

THE APPLICATION OF HEAT PIPE FOR THE SIMULATION OF A UNIFORM TEMPERATURE BATCH REACTOR

M.T. Hamed Mosavian

Chem. Eng. Dept., Engineering Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, I.R.IRAN

S. Jafari

Chem. Eng. Dept., Islamic Azad University, Quchan Branch, I.R.IRAN

S.H. Noie

Chem. Eng. Dept., Engineering Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, I.R.IRAN

Abstract: In this paper, the performance of a two-phase closed thermo-siphon (heat pipe) with water as the working fluid for thermal control of a batch reactor was studied. In the simulation performed, the influence of some parameters such as: filling ratio of 30%-80% and input heat power between 200- 1200 watt and heating time on the uniformity of the temperature distribution in the reactor were studied. The important observations of this research project were the consistency of the temperature inside the reactor and also finding the optimal filling ratio of the heat pipe as well. The results of this simulation are applicable in design and control of reactor temperature and also optimization of the heat pipe.

شبیه سازی راکتور شیمیایی همدمای بدون همزن و کنترل دمای آن با استفاده از لوله های حرارتی

محمد تقی حامدموسویان، سمانه جعفری و سیدحسین نوعی باغبان

چکیده: در این مقاله عملکرد لوله های حرارتی (ترموسیفون ها) با سیال عامل آب برای کنترل دمای راکتور Batch شبیه سازی گردیده است و اثر برخی از متغیرهای عملیاتی مانند زمان، توان حرارتی ورودی و نسبت پرشدن، روی دمای نقاط مختلف راکتور بررسی شد. مراحل شبیه سازی در محدوده پرشدن ۰٪/۵۰٪ و ۶۰٪ و توان ورودی ۲۰۰ وات تا ۱۲۰۰ وات انجام شدند که در آنها یکنواختی دمای مواد داخل راکتور، زمان گرمایش و برترین نسبت پرشدن بررسی شد. همچنین نتایج حاصل از آزمایش ها با نتایج شبیه سازی مقایسه گردید. قبل به ذکر است که در این پژوهش کار آزمایشگاهی نیز انجام شده و دستگاه مورد نظر طراحی و ساخته شده است. اما در بخش عمده این مقاله به بررسی چگونگی شبیه سازی و نتایج آن پرداخته می شود. از نتایج این تحقیق می توان در مطالعات بهینه سازی، بازیافت انرژی، طراحی لوله های حرارتی و کنترل دمای راکتورهای شیمیایی همدما استفاده نمود.

واژه های کلیدی: لوله های حرارتی (ترموسیفون ها)، راکتور شیمیایی همدما، شبیه سازی

تاریخ وصول: ۸۶/۲/۲۰

تاریخ تصویب: ۸۷/۱۲/۱۷

دکتر محمد تقی حامدموسویان، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، میدان آزادی
سمانه جعفری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان، samaneh.jafari.2415@gmail.com
سیدحسین نوعی باغبان، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، میدان آزادی noie@ferdowsi.um.ac.ir

۲. تئوری

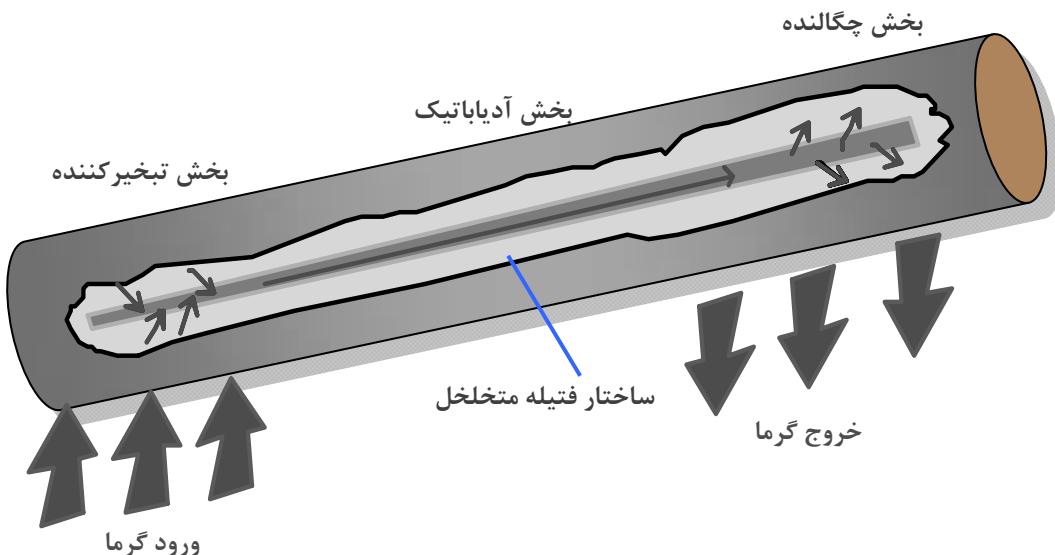
لوله حرارتی یک وسیله انتقال حرارت دو فازی، با قابلیت هدایت حرارتی بسیار بالا و مؤثر می‌باشد که می‌تواند به دو صورت استوانه‌ای و مسطح ساخته شود. این گونه لوله‌ها می‌توانند به عنوان خنک‌کننده به منبع حرارتی متصل شوند و یا بجهت گرمایش مواد مختلف بکار روند، همچنین می‌توانند برای انتقال حرارت بهتر سیال به تعدادی پره متصل شوند[۴].

گرمای منبع حرارتی توسط سیال عامل داخل لوله حرارتی در بخش تبخیرکننده جذب می‌شود و سیال بخار می‌گردد، سپس بخار به بخش چگالنده منتقل شده و در آنجا تقطیر صورت می‌پذیرد و باعث آزاد شدن گرمای نهان و سرد شدن سیال می‌گردد[۵]. نیروهای مؤینگی در روزنه‌های فتیله لوله حرارتی و نیروهای کشش سطحی آب، باعث برگشت سیال کندانس شده به بخش تبخیرکننده می‌شوند[۶]. عملکرد لوله حرارتی در شکل ۱ نمایش داده شده است:

۱. مقدمه

در سال ۱۹۴۲، Gaugler یک لوله حرارتی کم وزن را ابداع کرد که در اصل، لوله حرارتی امروزی بود و از آن برای کاربرد در یخچالهای صنعتی در شرکت جنرال موتور آمریکا استفاده نمود[۱]. در سال ۱۹۶۳، Grover و همکارانش در آزمایشگاه علمی Los Alamos اولین نمونه لوله حرارتی همراه با فتیله را ساختند و سیال‌های عامل آب و سدیم را در داخل آن آزمایش کردند[۲]. محققان تا به امروز در زمینه لوله‌های حرارتی به پیشرفت‌های زیادی دست یافته‌اند، هم اکنون در آمریکا بیش از صد شرکت و موسسه تحقیقاتی در این زمینه فعالیت دارند.

در چند دهه اخیر در کشورهای آسیایی نیز فعالیتها بی در زمینه لوله حرارتی صورت گرفته‌است. در تایوان از سال ۱۹۷۰ انواع مختلف لوله حرارتی همراه با فتیله ساخته و مورد مطالعه قرار گرفت. در کشور کره نیز تحقیقات از سال ۱۹۸۰ آغاز شده‌است، این تحقیقات در زمینه لوله‌های حرارتی کوچک، لوله‌های حرارتی حلقوی و ترمومویفون‌ها انجام گردیده است[۳].



شکل ۱. عملکرد لوله حرارتی

عامل و جنس ظرف (لوله) می‌توانیم انواع لوله‌های حرارتی را در بازه دمایی از 269°C - تا 2300°C بسازیم[۷]. لوله حرارتی به عنوان یک عنصر انتقال حرارت با بازده بالا، در بسیاری از موارد از جمله صنایع خنک‌سازی الکترونیکی، گرمایش و سرمایش سیالات، بازیافت انرژی، تهویه هوای مطبوع، کنترل دما و همدما می‌بایست باعث انتقال گرمایشی می‌شود. ترمومویفون، یک لوله حرارتی بدون فتیله می‌باشد که در آن برای بازگرداندن سیال عامل از بخش چگالنده به تبخیرکننده از نیروی ثقل، استفاده می‌شود. بنابراین باعثیتی به حالت عمودی قرار گیرند، به گونه‌ای که بخش چگالنده آنها در بالا واقع گردد.

عملکرد لوله حرارتی، با اختلاف دمای خیلی کمی بین بخش‌های آن، انجام می‌پذیرد و همچنین به پمپ خارجی احتیاج ندارد و مانند یک سیستم پخش کننده، تاثیر ویژه‌ای در انتقال و پخش گرما از محیط گرم به محیط سرد را دارد[۳]. بنابراین یک مشخصه لوله حرارتی اینست که انتقال گرمایش بین منبع گرم و جاذب گرمایی با تلفات حرارتی خیلی کمی همراه است.

این مشخصه لوله حرارتی باعث می‌شود حرارت از نقاط گرمتر راکتور به سرعت به نقاط سردتر آن انتقال یابد. مشخصه دیگر لوله حرارتی این است که میزان نسبتاً زیادی گرمایش را می‌تواند با ساختار کم وزن و کوچکش انتقال دهد. همچنین با انتخاب مناسب سیال

در حالتی که انرژی حرارتی ورودی به تبخیرکننده ترموسیفون ها ۴۰۰ وات و میزان سیال داخل لوله (نسبت پرشدن) ۳۰٪ باشد، اطلاعات به این صورت می باشد:

$$\begin{aligned} t &= 0 \rightarrow T_0 = 23 \\ t &= 60 \text{ min} \rightarrow T_1 = 42.25 \\ T_a &= \frac{T_0 - T_1}{2} = 32.625 \\ \rho_w(T_a) &= 1002 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ V &= 0.19 \times 0.19 \times 0.30 = 0.01083 \text{ m}^3 \\ m &= \rho_w \cdot V = 10.85166 \text{ kg} \\ \mu &= 0.7543 \text{ cp} \end{aligned} \quad (1)$$

$$M = 18.02 \text{ kg/kgmol}$$

$$\begin{aligned} K &= 0.6 \frac{W}{\text{m} \cdot ^\circ \text{C}} \\ C_p(T_a) &= 4.04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \\ Q_{out} &= m \cdot C_p \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} = 234.42 \text{ W} \\ \frac{Q_{out}}{4A} &= 2826.45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \end{aligned} \quad (2)$$

در حالیکه $A = \text{سطح جانبی لولهها}$

$$A = 0.0207345 \text{ m}^2$$

$\beta = \text{ضریب انبساط حرارتی در دمای متوسط}$

$$\beta = 317.61 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

این راکتور، به صورت ناپیوسته و تابعی از زمان شبیه سازی شده و با گذشت زمان می توان نتایج شبیه سازی را بدست آورده و ذخیره نمود. برنامه در هر مرحله به مدت یک ساعت، اجرا می شود و پس از آن می توان نتیجه پارامترهای گوناگون از قبیل دما، فشار، دانسیته، ویسکوزیته و غیره را برای مواد داخل راکتور در زمان دلخواه مشاهده نمود.

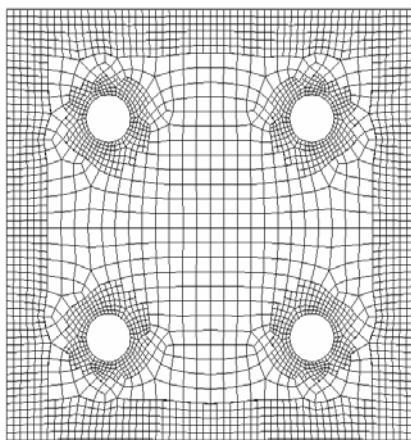
مرحله اول شبیه سازی، ایجاد ژئومتری مدل می باشد که در برنامه Gambit انجام می شود و در آن هندسه و اندازه ابعاد دستگاه شبیه سازی شد همانطور که در بالا اشاره شد، لحاظ می گردد. دیواره های راکتور و درب آن عایق در نظر گرفته شده و دمای روی دیواره ها در مدل، در واقع دمای داخلی سیال کنار دیواره می باشد. تصویر شماتیکی این مدل در شکل ۲ نشان داده شده است.

راکتورهای شیمیایی برای تولید مواد متنوعی بکار می روند. بسیاری از واکنش هایی که در راکتورها انجام می شوند، در دمای معینی قادر به پیشرفت هستند. برهمین اساس بایستی دمای بهینه واکنش را در سراسر مخزن راکتور ایجاد نمود تا واکنش در تمام نقاط راکتور با حداقل درصد تبدیل انجام شود.

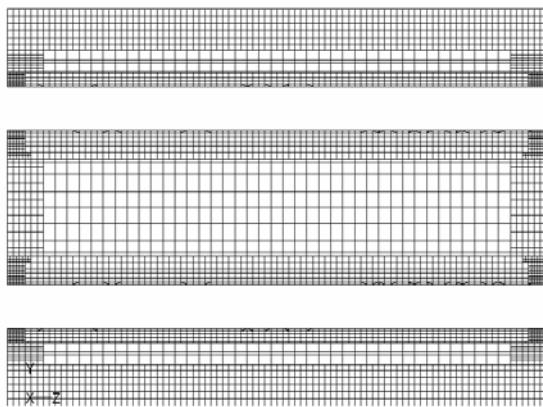
گرایش راکتورها عموماً توسط گرمکن های الکتریکی انجام می شود که در اطراف بدنه مخزن راکتور نصب می شوند. اعمال حرارت بدین صورت باعث می شود واکنش بیشتر در اطراف دیواره داخلی راکتور انجام شود و در وسط آن پیشرفت خوبی نداشته باشد. بهترین راه حل برای رفع این مشکل، استفاده از لوله های حرارتی در نقاط مختلف راکتور است تا حرارت را به طور یکسان و یکنواخت به مواد داخل مخزن بدون استفاده از همزن و با مصرف کمترین انرژی اعمال کند. اگر لوله ها به مقدار کافی و به فاصله های مساوی از هم داخل راکتور جاسازی شوند، می توانند شرایط مناسبی را از لحاظ گرمایی برای انجام واکنش ایجاد کنند. این روش تاکنون در راکتورها طراحی و آزمایش نشده است.

۳. شبیه سازی نرم افزاری دستگاه

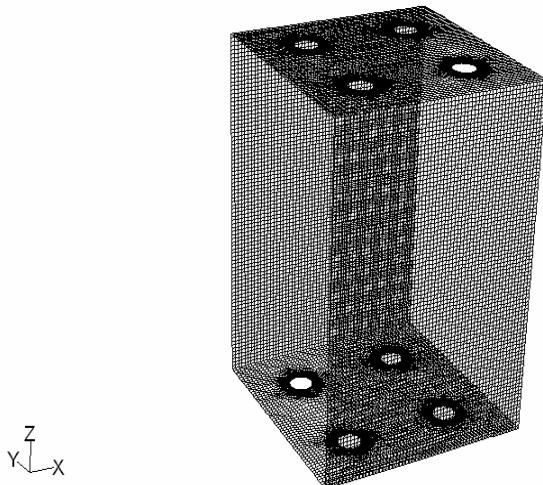
واحد شبیه سازی شده یک راکتور شیمیایی غیرپیوسته می باشد که توسط نرم افزار Fluent طراحی شده است. راکتور به صورت مکعب مستطیل و دوجداره (عایق) در نظر گرفته شده است. ابعاد داخلی راکتور، 20×20 با ارتفاع 30 سانتیمتر لحاظ شده است. در این مدل انتقال حرارت و توزیع دما در داخل راکتور با استفاده از ترموسیفون ها بررسی می گردد. در داخل راکتور 4 ترموسیفون به صورت عمودی شبیه سازی شده که فقط بخش چگالنده آنها درون ظرف قرار دارد و قسمتهای دیگر ترموسیفون ها در پایین ظرف می باشند. قطر خارجی ترموسیفون ها 22 میلیمتر و قطر داخلی آنها 20 میلیمتر می باشد و طول بخش چگالنده 30 سانتیمتر در نظر گرفته شده است. در عمل با ورود انرژی حرارتی به بخش تبخیر کننده ترموسیفون ها، عملیات تبخیر و چگالش داخل لوله آغاز می گردد و گرمای نهان تبخیر سیال عامل (آب) در بخش چگالنده آزاد می شود و باعث گرم شدن مواد داخل راکتور می گردد. در شبیه سازی، این شار حرارتی (Heat Flux) خروجی از ترموسیفون ها، ثابت فرض شده و در هر مرحله محاسبه می گردد و در نرم افزار Fluent لحاظ می شود. دیگر اطلاعات ورودی به نرم افزار شامل شرایط اولیه دمایی، شرایط فیزیکی ماده مورد نظر در داخل ظرف از قبیل گرانبروی، جرم ملکولی، هدایت حرارتی، دانسیته، گرمای ویژه و ضریب انبساط حرارتی می باشد، که با توجه به دما و نوع ماده داخل راکتور محاسبه می شوند. ماده داخل راکتور در این شبیه سازی آب در نظر گرفته شده که در اینجا یک نمونه از محاسبات ذکر شده برای سیال آب ارائه شده است:



شکل ۴. شبکه بندی صفحات افقی در برنامه شبیه سازی

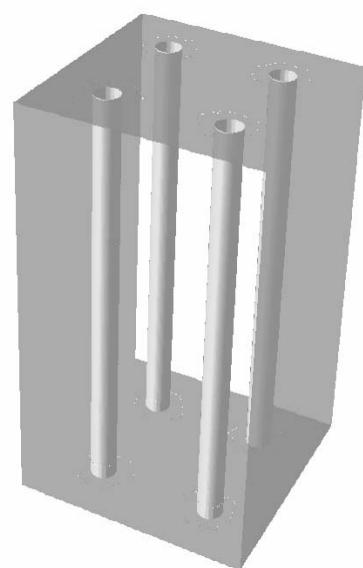


شکل ۵. شبکه بندی صفحات عمودی در برنامه شبیه سازی



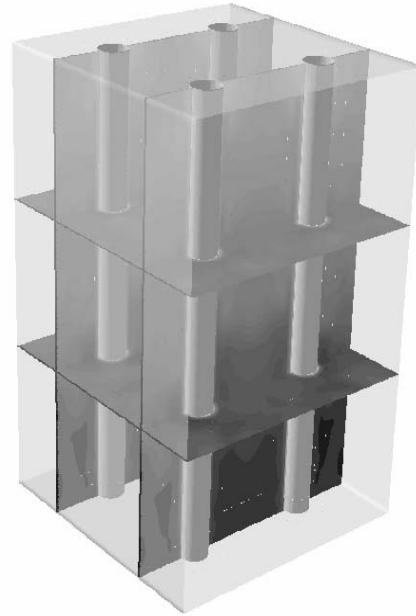
شکل ۶. شبکه بندی دیوارهای راکتور در برنامه شبیه سازی

سپس برای حل برنامه لازم است یک سری اطلاعات ورودی مربوط به مواد و شرایط آزمایش به نرم افزار داده شود. از قبیل خواص مواد اولیه که در ظرف آزمایش قرار دارند، که در صفحه Materials تعریف می‌شوند، همچنین میزان شار حرارتی (Heat Flux) ثابتی



شکل ۲. شماتیکی از راکتور شبیه سازی شده

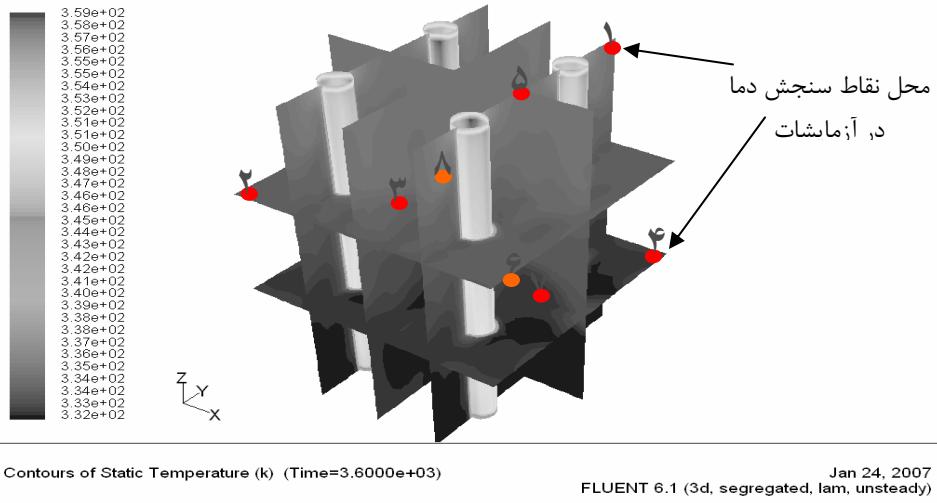
برای نمایش نقاط دما در داخل راکتور در حالت سه بعدی، سه صفحه فرضی افقی به فاصله ۱۰ سانتیمتر از یکدیگر و دو صفحه فرضی عمودی که از وسط لوله‌ها عبور می‌کنند، طراحی شده که همان محل قرارگیری حسگرهای آزمایشات تجربی می‌باشند. این صفحات در شکل ۳ نمایش داده شده اند.



شکل ۳. نمایش صفحات طراحی شده در برنامه شبیه سازی

در مرحله دوم شبیه‌سازی، صفحات، لوله‌ها و دیوارهای جسم مورد نظر در برنامه گمبیت، شبکه بندی شده‌است. حاصل این شبکه‌بندی‌ها در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است.

مدت چندین ساعت طول خواهد کشید تا اجرای برنامه کامل شود. نتایج برنامه هر ۵ دقیقه ذخیره می‌گردد و پس از تکمیل اجرای برنامه نتایج هر زمان ذخیره شده در صفحه Contours مانند شکل ۷ مشاهده می‌شود.



شکل ۷. صفحه Contours و نمایش نمای سه بعدی جسم با تمام صفحات، لوله ها و موقعیت نقاط سنجش دما

لوله های حرارتی باعث می‌شود حرارت به طور یکسان و یکنواخت به مواد داخل راکتور اعمال شود و شرایط مناسبی را از لحاظ گرمایی برای انجام فرآیند ایجاد کند.

۲-۴. بررسی اثر میزان توان ورودی بر روی دمای راکتور
در این مرحله نسبت پرشدن (F.R) ثابت درنظر گرفته می‌شود و اثر افزایش توان ورودی به تبخیرکننده ترموسیفون‌ها، بر روی دما با گذشت زمان برسی می‌شود. بعد از اینکه مقادیر مورد نیاز برای شبیه‌سازی، همانطور که قبلاً اشاره شد، محاسبه گردید، در نرم افزار قرار داده می‌شوند و برای مدت ۳۶۰۰ ثانیه اجرا می‌گردد، تا نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشاهده شود. بعد از این مرحله نتایج تجربی از پیش بدست آمده حاصل از آزمایشات عملی با نتایج شبیه‌سازی، مقایسه می‌گردد. با تنظیم توان حرارتی ورودی، می‌توان دمای راکتور را کنترل نمود.

۳-۴. بررسی اثر تغییر F.R بر روی دمای راکتور
در این مرحله توان حرارتی ورودی ثابت فرض شده و اثر افزایش نسبت پرشدن (F.R) بر روی دما با گذشت زمان برسی می‌شود. با نتایج حاصل از این شبیه‌سازی می‌توان بهترین F.R را برای کارائی مؤثر لوله حرارتی تشخیص داد. مقادیر مورد نیاز برای شبیه‌سازی این مراحل محاسبه و در نرم افزار قرار داده می‌شوند، بعد از ۳۶۰۰ ثانیه اجرای برنامه، نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشاهده می‌گردد و با نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشات عملی، مقایسه می‌شود.

که از لوله‌ها به سیال داخل مخزن منتقل می‌شود و شرایط اولیه دمایی که در قسمت Boundary Conditions وارد می‌شود. در مرحله بعد لازم است شرایط مرزی برای جسم تعریف و اطلاعات ورودی مربوط به مواد و شرایط آزمایش به نرم افزار داده شود.

برای تمام سیال‌ها، معادلات بقای انرژی برای جرم و ممنتم را حل می‌کند. برای جریان‌هایی مانند انتقال حرارت یا تراکم پذیری، یک معادله دیگر نیز برای بقای انرژی حل می‌شود. معادلات بقاء جریان آرام این گونه‌اند:

معادله بقاء جرم:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m$$

عبارت S_m مقدار جرم اضافه شده از فاز دوم به فاز اول می‌باشد.

معادله پیوستگی برای سیستم دو بعدی:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} = S_m$$

معادله بقاء مومنتوم:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

۴. انواع مطالعات توسط شبیه‌سازی

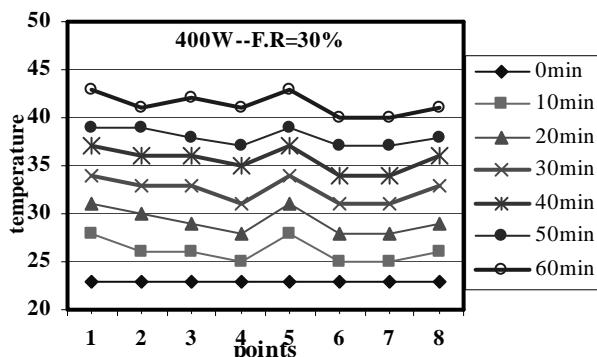
۱-۴. بررسی یکنواختی دما در داخل راکتور

در این حالت انرژی حرارتی ورودی به بخش تبخیرکننده ترموسیفون‌ها، حرارت خروجی از چگالنده و میزان داخل سیال داکل لوله (نسبت پرشدن، F.R) ثابت فرض می‌شود و اثر افزایش دما با گذشت زمان برای نقاط مختلف داخل راکتور، مشاهده می‌گردد. پس از اجرای برنامه به مدت ۳۶۰۰ ثانیه، نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشاهده می‌شود و سپس با نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشات عملی، مقایسه می‌گردد. اعمال حرارت در داخل راکتور توسط

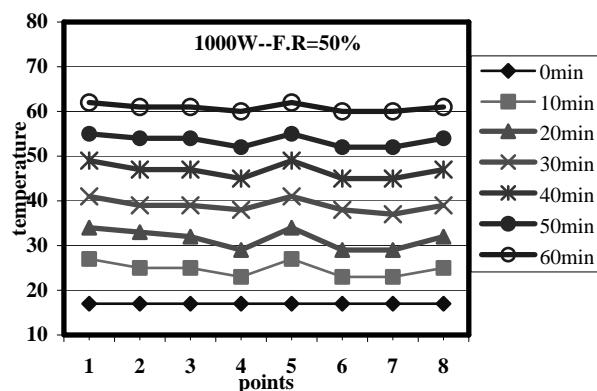
مختلف راکتور شبیه‌سازی شده، با توجه به شکل ۷ بدین صورت می‌باشد:

$$\{5,1\} < \{8,3,2\} < \{7,6,4\}$$

برای مشاهده میزان همدما بین نقاط داخل راکتور شبیه‌سازی شده نمودارهای دما بر حسب شماره نقاط سیال داخل راکتور در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ رسم شده که در زمانهای معین، دمای نقاط تقریباً به صورت خط راست است که این یکنواختی دما داخل راکتور را نشان می‌دهد و تفاوت دما بین نقاط مختلف کمتر از ۳ درجه سانتیگراد می‌باشد:



شکل ۱۰. دما بر حسب شماره نقاط برای زمان‌های مختلف در توان ۴۰۰ وات و نسبت پرشدن ۳۰٪ توسط شبیه‌سازی فرآیند



شکل ۱۱. دما بر حسب شماره نقاط برای زمان‌های مختلف در توان ۱۰۰۰ وات و نسبت پرشدن ۵۰٪ توسط شبیه‌سازی فرآیند

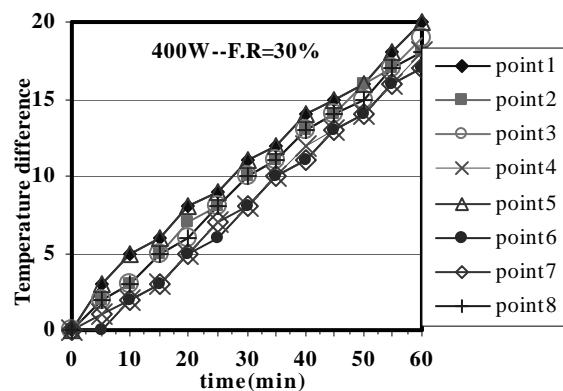
۵-۲. نتایج بررسی اثر میزان توان ورودی بر روی دمای راکتور توسط شبیه‌سازی فرآیند

برای یک نقطه مشخص داخل راکتور در F.R ثابت، با گذشت زمان، دمای نقاط مختلف راکتور با افزایش توان ورودی به سیستم، افزایش می‌یابد، نمودارهای اختلاف دما بر حسب زمان در توان‌های مختلف برای مدل شبیه‌سازی شده در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ آورده شده‌است:

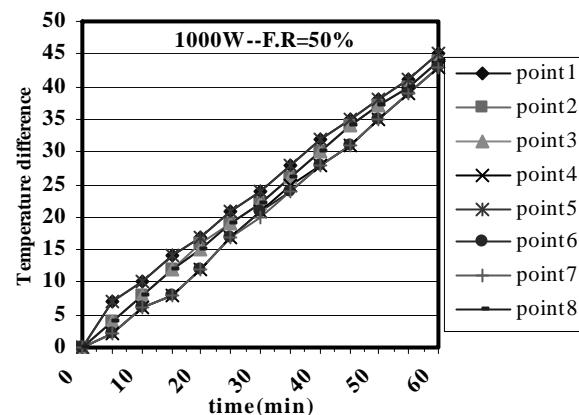
۵. بحث و نتیجه‌گیری در خصوص نتایج حاصل از شبیه‌سازی

۱-۵. نتایج بررسی یکنواختی دما در داخل راکتور توسط شبیه‌سازی فرآیند

در توان و نسبت پرشدن (F.R) ثابت، با افزایش زمان، دمای هر یک از نقاط بتدریج افزایش می‌یابد، که بطور نمونه چند نمودار حاصل از آن در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده‌است:

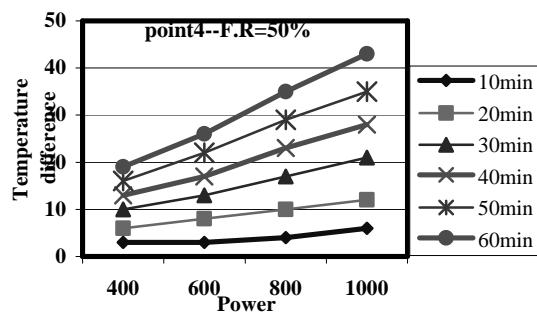


شکل ۸. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقاط مختلف راکتور در توان ۴۰۰ وات و نسبت پرشدن ۳۰٪ توسط شبیه‌سازی فرآیند



شکل ۹. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقاط مختلف راکتور در توان ۱۰۰۰ وات و نسبت پرشدن ۵۰٪ توسط شبیه‌سازی فرآیند

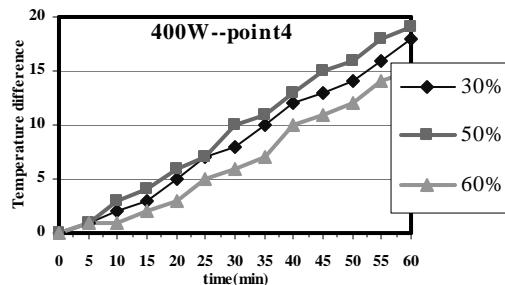
از شکل‌های ۸ و ۹ می‌توان دریافت که کدام نقاط افزایش دمای بیشتری دارند و یا زودتر از سایر نقاط گرم می‌شوند. روند افزایش دمای نقاط داخل راکتور، از بالای سطح مایع و چگالنده آغاز می‌گردد و تا پایین راکتور ادامه دارد. بنابراین دمای نقاط بالای چگالنده بیشتر از نقاط دیگر می‌باشد. ترتیب افزایش دمای نقاط



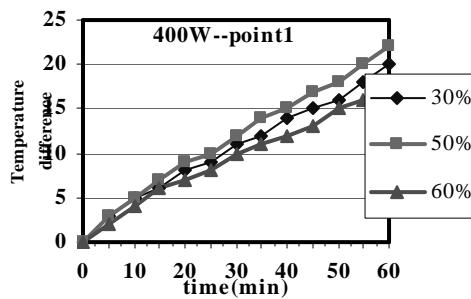
شکل ۱۵. اختلاف دما بر حسب توان برای زمان های مختلف در نسبت پرشدن ۵۰٪ و نقطه ۴ توسط شبیه سازی فرآیند

۳-۵. نتایج بررسی اثر تغییر F.R بر روی دمای راکتور توسط شبیه سازی فرآیند

برای یک نقطه مشخص داخل راکتور در توان ثابت، میزان افزایش دما در طول زمان برای انواع F.R ها، متفاوت است. نمودارهای اختلاف دما بر حسب زمان در شکل های ۱۶ و ۱۷ این گونه است:

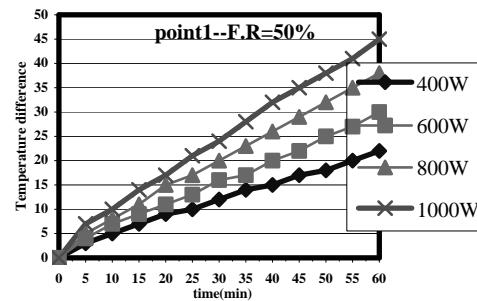


شکل ۱۶. اختلاف دما بر حسب زمان برای نسبت های پرشدن مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۱ توسط شبیه سازی فرآیند

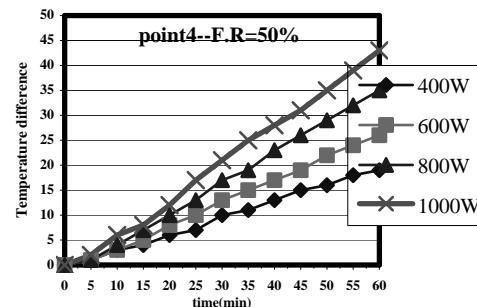


شکل ۱۷. اختلاف دما بر حسب زمان برای نسبت های پرشدن مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۱ توسط شبیه سازی فرآیند

بنابراین با توجه به این نمودارها می توان بهترین F.R را تشخیص داد، بطوری که در طول زمان نقاط داخل راکتور، بالاترین دما را داشته باشند. در این نمودارها مشاهده می شود بهینه ترین F.R ۵۰٪ می باشد، زیرا برای توان ها و نقاط مختلف، بالاترین دما را نشان می دهد. از طریق نمودار شکل های ۱۸ و ۱۹، واضح تر می توان به این نتیجه رسید:

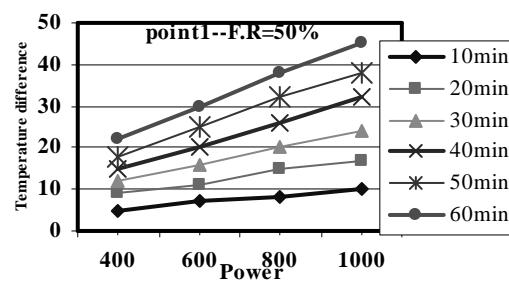


شکل ۱۲. اختلاف دما بر حسب زمان برای توان های مختلف در نسبت پرشدن ۵۰٪ و شماره نقطه ۱ توسط شبیه سازی فرآیند



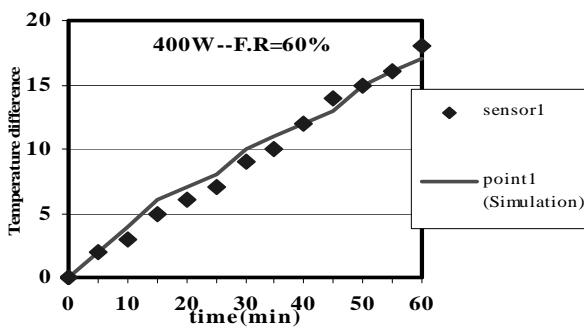
شکل ۱۳. اختلاف دما بر حسب زمان برای توان های مختلف در نسبت پرشدن ۵۰٪ و شماره نقطه ۴ توسط شبیه سازی فرآیند

با توجه به این نمودارها در طول زمان با افزایش توان مقدار حرارت بیشتر می شود و دمای نقاط مختلف راکتور بالاتر می روند. هر چه توان ورودی بیشتر شود، می توان در مدت زمان کمتری به دمای معینی رسید. نمودارهای این قسمت به صورت اختلاف دما بر حسب توان در F.R و شماره نقطه ثابت نیز در شکل های ۱۴ و ۱۵ رسم شده تا مشاهدات واضح تر گردد:

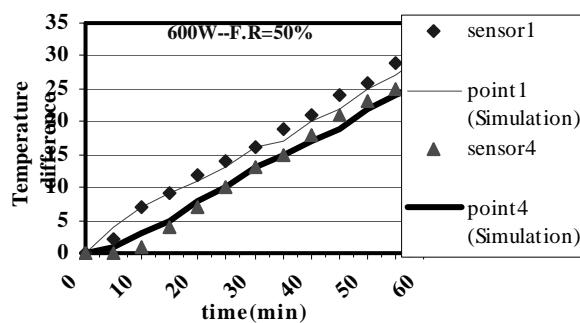


شکل ۱۴. اختلاف دما بر حسب توان برای زمان های مختلف در نسبت پرشدن ۵۰٪ و نقطه ۱ توسط شبیه سازی فرآیند

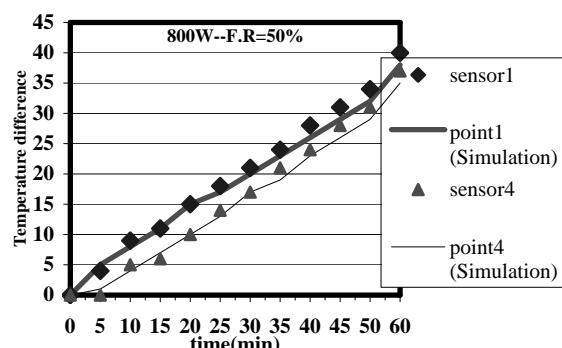
توسط این نمودارها به طور واضح تر می توان مشاهده کرد که در زمان های معین، توان های بالاتر دارای دمای بیشتری هستند. همچنین می توان بهترین توان را با توجه به شرایط واکنش انتخاب نمود به گونه ای که در مدت زمان معینی به دمای مورد نظر برسیم.



شکل ۲۱. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقطه شماره ۲ در توان ۴۰۰ وات و نسبت پرشدن ۵۰٪ در دو حالت تجربی و شبیه سازی



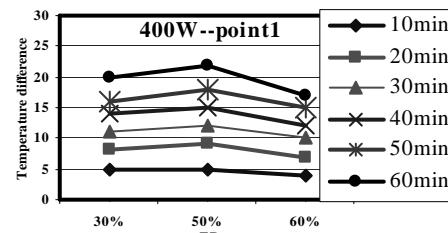
شکل ۲۲. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقطه شماره ۱ در توان ۶۰۰ وات و نسبت پرشدن ۵۰٪ در دو حالت تجربی و شبیه سازی



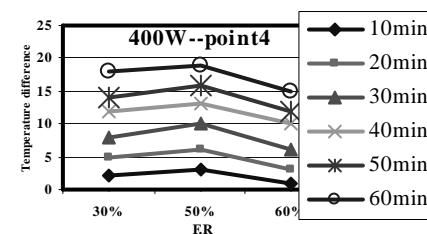
شکل ۲۳. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقطه شماره ۱ در توان ۸۰۰ وات و نسبت پرشدن ۵۰٪ در دو حالت تجربی و شبیه سازی

۶-۶. بررسی اثر میزان توان ورودی بر روی دمای داخل راکتور

در این حالت نمودارهای اختلاف دما بر حسب زمان در F.R و شماره نقاط ثابت، برای توانهای مختلف در دو حالت تجربی و شبیه سازی در شکل های ۲۴ و ۲۵ رسم شده اند.



شکل ۱۸. اختلاف دما بر حسب نسبت پرشدن برای زمان های مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۱ توسط شبیه سازی فرآیند



شکل ۱۹. اختلاف دما بر حسب نسبت پرشدن برای زمان های مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۴ توسط شبیه سازی فرآیند

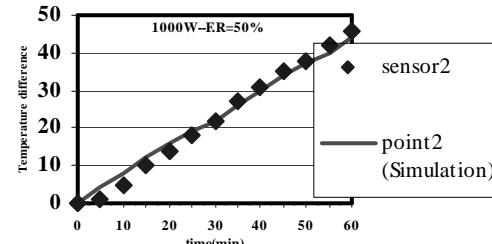
از این نمودارها به راحتی می توان دریافت که F.R ۶۰٪ کمترین دما را نشان می دهد و F.R های ۳۰٪ و ۵۰٪ دارای دمای بالاتری هستند. بطور میانگین بین حالت های مختلف شبیه سازی (توان ها و نقاط متفاوت)، نسبت پرشدن ۵۰٪ بالاترین دما را در زمان های مختلف نشان می دهد و به عنوان بهترین F.R تعیین می شود.

۶. مقایسه نتایج تجربی با شبیه سازی

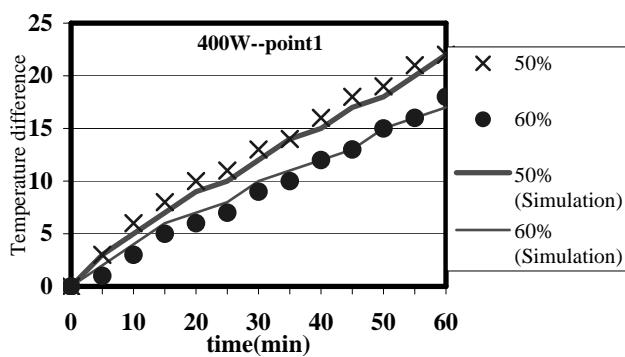
اکنون نتایج شبیه سازی با داده های تجربی که از پیش بدست آمده اند، مقایسه و نتایج کلی در هر دو حالت مورد بررسی قرار میگیرد.

۱-۶. یکنواختی دما در داخل راکتور

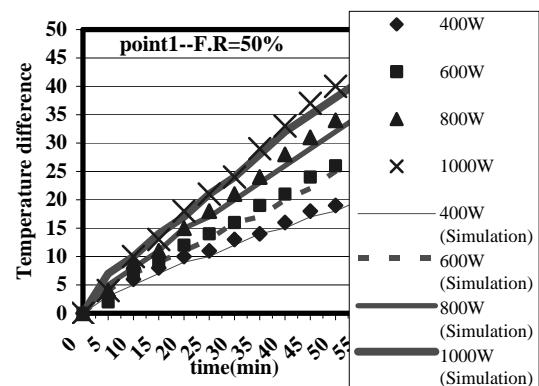
در این حالت در شکل های ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳ نمودارهای اختلاف دما بر حسب زمان در توان ها و F.R های متفاوت، برای نقاط داخل راکتور در دو حالت تجربی و شبیه سازی رسم می شود:



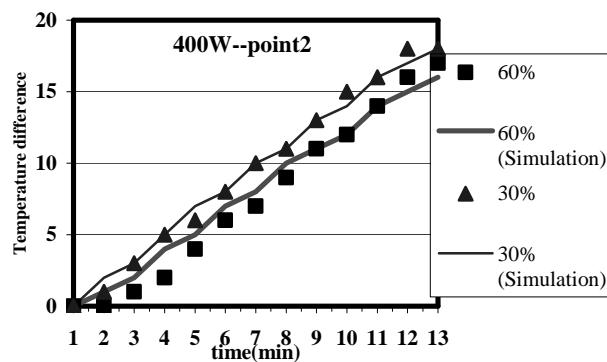
شکل ۲۰. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقطه شماره ۱ در توان ۴۰۰ وات و نسبت پرشدن ۶۰٪ در دو حالت تجربی و شبیه سازی



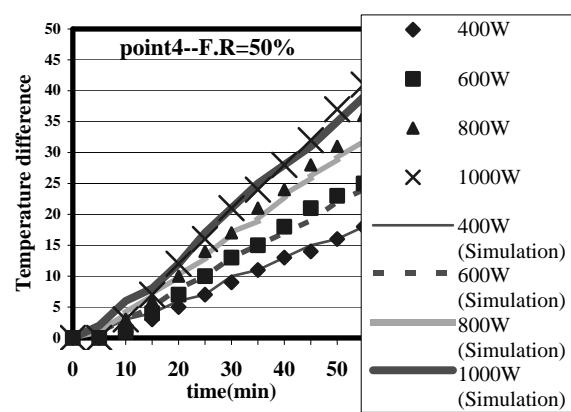
شکل ۲۷. اختلاف دما بر حسب زمان برای نسبت های پرشدن مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۱ در دو حالت تجربی و شبیه سازی



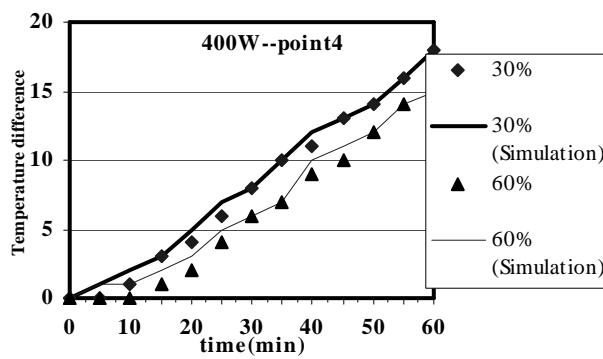
شکل ۲۴. اختلاف دما بر حسب زمان برای توان های مختلف در نسبت پرشدن ۵۰٪ و نقطه ۱ در دو حالت تجربی و شبیه سازی



شکل ۲۸. اختلاف دما بر حسب زمان برای نسبت های پرشدن مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۲ در دو حالت تجربی و شبیه سازی



شکل ۲۵. اختلاف دما بر حسب زمان برای توان های مختلف در نسبت پرشدن ۵۰٪ و نقطه ۴ در دو حالت تجربی و شبیه سازی

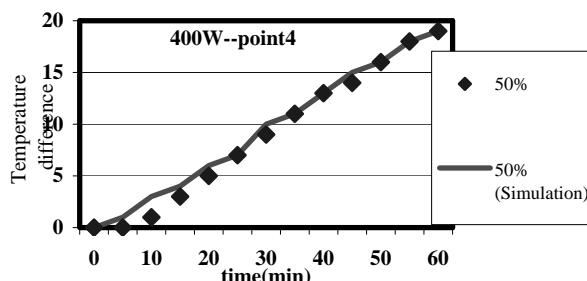


شکل ۲۹. اختلاف دما بر حسب زمان برای نسبت های پرشدن مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۴ در دو حالت تجربی و شبیه سازی

۷. نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد ترمومیفون ها برای کنترل دمای راکتور شبیه سازی گردیده است و نتایج ذیل بدست آمده اند:

۳-۶. بررسی اثر تغییر F.R بر روی دمای داخل راکتور در این حالت نمودارهای اختلاف دما بر حسب زمان در شماره نقاط و توان ثابت، برای F.R های مختلف در دو حالت تجربی و شبیه سازی در شکل های ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ رسم شده است:



شکل ۲۶. اختلاف دما بر حسب زمان برای نسبت پرشدن مختلف ۵۰٪ در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۴ در دو حالت تجربی و شبیه سازی

Temperature Heat Recovery Applications, Heat Recovery Systems and CHP Vol. 15, No. 7, 1995, pp. 631–640.

- [6] Dunn, P.D., Reay, D.A., *Heat Pipes*, 3rd Edition, Pergamon Press, 1994.
- [7] Leefer, B.I., "Nuclear Thermionic Energy Converter", Proceedings of 20th Annual Power Sources Conf., May 1966, pp. 172 – 175.

۱- در مورد شبیه‌سازی فرآیند می‌توان نتیجه گرفت که در توان ورودی و نسبت پرشدن (F.R) ثابت، با افزایش زمان، دمای نقاط مختلف، بتدریج افزایش می‌یابد.

۲- روند افزایش دمای نقاط داخل راکتور، در مورد شبیه‌سازی فرآیند نیز مانند حالت تجربی از بالای سطح مایع و چگالنده آغاز می‌گردد و تا پایین راکتور ادامه دارد. بنابراین ترتیب افزایش دمای نقاط مختلف داخل راکتور شبیه‌سازی شده، با توجه به شکل ۷ بدین صورت می‌باشد:

$$\{5,1\} < \{8,2\} < \{7,4\}$$

۳- در مورد شبیه‌سازی فرآیند، در زمان‌های معین، دمای تمامی نقاط در بازه کوچکی قرار دارد و این نشان‌دهنده یکنواختی دما در داخل راکتور می‌باشد، همچنین اختلاف دما بین نقاط مختلف راکتور شبیه‌سازی شده، در دماهای بالاتر کاهش می‌یابد و همدمایی در داخل راکتور بهتر می‌گردد.

۴- برای یک نقطه مشخص و F.R ثابت، با گذشت زمان، دمای نقاط مختلف راکتور شبیه‌سازی شده، با افزایش توان ورودی به سیستم، افزایش می‌یابد. همچنین هرچه توان ورودی بیشتر شود، در مدت زمان کمتری به دمای معینی می‌رسیم بنابراین می‌توان بهترین توان را با توجه به شرایط فرآیند انتخاب نمود.

۵- از نتایج حاصل از شبیه‌سازی، می‌توان برای یک نقطه مشخص و توان ثابت، با توجه به میزان افزایش دما در طول زمان، بهترین F.R را انتخاب نمود. بهینه‌ترین F.R ۵۰٪ می‌باشد، زیرا برای توان‌ها و نقاط مختلف، بالاترین دما را نشان می‌دهد.

۶- در مرحله آخر، نتایج حاصل از آزمایش‌های تجربی با شبیه‌سازی مقایسه شدند که با توجه به نمودارهای حاصل، تطابق قابل قبولی ارائه شد.

مراجع

- [1] Gaugler, R.S., *Heat Transfer Device*, U. S. Patent 2, 350, 348.
- [2] Grover, G. M., Cotter, T. P., Erikson, G. F., *Structures of Very High Thermal Conductivity*, J. Applied Phys., 35, 1990, 1964.
- [3] Faghri, A., *Heat Pipe Science and Technology*, Taylor & Francis, USA, 1995.
- [4] Lin, S., Broadbent, J., McGlen, R., *Numerical Study of Heat Pipe Application in Heat Recovery Systems*, Applied Thermal Engineering Vol. 25, 2005, pp. 127–133.
- [5] Sauciuc, I., Akbarzadeh, A., Johnson, P., *Characteristics of Two-Phase Closed Thermosyphons for Medium*