

## هدف

هدف از انجام آزمایش آشنایی با فرآیند جوشش، مشاهده مراحل مختلف آن، بررسی عوامل مؤثر بر جوشش و محاسبه ضریب انتقال حرارت آن می‌باشد.

## تئوری

پدیده جوشش از فرآیندهای انتقال حرارت جابجایی همراه با تغییر فاز سیال به شمار می‌آید که این تغییر فاز در دمای ثابت صورت گرفته و مقدار زیادی حرارت بدین روش منتقل می‌شود. در جوشش نرخ انتقال گرما بسیار سریع بوده و به همین دلیل در طراحی مبدل‌های حرارتی فشرده به منظور سرمایش یا گرمایش از این پدیده استفاده می‌گردد. هنگامی که یک مایع با سطح داغی که دارای دمای بالاتر از دمای اشباع مایع باشد در تماس قرار بگیرد، فرآیند جوشش در سطح مشترک مایع و جامد رخ خواهد داد که با افزایش اختلاف دما بین سطح و مایع میزان انتقال حرارت نیز افزایش خواهد یافت.

(۱-۴)

$$q = hA(T_s - T_{sat})$$

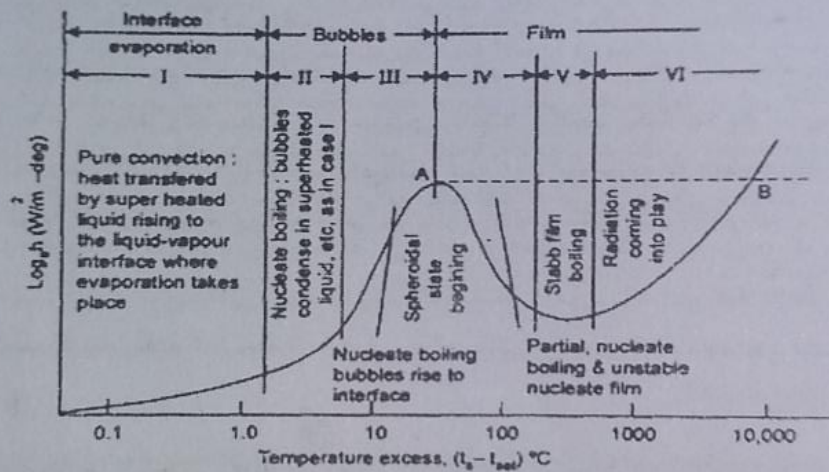
که  $h$  ضریب انتقال حرارت،  $A$  سطح انتقال حرارت،  $T_s$  دمای سطح و  $T_{sat}$  دمای اشباع مایع می‌باشد.

حال به بررسی انواع جوشش می‌پردازیم:

- جوشش استخری (pool boiling): در جوشش استخری، سیال ساکن است و حرکت سیال در مجاورت سطح داغ تنها ناشی از جابجایی طبیعی و اغتشاشات ناشی از رشد و جدا شدن حباب‌ها می‌باشد.
- جوشش اجباری (forced boiling): در جوشش اجباری سیال ساکن نبوده و توسط یک وسیله خارجی به حرکت درمی‌آید. علاوه بر این حرکت سیال ناشی از جابجایی طبیعی و اغتشاشات ناشی از رشد و جدا شدن حباب‌ها نیز رخ می‌دهد. در فعالیتهای صنعتی با این نوع جوشش بیشتر سر و کار داریم.

- جوشش اشباع یا حجمی: در این فرآیند مایع در دمای اشباع خود بوده، حباب‌ها سطح مشترک جامد و مایع را ترک کرده و به سطح آزاد مایع می‌روند.
  - جوشش سرد یا موضعی: در این فرآیند مایع در دمای کمتر از دمای اشباع خود قرار دارد و حباب‌ها قبل از رسیدن به سطح آزاد، درون مایع تقطیر می‌شوند و از بین می‌روند.
- حالت به بررسی جوشش استخری و نحوه تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی  $h$  بر حسب اختلاف دمای سطح و سیال می‌پردازیم.

نموداری که در شکل زیر مشاهده می‌کنید مرتبط به جوشش آب در تماس با سیم داغ پلاتینی است. توجه داشته باشید که اگر نمودار  $q$  بر حسب دما نیز رسم شود، مشابه همین نمودار خواهد بود.



Boiling Curve for water. [ $\log q$  vs Temp. excess]

شکل (۴-۱) نمودار مرتبط به جوشش آب در تماس با سیم داغ پلاتینی

در منطقه I انتقال حرارت به شیوه جابجایی طبیعی رخ می‌دهد که باعث حرکت سیال اطراف سیم می‌گردد اما در این منطقه هنوز حبابی تشکیل نشده است.

در منطقه II حباب‌های جداگانه روی سطح جامد حاصل می‌شوند و درون مایع پخش می‌گردند که این منطقه شروع جوشش هسته‌ای می‌باشد. در این منطقه امکان رسیدن حباب‌ها به سطح مایع کم بوده و حباب‌ها درون توده مایع از بین می‌روند. با افزایش بیشتر دما (منطقه III) حباب‌ها سریع‌تر تولید شده و توانایی رسیدن به سطح مایع را پیدا می‌کنند. حباب‌ها سبب افزایش اختلاط مایع شده و در نتیجه  $q$  و  $h$  به

شدت زیاد می‌شود. با توجه به اینکه در جوش هسته‌ای به ازای  $\Delta T$  کم، نرخ انتقال گرما و ضریب جابجایی زیاد است، در صنعت ترجیح داده می‌شود که دستگاه‌ها در این منطقه کار کنند.

توجه اگر حساب‌ها در اطراف سطح مشترک تجمع پیدا کنند، به علت ضریب هدایت حرارتی بسیار کم حساب‌ها انتقال حرارت کاهش می‌یابد اما اگر حساب‌ها سطح مشترک را ترک کنند این امر باعث افزایش اختلاط شده می‌زول انتقال حرارت افزایش می‌یابد. بنابراین زمانی که دمای سیم به گونه‌ای تنظیم گردد که میزول حساب‌های تولیدی با میزان حساب‌های که سطح مشترک را ترک می‌کنند با یکدیگر مساوی باشند ماکزیم انتقال حرارت را خواهیم داشت که این مکان در نمودار با حرف A نمایش داده شده است. تنظیم دمای سیم در این نقطه بسیار سخت بوده و در این حالت سیستم در حالت ناپایدار می‌باشد.

با افزایش بیشتر دما حساب‌ها به قدری سریع ایجاد می‌شوند که قادر به ترک سریع سطح مشترک جلمد و مانع نموده و حساب‌ها کم‌کم به صورت یک فیلم روی سطح جامد را می‌پوشانند و از حرکت سیال تازه به سمت سیم ممانعت می‌کنند. به این منطقه، منطقه جوشش فیلمی گفته می‌شود. در این حالت حرولت می‌بایست از خروج این فیلم به صورت هدایت عبور کند تا به مانع برسد. بنابراین مقاومت حرارتی باعث کاهش فلاکس حرارتی می‌گردد (منطقه IV) در این منطقه انتقال از جوشش هسته‌ای به جوشش فیلمی رخ می‌دهد که منطقه‌ای ناپایدار است. جوشش فیلمی به صورت پایدار در منطقه V رخ می‌دهد که برای این نوع جوشش درجه حرولت بالایی لازم است. زمانی که حساب‌ها به صورت یک فیلم کاملاً ناپایدار سرتاسر فصل مشترک را بپوشانند کمترین انتقال حرارت را خواهیم داشت که به این نقطه، نقطه لیند فرانس گفته می‌شود.

با افزایش بیشتر دما ضریب انتقال حرولت شروع به افزایش می‌کند زیرا در دمای بالا مکانیسم تشعشع پدیدار می‌گردد. (منطقه VI) با افزایش دما ضریب انتقال حرولت  $q$  افزایش یافته تا نهایتاً در نقطه B نیز ماکزیم انتقال حرولت را خواهیم داشت اما در این نقطه دما به قدری بالاست که سیم ذوب می‌شود.

### شرح دستگاه

این دستگاه به گونه‌ای طراحی شده است که کار کردن با آن بسیار ساده بوده و امکان مشاهده رژیم‌های مختلف جوشش و قابلیت بررسی اثر دما و فشار بر مکانیسم جوشش را ممکن می‌سازد.

دستگاه از یک محفظه شیشه‌ای به قطر داخلی ۱۱۶ و ارتفاع ۳۵۰ میلی‌متر تشکیل شده است. درون محفظه یک المنت حرارتی ۵۰۰ واتی قرار داده شده است. المنت درون سیال ساکن (آب مقطر) غوطه‌ور است.

بنابراین مکانیزم انتقال حرارت، جوشش استخری می‌باشد. همانطور که قبلاً ذکر شده با افزایش تفاوت دمای سطح و سیال مکانیزم انتقال حرارت تغییر پیدا می‌کند، بدین منظور المنت حرارتی با قابلیت تنظیم توان در سیستم تعبیه شده است تا با افزایش توان هیتر، دمای آن نیز افزایش یابد و بتوان رژیم‌های مختلف جوشش را مشاهده کرد. دمای هیتر توسط نمایشگر سمت چپ تابلو کنترل قابل مشاهده است. مخزن شبش‌های بوسله محفظه شفاف حدوداً تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر از سیال مورد نظر پر می‌شود. سیال مورد نظر حتماً باید آب مقطر باشد. به منظور ميعان کردن آب تخير شده و بازگرداندن آن به سطح مایع، یک کندانسور در قسمت بالایی محفظه تعبیه شده است. آب سرد شهری وارد کندانسور شده، بخار در اثر تماس با جریان آب سرد ميعان پیدا کرده و به سطح مایع برمی‌گردد و آب شهری نیز از قسمت خروجی کندانسور از سیستم خارج می‌گردد. دبی آب سرد ورودی به کندانسور توسط روتامتر تنظیم می‌گردد که با کنترل دبی می‌توان فشار را در طول آزمایش ثابت نگه داشت. دمای آب سرد ورودی به کندانسور  $T_3$  و دمای آب سرد خروجی از کندانسور  $T_4$  توسط ترموکوپل اندازه گرفته می‌شود. دمای مایع داخل مخزن  $T_1$  و دمای بخار قسمت بالایی کندانسور  $T_4$  بخار نیز توسط ترموکوپل اندازه‌گیری می‌شود. برای مشاهده فشار بخار نیز یک فشارسنج بوردون (pressure gage) در محفظه تعبیه شده است و برای ممانعت از افزایش بیش از حد فشار، شیر اطمینان و سوئیچ فشار روی دستگاه نصب شده است. برای تخلیه آب درون محفظه نیز میتوان از شیر یابین محفظه استفاده کرد.

### راه اندازی دستگاه

المنت حرارتی را روشن کرده و توان آن را در کمترین مقدار ممکن (زمانی که نمایشگر ولتاژ حدود ۱۰۰ ولت را نشان می‌دهد) تنظیم کنید. جریان آب ورودی به کندانسور را باز کرده و دبی آن را در کمترین مقدار ممکن تنظیم کنید. با تنظیم همزمان توان هیتر و دبی آب، فشار سیستم را روی یک عدد معین تنظیم نمایید به سیستم زمان بدهید تا به حالت پایدار رسیده و دمای ترمومترها به مقدار ثابت برسد. سپس دمای سطح المنت و دمای آب را یادداشت کنید. اگر با دقت به سیال اطراف المنت نگاه کنید جریان جابجایی آزاد را مشاهده خواهید کرد.

حال توان المنت را به آرامی افزایش دهید. سعی کنید با افزایش دبی آب ورودی به کندانسور فشار را ثابت نگه دارید. با افزایش تدریجی توان مشاهده می‌کنید که حباب‌های آب به آرامی و در اطراف المنت تشکیل می‌شوند که بانگر جوشش هسته‌ای می‌باشد. در این مرحله نیز بعد از پایدار شدن سیستم دمای سطح فنر و دمای آب را یادداشت کنید. به همین ترتیب به آرامی توان را افزایش دهید تا نهایتاً جوشش شدید رخ بدهد

و به حالت ماکزیمم شار حرارتی بحرانی برسید. با افزایش بیشتر توان ورودی به المنت مشاهده می‌کنید که اختلاف دمای بین سطح و سیال افزایش یافته اما سرعت تخریب کاهش می‌یابد. بنابراین برای ثابت نگه داشتن فشار، دبی آب ورودی به کنداسور را کاهش دهید. این مرحله از آزمایش بیانگر جویش فیلمی می‌باشد. بعد از پایدار شدن سیستم و ثبت دماها توان المنت را کاهش داده تا یک لایه بخار اطراف المنت را کاملاً بپوشاند. همانطور که قبلاً توضیح داده شد به علت مقاومت حرارتی ایجاد شده توسط حبابها مقدار انتقال حرارت از سطح فلز به مایع کاهش می‌یابد. بنابراین دمای فلز ناگهان افزایش پیدا می‌کند. نتایج را برای فشارهای مختلف در جدول (۴-۱) یادداشت نمایید.

توجه داشته باشید که آزمایشات را در فشارهای مثبت کمتر از ۱ بار (مثلاً  $20 \text{ kpa} = 0.12$  بار و  $50 \text{ kpa} = 0.5$  بار) و همچنین در فشار اتمسفر (با باز گذاشتن شیر هوای بالای دستگاه) انجام دهید. نکته: اگرچه با انجام مراحل زیر می‌توانید فشار منفی در محفظه ایجاد کنید ولی توصیه می‌شود آزمایش در فشار منفی انجام نشود.

۱- در حالت فشار اتمسفر (با باز بودن شیر هواگیری بالای دستگاه) دستگاه را روشن کنید.

۲- پس از اطمینان از تخلیه هوا، شیر هواگیری را ببندید.

۳- اجازه دهید دستگاه فشاری در حدود  $0.15$  بار بگیرد.

۴- شیر آب ورودی به کنداسورها را باز کنید و صبر کنید تا در سیستم فشار منفی ایجاد شود (با افزایش یا کاهش دبی می‌توانید فشار منفی متفاوتی ایجاد کنید). توجه داشته باشید که فشار منفی بیشتر از  $0.13$  - بار ایجاد نکند.

مقاومت الکتریکی المنت  $97 \text{ اهم}$  می‌باشد. برای بدست آوردن توان مصرفی هیتر باید از فرمول  $p = \frac{V^2}{R}$  استفاده کرد. با داشتن ولتاژ مصرفی المنت و استفاده از رابطه بالا می‌توان در هر مرحله توان مصرفی سیستم را محاسبه نمود.

نکته: مساحت جانی هیتر  $7.2 \times 10^{-3}$  متر مربع می‌باشد.

جدول (۴-۱): نتایج آزمایش

دمای بحرانی	شار بحرانی	مکانیسم جوشش	$h = \frac{q}{A(T_s - T_{sat})}$	دمای سطح فلز $T_s$	دمای اشباع آب $T_{sat}$	نیان هیر (وات) $q$
... فشار kpa						
... فشار kpa						

### محاسبات و جداول

- ۱- نمودار شار حرارتی ( $q/A$ ) بر حسب اختلاف دما ( $T_s - T_{sat}$ ) را در دو فشار مختلف روی یک نمودار رسم کرده. آنها را با هم مقایسه کنید.
- ۲- نمودار ضریب هدایت حرارتی ( $h$ ) بر حسب اختلاف دما ( $T_s - T_{sat}$ ) را در دو فشار مختلف روی یک نمودار رسم کرده آنها را با هم مقایسه کنید.
- ۳- با افزایش فشار میزان دمای بحرانی و شار حرارتی بحرانی چگونه تغییر می کند؟

۴- با داشتن سطح انتقال حرارت کندانسور ، دبی آب رورودی به آن و دماهای آب ورودی و خروجی کندانسور، میزان انتقال حرارت گرفته شده از بخار جهت تقطیر را محاسبه کرده و آن را با میزان حرارت داده شده به سیال و میزان توان الکتریکی مصرفی سیستم مقایسه کرده و در جدول (۲-۴) یادداشت نمایید.

جدول (۲-۴). جدول تست دبی، توان و فشار

	توان هپتر	دبی آب	T	T
	(watt)	$m^3/hr$	آب ورودی به کندانسور	آب خروجی از کندانسور
فشار				
kpa				
فشار				
kpa				