١٧٧٦٧

دانشگاه مشهد

دانشکده مهندسی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

عنوان

تعیین افت فشار وضریب انتقال حرارت تقطیر در لولهٔ افقی

ارائه شده به‌گروه مهندسی‌مکانیک
برای دریافت درجه‌کارشناسی ارشد

توسط :

سعید امیری دربان

زیرنظر :

دکترعلی نوری بروجردی

زمستان ۱۳۶۹

۱۷۷۶۷

نمره : ۱۸

استاد پروژه :

دکتر علی نوری بروجردی

ممتحنین :

دکتر محمدرضا مدرس رضوی

دکتر اصغر برادران رحیمی

مدیر گروه :

دکتر محمد مقیمان

سرپرست دانشکده :

دکتر جلیل ابریشمی

چکیده

دربسیاری از پروسه‌های صنعتی وشیمیایی، فرآیند تقطیر اتفاق می‌افتد.به دلیل بالا بودن ضریب انتقال حرارت در تقطیر وهمچنین ارتعاشات ناشی از نوع الگوی جریان رخ داده در سیستم، طراحی این سیستمها از حساسیت ویژه‌ای برخوردار است. پروژه حاضر سه هدف را تعقیب می‌نماید. در ابتدا بررسی جامعی درمورد فرآیند تقطیر الگوهای جریان وافت فشارهای ایجاد شده به‌عمل آمده است. سپس نقشهٔ الگوی جریان Baker مورد بحث قرار گرفته ومعادلات این الگوها تعیین‌گردیده است. به کمک این معادلات و معادلات تجربی ارائه شده برای محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت ومعادله انرژی وممنتوم حاکم برتقطیر وفرضیات مناسب، مدلی برای محاسبهٔ افت فشار اصطکاکی درلوله‌های افقی ارائه شده‌است. این مدل با شش مدل دیگر مورد مقایسه قرار گرفته تا دقت مدل ومحدودهٔ دقت تعیین گردد. درانتها نیز برنامه‌ای کامپیوتری جهت محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت وافت فشار کلی درلوله‌های افقی وهمچنین محاسبهٔ پارامترهای فوق در لوله‌های عمودی(با فرض آنیولار بودن جریان) ارائه‌گردیده‌است.

تشکر و قدردانی

مصداق عالم بشریت علی (ع) می فرماید "من علمنی حرفاً فقد صیرنی عبداً". هر کس مرا حرفی آموخت تمام عمر بنده او خواهم بود. پس شکفت نیست اگر زبان قاصر باشد لذا بیان تشکر و سپاس از کسانی که گشاینده حقیقی دیدگان شاگردانشان در کسب علم بوده اند. با سپاس فراوان از استاد عزیزم دکتر علی نوری پرورنده ای که در این پروژه و در طی دوران تحصیل همواره راهنما و مشوق من بوده اند.

همچنین از مشاورین این پروژه آقایان دکتر محمدرضا مدرسی رضوی و دکتر مرتضی رحیمی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

فهرست

چکیده الف

تشکر و قدردانی ب

فهرست ج

علائم اختصاری هـ

فصل ۱ جریانهای دوفازی

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ روشهای تحلیل جریان دوفازی ۲

۱-۳ مدل همگن ۳

۱-۴ مدل جریان جدا شده ۴

۱-۵ الگوهای جریان ۵

فصل ۲ تقطیر

۲-۱ مقدمه ۲۳

۲-۲ فرآیندهای تقطیر ۲۳

۲-۳ مکانیزم تبخیر و تقطیر در فصل مشترک بخار- مایع ۲۵

۲-۴ تاثیرگازهای غیرقابل تقطیر برفرآیند تقطیر ۲۹

۲-۵ تقطیر برروی صفحه ۳۳

۲-۶ تقطیر برروی لوله ۳۸

۲-۷ تقطیر درون لوله ۳۹

۲-۸ اثر فین ۴۷

۲-۹ تقطیر قطره‌ای ۴۸

فصل ۳ افت فشار درتقطیر

۳-۱ معادلات بقا ۶۲

۳-۲ افت فشار در مدل همگن ۶۴

۳-۳ افت فشار در مدل جریان مجزا ۶۶
۳-۴ افت فشار اصطکاکی ۶۸

فصل ۴ مدل پیشنهادی برای محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت و افت فشار در لوله افقی
۴-۱ مقدمه ۸۰
۴-۲ فرضیات مدل ۸۰
۴-۳ الگوی جریان انتخابی و تعیین معادلات خطوط ۸۱
۴-۴ مدل ارائه شده ۸۳
۴-۵ بررسی پارامترهای کنترل کننده و قابلیت اندازه‌گیری در فرآیند تقطیر ۸۵

فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۵
مراجع ۱۰۷
برنامه کامپیوتری ۱۱۶

علائم اختصاری

مساحت جریان	A
غلظت	c
قطعه کانال ـ مشخصهٔ ابعادی	D
انرژی مکانیکی	E
نیروی اعمال شده برای غلبه بر اصطکاک	F
ضریب اصطکاک	f
سرعت جرم	G
شتاب ثقل	g
ضریب انتقال حرارت	h
انتالپی	i
شار مولی	J
شارحجمی(سرعت) ـ شار جرمی	j
ضریب انتقال جرم ـ ثابت بلاسیوس	K
ضریب هدایت حرارتی	k
طول	L
وزن ملکولی	M
فشار استاتیک	P
دبی حجمی جریان	Q
حرارت جذب شده	q
ثابت جهانی گازها	R
شعاع قطره	r
نیروی اعمال شده‌در فصل مشترک	S
دما	T
سرعت	u
حجم مخصوص	v
دبی جرمی جریان	W
پارامتر Lockhart-Martinelli	X

کیفیت جرمی	x
فاصله از فصل مشترک (از مبداء)	y
فاصله روی محور افقی	z
گرادیان فشار اصطکاکی	(dp/dz F)
گرادیان فشار ناشی از شتاب	(dp/dz a)
گرادیان فشار ناشی از ثقل	(dφ/dz g)

حروف یونانی

سطح‌جریان به سطح کل (Void Fraction)	α
کیفیت حجمی	β
ضخامت فیلم (لایه‌انتشار)	δ
زبری لوله	ε
جرم مخصوص	ρ
لزجت	μ
لزجت سینماتیک	ν
جذر مولتی پیلر اصطکاکی	Φ
ضریب تصحیح دیاگرام Baker	λ
ضریب تصحیح دیاگرام Baker	ψ
کشش سطحی	σ
تنش برش	τ
زاویه نسبت به افق	Θ
دبی جرمی برواحد عرض ـ ضریب تصحیح	Γ

زیرنویس ها

گاز غیرقابل تقطیر	a
گاز در فصل مشترک	ai
گاز در مخلوط	ao
فاز مایع	f
نهان	fg

fo	کل جریان بصورت مایع
g	فاز بخار
gi	بخار در فصل مشترک
go	بخار در مخلوط
i	فصل مشترک
m	متوسط
sat	اشباع
TP	دوفازی
w	دیواره

اعداد بدون بعد

Fr	Froude number $[u_{fo}^2/g\,D]$	عدد فرود
Ga	Galileo number $\left[\frac{D^3\rho_f(\rho_f-\rho_g)\,g}{\mu_f^2}\right]$	عدد گالیله
Gr	Grashof number $\left[\frac{\beta g\Delta T D^3\rho^2}{\mu^2}\right]$	عدد گراشف
Nu	Nusselt number $[hD/k]$	عدد ناسلت
Pr	Prandtl number $[c_p\,\mu/k]$	عدد پرانتل
Re	Reynolds number $[GD/\mu]$	عدد رینولدز
Sc	Schmidt number $[\mu/\rho D]$	عدد اشمیت

علائم

*	بدون بعد ـ مرجع
+	ورودی به فصل مشترک
-	خروجی از فصل مشترک
~	مولی
-	متوسط

فصل اول

جریانهای دو فازی

1-1 مقدمه

اصطلاح فاز به‌یکی از حالتهای داده اطلاق می‌شود که می‌تواند گاز، مایع ویا جامد باشد. جریان چند فازی به‌جریانی همزمان ازچندفاز گفته می‌شود. جریان دوفازی ساده‌ترین نوع جریانهای چندفازی است.

کلمه دوجزیی گاهی برای تعریف جریاناتی که‌فازهای آن ازلحاظ شیمیایی متفاوت هستند بکارمی‌رود. برای مثال جریان گاز- آب، یک جریان دوفازی است. درحالیکه جریان آب - هوا، جریان دوجزیی می‌باشد. برخی جریانات دوجزیی(غالبا " مایع - مایع) که در یک فاز هستند اغلب جریان دوفازی نامیده می‌شود. چون معادلات حاکم برجریانهای دو فازی یا دوجزیی یکسان هستند اهمیتی ندارد که کدام تعریف انتخاب شود.

مثالهای معمول بسیاری برای جریانهای دوفازی موجود است. برخی نظیرمه، دود، باران، ابر، برف، توده‌یخ شناور، شنهای روان، گردوغبار، طوفان وگل درطبیعت موجود است. جوشش آب، درست شدن چای، بهم زدن شکر وغیره انواع دیگری ازجریان دوفازی هستند. دریک قهوه‌جوش ابتدا آب برای تشکیل حبابهای بخار به‌جوش می‌آید. سپس اسلاگهای مایع وبخار بطرف لوله مرکزی روانه می‌شوند وآب داغ از تفاله قهوه عبورکرده وسرانجام بدرون یک ظرف می‌ریزد. با اینکه وقتی مایعی ازیک بطری وارونه بیرون می‌ریزد، میزان تخلیه توسط سرعت حبابهای جریان اسلاگ در گردن بطری محدود می‌گردد. سیستمهای بیولوژیکی غالبا " شامل مایعات ناخالص هستند. سیالات بدن نظیرخون، شیر ولنف چندفازی بوده و شامل سلولها، ذرات ویا قطراتی درسوسپانسیون می‌باشند ورفتار آنها ازهمان معادلاتی تبعیت می‌کند که برای آنالیز رنگها، جوهرها، چسبها وتفاله‌های هسته‌ای گرفته می‌شوند. مثال دیگر موضوع، آتش نشانی است. تقریبا " غالب روشهای بکارگرفته شده چندفازی است. نظیر اسپری‌ها، جت‌ها، فومها ویا پودرها. درصنعت نیزمثالهای بسیاری موجود است. بیش از نیمی از موتورهای شیمیایی به جریانهای چند فازی مربوط می‌شوند. بسیاری از فرآیندهای صنعتی نظیر تولیدنیرو، سردسازی وتقطیر به سیکلهای تقطیر وتبخیر بستگی دارند. موضوع جوشش و تقطیر درمجراهای افقی یا عمودی تحت شرائط جابجایی اجباری یا طبیعی بسیارمهم است. طرح بویلرهای واترتیوب، لوله‌های تقطیر وسایل برودتی، رآکتورهای هسته‌ای سردشونده باآب، اواپراتورها و بسیاری از اجزای اصلی واحدهای شیمیایی ونیروگاهها براساس دینامیک سیال و

فرآیندهای انتقال حرارت درطی جوشش وتقطیر می‌باشد. جوشش جابجایی به‌عنوان افزودن حرارت ،مایع جاری شده‌بصورتیکه بخارتولیدشود، تعریف می‌گردد. بنابراین این تعریف شامل فرآیند تولیدبخاربه‌علت کاهش فشار درسیستم نخواهدشد. هرچند دوفرآیندهمزمان اتفاق می‌افتد وبوضوح نمی‌توان آندو راازهم جدانمود. تقطیر نیزبصورت دفع حرارت از سیستم بنحوی که‌بخار به‌مایع تبدیل شود، تعریف می‌گردد.

بررسی مسائل جوشش وتقطیرجابجایی از قرن نوزدهم درحال جریان بوده‌است .اما تحقیق در این زمینه از زمان جنگ دوم بخاطر گسترش تکنولوژیهای راکت ومسائل هسته‌ای توسعه یافت .اولین گراف که بوسیله (1964) Gouse آماده شد، تعداد مقالات منتشرشده راجع به‌جوشش وجریان دوفازی رادرعرض یکسال ارائه‌داد. این منحنی یک افزایش نمائی در تعداد انتشارات رانسبت به‌زمان نشان می‌دهد. نرخ افزایش درتعداد مقالات در 1940 دو برابر شده وجمع کل مقالات منتشرشده تا 1970 به‌دوهزار مقاله می‌رسد.هنوز علی رغم کوششهای بسیاری که ازطرف محققین دربسیاری ازکشورهای توسعه‌یافته درجهان صورت گرفته است ، مکانیک جوش درکانال بصورت یک پدیدهٔ کمترقابل فهم باقی مانده است .

1-2 روشهای تحلیل جریان دوفازی

روشهای مورد استفاده درتحلیل جریان دوفازی، دراصل گسترش بحث مربوط به جریانهای تک فاز است .روش بکارگرفته‌شده ، همان نوشتن معادلات اصلی یعنی بقای جرم، ممنتوم و انرژی می‌باشد که غالبا " یک بعدی درنظر گرفته‌شده وبا ساده‌سازی های گوناگون حل می‌شود. سه مدل اصلی برای بررسی جریانهای دوفازی وجود دارد که‌عبارتند ازمدل جریان همگن ، جریان مجزا ومدل الگوی جریان است . در مدل همگن که ساده‌ترین تقریب مسئله برای جریانهای دوفازی است‌جریان دوفازی همانند جریان تک فازی فرض می‌شود که خواص آن ازترکیب‌خواص‌هریک از جریانات موجود در دوفاز حاصل شده وکاذب است .

درمدل جریان جداشده هریک از دوفاز جریان بطور مصنوعی جداشده وبررسی می‌شود. سپس دوسری معادله اصلی (برای هرفازیکی) نوشته می‌شود، سپس معادلات ترکیب می‌شوند.در هر مورد باید اطلاعاتی درنزدیکی ناحیه‌ای که توسط هرفاز اشغال شده (یاسرعتهای هرفاز) وهمچنین دربارهٔ اصطکاک ایجادشده بادیوارهٔ کانال موجود باشد. درمورد اخیر اطلاعات اضافی مربوط به اصطکاک بین فازها نیز موردنیاز است .این اطلاعات ، ازطریق روابط تجربی جداگانه که void fraction وتنش برشی دیواره رابه‌متغیرهای اولیه مرتبط می‌کند ویابراساس مدلهای ساده شده‌جریان وارد معادلات اصلی می‌شود.درمدل الگوی جریان که تقریب‌کاملتری است ، دوفاز بفرم یکی از سه‌یاچهار نوع هندسه تعریف شده

معین بررسی می‌گردد. این هندسه‌ها براساس اشکال مختلف یا الگوهای جریان پیدا شده وقتی که جریانی ازگاز ومایع باهم دریک کانال هستند می‌باشد. معادلات اصلی درچهارچوب این ایده‌آل سازی‌های معرفی شده حل می‌شوند. برای بکارگیری این مدلها احتیاج است پیدا کنیم کدامیک از الگوها باید استفاده‌شود ونیز قادربه‌پیش بینی انتقال ازیک الگوبه الگوی دیگرباشیم. تقریب اخیر هنوز ناقص است وبیشترین اطلاعات برپایه دومدل اولیه می‌باشد بهرحال می‌توان انتظار داشت قدمهای قابل ملاحظه‌ای در راه‌بهبود وتوسعه مدلهای الگوی جریان درچندسال آینده برداشته‌شود. دراین زمینه، استفاده ازکامپیوترهای دیجیتال برای ساده‌کردن معضلات قابل ملاحظهٔ محاسبات طراحی که بناچار برای مهندس طراح بوجود می‌آید، مورد لزوم است.

3-1 مدل همگن

تئوریهای جریان همگن، ساده‌ترین روش برای تحلیل جریانهای دوفازی(یاچندفازی)است. مخلوط وخواص متوسط درنظر گرفته شده برای آن، همانند یک سیال تک فاز رفتار نموده وازمعادلات مربوط به آن نیز تبعیت می‌کند. کلیه روشهای استاندارد مکانیک سیالات می‌توانند بکارگرفته شوند. خواص متوسطی که موردنیاز هستند عبارتنداز: سرعت، خواص ترمودینامیکی (نظیردانسیته وگرمای ویژه) وخواص انتقالی(نظیر ویسکوزیته). این خواص کاذب متوسط گیری می‌شوند ولزوما" همان خواص هر کدام ازفازها نیستند. روش تعیین خواص مناسب اغلب با معادلات پیچیده ترشروع می‌شود و آنقدر تغییرمی‌یابد تا همانند معادلات مشابه در جریان تک فازشود. برای مثال، ویسکوزیته واقعی یک امولیسیون ـ توسط آنالیز سه‌بعدی جریان دوجزیی می‌تواند بدست‌آید. درمورد دیگری، خواص ظاهری یک مخلوط ذره ـ گاز از معادلات جداگانه برای هرجزء وبافرض‌حلهای مشابه می‌تواند پیدا شود.

تفاوتهای سرعت، دما وخواص شیمیایی بین فازها می‌تواند منجربه افزایش اثرات ـ متقابل ممنتوم، گرما وانتقال حرارت گردد. اغلب این فرآیندها خیلی سریع رخ می‌دهد خصوصا" وقتی یک فاز کاملا" دردیگری ادغام شود، می‌توان فرض‌کرد که دراین ناحیه به تعادل رسیده‌ایم. دراین مورد، مقادیرمتوسط سرعت، دما وپتانسیل شیمیایی همان مقادیر هرجزء را داراست وماجریان تعادلی همگن را خواهیم‌داشت. معادلات نتیجه شده ساده بوده وبرای استفاده آسان می‌باشد. ولی اغلب اعتبار آنها توسط تئوری‌های دقیقتر باید مورد بررسی قرارگیرد. برای مثال، درخروج مخلوط آب ـ بخار ازمیان نازلهای کوتاه ویاسوراخها، تغییرات سریع فشار وشتاب موجود دراین محلها، تئوری تعادل را

بی‌دقت می‌سازد. دراینجا احتیاج به بررسی میزان هسته‌گذاری حباب ورشدآنها در مایع سوپرهیت داریم. اثرات غیرتعادلی نیزوقتی بخار سوپرکولد دریک سرعت بخار بالا یا وقتی ذرات یک سوخت جامد درنازل یک موتور راکت‌سوزانیده می‌شود غالبا" ظاهرمی‌گردد. دربرخی موارد، استفاده ازتئوری همگن بوضوح برای استفاده مناسب نیست .برای مثال جریانات عمودی کانترکورنت که به توسط جاذبه اعمال شده روی دانسیته‌های مختلف فازها بوجود آمده است نمی‌تواند به‌وسیله سرعت متوسط مناسبی تشریح شود.

مدل همگن برخی اوقات تحت عناوین مدل fog flow یا مدل friction factor نیزخوانده می‌شود. کاربرد اصلی این مدل در دستگاههای تولیدبخار- تولیدنفت وصنایع برودتی می‌باشد.

فرضیات زیر درمدل همگن درنظر گرفته می‌شود

a) سرعتهای بخار ومایع برابرند

b) بین دوفاز تعادل ترمودینامیکی وجود دارد

c) ضریب اصطکاک تعریف شده برای جریان تک فاز برای جریان دوفازی استفاده می‌شود این مدل برای جریانهای bubbly و Annular - Wispy خصوصا" درسرعتها وفشارهای بالا معتبر است.

1-4 مدل جریان جداشده

این مدل درسال 1949 توسط Lockhart و Martinelli پیشنهاد شده است وپیوسته‌رو به توسعه می‌باشد. مدل جداشده جریان را مصنوعا" به دوجریان مجزا تقسیم می‌کند. فازها خواص وسرعتهای مختلفی را دارا هستند. دراین مدل فرضیات زیردرنظر گرفته می‌شود.

a) سرعت فازهای مایع وبخارثابت است

b) بین فازها تعادل ترمودینامیکی برقرار است

c) برای ارتباط دادن Void Fraction (α) به‌متغیرهای مستقل جریان از روابط و مفاهیم ساده شده تجربی استفاده می‌شود.

دراین مدل فازها خواص وسرعتهای مختلفی را دارا هستند. این امر با درجات پیچیدگی مختلفی می‌تواند در نظرگرفته شود. درکاملترین حالت ،معادلات جداگانه پیوستگی ، ممنتوم وانرژی برای هرفاز نوشته می‌شود. سپس این شش معادله با معادلاتی که چگونگی اثر متقابل فازها برهمدیگر وبردیواره‌های کانال را توصیف می‌کند بطور همزمان حل می‌شوند.

درساده‌ترین شکل فقط یک پارامتر نظیر سرعت برای هردوفاز تغییرمی‌یابد، در حالیکه

معادلات بقا فقط برای جریان ترکیب‌شده نوشته می‌شود. زمانیکه تعداد متغیرهای تعیین شده ازتعداد معادلات بیشترشد، فرضیات معادلاتی ویاساده‌سازی درنظر گرفته می‌شود. این مدل برای الگوی جریان Annular بیشترین اعتبار را داراست. لازم به‌تذکر است‌که اگر سرعت‌فازهای مایع وبخار برابر درنظر گرفته شود، روابط این مدل همان روابط مدل همگن خواهد گردید.

1-5 الگوهای جریان

آنالیز جریان تک‌فاز، اگر معلوم شود جریان آرام یادرهم است‌ودانستن اینکه آیا جدایی یااثرات‌جریان ثانویه درآن اتفاق می‌افتد یاخیر، ساده‌ترمی‌شود. این اطلاعات همچنین درمطالعه جریان مایع ـ گاز نیز مفید است. اگرچه درمورد شکل یا توپولوژی جریان باید اهمیت بیشتری قائل شد. وقتی یک مایع درلوله‌ای با افزایش‌حرارت بخار می‌شود، مایع وبخار تولیدشده اشکال مختلفی بخودمی‌گیرند که‌بعنوان الگوهای جریان شناخته می‌شود. یک الگوی جریان خاص بستگی به شرائط فشار ،جریان ،فشار حرارت و شکل کانال دارد. درطرح مبدلهای حرارتی مطلوب‌است‌بدانیم چه الگوی جریانی یا الگوهای جریانی غالب‌است .بطوریکه یک‌تئوری انتقال حرارت یا ئیدرودینامیک مناسب‌برای آن الگوبتوان انتخاب‌نمود.

تکنیکهای گوناگونی برای مطالعه الگوهای جریان دوفازی درکانالهای حرارت‌داده شده‌و یابدون افزایش‌حرارت‌وجود دارد. در کانالهای شفاف درسرعتهای کم بوسیله مشاهده مستقیم می‌توان الگوی جریان را ملاحظه نمود. درسرعتهای بالاتر، جائیکه الگوها غیر قابل تشخیص می‌شوند. عکسبرداری بکمک فلاش ودوربین می‌توانند برای کندکردن سقوط جریان و گسترش حوزه دید بکار رود. هرچند انعکاس وانکسار درفصل مشترک های چندگانه غالبا " گزارشات عینی وعکسبرداریها را مورد تردید قرارمی‌دهد. بکمک رادیوگرافی اشعه X می‌توان این تردید را کاهش داد. همچنین رادیوگرافی بکمک اشعه X اجازه بررسی در کانالهای کدر بادیواره‌های حرارت‌داده شده را می‌دهد.

تکنیک دیگری که برای بررسی کانالهای حرارت‌داده شده بکارمی‌رود شامل پوشش یک لوله شفاف با یک‌لایه نازک‌حاوی فلزی است ،بنحوی که حرارت‌دراین‌لایه تولید شود ولی‌از شفافیت‌دیدکم نگردد. نمونه‌های مختلف پروب ، الکتریکال ،سیم داغ، فشاری و نوری برای مطالعه ساختمان جریان نیز توسعه یافته‌اند و سیگنالهای دریافتی‌ازاین پروبها می‌توانند برای تهیه اطلاعات غیرمستقیم و استنتاج الگوی جریان استفاده شوند.