به نام خداوند جان آفرین

دانشکده مهندسی

گروه مکانیک

عنوان

اندازه گیری و تحلیل عوامل موثر بر فرآیند تبخیر برای رژیم های مختلف جریان

مولف:

امین جودت

ارائه شده جهت اخذ درجه دکتری

رشته مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

استاد راهنما:

دکتر محمد مقیمان

تائیدیه

گواهی می‌شود که این پایان نامه تاکنون برای احراز یک درجه علمی ارائه نشده است و تمامی مطالب آن به جز مواردی که نام مرجع آن آورده شده است، نتیجه کار پژوهشی دانشجومی باشد.

دانشجو: امین جودت امضا تاریخ ۹۰/۸/۲۵

استاد راهنما: دکتر محمد مقیمان امضا تاریخ ۹۰/۸/۲۵

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست علائم	
فهرست شکل‌ها	
چکیده	۱
فصل اول- طرح موضوع، هدف پژوهش و ساختار رساله	
۱-۱-پیش گفتار	۳
۱-۲- اهداف پژوهش	۳
۱-۳- ساختار رساله	۴
فصل دوم- مروری بر کارهای گذشته	
۲-۱-پیش گفتار	۶
۲-۲-روابط تبخیر بر پایه تئوری دالتون	۷
۲-۲-۱- روابط ارایه شده بر اساس روش اندازه‌گیری غیر مستقیم نرخ تبخیر	۸
۲-۲-۲- روابط ارایه شده بر اساس روش اندازه‌گیری مستقیم نرخ تبخیر	۱۰
۲-۳- روابط تبخیر بر پایه تئوری اصلاح شده دالتون	۱۳
۲-۴- تخمین نرخ تبخیر بر پایه شبیه سازی انتقال حرارت و انتقال جرم	۱۵
۲-۵- فرآیند تبخیر از سطوح جامد مرطوب	۱۶
۲-۶- فرایند تبخیر از سطوح مواج	۱۷

فصل سوم- تئوری و مدل ریاضی

۳-۱-پیش گفتار ۲۲

۳-۲-۱-چگالی و غلظت ذرات ۲۲

۳-۲-۲-گازهای ایده‌آل ۲۳

۳-۲-۳- شار جرمی پخش و جابجایی در ترکیب ۲۴

۳-۲-۴-شار پخش و قانون فیک ۲۵

۳-۲-۵-مقادیر خاص ضریب پخش ۲۶

۳-۲-۶-لزجت گازهای رقیق ۲۷

۳-۲-۷-انتقال جرم جابجایی با نرخ زیاد ۲۸

۳-۲-۸-شبیه سازی انتقال حرارت و انتقال جرم ۲۹

۳-۲-۹-تعریف عدد شروود برای شرایط مختلف تبخیر ۳۱

۳-۲-۱۰- انتقال جرم جابه‌جایی در نرخ زیاد ۳۲

۳-۳-معادلات دیفرانسیل برای هوای مرطوب ۳۲

۳-۴-تئوری و مدلسازی امواج آب ۳۵

۳-۴-۱-مقدمه ۳۵

۳-۴-۲-مشخصات امواج ۳۵

۳-۴-۳-معادلات حاکم ۳۶

۳-۴-۴-شرط مرزی سینماتیکی سطح آزاد ۳۷

۳-۴-۵-شرط مرزی دینامیکی سطح آزاد ۳۸

۳-۴-۶-شرط مرزی سینماتیکی روی موج ساز ۳۹

۳-۴-۷-شکست امواج ۴۱

۳-۴-۸-مدلسازی امواج غیر خطی ۴۱

۳-۴-۸-۱-روش آشفتگی استوکس ۴۲

۳-۴-۸-۲-معادلات آشفتگی مرتبه اول ۴۳
۳-۴-۸-۳-معادلات آشفتگی مرتبه دوم ۴۳
۳-۴-۸-۴-معیار همگرایی ۴۴
۳-۵-مدلسازی ریاضی فرایند تبخیر ۴۵
۳-۶-عدم قطعیت در اندازه‌گیری ۴۷
۳-۶-۱-انواع خطاها ۴۸
۳-۶-۲-محاسبه عدم قطعیت در اندازه‌گیری ۴۹
۳-۶-۳-عدم قطعیت توسعه یافته ۵۲
۳-۶-۴-چگونگی کاهش عدم قطعیت ۵۲

فصل چهارم- شرح و روش انجام آزمایش

۴-۱- پیشگفتار ۵۵
۴-۲-شرح دستگاه ۵۵
۴-۲-۱-طراحی و ساخت دستگاه موجساز ۶۶
۴-۲-۲-اصول طراحی موجساز ۶۹
۴-۲-۲-۱-نتایج طراحی ۷۱
۴-۲-۳-دستگاههای اندازه گیری موج و تجهیزات ثبت کننده ۷۵
۴-۳-روش کار با سامانه تست تبخیر ۷۶
۴-۴-محاسبهٔ عدم قطعیت‌ها و نحوه کالیبراسون در پژوهش حاضر ۷۷
۴-۵-مقایسه پایداری نتایج کنترل شده توسط سامانه تست تبخیر ۷۸

فصل۵-یافته های تحقیق

۵-۱-سر آغاز ۸۰
۵-۲- بررسی آزمایشگاهی نرخ تبخیر از سطوح ساده آب برای رژیم های همرفت اجباری، ترکیبی و طبیعی ۸۱

۵-۲-۱-رژیم همرفت اجباری ۸۱
۵-۲-۲-رژیم همرفت ترکیبی (دوگانه) ۸۳
۵-۲-۳-رژیم همرفت طبیعی ۸۳
۵-۳-مقایسه نتایج آزمایشگاهی با روابط بر پایه تئوری دالتون و تئوری شبیه سازی انتقال حرارت با انتقال جرم ۸۵
۵-۳-۱-مقایسه نتایج آزمایشگاهی با روابط پایه دالتون و تئوری شبیه سازی در رژیم همرفت اجباری ۸۶
۵-۳-۲-مقایسه نتایج آزمایشگاهی با روابط پایه دالتون و تئوری شبیه سازی در رژیم همرفت ترکیبی ۸۸
۵-۳-۳-مقایسه نتایج آزمایشگاهی با روابط پایه دالتون و تئوری شبیه سازی در رژیم همرفت طبیعی ۹۰
۵-۴-تحلیل پارامترهای بدون بعد حاکم برفرایند تبخیر ۹۱
۵-۴-۱- توان عدد شروود در رژیم همرفت ترکیبی ۹۶
۵-۵- اصلاح مدل‌های پرکاربرد محاسبه نرخ تبخیر ۹۸
۵-۵-۱- پیشگفتار ۹۸
۵-۵-۲- ارایه رابطه تبخیر برای رژیم های همرفت اجباری و ترکیبی ۹۸
۵-۵-۳- ارایه رابطه تبخیر برای رژیم همرفت طبیعی ۱۰۱
۵-۵-۳-۱- ارایه رابطه تحلیلی برای نرخ تبخیر در رژیم همرفت طبیعی ۱۰۱
۵-۵-۳-۲- اصلاح رابطه دالتون برای محاسبه نرخ تبخیر در رژیم همرفت طبیعی ۱۰۳
۵-۵-۴- ارائه رابطه بدون بعد جامع برای تخمین نرخ تبخیر، قابل استفاده در رژیم های همرفت ۱۰۴
۵-۶- بررسی آزمایشگاهی نرخ تبخیر از سطوح جامد مرطوب ۱۰۵
۵-۷- مطالعه اثر پارامترهای سطح مواج بر نرخ تبخیر ۱۰۷
۵-۷-۱-مقایسه نتایج آزمایشگاهی پارامترهای سطح مواج با روابط تئوری ۱۰۸
۵-۷-۲- مطالعه اثر پارامتر سطح مواج $\left(H/T\right)$ بر افزایش مساحت موثر بر تبخیر ۱۱۰
۵-۷-۳- مطالعه اثر پارامتر سطح مواج $\left(H/T\right)$ بر نرخ تبخیر در رژیم های همرفت ۱۱۱

۵-۷-۳-۱- اثر پارامتر سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم همرفت طبیعی ($\frac{Gr}{\mathrm{Re}^2} \geq 90$) ۱۱۳

۵-۷-۳-۲- اثر پارامتر سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم همرفت ترکیبی ($0.2 \leq \frac{Gr}{\mathrm{Re}^2} \leq 12$) ۱۱۴

۵-۷-۳-۳- اثر پارامتر سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم همرفت اجباری ($\frac{Gr}{\mathrm{Re}^2} \leq 0.05$) ۱۱۹

۵-۷-۴- اثر پارامتر سطح مواج و اختلاف فشار بخار بر نرخ تبخیر در سرعت های مختلف هوا ۱۲۰

فصل ششم- نتیجه گیری و ارایه پیشنهادات

۶-۱-پیش گفتار ۱۲۴

۶-۲-نتایج پژوهش ۱۲۴

۶-۳-پیشنهادات برای پژوهش های آتی ۱۲۵

منابع

فهرست علائم		واحد
$D_{H_2O,Air}$	ضریب نفوذ جرم بین آب و هوا	$\left(\frac{m^2}{s}\right)$
D_h	قطر هیدرولیکی	(m)
g	شتاب گرانش	$\left(\frac{m}{s^2}\right)$
g_{m,H_2O}	ضریب انتقال جرم	
Gr_m	عدد گراشف انتقال جرم	
Gr_H	عدد گراشف انتقال حرارت	
H	ارتفاع	(m)
h_{fg}	آنتالپی تبخیر	(J/kg)
k	ضریب هدایت حرارت	$\left(\frac{w}{mk}\right)$
L	طول	(m)
$\dot{m}_e$	نرخ تبخیر آب	$\left(\frac{kg}{m^2hr}\right)$
$m_{f\,H_2O}$	کسر جرمی بخار آب	
Nu	عدد ناسلت	
P	فشار	(Pa)
Pr	عدد پرانتل	
$P_{v,s}$	فشار بخار اشباع در سطح آب	(Pa)
$P_{v,\infty}$	فشار بخار اشباع در شرایط محیط	(Pa)
R^2	ضریب همبستگی	
Re	عدد رینولدز	
Sc	عدد اشمیت	
Sh	عدد شروود	
T	دما	(K)
T_s	دمای سطح آزاد	(K)
t	زمان	(hr)
V	سرعت هوا	$\left(\frac{m}{s}\right)$
w	رطوبت مطلق	

X_{H_2O}	**کسر مولی بخار**	
ρ	**چگالی**	$\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
μ	**لزجت دینامیکی**	$\left(\frac{Ns}{m^2}\right)$
$\overline{\rho}_g$	**چگالی متوسط هوای مرطوب**	$\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
φ	**رطوبت نسبی**	
پا نویس ها		
g	**هوای مرطوب شامل هوای خشک و بخارآب**	
Free	**رژیم همرفت آزاد**	
Forced	**رژیم همرفت اجباری**	
Mixed	**رژیم همرفت ترکیبی**	
s	**خواص در سطح آب**	
∞	**خواص میانگین در شرایط محیط**	

فهرست شکل‌ها

شکل (۲-۳) ساختار هوا هنگام عبور از سطح دیواره مواج مطالعه شده توسط سیمون	۱۹
شکل (۲-۴) ساختار غالب هوا هنگام عبور از سطح دیواره مواج مطالعه شده توسط سیمون	۱۹
شکل (۲-۵) رابطه عدد شروود با دامنه موج بدست آمده توسط زکوئز	۲۰
شکل (۲-۶) رابطه عدد شروود با فرکانس موج بدست آمده توسط زکوئز	۲۰
شکل (۳-۱)لایه مرزی بخار آب تشکیل شده روی سطح آب استخر	۲۵
شکل (۳-۲) رابطه بین دما و فشار بخار اشباع	۳۰
شکل (۳-۳) مشخصات موج	۳۶
شکل(۳-۴) مختصات مورد استفاده و شرایط مرزی جهت حل معادله لاپلاس برای بستر تست	۳۷
شکل (۴-۱) نمای دوبعدی از بستر تست به همراه جزئیات	۵۶
شکل (۴-۲) نمای سه بعدی بستر تست و سیستم کنترلی	۵۶
شکل (۴-۳) نمای بستر تست به همراه تونل باد و مکانیزم تولید و اندازه‌گیری امواج	۵۷
شکل (۴-۴) نمایی از باد سنج حرارتی جهت اندازه گیری سرعت باد	۵۸
شکل (۴-۵) نمایی از دستگاه کنترل دور جهت تنظیم دقیق سرعت فن	۵۸
شکل (۴-۶) دستگاه اتوترانس مورد استفاده جهت تنظیم دمای هوا	۵۹
شکل (۴-۷) مدار PID کنترلر مورد استفاده جهت تنظیم دمای هوا	۶۰
شکل (۴-۸) نمایی از روش اندازه گیری نرخ تبخیر	۶۰
شکل (۴-۹) تغییر جرم مشاهده شده در ترازو در اثر برداشتن مقدار آب مشخص از سطح استخر	۶۱
شکل (۴-۱۰) سیستم جاذب طراحی شده در بستر تست از نمای جانبی	۶۲
شکل (۴-۱۱) سیستم جاذب طراحی شده در بستر تست از نمای بالا	۶۲
شکل (۴-۱۲) پوشش‌های هوابند روی دستگاه جهت حذف اثرات نامطلوب سیستم جاذب موج بر نرخ تبخیر	۶۳
شکل (۴-۱۳) مدار الکترونیکی جهت تنظیم و ثبت داده ها	۶۴
شکل (۴-۱۴) محیط گرافیکی نرم افزار Lab view و میز کنترل کاربر	۶۵
شکل (۴-۱۵) سیم کشی داخل تابلو برق و سیستم های محافظ نوسانات	۶۵
شکل (۴-۱۶) مکانیزم حرکتی موجساز	۶۶
شکل (۴-۱۷) روند مدلسازی ریاضی دستگاه موج‌ساز	۶۸
شکل (۴-۱۸)-روند مدل‌سازی ریاضی دستگاه موج‌ساز (ادامه شکل(۴-۱۸))	۶۹
شکل (۴-۱۹) ابعاد و ضخامت تعیین شده برای میله لنگ و یاتاقان های مورد نیاز موجساز بر اساس تحلیل دینامیکی، با توجه پارامترهای سطح مواج	۷۰
شکل(۴-۲۰) نمایی از پارامترهای هندسی موجساز	۷۱

شکل (۴-۲۱) نمای سه بعدی دستگاه موج ساز طراحی شده و ساخته شده	۷۲
شکل (۴-۲۲) روند محاسبات موج ساز	۷۳
شکل (۴-۲۳) نمونه‌هایی از موج‌های تولید شده توسط دستگاه	۷۴
شکل (۴-۲۴) دستگاه اندازه گیری ارتفاع موج	۷۵
شکل (۴-۲۵) موج سنج واقع شده روی نگهدارنده دستگاه برداشت نقطه‌ای مدرج	۷۶
شکل(۴-۲۶) نمایی از سیستم کامپیوتر، میز و کلیدهای کنترل سامانه تست تبخیر	۷۷
شکل (۴-۲۷) مقایسه پایداری داده‌های گزارش شده توسط دستگاه در یک دوره ۷ ساعته آزمایش	۷۸
شکل (۵-۱) اثر اختلاف فشار بخار و سرعت جریان هوا بر نرخ تبخیر	۸۱
شکل (۵-۲) اثر اختلاف فشار بخار و سرعت جریان هوا بر نرخ تبخیر برای رژیم همرفت اجباری $(0.01 \le \mathrm{Gr}/\mathrm{Re}^2 \le 0.1)$	۸۲
شکل (۵-۳) اثر اختلاف فشار بخار و سرعت جریان هوا بر نرخ تبخیر برای رژیم همرفت ترکیبی $(0.15 \le Gr/\mathrm{Re}^2 \le 25)$	۸۳
شکل (۵-۴) تغییرات نرخ تبخیر در مقابل اختلاف فشار بخار برای رژیم هرفت طبیعی ($V \le 0.1 m/s$ و $Gr/\mathrm{Re}^2 > 25$)	۸۴
شکل (۵-۵) اثر اختلاف چگالی هوای مرطوب بر رابطه اصلاح شده نرخ تبخیر $(\dot{m}_e / \Delta P)$ در رژیم همرفت طبیعی ($V \le 0.1 m/s$ و $Gr/\mathrm{Re}^2 > 25$)	۸۵
شکل (۵-۶) تغییرات عدد گراشف × اشمیت بر اساس اختلاف چگالی هوا برای نتایج آزمایشگاهی	۸۶
شکل (۵-۷) مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل پایه دالتون برای رژیم جابجایی اجباری ($V = 4 m/s$ و $0.01 \le Gr/\mathrm{Re}^2 \le 0.15$)	۸۷
شکل (۵-۸) مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و تئوری شبیه سازی برای رژیم همرفت اجباری ($V = 4 m/s$ و $0.01 \le Gr/\mathrm{Re}^2 \le 0.15$)	۸۸
شکل (۵-۹) مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل پایه دالتون برای رژیم همرفت ترکیبی ($V = 0.9 m/s$ و $0.3 \le Gr/\mathrm{Re}^2 \le 3$)	۸۹
شکل (۵-۱۰) مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و تئوری شبیه سازی برای رژیم همرفت ترکیبی ($V = 0.9 m/s$ و $0.3 \le Gr/\mathrm{Re}^2 \le 3$)	۸۹
شکل (۵-۱۱) مقایسه نتایج آزمایشگاهی، تئوری شبیه‌سازی و مدل پایه دالتون برای رژیم همرفت طبیعی ($V \le 0.1 m/s$ و $\mathrm{Gr}/\mathrm{Re}^2 > 25$)	۹۰
شکل (۵-۱۲) مقایسه نرخ تبخیر اصلاح شده $(\dot{m}_e / \Delta P)$ برای تئوری شبیه سازی و نتایج آزمایشگاهی به عنوان تابعی از اختلاف چگالی در رژیم همرفت طبیعی	۹۱
شکل (۵-۱۳) اثر نسبت نیروهای حجمی به لختی بر عدد انتقال جرم جابجایی برای سرعت های مختلف جریان هوا	۹۳

شکل (۵-۱۴) تغییرات نرخ تبخیر با نسبت جابجایی اجباری به آزاد در مقایسه با روابط تئوری رژیم همرفت طبیعی، ترکیبی و اجباری	۹۴
شکل (۵-۱۵) تغییرات نرخ تبخیر با نسبت عدد شروود جابجایی اجباری به جابجایی آزاد در رژیم همرفت طبیعی	۹۵
شکل (۵-۱۶) مقایسه نتایج اندازه‌گیری نرخ تبخیر با توان بهینه ثابت $(a = 1.447)$ عدد شروود همرفت ترکیبی	۹۶
شکل (۵-۱۷) تغییرات توان a (در رابطه (۵-۶)) به عنوان تابعی از سرعت جریان هوا	۹۷
شکل (۵-۱۸) مقایسه نتایج اندازه‌گیری نرخ تبخیر با توان اصلاح شده a عدد شروود همرفت ترکیبی	۹۷
شکل (۵-۱۹) اثر سرعت هوا روی تغییرات توان n	۱۰۱
شکل (۵-۲۰) مقایسه نتایج آزمایشگاهی، مدل تحلیلی و مدل اصلاحی پیشنهاد شده برای رژیم همرفت طبیعی	۱۰۳
شکل (۵-۲۱) مقایسه مدل بی بعد پیشنهاد شده (رابطه (۵-۲۶)) و نتایج آزمایشگاهی برای $0.01 \le Gr/\mathrm{Re}^2 \le 100$	۱۰۴
شکل (۵-۲۲) نتایج اندازه گیری نرخ تبخیر از سطح جامد مرطوب در دماهای مختلف آب	۱۰۶
شکل (۵-۲۳) مقایسه نرخ تبخیر از سطح آب و سطح جامد مرطوب، برای سرعتهای مختلف هوا	۱۰۶
شکل (۵-۲۴) اثر سرعت هوا و دمای آب بر نسبت نرخ تبخیر از سطح جامد مرطوب به سطح آب	۱۰۷
شکل (۵-۲۵) مقایسه پروفیل سطح آب اندازه گیری شده با تئوری استوکس مرتبه دوم و تئوری خطی برای $\mathrm{H/T} = 0.12 m/s$	۱۰۹
شکل (۵-۲۶) مقایسه پروفیل سطح آب اندازه گیری شده با تئوری استوکس مرتبه دوم و تئوری خطی برای $\mathrm{H}/T = 0.03 m/s$	۱۰۹
شکل (۵-۲۷) مقایسه دوره تناوب و طول موج برای نتایج آزمایشگاهی و رابطه پراکندگی	۱۱۰
شکل (۵-۲۸) اثر پارامتر سطح مواج (H/T) بر درصد افزایش مساحت نسبت به سطح بدون موج	۱۱۱
شکل (۵-۲۹) اثر پارامتر سطح مواج (H/T) و سرعت هوا بر نرخ تبخیر	۱۱۲
شکل (۵-۳۰) اثر نسبت ارتفاع به دوره تناوب موج بر نرخ تبخیر در رژیم همرفت طبیعی	۱۱۳
شکل (۵-۳۱) درصد افزایش مساحت و نرخ تبخیر در مقابل پارامترهای سطح مواج	۱۱۴
شکل (۵-۳۲) اثر پارامتر سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم همرفت ترکیبی $(V = 0.3 m/s$ و $\frac{Gr}{\mathrm{Re}^2} = 12)$	۱۱۵
شکل (۵-۳۳) اثر پارامتر سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم همرفت ترکیبی برای سرعت‌های $V = 0.9 m/s$ و $V = 2 m/s$	۱۱۵

شکل (۵-۳۴) اثر پارامتر سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم همرفت ترکیبی ($\frac{Gr}{\mathrm{Re}^2}=1.2$ و $V=0.9m/s$)	۱۱۷
شکل (۵-۳۵) اثر پارامتر سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم همرفت ترکیبی ($\frac{Gr}{\mathrm{Re}^2}=0.2$ و $V=2m/s$)	۱۱۷
شکل (۵-۳۶) نمایی از پاشش قطرات و ایجاد حباب در مقادیر بزرگتر پارامتر سطح مواج	۱۱۸
شکل (۵-۳۷) نمایی از گردابه های بوجود آمده در سمت بادپناه موج	۱۱۸
شکل (۵-۳۸) مقایسه اثر پارامتر سطح مواج بر درصد افزایش نرخ تبخیر و درصد افزایش مساحت برای رژیم همرفت ترکیبی ($V=2m/s$ و $V=0.9m/s$)	۱۱۹
شکل (۵-۳۹) اثر پارامتر سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم همرفت اجباری برای دو سرعت $V=4m/s$ و $V=5m/s$	۱۲۰
شکل (۵-۴۰) اثر پارامتر سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم همرفت اجباری برای دو سرعت $V=4m/s$ و $V=5m/s$	۱۲۰
شکل (۵-۴۱) اثر اختلاف فشار بخار بر نرخ تبخیر برای نسبت های مختلف ارتفاع موج به دوره تناوب آن در سرعت هوای $V=0.3m/s$	۱۲۱
شکل (۵-۴۲) اثر اختلاف فشار بخار بر نرخ تبخیر برای نسبت های مختلف ارتفاع موج به دوره تناوب آن در سرعت هوای $V=0.9m/s$	۱۲۲
شکل (۵-۴۳) اثر اختلاف فشار بخار بر نرخ تبخیر برای نسبت های مختلف ارتفاع موج به دوره تناوب آن در سرعت هوای $V=4m/s$	۱۲۲

بسمه تعالی .

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی دانشجویان .

دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان رساله/پایان نامه: اندازه گیری و تحلیل عوامل موثر بر فرآیند تبخیر برای رژیم های مختلف جریان

نام نویسنده: امین جودت

نام استاد(ان) راهنما: دکتر محمد مقیمان

دانشکده : مهندسی	**گروه: مکانیک**	**رشته تحصیلی: حرارت و سیالات**
تاریخ تصویب: ۱۳۸۸/۸/۵		**تاریخ دفاع: ۱۳۹۰/۸/۲۵**
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد ○ دکتری ●		**تعداد صفحات: ۱۳۶**

چکیده رساله/پایان نامه :

پدیده تبخیر آب در هوا از دیدگاه انتقال حرارت و انتقال جرم از اهمیت فراوانی برخوردار است و در محدوده وسیعی از فرآیندهای صنعتی و طبیعی اتفاق می‌افتد. اغلب روابط ریاضی حاکم بر نرخ تبخیر، با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و تجربی به‌دست آمده است. در این مطالعه با استفاده از اندازه گیری‌های آزمایشگاهی در دامنه گسترده‌ای از دمای آب و سرعت هوا برای $0.01 \le Gr_m / \mathrm{Re}^2 \le 100$، تاثیر عوامل گوناگون نظیر: اختلاف فشار بخار، سرعت جریان هوا، زبری سطح، پارامترهای بدون بعد، پارامترهای سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم‌های همرفت اجباری، ترکیب طبیعی و اجباری و همرفت طبیعی بررسی شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که در رژیم همرفت اجباری $(0.01 \le Gr_m / \mathrm{Re}^2 \le 0.1)$ با افزایش اختلاف فشار بخار، آهنگ افزایش تبخیر کاهش یافته و در رژیم همرفت ترکیبی $(0.15 \le Gr_m / \mathrm{Re}^2 \le 25)$ افزایش می‌یابد. در رژیم همرفت طبیعی $(Gr_m / \mathrm{Re}^2 > 25)$ علاوه بر اختلاف فشار بخار، اختلاف چگالی نیز بر نرخ تبخیر موثر است. نتایج نشان می‌دهد در رژیم همرفت ترکیبی و اجباری هیچ‌کدام از تئوری‌های شبیه‌سازی و روابط پایه دالتون، بدون اصلاح قادر به پیش‌بینی تغییرات غیر خطی نرخ تبخیر و اختلاف فشار بخار نیستند و در رژیم همرفت طبیعی تنها روابط بر پایه تئوری شبیه‌سازی می‌توانند نرخ دقیقی از تبخیر ارائه دهند. در این پژوهش با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، مدل‌هایی کارآمد و دقیق برای کاربرد های مهندسی پیشنهاد شده است. نتایج اندازه‌گیری شده نرخ تبخیر برای سطوح مواج نشان می‌دهد افزایش القای آشفتگی در فاز بخار به مراتب اثر بیشتری از مساحت، بر نرخ تبخیر دارد. در رژیم همرفت طبیعی، با افزایش نسبت ارتفاع به دوره تناوب موج، نرخ تبخیر افزایش می‌یابد، در حالی‌که در رژیم‌های همرفت ترکیبی و اجباری، افزایش نسبت ارتفاع به دوره تناوب موج در بازه $0.08 \frac{m}{s} \le H/T \le 0.14 \frac{m}{s}$، می‌تواند موجب کاهش نرخ تبخیر شود.

کلید واژه:

۱. تبخیر سطحی

۲.همرفت ترکیبی

۳. همرفت اجباری

۴. همرفت آزاد

۵. دامنه و فرکانس امواج

امضای استاد راهنما:

دکتر محمد مقیمان

تاریخ:

چکیده

پدیده تبخیر آب در هوا از دیدگاه انتقال حرارت و انتقال جرم از اهمیت فراوانی برخوردار است و در محدوده وسیعی از فرآیندهای صنعتی و طبیعی اتفاق می‌افتد. وجود پارامترهای متعدد موثر بر تبخیر موجب پیچیده شدن معادلات حاکم بر این فرآیند شده است به‌طوری‌که اغلب روابط ریاضی حاکم بر نرخ تبخیر، با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و تجربی به‌دست آمده است. منابع نشان می‌دهد که مطالعه اثر پارامترهای مختلف بر نرخ تبخیر آب بسیار مورد توجه محققین می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از اندازه گیری‌های آزمایشگاهی در دامنه گسترده‌ای از دمای آب و سرعت هوا برای $0.01 \le Gr_m / \mathrm{Re}^2 \le 100$، تاثیر عوامل گوناگون نظیر: اختلاف فشار بخار، سرعت جریان هوا، زبری سطح، پارامترهای بدون بعد، پارامترهای سطح مواج بر نرخ تبخیر در رژیم‌های همرفت اجباری، ترکیب طبیعی و اجباری و همرفت طبیعی بررسی شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که نرخ تبخیر به‌شدت به رژیم جریان وابسته بوده به نحوی که در رژیم همرفت اجباری $(0.01 \le Gr_m / \mathrm{Re}^2 \le 0.1)$ با افزایش اختلاف فشار بخار، آهنگ افزایش تبخیر کاهش یافته و در رژیم همرفت ترکیبی $(0.15 \le Gr_m / \mathrm{Re}^2 \le 25)$ افزایش می‌یابد. در رژیم همرفت طبیعی $(Gr_m / \mathrm{Re}^2 > 25)$ علاوه بر اختلاف فشار بخار، اختلاف چگالی نیز بر نرخ تبخیر موثر است. نتایج نشان می-دهد در رژیم همرفت ترکیبی و اجباری هیچ‌کدام از تئوری‌های شبیه‌سازی و روابط پایه دالتون، بدون اصلاح قادر به پیش‌بینی تغییرات غیر خطی نرخ تبخیر و اختلاف فشار بخار نیستند و در رژیم همرفت طبیعی تنها روابط بر پایه تئوری شبیه‌سازی می‌توانند نرخ دقیقی از تبخیر ارائه دهند. در این پژوهش با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، مدل‌هایی کارآمد و دقیق برای کاربرد های مهندسی پیشنهاد شده است. نتایج اندازه‌گیری شده نرخ تبخیر برای سطوح مواج نشان می‌دهد افزایش القای آشفتگی در فاز بخار به مراتب اثر بیشتری از مساحت، بر نرخ تبخیر دارد. در رژیم همرفت طبیعی، با افزایش نسبت ارتفاع به دوره تناوب موج، نرخ تبخیر افزایش می‌یابد، در حالی‌که در رژیم‌های همرفت ترکیبی و اجباری، افزایش نسبت ارتفاع به دوره تناوب موج در بازه $0.08\frac{m}{s} \le H/T \le 0.14\frac{m}{s}$، می‌تواند موجب کاهش نرخ تبخیر شود.

فصل اول

طرح موضوع و ساختار رساله

۱-۱-پیش گفتار

فرآیند تبخیر که در بسیاری از صنایع نظیر تاسیسات پالایشگاهی، تاسیسات هسته‌ای، سیستم‌های تبخیری، آب‌شیرین‌کنهای خورشیدی و صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، همواره مورد توجه محققین بوده است. در فرآیند تبخیر پارامترهای مختلفی از جمله رژیم جریان هوا، مکانیزم همرفت، اختلاف فشار بخار در سطح و دور از سطح آب، موج‌دار یا بدون موج بودن سطح آب و زبری سطح مرطوب نقش مهمی دارند. ارائه-ی رابطه‌ای برای تعیین نرخ تبخیر از سطح آزاد بدون موج آب، سطح موج‌دار آب و سطوح مرطوب اجسام جامد، همواره مورد توجه و چالش پژوهشگران بوده است[۱-۳]. اغلب پژوهش‌های انجام شده در زمینه تبخیر در محدوده‌ی خاصی از یک رژیم همرفت بوده است که این موضوع سبب پراکندگی روابط موجود و عدم ارائه‌ی رابطه‌ای جامع برای پیش‌بینی نرخ تبخیر شده است [۴, ۵].

با وجود آنکه به ندرت می‌توان حجمی از آب در معرض اتمسفر را یافت که موجی در سطح آن تشکیل نشود ولی تاکنون مطالعه جامعی جهت بررسی اثر پارامترهای مواج سطح بر نرخ تبخیر در رژیم‌های مختلف همرفت انجام نگرفته است [۶].

در این پژوهش در تلاش برای رسیدن به رابطه‌ای جامع جهت پیش‌بینی نرخ تبخیر، با طراحی بستر تستی مناسب، امکان محاسبه‌ی نرخ تبخیر در دامنه‌ی گسترده‌ای از رژیم‌های جریان فراهم شده است. همچنین در طراحی بستر تست، قابلیت مطالعه اثر امواج سطحی آب بر نرخ تبخیر در رژیم‌های مختلف جریان در نظر گرفته شده است.

۱-۲- ساختار رساله

تحقیق پیش رو، که تحت عنوان رساله دکتری ارائه شده، با توجه به اهمیت تبخیر به عنوان یک پدیده حیاتی، به بررسی و تحلیل عوامل موثر بر فرآیند تبخیر در رژیم های مختلف جریان می پردازد. این رساله در شش فصل تنظیم شده و در ادامه مطالب، به شکل زیر تدوین گردیده است. فصل دوم به مروری بر کارهای گذشته و تاریخچه موضوع می پردازد. در این فصل تعاریف، مفاهیم، مدل ها و نظریاتی که در رابطه با پدیده تبخیر وجود دارد، ارائه می گردد. هم‌چنین به تاریخچه مطالعات انجام شده به روشهای آزمایشگاهی و

تحلیلی اشاره شده و مزایا و معایب هرکدام بیان شده است. فصل سوم به بیان اصول ترمودینامیک، معادلات حاکم بر انتقال حرارت و جرم، پارامترهای بی بعد حاکم بر پدیده تبخیر، شناخت امواج و معادلات حاکم بر آنها و قوانین عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها اختصاص داده شده است. شرح دستگاه، روش انجام آزمایش، خطاها و کالیبراسیون در فصل چهارم تشریح می‌شود. نتایج حاصل از اندازه گیری ها و صحت و دقت آنها به طور مبسوط در فصل پنجم بحث شده و در انتها در فصل ششم به نتیجه گیری و ارائه پیشنهاداتی برای ادامه این پژوهش پرداخته می‌شود.

فصل دوم

مروری بر کارهای گذشته

و اهداف پژوهش

۲-۱-پیش گفتار

کارهای انجام شده در زمینه تبخیر را از جنبه‌های مختلفی می‌توان بررسی نمود در این فصل مرور کارهای گذشته بر مبنای روشهای اندازه‌گیری مستقیم و غیرمستقیم نرخ تبخیر، نقش اثرات ابعاد هندسی بستر تست، مدلسازی ریاضی فرآیند تبخیر، محدوده رژیم های جریان همرفت، تبخیر از سطوح جامد مرطوب و تبخیر از سطوح موجدار هیدرودینامیکی و گرانشی دسته بندی شده است.

۲-۲-روشهای اندازه‌گیری غیرمستقیم و مستقیم نرخ تبخیر

در روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم، نرخ تبخیر از طریق اندازه‌گیری برخی از پارامترها مانند رطوبت مطلق محاسبه می‌گردد. روابطی که از نتایج آزمایشگاهی، درون بسترهای تست بزرگ مانند: استخرهای شنا، دریاچه‌ها و استخرهای مواج بدست آمده معمولاً روش‌های غیر مستقیم را برای اندازه‌گیری نرخ تبخیر انتخاب نموده‌اند. محققانی نظیر لایی[۱][۷] و هارمز[۲][۸] نرخ تبخیر را بوسیله روش انتگرالی با درنظرگرفتن بقای جرم بر روی یک حجم کنترل فرضی روی سطح آب محاسبه نموده‌اند. این محققان، شار جرمی تبخیر از سطح آب را مساوی اختلاف رطوبت مطلق روی سطوح حجم کنترل فرض کرده‌اند. از طرفی محققانی نظیر ایستربروک[۳] [۹] چوک[۴] [۱۰] و استیمن[۵][۳]، اختلاف رطوبت مطلق در ورودی و خروجی تونل باد را برابر نرخ تبخیر از سطح آب در نظر گرفته‌اند. روش اندازه‌گیری محققانی مانند بیازین[۶] [۱۱]، اسمیت[۷] [۱۲] و شاه[۸] [۱۳] که نرخ تبخیر را درون استخرهای شنا مطالعه نموده‌اند این گونه بوده است که مقدار بخار کندانس شده در کویل سرمایشی واحد تهویه مطبوع را اندازه‌گیری نموده و فرض کرده‌اند که مقدار آن مساوی با آب تبخیر شده از سطح استخر باشد.

مطالعات استیمن [۳] و ایسکارا[۹] [۲] در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که روش‌های غیر مستقیم اندازه-گیری نرخ تبخیر به خاطر فرض‌های ساده شونده‌ای که در روش‌های حجم کنترلی بکار رفته و همچنین،

[1] Lai
[2] Harms
[3] Easterbrook
[4] Chuk
[5] Steeman
[6] Biasin
[7] Smith
[8] Shah
[9] Iskara