳۷	۱-۴-۴- معادله مومنتم.....
۳۸	۱-۴-۵- معادله انرژی.....
۳۹	۲-۴- تنظیم معادلات جریان.....
۴۰	۳-۴- محاسبه نرخ تشکیل مایع.....
۴۱	۴-۴- ترکیب عبارات جریان مایع با معادلات اصلی جریان.....
۴۳	فصل پنجم: معادلات حاکم بر پدیده انعقاد و روش حل عددی.....
۴۴	۱-۵- معادلات حاکم.....
۴۷	۲-۵- روش حل عددی.....
۴۸	۳-۵- نحوه محاسبه تولید آنتروپی و قابلیت کاردهی.....
۵۲	فصل ششم: بحث و بررسی نتایج.....
۵۳	۱-۶- هندسه و شرایط مرزی ورودی.....
۵۵	۲-۶- فرکانس برخورد و راندمان انعقاد.....
۵۷	۳-۶- فرکانس انعقاد.....
۵۹	۴-۶- شعاع و تعداد قطرات.....
۶۲	۵-۶- نرخ جوانه زایی.....
۶۴	۶-۶- فشار و سرعت (ماخ) بخار.....
۶۷	۷-۶- کسر تری.....
۶۹	۸-۶- اختلاف دما بین دو فاز و گرمای نهان.....
۷۱	۹-۶- تلفات قابلیت کاردهی.....

۷۴۱۰-۶- آنتروپی بخار.....
۷۶۱۱-۶- نتیجه گیری.....
۷۸۱۲-۶- پیشنهادات برای آینده.....
۷۹فهرست منابع.....
۸۳ضمیمه الف- الگوریتم کلی محاسبات در برنامه کامپیوتری.....
۸۶ضمیمه ب- مقالات مستخرج از پایان نامه.....

فهرست علائم

سطح مقطع المان	A
ضرایب ویریا	B_1, B_2, B_3
گرمای ویژه مایع و بخار در فشار ثابت	C_P و C_L
قطر هیدرولیکی کانال	D_e
قطر قطره	d
تلفات قابلیت کاردهی	EX_{Loss}
ضریب اصطکاک کانال	f
ارتفاع نازل	H
فرکانس برخورد	h
آنتالپی بخار و مایع	h_L و h_G
نرخ جوانه زایی (نرخ تشکیل قطرات بر واحد حجم)	J
عدد ندسن	Kn
گرمای نهان تبخیر	L
جرم یک قطره	m_r
عدد ماخ	Ma
نرخ انتقال جرم	\dot{m}
تعداد خوشه های g مولکولی	N_g
تعداد خوشه های g مولکولی بر واحد حجم	n_g
تعداد کل قطرات بر واحد حجم	n
فشار	P
فشار اشباع در دمای T_G	$P_S(T_G)$
ضریب چگالش	q_c
ضریب تبخیر	q_e
نرخ انتقال حرارت ناحیه j	\dot{Q}_j
شعاع قطره	r
شعاع معادل قطرات	r_{eq}

شعاع بحرانی قطره	r^*
ثابت گازها	R
عدد اشمیت	S_c
آنتروپی	S
آنتروپی تولیدی	S_{gen}
دمای بخار و مایع	T_L و T_G
دمای اشباع در فشار P	$T_S(P)$
زمان	t
سرعت قطره	u
سرعت بخار و مایع	U_L و U_G
حجم قطره	V, v
نرخ جریان جرمی بخار و مایع	W_L و W_G
مجذور عدد ماخ	Z
ضریب انتقال حرارت سطح قطره و بخار اطراف	α_r
فرکانس انعقاد	Γ
نسبت گرماهای ویژه	γ
تغییرات انرژی آزاد گیبس	ΔG
نرخ اتلاف انرژی	ε
کسر خشکی	ζ
راندمان انعقاد	λ
ویسکوزیته بخار	μ_G
حجم مخصوص بخار	ν_G
چگالی فاز پیوسته و فاز پراکنده	ρ_d و ρ_c
چگالی بخار و مایع	ρ_L و ρ_G
کشش سطحی	σ

فهرست جداول

- جدول (۱-۶) شرایط مرزی ورودی..... ۵۳
- جدول (۲-۶) بررسی تاثیر ضریب C_1 بر روی نتایج نازل مور B..... ۵۵
- جدول (۳-۶) شعاع خروجی برای هر سه نازل و محاسبه درصد افزایش شعاع قطرات..... ۶۲
- جدول (۴-۶) بررسی تغییرات پارامترهای رابطه (۵-۲۲) بصورت درصدی..... ۷۴

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) توزیع محوری فشار برای جریان چگالشی در نازل همگرا-واگرا..... ۴
- شکل (۲-۱) پدیده های مختلف شکل گیری ذرات..... ۵
- شکل (۱-۲) تغییرات فرکانس برخورد با اندازه قطره..... ۱۲
- شکل (۲-۲) نمایش اهمیت معرفی راندمان انعقاد..... ۱۳
- شکل (۳-۲) (الف) سطوح تغییرناپذیر (ب) سطوح تغییرپذیر..... ۱۵
- شکل (۴-۲) (الف) سطوح مشترک غیرمتحرک (ب) سطوح مشترک با تحرک جزئی (ج) سطوح مشترک کاملاً متحرک..... ۱۶
- شکل (۵-۲) تغییرات راندمان انعقاد با اندازه قطره..... ۱۸
- شکل (۶-۲) مقایسه اثرات انعقاد و نشست در تعداد قطرات..... ۲۰
- شکل (۷-۲) تاثیر توزیع اولیه بر توزیع اندازه قطرات و رطوبت در طول لوله- قطر اولیه ۱۰ میکرومتر (خطوط پر) و قطر اولیه ۴۰ میکرومتر (خطوط شکسته)..... ۲۱
- شکل (۱-۴) حجم کنترل سیال..... ۳۵
- شکل (۱-۵) توضیح ترم تولد ذرات با اندازه d در S_b ۴۵
- شکل (۲-۵) توضیح ترم تولد ذرات با اندازه v در S_c ۴۶
- شکل (۳-۵) سه ناحیه در جریان دوفازی..... ۴۸
- شکل (۱-۶) هندسه نازل مور B ۵۴
- شکل (۲-۶) هندسه نازل مور A ۵۴
- شکل (۳-۶) تغییرات فرکانس برخورد و راندمان انعقاد با شعاع قطره برای نازل مور B ۵۶
- شکل (۴-۶) تغییرات فرکانس برخورد و راندمان انعقاد با شعاع قطره برای نازل ۲ کرول..... ۵۶
- شکل (۵-۶) تغییرات فرکانس برخورد و راندمان انعقاد با شعاع قطره برای نازل مور A ۵۶
- شکل (۶-۶) راندمان انعقاد بر حسب عدد وبر برای نازل مور B ۵۷
- شکل (۷-۶) تغییرات فرکانس انعقاد با شعاع قطره برای نازل مور B ۵۸
- شکل (۸-۶) تغییرات فرکانس انعقاد با شعاع قطره برای نازل ۲ کرول..... ۵۸

- شکل (۶-۹) تغییرات فرکانس انعقاد با شعاع قطره برای نازل مور A ۵۸
- شکل (۶-۱۰) توزیع فشار و شعاع متوسط قطرات در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد و مقایسه با حالت تجربی برای نازل مور B ۵۹
- شکل (۶-۱۱) توزیع فشار و شعاع متوسط قطرات در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد و مقایسه با حالت تجربی برای نازل ۲ کرول ۶۰
- شکل (۶-۱۲) توزیع فشار و شعاع متوسط قطرات در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد و مقایسه با حالت تجربی برای نازل مور A ۶۰
- شکل (۶-۱۳) تعداد قطرات بر واحد حجم در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ... ۶۱
- شکل (۶-۱۴) تعداد قطرات بر واحد حجم در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کرول ۶۱
- شکل (۶-۱۵) تعداد قطرات بر واحد حجم در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A. ۶۱
- شکل (۶-۱۶) مقایسه سطح موثر قطرات در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ۶۲
- شکل (۶-۱۷) مقایسه سطح موثر قطرات در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کرول ... ۶۳
- شکل (۶-۱۸) مقایسه سطح موثر قطرات در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A ۶۳
- شکل (۶-۱۹) مقایسه نرخ جوانه زایی در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ۶۳
- شکل (۶-۲۰) مقایسه نرخ جوانه زایی در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کرول ۶۴
- شکل (۶-۲۱) مقایسه نرخ جوانه زایی در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A ۶۴
- شکل (۶-۲۲) مقایسه نسبت فشار در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ۶۵
- شکل (۶-۲۳) مقایسه نسبت فشار در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کرول ۶۵
- شکل (۶-۲۴) مقایسه نسبت فشار در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A ۶۶
- شکل (۶-۲۵) تغییرات ماخ در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ۶۶
- شکل (۶-۲۶) تغییرات ماخ در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کرول ۶۷
- شکل (۶-۲۷) تغییرات ماخ در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A ۶۷
- شکل (۶-۲۸) کسر تری در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ۶۸
- شکل (۶-۲۹) کسر تری در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کرول ۶۸

- شکل (۳۰-۶) کسر تری در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A ۶۸
- شکل (۳۱-۶) اختلاف دما بین فازهای مایع و بخار در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ۶۹
- شکل (۳۲-۶) اختلاف دما بین فازهای مایع و بخار در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کروول ۶۹
- شکل (۳۳-۶) اختلاف دما بین فازهای مایع و بخار در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A ۷۰
- شکل (۳۴-۶) مقایسه گرمای نهان در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ۷۰
- شکل (۳۵-۶) مقایسه گرمای نهان در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کروول ۷۰
- شکل (۳۶-۶) مقایسه گرمای نهان در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A ۷۱
- شکل (۳۷-۶) تلفات قابلیت کاردهی محلی در طول نازل در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ۷۲
- شکل (۳۸-۶) تلفات قابلیت کاردهی محلی در طول نازل در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کروول ۷۲
- شکل (۳۹-۶) تلفات قابلیت کاردهی محلی در طول نازل در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A ۷۳
- شکل (۴۰-۶) تلفات قابلیت کاردهی کل در طول نازل در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ۷۳
- شکل (۴۱-۶) تلفات قابلیت کاردهی کل در طول نازل در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کروول ۷۳
- شکل (۴۲-۶) تلفات قابلیت کاردهی کل در طول نازل در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A ۷۴
- شکل (۴۳-۶) آنتروپی بخار در طول نازل در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور B ۷۵
- شکل (۴۴-۶) آنتروپی بخار در طول نازل در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل ۲ کروول ۷۵
- شکل (۴۵-۶) آنتروپی بخار در طول نازل در دو حالت با انعقاد و بدون انعقاد برای نازل مور A ۷۵

فصل اول

مقدمه

جریانهای چگالشی درون نازلها و پره‌های ثابت توربین بخار همواره موضوع بسیاری از پژوهشها بوده است. در حالت انبساط بخار، بدون وجود ذرات و یونهای خارجی و بدون تماس با سطوح جامد، بخار با عبور از خط میعان، فوراً چگالیده نمی‌شود بلکه به جای آن به یک حالت نیمه پایدار^۱ می‌رود که آن را بخار مافوق سرد^۲ می‌نامیم. این بخار در طی یک دوره زمانی (که ممکن است با توجه به نسبت فوق اشباع کوتاه یا طولانی باشد) با تشکیل و رشد تعداد زیادی از قطرات بسیار ریز مایع به حالت تعادل برمی‌گردد. این پدیده را جوانه‌زایی همگن می‌نامند که در مقابل جوانه‌زایی غیر همگن قرار می‌گیرد که در آن چگالش می‌تواند بر روی هر ذره خارجی اتفاق بیافتد.

در پژوهشهای بسیاری، جریانهای فراصوت همراه با جوانه‌زایی و اثرات ناشی از آن در نازل‌های همگرا- واگرا و گذرگاه پره‌های توربین، مورد توجه قرار گرفته است. در این جریانها درون نازل- های همگرا- واگرا عدد ماخ جریان پس از ناحیه همگرا و مادون صوت، در گلوگاه به عدد یک رسیده و در ادامه در قسمت واگرا جریان فرا صوت می‌شود. با کاهش فشار در قسمت واگرا، بخار مافوق گرم خط بخار اشباع را قطع می‌کند. اما به دلیل سرعت بالا، جریان به صورت بخار تکفاز باقی می‌ماند (بخار مافوق سرد غیرتعادلی). ادامه این روند موجب می‌شود که پس از نقطه ویلسون بخار اشباع گرمای نهان خود را از دست داده و به مایع اشباع در همان دما و فشار تبدیل شود (نقطه ویلسون جایی است که در آن حداکثر ناپایداری اتفاق می‌افتد). جریان بعد از خط ویلسون دوفازی

^۱ metastable

^۲ super-cooled

شده که به آن ناحیه جوانه زایی می‌گویند (شکل ۱-۱). این ترکیب دوفازی متشکل از بخار اشباع و قطرات کوچک مایع می‌باشد که بخار مرطوب^۳ نامیده می‌شود.

با توجه به توزیع محوری فشار و مسیر تغییر حالت در شکل (۱-۱)، بخار مافوق‌گرم در شرایط مادون صوت از نقطه (۱) تا رسیدن به شرایط صوتی (عدد ماخ برابر یک) در گلوگاه (۲) منبسط می‌شود، زیرا جریان مادون صوت با عبور از گذرگاه همگرا منبسط شده و سرعت آن افزایش می‌یابد. پس از گلوگاه نیز به دلیل فراصوت شدن جریان، گذر از ناحیه واگرا باز هم باعث ادامه روند انبساط و افزایش سرعت می‌گردد. در نقطه (۳) خط اشباع قطع شده و قطره‌های بسیار کوچک مایع شروع به شکل‌گرفتن می‌نمایند اما نرخ جوانه‌زایی آن قدر پایین بوده که جریان مانند بخار خشک به انبساط ادامه می‌دهد. ضمن انبساط، دمای بخار سریعتر از دمای اشباع متناظر با فشارش کاسته شده و از این‌رو، حالت ناپایدار فوق اشباع (مافوق سردی) بر بخار حاکم می‌شود. پس از آن بسته به شرایط فیزیکی و انبساط، نرخ جوانه‌زایی به طور قابل توجه افزایش یافته و به حداکثر مقدار ممکن در نقطه (۴) می‌رسد. نقطه یاد شده که بر حداکثر مافوق سردی دلالت دارد همان نقطه ویلسون می‌باشد. قطره‌های بسیار کوچک در حد فاصل نقاط (۴) و (۵) ضمن انتقال حرارت و جرم با بخار محیط سریعاً رشد می‌نمایند. رها شدن گرمای نهان و انتقال آن به بخار فرا صوت باعث افزایش فشار جریان بین نقاط (۴) و (۵) می‌گردد. زیرا دادن حرارت به جریان فراصوت، موجب کاهش سرعت و افزایش فشار جریان می‌شود. این افزایش فشار که شوک چگالش^۴ نامیده می‌شود باعث افزایش آنتروپی و ایجاد تلفات می‌شود. در واقع در این قسمت تغییرات افزایش سطح در جهت کاهش فشار جریان است ولی دادن گرما به سیال باعث می‌شود که فشار جریان افزایش یابد. پس از آن انبساط نزدیک به شرایطی تعادلی ادامه یافته و تعداد قطرات در این مرحله ثابت باقی می‌ماند در نتیجه درصد رطوبت تنها با رشد قطرات افزایش می‌یابد (شکل ۱-۱).

^۳ wet steam

^۴ condensation shock