

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

محمدتقی 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 ۳۰٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ و توان ورودی ۲۰۰ 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. قابل 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 همدمای استفاده نمود.

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

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 سیال های عامل آب و سدیم را در داخل آن آزمایش کردند [۲]. محققان تا به امروز در زمینه لوله های حرارتی به پیشرفت های زیادی دست یافته اند، هم اکنون در آمریکا بیش از صد شرکت و موسسه تحقیقاتی در این زمینه فعالیت دارند. در چند دهه اخیر در کشورهای آسیایی نیز فعالیتهایی در زمینه لوله حرارتی صورت گرفته است. در تایوان از سال ۱۹۷۰ انواع مختلف لوله حرارتی همراه با فتیله ساخته و مورد مطالعه قرار گرفت.

تاریخ وصول: ۸۶/۲/۲۰

تاریخ تصویب: ۸۷/۱۲/۱۷

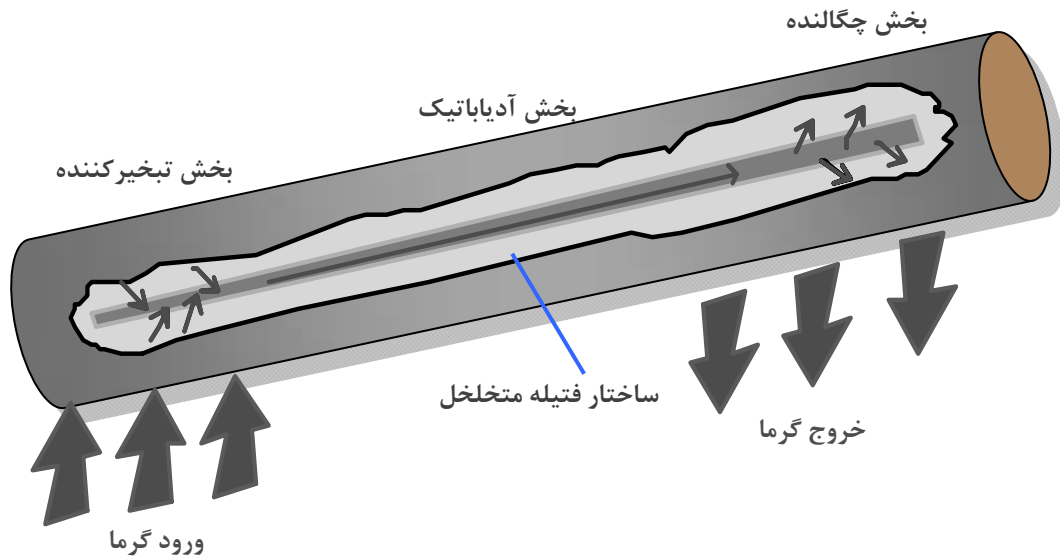
دکتر محمدتقی حامدموسویان، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد،
میدان آزادی mosavian@um.ac.ir ، hmosavian@gmail.com
سمانه جعفری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان،
samaneh.jafari.2415@gmail.com
سیدحسین نوعی باغبان، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، میدان
آزادی noie@ferdowsi.um.ac.ir

در کشور کره نیز تحقیقات از سال ۱۹۸۰ آغاز شده است، این تحقیقات در زمینه لوله های حرارتی کوچک، لوله های حرارتی حلقوی و ترموسیفون ها انجام گردیده است [۳].

۲. تئوری

لوله حرارتی یک وسیله انتقال حرارت دو فازی، با قابلیت هدایت حرارتی بسیار بالا و مؤثر می باشد که می تواند به دو صورت استوانه ای و مسطح ساخته شود. این گونه لوله ها می توانند به عنوان خنک کننده به منبع حرارتی متصل شوند و یا بجهت گرمایش مواد مختلف بکار روند، همچنین می توانند برای انتقال حرارت بهتر سیال به تعدادی پره متصل شوند [۴].

گرمای منبع حرارتی توسط سیال عامل داخل لوله حرارتی در بخش تبخیرکننده جذب می شود و سیال بخار می گردد، سپس بخار به بخش چگالنده منتقل شده و در آنجا تقطیر صورت می پذیرد و باعث آزاد شدن گرمای نهان و سرد شدن سیال می گردد [۵]. نیروهای مؤثنیگی در روزه های فتیله لوله حرارتی و نیروهای کشش سطحی آب، باعث برگشت سیال کندانس شده به بخش تبخیرکننده می شوند [۶]. عملکرد لوله حرارتی در شکل ۱ نمایش داده شده است:



شکل ۱. عملکرد لوله حرارتی

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

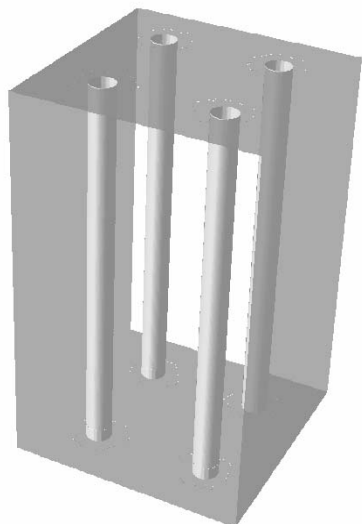
واحد شبیه سازی شده یک راکتور شیمیایی غیرپیوسته می باشد که توسط نرم افزار Fluent طراحی شده است. راکتور به صورت مکعب مستطیل و دوجداره (عایق) در نظر گرفته شده است. ابعاد داخلی راکتور، ۲۰×۲۰ با ارتفاع ۳۰ سانتیمتر لحاظ شده است. در این مدل انتقال حرارت و توزیع دما در داخل راکتور با استفاده از ترموسیفون ها بررسی می گردد. در داخل راکتور ۴ 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 ۲۲ میلیمتر و قطر داخلی آنها ۲۰ میلیمتر می باشد و طول بخش چگالنده ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

در عمل با ورود انرژی حرارتی به بخش تبخیرکننده 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

عملکرد لوله حرارتی، با اختلاف دمای خیلی کمی بین بخش های آن، انجام می پذیرد و همچنین به پمپ خارجی احتیاج ندارد و مانند یک سیستم پخش کننده، تاثیر ویژه ای در انتقال و پخش گرما از محیط گرم به محیط سرد را دارد [۳]. بنابراین یک مشخصه لوله حرارتی اینست که انتقال گرما بین منبع گرم و جاذب گرمایی با تلفات حرارتی خیلی کمی همراه است. این مشخصه لوله حرارتی باعث می شود حرارت از نقاط گرمتر راکتور به سرعت به نقاط سردتر آن انتقال یابد. مشخصه دیگر لوله حرارتی این است که میزان نسبتاً زیادی گرما را می تواند با ساختار کم وزن و کوچکش انتقال دهد. همچنین با انتخاب مناسب سیال عامل و جنس ظرف (لوله) می توانیم انواع لوله های حرارتی را در بازه دمایی از 269°C تا 230.0°C بسازیم [۷]. لوله حرارتی به عنوان یک عنصر انتقال حرارت با بازده بالا، در بسیاری از موارد از جمله صنایع خنک سازی الکترونیکی، گرمایش و سرمایش سیالات، بازیافت انرژی، تهویه هوای مطبوع، کنترل دما و همدمای محیط، می تواند مورد استفاده قرار گیرد. ترموسیفون، یک لوله حرارتی بدون فتیله می باشد که در آن برای بازگرداندن سیال عامل از بخش چگالنده به تبخیرکننده از نیروی ثقل، استفاده می شود. بنابراین بایستی به حالت عمودی قرار گیرند، به گونه ای که بخش چگالنده آنها در بالا واقع گردد.

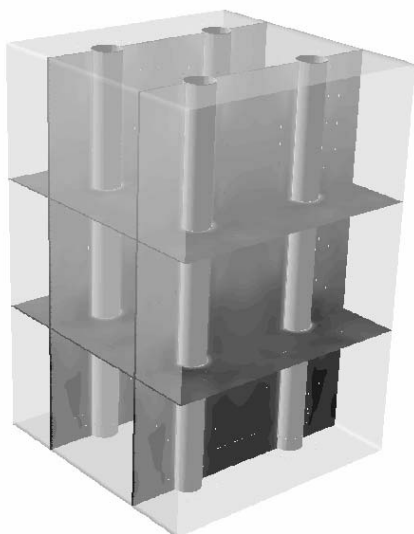
راکتورهای شیمیایی برای تولید مواد متنوعی بکار می روند. بسیاری از واکنش هایی که در راکتورها انجام می شوند، در دمای معینی قادر به پیشرفت هستند. بر همین اساس بایستی دمای بهینه واکنش را در سراسر مخزن راکتور ایجاد نمود تا واکنش در تمام نقاط راکتور با حداکثر درصد تبدیل انجام شود. گرمایش راکتورها معمولاً توسط گرمکن های الکتریکی انجام می شود که در اطراف بدنه مخزن راکتور نصب می شوند. اعمال حرارت بدین صورت باعث می شود

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.



شکل ۲. شماتیکی از راکتور شبیه سازی شده

برای نمایش دمای نقاط داخل راکتور در حالت سه بعدی، سه صفحه فرضی افقی به فاصله ۱۰ سانتیمتر از یکدیگر و دو صفحه فرضی عمودی که از وسط لوله ها عبور می کنند، طراحی شده که همان محل قرارگیری حسگرها در آزمایشات تجربی می باشند. این صفحات در شکل ۳ نمایش داده شده اند.



شکل ۳. نمایش صفحات طراحی شده در برنامه شبیه سازی

(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 گرانروی، جرم ملکولی، هدایت حرارتی، دانسیته، گرمای ویژه و ضریب انبساط حرارتی می باشد، که با توجه به 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:

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:

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

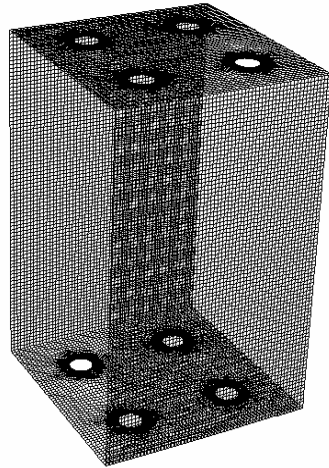
$$\begin{aligned}
 M &= 18.02 \text{ kg/kgmol} \\
 K &= 0.6 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \\
 C_p(T_a) &= 4.04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \\
 Q_{out} &= m \cdot C_p \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} = 234.42 \text{ W}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

در حالیکه A= سطح جانبی لوله ها،

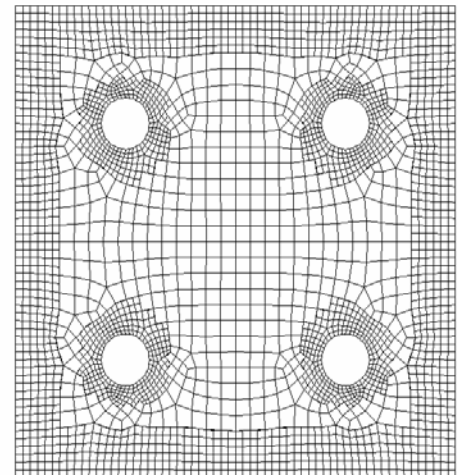
$$\begin{aligned}
 A &= 0.0207345 \text{ m}^2 \\
 \beta &= \text{ضریب انبساط حرارتی در دمای متوسط} \\
 \beta &= 317.61 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}
 \end{aligned}$$

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.

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

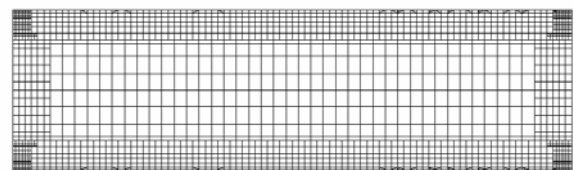
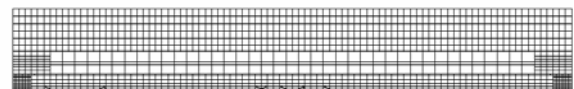


شکل ۶. شبکه بندی دیواره های راکتور در برنامه شبیه سازی

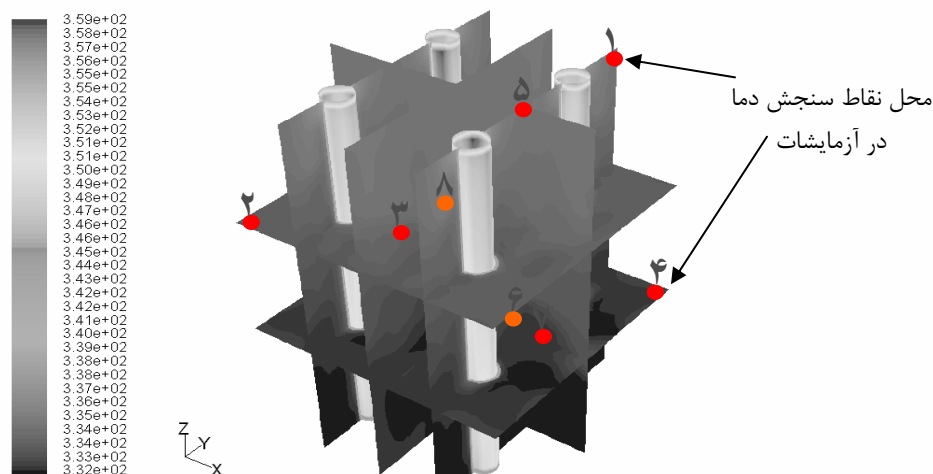


شکل ۴. شبکه بندی صفحات افقی در برنامه شبیه سازی

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 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. 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 ۵. شبکه بندی صفحات عمودی در برنامه شبیه سازی



Contours of Static Temperature (k) (Time=3.6000e+03)

Jan 24, 2007
FLUENT 6.1 (3d, segregated, lam, unsteady)

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

با نتایج حاصل از این شبیه سازی می توان بهترین F.R را برای کارائی مؤثر لوله حرارتی تشخیص داد. مقادیر مورد نیاز برای شبیه سازی این مراحل محاسبه و در نرم افزار قرار داده می شوند، بعد از ۳۶۰۰ ثانیه اجرای برنامه، نتایج حاصل از شبیه سازی مشاهده می گردد و با نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشات عملی، مقایسه می شود.

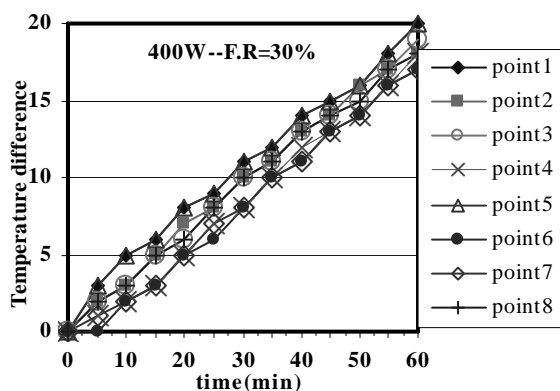
۵. بحث و نتیجه گیری در خصوص نتایج حاصل از

شبیه سازی

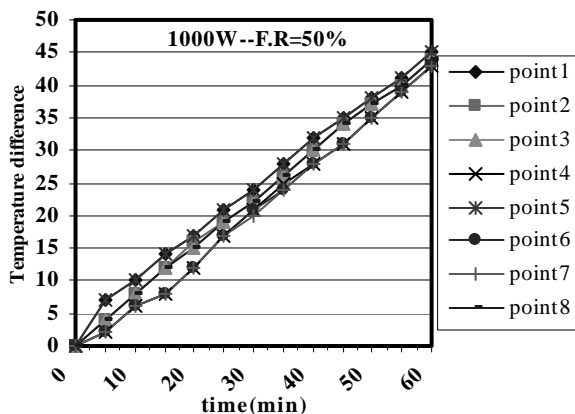
۵-۱. نتایج بررسی یکنواختی دما در داخل راکتور توسط

شبیه سازی فرآیند

در توان و نسبت پرشدن (F.R) ثابت، با افزایش زمان، دمای هر یک از نقاط بتدریج افزایش می یابد، که بطور نمونه چند نمودار حاصل از آن در شکل های ۸ و ۹ ارائه شده است:



شکل ۸. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقاط مختلف راکتور در توان ۴۰۰ وات و نسبت پر شدن ۳۰٪ توسط شبیه سازی فرآیند



شکل ۹. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقاط مختلف راکتور در توان ۱۰۰۰ وات و نسبت پر شدن ۵۰٪ توسط شبیه سازی فرآیند

برای تمام سیال ها، FLUENT معادلات بقای انرژی برای جرم و ممنتوم را حل می کند. برای جریان هایی مانند انتقال حرارت یا تراکم پذیری، یک معادله دیگر نیز برای بقای انرژی حل می شود. معادلات بقای جریان آرام این گونه اند:

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

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

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 بقای 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 شبیه سازی

۴-۱. بررسی یکنواختی دما در داخل راکتور

در این حالت انرژی حرارتی ورودی به بخش تبخیرکننده ترموسیفون ها، حرارت خروجی از چگالنده و میزان سیال داخل لوله (نسبت پرشدن، F.R) ثابت فرض می شود و اثر افزایش دما با گذشت زمان برای نقاط مختلف داخل راکتور، مشاهده می گردد. پس از اجرای برنامه به مدت ۳۶۰۰ ثانیه، نتایج حاصل از شبیه سازی مشاهده می شود و سپس با نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشات عملی، مقایسه می گردد. اعمال حرارت در داخل راکتور توسط لوله های حرارتی باعث می شود حرارت به طور یکسان و یکنواخت به مواد داخل راکتور اعمال شود و شرایط مناسبی را از لحاظ گرمایی برای انجام فرآیند ایجاد کند.

۴-۲. بررسی اثر میزان توان ورودی بر روی دمای راکتور

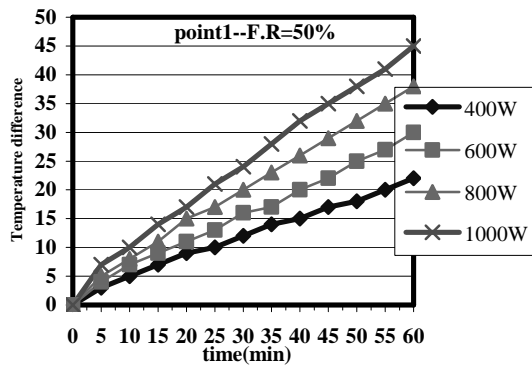
در این مرحله نسبت پرشدن (F.R) ثابت در نظر گرفته می شود و اثر افزایش توان ورودی به تبخیرکننده ترموسیفون ها، بر روی دما با گذشت زمان بررسی می شود. بعد از اینکه مقادیر مورد نیاز برای شبیه سازی، همانطور که قبلا اشاره شد، محاسبه گردید، در نرم افزار قرار داده می شوند و برای مدت ۳۶۰۰ ثانیه اجرا می گردند، تا نتایج حاصل از شبیه سازی مشاهده شود. بعد از این مرحله نتایج تجربی از پیش بدست آمده حاصل از آزمایشات عملی با نتایج شبیه سازی، مقایسه می گردند. با تنظیم توان حرارتی ورودی، می توان دمای راکتور را کنترل نمود.

۴-۳. بررسی اثر تغییر F.R بر روی دمای راکتور

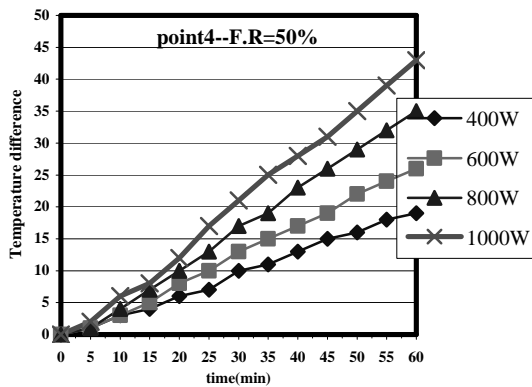
در این مرحله توان حرارتی ورودی ثابت فرض شده و اثر افزایش نسبت پرشدن (F.R) بر روی دما با گذشت زمان بررسی می شود.

۲-۵. 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 توان های مختلف برای مدل شبیه‌سازی شده در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ آورده شده‌است:



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



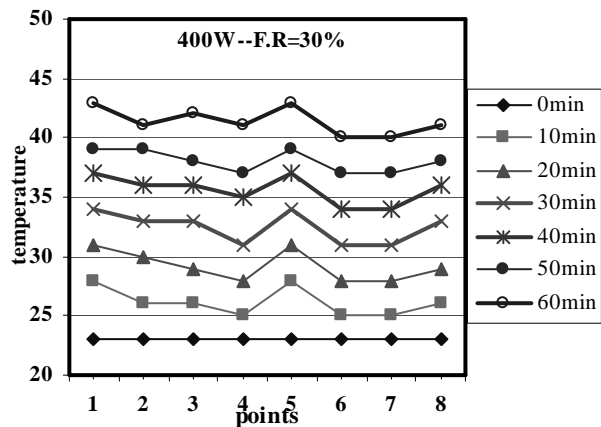
شکل ۱۳. اختلاف دما بر حسب زمان برای توان های مختلف در نسبت پرشدن ۵۰٪ و شماره نقطه ۴ توسط شبیه سازی فرآیند

با توجه به این نمودارها در طول زمان با افزایش توان مقدار حرارت بیشتر می‌شود و دمای نقاط مختلف راکتور بالاتر می‌روند. هر چه توان ورودی بیشتر شود، می‌توان 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 شکل‌های ۱۴ و ۱۵ رسم شده تا مشاهدات واضح‌تر گردد:

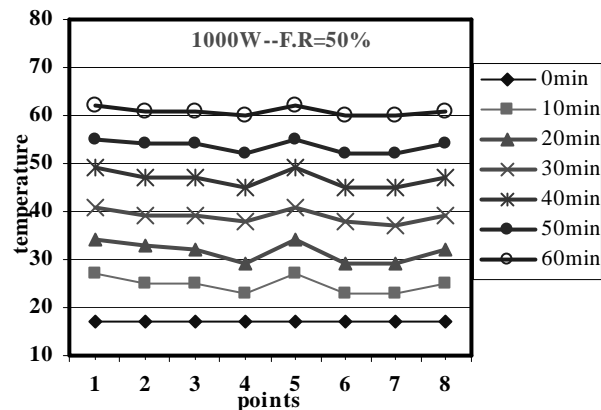
از شکل های ۸ و ۹ می‌توان دریافت که کدام نقاط افزایش دمای بیشتری دارند و یا زودتر از سایر نقاط گرم می‌شوند. روند افزایش دمای نقاط داخل راکتور، از بالای سطح مایع و چگالنده آغاز می‌گردد و تا پایین راکتور ادامه دارد. بنابراین دمای نقاط بالای چگالنده بیشتر از نقاط دیگر می‌باشد. ترتیب افزایش دمای نقاط مختلف راکتور شبیه‌سازی شده، با توجه به شکل ۷ بدین صورت می‌باشد:

$$\{7.6, 4\} < \{8.3, 2\} < \{5.1\}$$

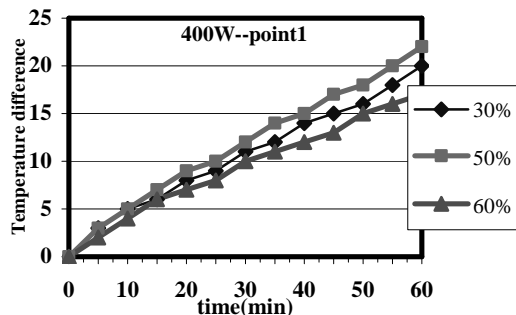
برای مشاهده میزان همدمايي نقاط داخل راکتور شبیه‌سازی شده نمودارهای دما بر حسب شماره نقاط سیال داخل راکتور در شکل های ۱۰ و ۱۱ رسم شده که در زمانهای معین، دمای نقاط تقریباً به صورت خط راست است که این یکنواختی دما داخل راکتور را نشان می‌دهد و تفاوت دما بین نقاط مختلف کمتر از ۳ درجه سانتیگراد می‌باشد:



شکل ۱۰. دما بر حسب شماره نقاط برای زمان های مختلف در توان ۴۰۰ وات و نسبت پرشدن ۳۰٪ توسط شبیه سازی فرآیند

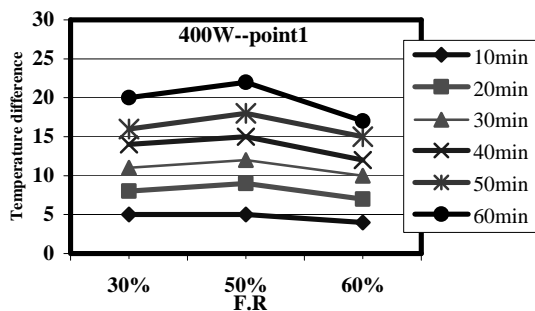


شکل ۱۱. دما بر حسب شماره نقاط برای زمان های مختلف در توان ۱۰۰۰ وات و نسبت پرشدن ۵۰٪ توسط شبیه سازی فرآیند

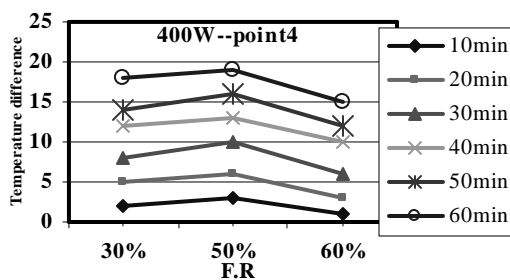


شکل ۱۷. اختلاف دما برحسب زمان برای نسبت های پرشدن مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۴ توسط شبیه سازی فرآیند

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:

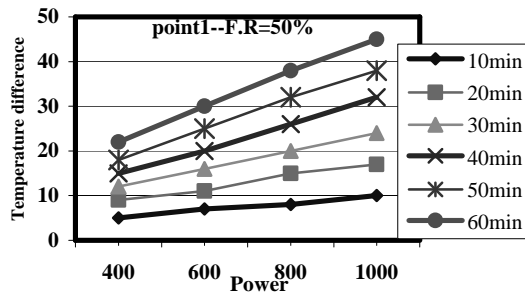


شکل ۱۸. اختلاف دما برحسب نسبت پرشدن برای زمان های مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۱ توسط شبیه سازی فرآیند

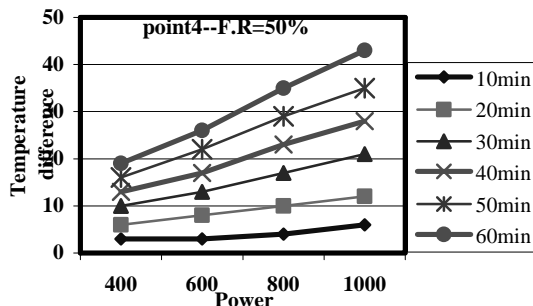


شکل ۱۹. اختلاف دما برحسب نسبت پرشدن برای زمان های مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۴ توسط شبیه سازی فرآیند

از این نمودارها به راحتی می توان دریافت که F.R ۶۰٪ کمترین دما را نشان می دهند 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.



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

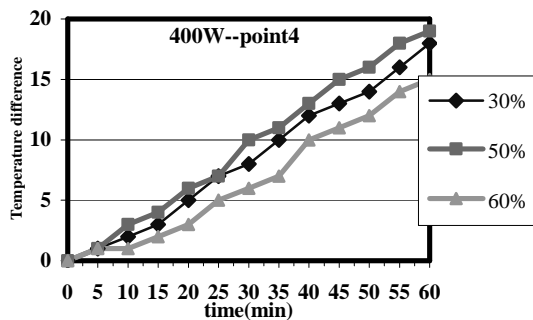


شکل ۱۵. اختلاف دما برحسب توان برای زمان های مختلف در نسبت پرشدن ۵۰٪ و نقطه ۴ توسط شبیه سازی فرآیند

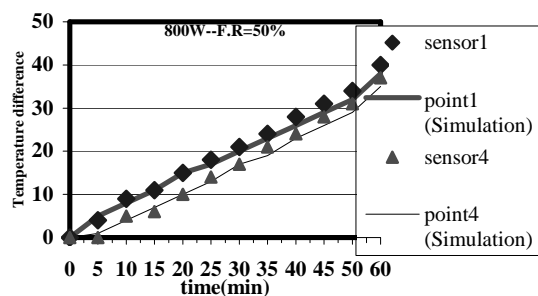
توسط این نمودارها به طور واضح تر می توان مشاهده کرد که در زمان های معین، توان های بالاتر دارای دمای بیشتری هستند. همچنین می توان بهترین توان را با توجه به شرایط واکنش انتخاب نمود به گونه ای که در مدت زمان معینی به دمای مورد نظر برسیم.

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 برحسب زمان در شکل های ۱۶ و ۱۷ این گونه است:



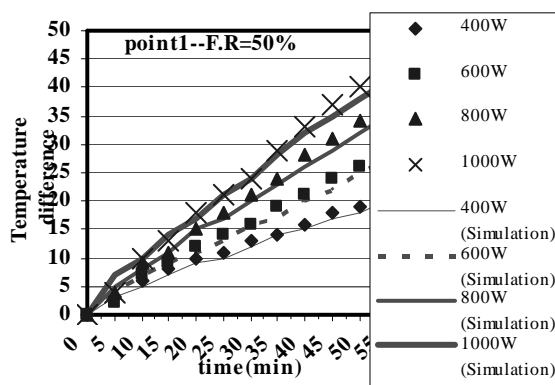
شکل ۱۶. اختلاف دما برحسب زمان برای نسبت های پرشدن مختلف در توان ۴۰۰ وات و نقطه ۱ توسط شبیه سازی فرآیند



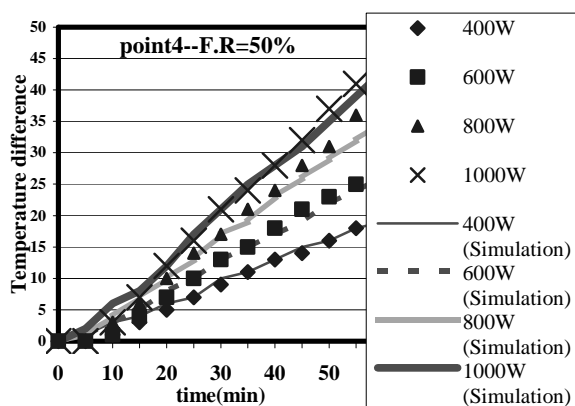
شکل ۲۳. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقطه شماره ۴ در توان ۸۰۰ وات و نسبت پرشدن ۵۰٪ در دو حالت تجربی و شبیه سازی

۲-۶. 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 شده‌اند.



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



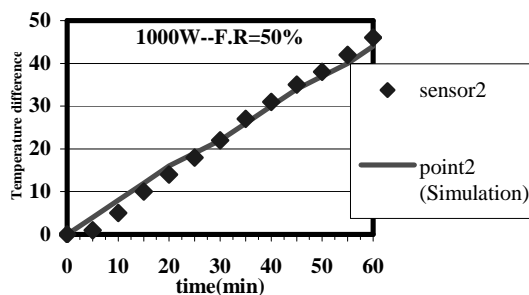
شکل ۲۵. اختلاف دما بر حسب زمان برای توان های مختلف در نسبت پرشدن ۵۰٪ و نقطه ۴ در دو حالت تجربی و شبیه سازی

۶. مقایسه نتایج تجربی با شبیه سازی

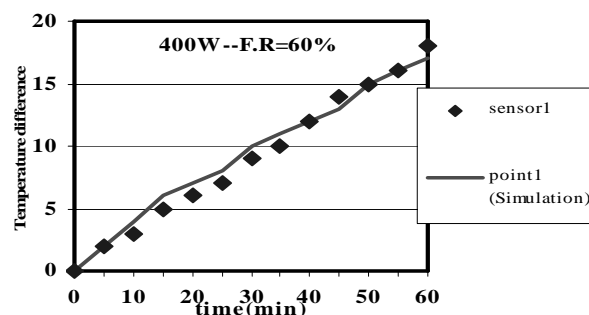
اکنون نتایج شبیه سازی با داده های تجربی که از پیش بدست آمده‌اند، مقایسه و نتایج کلی در هر دو حالت مورد بررسی قرار میگیرد.

۶-۱. یکنواختی دما در داخل راکتور

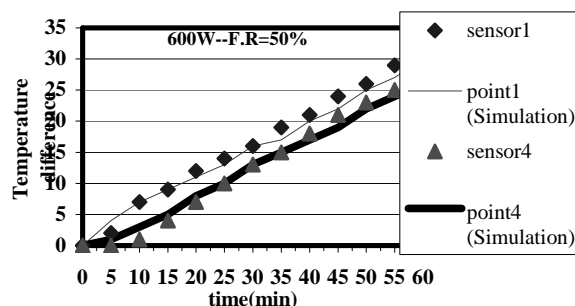
در این حالت در شکل های ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳ نمودارهای اختلاف دما بر حسب زمان در توان ها و F.Rهای متفاوت، برای نقاط داخل راکتور در دو حالت تجربی و شبیه سازی رسم می شود:



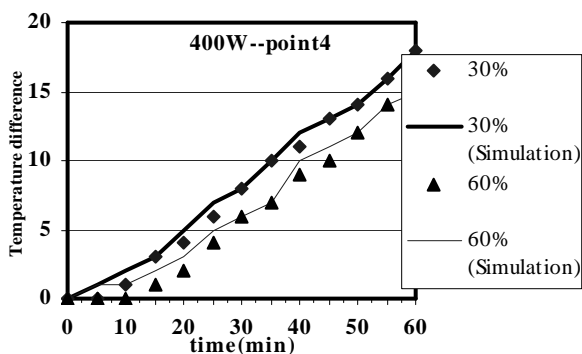
شکل ۲۰. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقطه شماره ۱ در توان ۴۰۰ وات و نسبت پرشدن ۶۰٪ در دو حالت تجربی و شبیه سازی



شکل ۲۱. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقطه شماره ۲ در توان ۱۰۰۰ وات و نسبت پرشدن ۵۰٪ در دو حالت تجربی و شبیه سازی



شکل ۲۲. اختلاف دما بر حسب زمان برای نقطه شماره ۴ در توان ۶۰۰ وات و نسبت پرشدن ۵۰٪ در دو حالت تجربی و شبیه سازی



شکل ۲۹. اختلاف دما برحسب 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 ترموسیفون ها برای کنترل دمای راکتور Batch شبیه سازی گردیده است و نتایج ذیل بدست آمده اند:

۱- در مورد شبیه سازی فرآیند می توان نتیجه گرفت که در توان ورودی و نسبت پرشدن (F.R) ثابت، با افزایش زمان، دمای نقاط مختلف، بتدریج افزایش می یابد.

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

$$\{7.6, 4\} < \{8.3, 2\} < \{5.1\}$$

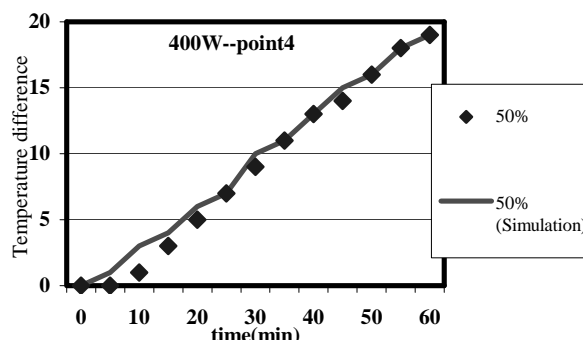
۳- در مورد شبیه سازی فرآیند، در زمان های معین، دمای تمامی نقاط در بازه کوچکی قرار دارد و این نشان دهنده یکنواختی دما در داخل راکتور می باشد، همچنین اختلاف دما بین نقاط مختلف راکتور شبیه سازی شده، در دماهای بالاتر کاهش می یابد و همدمای در داخل راکتور بهتر می گردد.

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

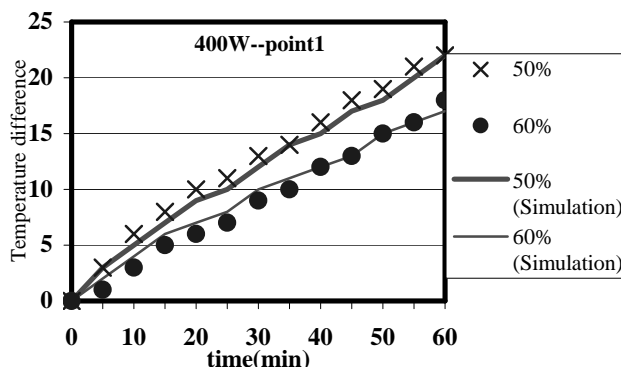
۵- از نتایج حاصل از شبیه سازی، می توان برای یک نقطه مشخص و توان ثابت، با توجه به میزان افزایش دما در طول زمان، بهترین F.R را انتخاب نمود. بهینه ترین F.R ۵۰٪ می باشد، زیرا برای توان ها و نقاط مختلف، بالاترین دما را نشان می دهد.

۳-۶. بررسی اثر تغییر F.R بر روی دمای داخل راکتور

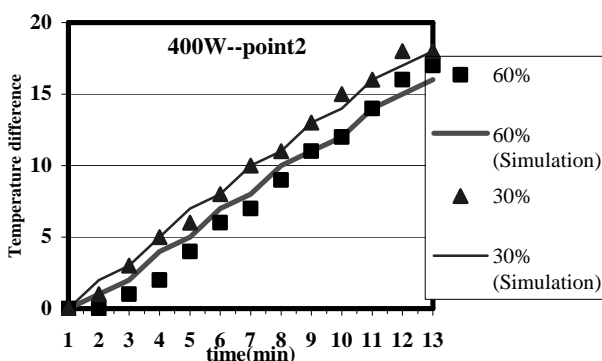
در این حالت نمودارهای اختلاف دما بر حسب زمان در شماره نقاط و توان ثابت، برای F.R های متفاوت در دو حالت تجربی و شبیه سازی در شکل های ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ رسم شده است:



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



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



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

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, pp. 127–133, 2005.
- [5] Sauciuc, I., Akbarzadeh, A., Johnson, P., *Characteristics of Two-Phase Closed Thermosyphons for Medium Temperature Heat Recovery Applications*, Heat Recovery Systems and CHP Vol. 15, No. 7, pp. 631–640, 1995.
- [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., pp. 172 – 175, May 1966.