

مدلسازی رفتار حرارتی یک نانک عمودی ذخیره انرژی خورشیدی با مبدل جداره ای در شرایط بارگذاری

رضا شمس آبادی

کارشناس ارشد - دانشگاه یزد
shamsa.reza@gmail.com

علی اکبر دهقان

دانشیار - دانشگاه یزد
adehghan@yazduni.ac.ir

جواد ابوالفضل اصفهانی

دانشیار - دانشگاه فردوسی مشهد
abolfazl@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

لایه بندی حرارتی و رفتار گذرای جریان در یک مخزن ذخیره استوانه ای عمودی یک کلکتور خورشیدی همراه با مبدل جداره ای در حالت بارگذاری (no flow) بصورت شبیه سازی عددی سه بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. برای اعتبار سنجی مدل، نتایج بدست آمده ابتدا با نتایج تجربی مطالعه قبلی [۱] مورد مقایسه قرار گرفته است. سپس تاثیر جنس نانک ذخیره، تغییر عمق مبدل و محل قرارگیری آن در اطراف نانک، روی عملکرد حرارتی مخزن و چگونگی جریان در داخل نانک و مبدل جداره ای با ارائه نتایج بصورت خطوط همدم و خطوط جریان مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی نتایج نشان می دهد در حالتی که مبدل در میانه ارتفاع نانک قرار دارد، کارایی حرارتی بهتری ارائه می شود. همچنین افزایش ثابت حرارتی دیواره بین مبدل و نانک موجب ارتقا نرخ انتقال حرارت از سیال مبدل به آب نانک و در نتیجه بهبود لایه بندی حرارتی می شود. همچنین کاهش عمق مبدل جداره ای نیز باعث ارتقاء لایه بندی حرارتی داخل نانک ذخیره می شود.

کلمات کلیدی: آبگرمکن خورشیدی - مخزن ذخیره - لایه بندی حرارتی - مبدل جداره ای^۱.

مقدمه

سیستم های آبگرمکن خورشیدی خانگی ترموسیفونی از جمله سیستم هایی است که برای جذب انرژی خورشید در روز و ذخیره سازی و استفاده از آن در ساعات مورد نیاز غالباً مورد استفاده قرار می گیرد. برای رفع نیاز به پمپ، کلکتورها باید در سطح پایین تر از مخزن قرار گیرند تا یک حلقه جابجایی طبیعی بین کلکتور و مخزن بوجود آید. بطور کلی سیستم های آبگرمکن خورشیدی خانگی از دو نوع مخزن استوانه ای افقی و یا عمودی استفاده می کنند. عقیف حسن (۱۹۹۷) یک آبگرمکن خورشیدی ترموسیفون را با استفاده از TRANSYS شبیه سازی کرد و اثر حجم مخزن در بازدهی آن را مورد مطالعه قرار داد. او نشان داد با افزایش حجم مخزن و در نتیجه کاهش اتلاف حرارت به محیط، دمای متوسط آب ذخیره و بازده سیستم افزایش می یابد. بررسی های او بر روی دو نوع مخزن افقی و عمودی نشان داد عملکرد مخزن عمودی اندکی بهتر از نوع افقی می باشد.

در مخزن ذخیره هنگامی که آب سرد ورودی با آب ذخیره شده در مخزن مخلوط می شود، دمای خروجی از سیستم کاهش می یابد و مقدار مفید انرژی جمع آوری شده کم می شود. لذا وجود اختلاط در مخزن ذخیره موجب کاهش بازده خواهد شد. اثر نامطلوب اختلاط به حداقل خواهد رسید

اگر بتوان لایه بندی حرارتی پایداری در نانک ذخیره برقرار و حفظ کرد. شبیه سازی های تحلیلی متعددی از تاثیر لایه بندی گرمایی بر عملکرد نانک ذخیره بوسیله تعدادی از محققین انجام شده است [۳-۵]. این مطالعات نشان دادند لایه بندی پایدار، عملکرد سیستم های خورشیدی را بهبود می بخشد.

فوربو (۱۹۹۳) نشان داد مبدل جداره ای بدلیل داشتن سطح انتقال حرارت بیشتر و توزیع مناسب جریان ورودی از کلکتور، دارای بیشترین کارایی و صرفه اقتصادی می باشد.

برای افزایش عملکرد حرارتی سیستم آبگرمکن خورشیدی لازم است که طراحی نانک و مبدل جداره ای بهینه شود. به این منظور باید لایه بندی حرارتی در نانک را بررسی کرد. مطالعات ون کوپن و همکاران (۱۹۷۹)، فوربو و میکلسون (۱۹۸۷) و هلاندر (۱۹۸۸) نشان دادند که لایه بندی حرارتی در نانک اثر مستقیمی روی عملکرد سیستم آبگرمکن خورشیدی دارد. شاه (۱۹۹۹) بصورت عددی و آزمایشگاهی رفتار جریان و انتقال حرارت در نانک و مبدل جداره ای عمودی را در حالتی که ورودی مبدل بالای آن قرار داشته باشد، بررسی کرد. برای دمای بالای ورودی به مبدل بخاطر وجود جریان رو به بالای حاصل از شناوری، یک رسیر کولاسیون^۲ در یک پنجم بالایی نانک بوجود می آید. برای دمای پایین ورودی، جریان پس از ورود بلافاصله پایین می رود. این جریان یک ناحیه بزرگ رسیر کولاسیون در دو سوم میانی مبدل ایجاد می کند.

نودسن و فوربو (۲۰۰۰) با استفاده از یک مدل عددی، با قرارگیری ورودی آب کلکتور به مبدل در بالا و با جابجایی آن به انتهای یک چهارم بالایی مبدل، لایه بندی حرارتی داخل مبدل جداره ای را بررسی کردند. در حالتی که محل ورودی مبدل در بالا قرار گرفته است، دمای بالای آب ورودی به مبدل لایه بندی حرارتی را بهبود می بخشد. دمای پایین آب ورودی، یک ناحیه بزرگ رسیر کولاسیون داخل مبدل ایجاد می کند که باعث تخریب سریع لایه بندی حرارتی داخل نانک می شود، در حالی که با دمای ورودی پایین و قرارگیری محل ورودی مبدل در انتهای یک چهارم بالایی، لایه بندی حرارتی به آرامی کاهش می یابد.

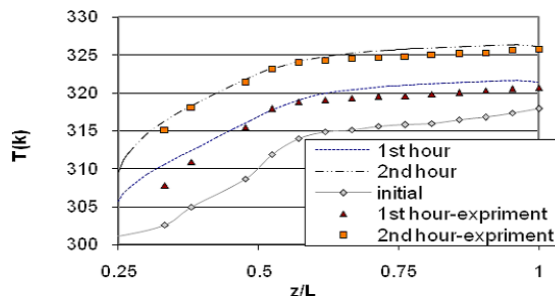
نودسن و همکاران (۲۰۰۴) رفتار جریان و انتقال حرارت داخل نانک و مبدل جداره ای همراه با قرارگیری پایین تر ورودی مبدل، بصورت عددی و آزمایشگاهی بررسی کردند. آنها نشان دادند انتقال حرارت بین سیال گرم مبدل و آب داخل مخزن، در اثر جابجایی آزاد یک جریان رو به بالا در مجاورت دیوار مخزن ذخیره ایجاد می کند. همچنین در وسط نانک یک جریان بسیار آرام رو به پایین ایجاد می شود.

سطوحی که با محیط تبادل حرارت دارند، جایجایی اجباری در نظر گرفته شده است. دما و دبی ورودی مبدل جداره ای مطابق با مقادیر اندازه گیری شده در مطالعه تجربی [۱] که در جدول ۲ آورده شده، تنظیم شده است. با توجه به اینکه دبی و دمای جریان خروجی کلکتور در مطالعه تجربی با زمان متغیر بوده است، از میانگین های ساعتی اندازه گیری شده برای دبی و دمای ورودی مبدل در مدلسازی بهره گرفته شده است.

جدول ۲. دما و دبی ورودی مبدل جداره ای استوانه ای عمودی استفاده شده در شبیه سازی عددی.

	$m_{in}(kg/s)$	$T_{in}(K)$
initial	0.01118	337.5
1st hour	0.0118	342.7

شکل ۲ توزیع درجه حرارت در راستای قائم روی خط مرکزی تانک را برای شرایط اولیه بار گذاری و همچنین در ساعت اول و دوم بعد از بارگذاری حرارتی نمایش می دهد. در این شکل نتایج تجربی نیز جهت مقایسه ارائه شده است. ملاحظه می شود که نتایج حاصل شده از مدلسازی حاضر توافق خوبی را با نتایج تجربی نشان می دهد.



شکل ۲: توزیع درجه حرارت در راستای قائم مرکزی مخزن ذخیره.

شکل ۳ میدان درجه حرارت و خطوط همدم را در مقطع عمودی تانک به انضمام مبدل جداره ای در پایان ساعت دوم شبیه سازی نمایش می دهد. تقویت لایه بندی حرارتی و پایداری لایه بندی نسبت به زمان در این شکل مشاهده می شود. داخل تانک در قسمت بالایی دیواره مبدل، از سیال با دمای یکنواخت بالا پر شده در حالی که در قسمت پایینی تانک، سیال سرد تقریباً ساکن وجود دارد. تراکم خطوط دما در قسمت میانی تشکیل ترموکلاین^۱ و توسعه لایه بندی پایدار را نشان می دهد.

در شکل ۴ (الف) میدان مولفه قائم سرعت در مخزن ذخیره و مبدل جداره ای و در شکل ۴ (ب) خطوط جریان در صفحه تقارن مخزن ذخیره ارائه شده است. در شکل ۴ (الف) تشکیل لایه مرزی حرارتی در سطح مشترک مخزن ذخیره و مبدل جداره ای، توده ای از آب را در اثر نیروی شناوری به سمت بالا هدایت می کند. این توده در نزدیکی دیواره به صورت عمودی بالا رفته و پس از برخورد با سطح پالائی تانک که با محیط در تماس است، کاهش دما پیدا کرده به سمت محور مرکزی تانک حرکت کرده و پایین می آید. در شکل ۴ (ب) مشاهده می شود که این توده از محور مرکزی تانک به سمت انتهای دیواره مشترک تانک و مبدل سقوط می کند. محل شروع جایجایی

در تحقیقاتی که روی آبگرمکن خورشیدی با مخزن ذخیره استوانه ای عمودی همراه با مبدل جداره ای صورت گرفته است، غالباً به جزئیات جریان و انتقال حرارت در داخل مبدل جداره ای پرداخته شده است و کمتر به چگونگی میدان جریان و میدان دما در داخل تانک ذخیره و چگونگی توسعه و یا تخریب لایه بندی حرارتی پرداخته شده است. همچنین اثرات محل قرارگیری مبدل در پیرامون تانک و تغییر عمق مبدل بر روی پارامتر های جریان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر به منظور پوشش موضوعات مورد اشاره، رفتار گذرای یک تانک ذخیره استوانه ای عمودی با مبدل جداره ای بررسی شده است و تاثیر جنس و ضخامت دیواره مخزن ذخیره و تغییر عمق مبدل، همچنین تغییر محل قرارگیری مبدل جداره ای روی تشکیل و یا تخریب لایه بندی حرارتی و چگونگی جزئیات جریان در داخل تانک و مبدل جداره ای، مورد مطالعه قرار گرفته است.

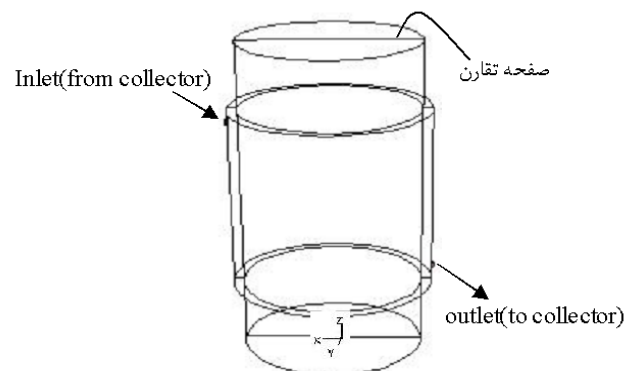
مدلسازی و بررسی نتایج

جهت اعتبار سنجی مدل موجود، ابتدا تانک مورد مطالعه با یک توزیع درجه حرارت بدست آمده از نتایج مطالعه تجربی قبلی [۱]، بارگذاری شده و رفتار گذرای تانک، مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج تجربی مورد استفاده مربوط به آبگرمکن خورشیدی با مخزن ذخیره استوانه ای عمودی همراه با مبدل جداره ای در ۱۸ شهریور ماه شهر یزد می باشد. مشخصات کلی تانک ذخیره مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

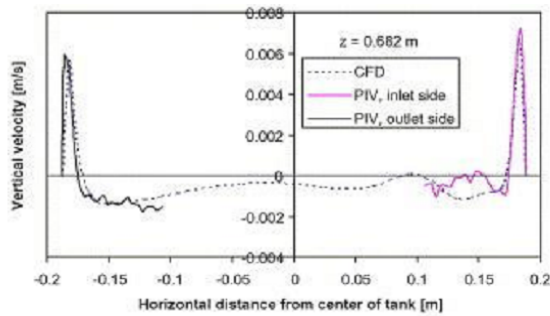
جدول ۱. خواص مخزن ذخیره و مبدل جداره ای استوانه ای عمودی [۱]

240 lit	حجم مخزن ذخیره
21.1 lit	حجم مبدل جداره ای
1.05m	ارتفاع مخزن ذخیره
0.6m	ارتفاع مبدل جداره ای
0.003m	ضخامت دیواره ها
0.02m	عمق مبدل جداره ای
steel	جنس

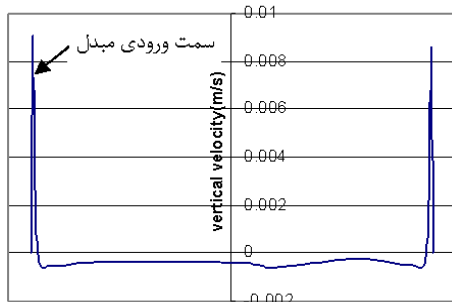
شکل ۱ طرحواره هندسه مورد استفاده جهت شبیه سازی عددی را نشان می دهد. در بالا سمت چپ ورودی مبدل و در پایین سمت راست خروجی آن قرار دارد. با فرض تقارن روی صفحه میانی تانک و مبدل، نیمی از هندسه نشان داده شده مورد مطالعه قرار گرفته است. در شکل ۱ در قسمت میانی، مخزن ذخیره، و در پیرامون آن مبدل جداره ای مشاهده می شود. همچنین در تمام



شکل ۱: هندسه تانک و مبدل جداره ای مورد مطالعه.



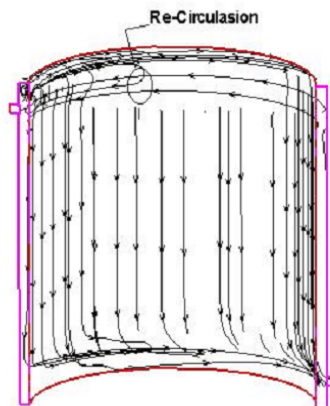
شکل ۵: نمودار سرعت عمودی روی خط افقی در ارتفاع تانک ارائه شده در [۱۲].



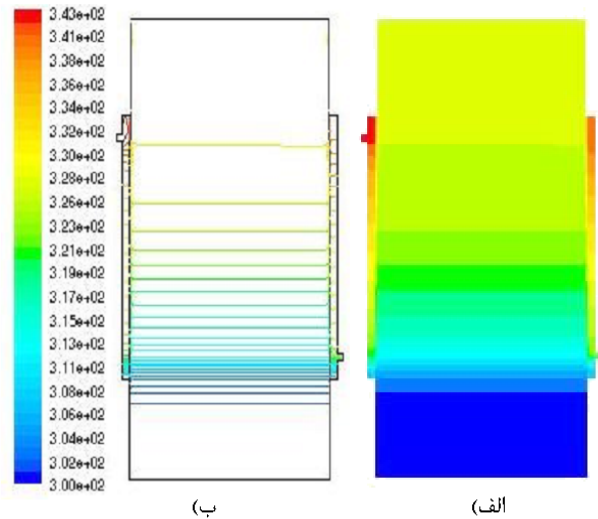
شکل ۶: نمودار سرعت عمودی روی خط افقی در ارتفاع تانک.

مقابل است. شکل ۶ پروفیل قائم سرعت در ارتفاع تانک مورد استفاده در تحقیق حاضر را نشان می دهد. عدم تقارن یکسانی در مقایسه دو شکل دیده می شود.

سیال داخل کلکتور از ورودی مبدل در سمت چپ وارد می شود و پس از تبادل حرارت با آب داخل تانک سرد شده به سمت خروجی مبدل حرکت می کند (شکل ۱). در شکل ۷ خطوط جریان داخل مبدل نشان داده شده است. مشاهده می شود طرح کلی جریان به این گونه است که سیال پس از ورود مسیری را در اثر مولفه افقی سرعت می پیماید و سپس سقوط می کند. جزئیات جریان نشان می دهد که دمای بالای سیال و قابل توجه بودن نیروی شناوری، باعث می شود که سیال قبل از سقوط یک رسیرکولاسیون در قسمت بالایی مبدل انجام دهد تا زمانی که افت دما پیدا کرده و به سمت خروجی مبدل سقوط کند. وجود و تقویت رسیرکولاسیون در ناحیه فوقانی مبدل موجب افزایش ماندگاری سیال در این بخش و در نتیجه افزایش نرخ

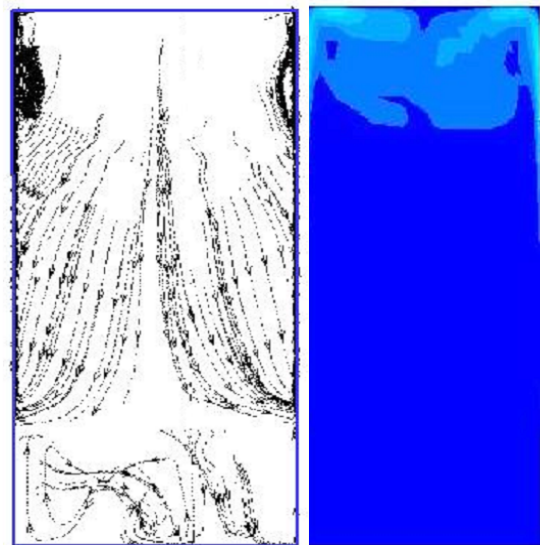


شکل ۷: خطوط جریان داخل مبدل جداره ای.



شکل ۳: الف) میدان درجه حرارت [K] و ب) خطوط همدمای در مخزن ذخیره و همچنین مبدل جداره ای در صفحه تقارن در پایان ساعت دوم

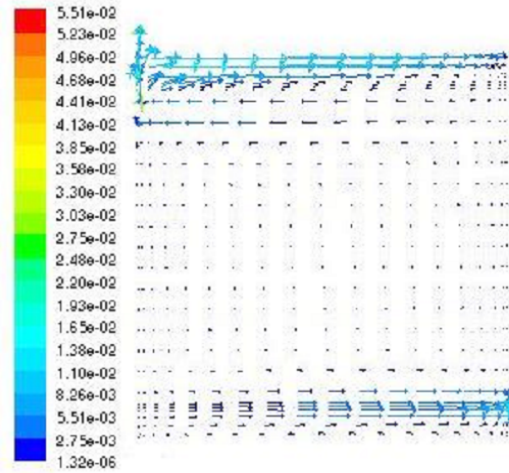
آزاد تقریباً از پایین ترین نقطه دیواره مشترک تانک و مبدل است. در هر دو شکل ۴ اندکی عدم تقارن بین متغیرهای میدان در سمت چپ و راست مشاهده می شود. دلیل این مطلب این است که ورودی جریان مبدل در سمت چپ قرار گرفته و در نتیجه سیال داخل تانک در سمت ورودی مبدل، در معرض دمای بیشتری قرار داشته و لذا سرعتهای القا شده ناشی از نیروی شناوری در سمت چپ بیشتر است. این مطلب باعث عدم تقارن در سمت چپ می شود که تراکم خطوط جریان در سمت چپ مویید این مطلب است.



شکل ۴: الف) میدان سرعت عمودی ب) خطوط جریان روی صفحه تقارن تانک ذخیره.

همین عدم تقارن در میدان جریان داخل مخزن ذخیره در مطالعه تجربی و عددی نودسن و همکاران (۲۰۰۴) نیز مشاهده شده است. در شکل ۵ پروفیل قائم سرعت بدست آمده در مطالعه نودسن و همکاران در ارتفاع تانک ارائه شده است. توزیع سرعت در نزدیکی دیواره های سمت راست و چپ تانک، عدم تقارن مورد اشاره را نشان می دهد. با مراجعه به شکل ۵ مشاهده می شود که مولفه سرعت عمودی در سمت ورودی مبدل اندکی بیشتر از سمت

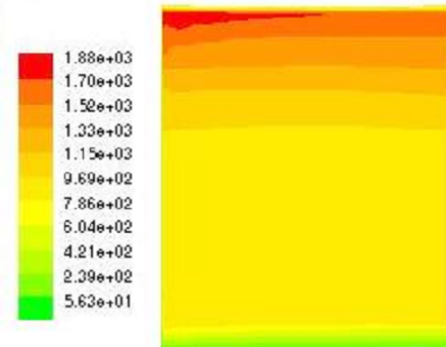
تبادل حرارت بین مبدل و تانک و تقویت لایه بندی حرارتی داخل تانک خواهد شد.



شکل ۸: بردارهای سرعت روی صفحه میانی مبدل جداره ای در مقطع عمودی [m/s]

در شکل ۸ بردارهای سرعت روی صفحه میانی مبدل نشان داده شده است. در این شکل رسیرکولاسیون به خوبی در یک چهارم بالایی مبدل قابل مشاهده است. همچنین ملاحظه می شود که سیال داخل مبدل پس از رسیرکولاسیون به آرامی سقوط کرده و در ناحیه تحتانی به سمت دهانه خروجی شتاب می گیرد.

شکل ۹ کانتورهای شار حرارتی را روی سطح داخلی مبدل را نشان می دهد. پس از ورود سیال کلکتور به مبدل، بیشترین نرخ انتقال حرارت در قسمت بالایی ورودی مبدل اتفاق می افتد. سیال گرم به علت دارا بودن دمای بالاتر، در اثر نیروی شناوری به حلقه بالایی مبدل صعود کرده و بیشترین انتقال حرارت در همین قسمت اتفاق می افتد. با دور شدن از ورودی مبدل و نزدیک شدن به سمت مقابل (سمت راست) و یا پایین دیواره، انتقال حرارت کاهش می یابد زیرا اختلاف دمای سیال داخل مبدل با دمای آب متناظر داخل تانک، کاهش می یابد. همچنین ملاحظه می شود که با دور شدن از ورودی مبدل، نرخ انتقال حرارت به صورت یکنواخت کاهش می یابد.



شکل ۹: کانتورهای شار حرارتی روی دیواره مشترک تانک با مبدل یک ساعت پس از بارگذاری [W/m²].

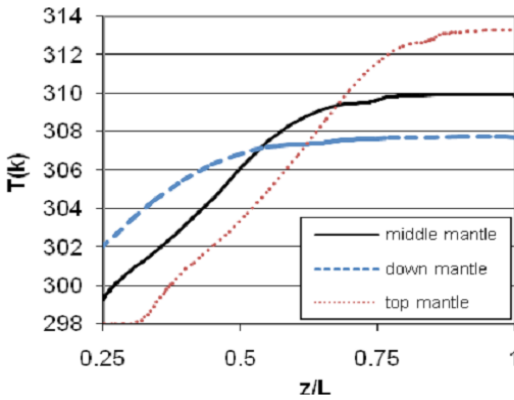
بررسی اثر جایجایی مبدل جداره ای روی دیواره تانک ذخیره:

در مبحث قبل، مبدل در وسط تانک قرار گرفته بود. در این بخش اثر قرارگیری مبدل در موقعیتی بالاتر و پایین تر نیز بررسی می شود. باید طراحی مبدل جداره ای و مخزن ذخیره به گونه ای باشد که با شروع مصرف، آب با کیفیت

مناسب برای مصرف موجود باشد. کیفیت مناسب به این معنا که حجم مناسبی آب با دمای بالا در اختیار مصرف کننده قرار داشته باشد.

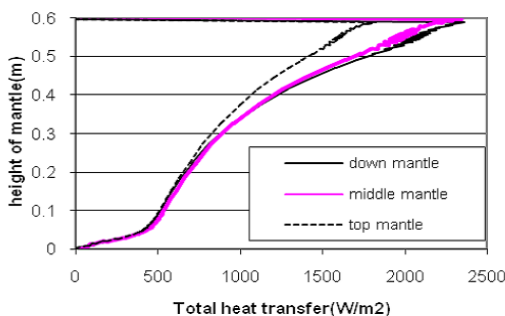
به منظور مدل سازی جهت بررسی این مطلب، دبی و دمای آب ورودی بترتیب برابر 0.006 kg/s و 350K و دمای اولیه تانک و مبدل 298K در نظر گرفته شده است. شکل ۱۱ برای سه موقعیت قرارگیری مبدل روی دیواره تانک ذخیره، نمودار دما روی محور مرکزی تانک با گذشت یک ساعت از بارگذاری را نشان می دهد. مشاهده می شود که قرارگیری مبدل در بالای تانک، آب با دمای بیشتری را در یک چهارم بالایی تانک، که برای مصرف حجم کمی است، آماده می کند اما با دور شدن از یک چهارم بالایی تانک، دمای آب با شیب زیادی کاهش می یابد که موجب می شود با ادامه مصرف، دمای آبی که به مصرف می رسد پایین تر از دمایی باشد که قرارگیری مبدل در دو حالت دیگر بدست می دهد.

با بررسی نمودارهای رسم شده در شکل ۱۱ مشاهده می شود که قرارگیری مبدل در وسط و پایین دیواره تانک، تغییرات دمای کمی را از میانه ارتفاع تانک تا بالا ایجاد می کند. در این بازه ارتفاع، قرارگیری مبدل در وسط، باعث ایجاد دمای بالاتری می شود. در واقع می توان گفت این دو موقعیت

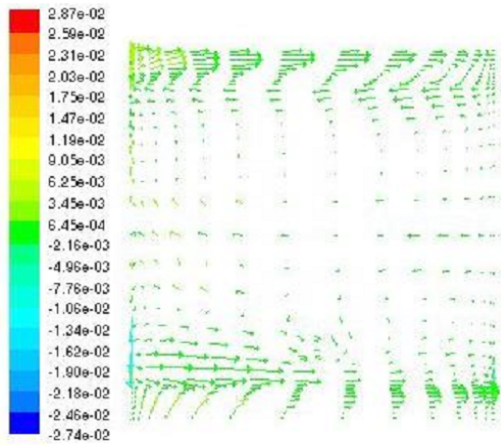


شکل ۱۱: نمودار دما روی محور مرکزی تانک با گذشت یک ساعت از بارگذاری برای حالات مبدل وسط، مبدل پایین و مبدل بالا.

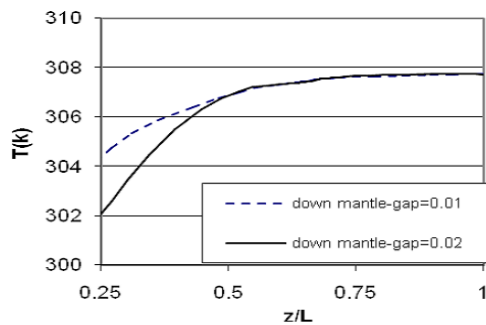
قرارگیری مبدل، آب با کیفیت بالاتری را برای مصرف تولید می کند. با قرارگیری مبدل در پایین، آبی که در نیمه انتهایی تانک ذخیره قرار دارد، نسبت به دو حالت دیگر قرارگیری مبدل، افزایش درجه حرارت بیشتری می یابد و اختلاط نیز بیشتر است که مطلوب نیست زیرا خروجی آب تانک در بالا قرار دارد و افزایش دمای نیمه بالایی تانک از اهمیت بالایی برخوردار است و طراحی آبگرمکن خورشیدی باید به گونه ای باشد که این حجم از آب تانک افزایش دمای بیشتری یابد.



شکل ۱۲: نمودار میانگین انتقال حرارت روی دیواره مشترک تانک با مبدل یک ساعت پس از بارگذاری برای سه موقعیت قرارگیری مبدل.



شکل ۱۴: بردارهای سرعت [m/s] روی صفحه میانی مبدل جداره ای در مقطع عمودی برای عمق مبدل 0.03m.



شکل ۱۵: نمودار دما روی محور مرکزی تانک با گذشت یک ساعت از بارگذاری برای حالت مبدل پایین برای عمق مبدل 0.01m و 0.02m.

رسیرکولاسیون در دوسوم میانی مبدل را نشان می دهد [۱۰-۱۱]. برای بررسی تاثیر عمق مبدل 0.01m، مدلسازی در حالت مبدل پایین انجام شده است. شکل ۱۵ نمودار پروفیل دما روی محور مرکزی تانک، برای حالت مبدل پایین با دو عمق مبدل 0.01m و 0.02m نشان می دهد. مشاهده می شود نمودارهای دما در نیمه بالایی تانک تقریباً روی هم قرار گرفته اند اما در نیمه پایینی تانک، حالت مبدل با عمق 0.01m درجه حرارت بیشتری را کسب کرده است که نسبت به حالت عمق مبدل 0.02m برتری دارد.

تغییر جنس مبدل جداره ای:

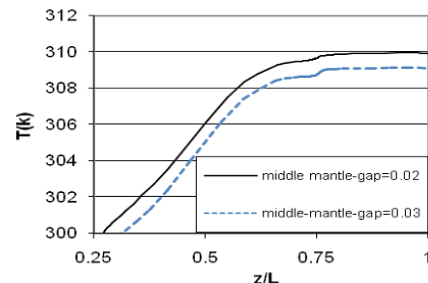
در تحقیق تجربی دهقان و همکاران (۲۰۰۵)، در تماس بودن دیواره داخلی تانک با آب مصرفی، با گذشت زمان باعث نشست رسوبات روی آن می شود. این امر باعث افزایش مقاومت حرارتی دیواره فولادی بین تانک و مبدل می شود. برای مدل کردن افزایش مقاومت حرارتی دیواره، ضریب هدایت حرارتی دیواره از $k=16 \text{ W/K.m}^2$ به $k=0.7 \text{ W/K.m}^2$ کاهش داده شده است. در مدلسازی در این قسمت دبی و دمای آب ورودی بترتیب برابر 0.006 kg/s و 325K و دمای اولیه تانک و مبدل 298K در نظر گرفته شده است. شکل ۱۶ نمودار دما روی خط مرکزی تانک برای دو ضریب هدایت حرارتی مذکور و شرایط ورودی و اولیه فوق الذکر را نشان می دهد. مشاهده می شود دیواره مشترک بین مبدل و تانک با ضریب هدایت حرارتی $k=16 \text{ W/K.m}^2$ پروفیل دمای بسیار مناسب تری دارد و در ۰/۴ بالایی تانک آب با درجه حرارت بالاتری را آماده می کند. واضح است که جنس دیواره تانک اثر مستقیمی روی بهبود لایه بندی حرارتی و کارایی سیستم دارد و باید از رسوب گرفتگی دیواره تانک جلوگیری کرد.

شکل ۱۲ نمودار میانگین انتقال حرارت صورت گرفته برحسب ارتفاع روی دیواره مشترک تانک با مبدل را نشان می دهد. مشاهده می شود که قرارگیری مبدل در وسط و موقعیتی پایین تر موجب افزایش نرخ تبادل حرارت بین مبدل و تانک ذخیره نسبت به حالتی که مبدل در موقعیتی بالاتر قرار داشته باشد، می شود. در حالت مبدل بالا، دیواره تانک مجاور ورودی مبدل، با آب با درجه حرارت بالاتری در تماس است (شکل ۱۱)، در نتیجه اختلاف درجه حرارت بین سیال داخل مبدل و آب داخل تانک در یک ارتفاع معین، کمتر از دو حالت دیگر قرارگیری مبدل است. به همین دلیل در نیمه بالایی دیواره مبدل، اختلاف در نرخ تبادل حرارت بیشتر می شود. با بررسی نمودارهای شکل ۱۲ در دو حالت مبدل وسط و مبدل پایین، ملاحظه می شود که نرخ تبادل حرارت با قرارگیری مبدل در وسط اندکی کمتر از نرخ تبادل حرارت حالت مبدل پایین است.

با توجه به نکات ذکر شده در بالا و بدلیل اهمیتی که کیفیت آب مصرفی و پروفیل دما در ارتفاع تانک دارد می توان نتیجه گرفت که قرارگیری مبدل در وسط دیواره تانک به واسطه ایجاد پروفیل دمای مناسب و تولید آب با کیفیت بالا، کارایی بهتری را ارائه می دهد.

بررسی تغییر عمق مبدل جداره ای:

در این قسمت تاثیر افزایش و کاهش عمق مبدل یا به عبارت دیگر قطر مبدل جداره ای بررسی می شود. تا اینجا در مدلسازی، عمق مبدل جداره ای براساس جدول ۱ برابر 0.02m در نظر گرفته شده بود. در این بخش علاوه بر عمق مبدل 0.02m، برای دو عمق مبدل 0.01m و 0.03m و دبی و دمای آب ورودی بترتیب برابر 0.006 kg/s و 350K و دمای اولیه تانک و مبدل 298K، مدلسازی انجام گرفته و نتایج حاصله مورد بررسی قرار گرفته است. برای زمانی که مبدل در وسط تانک قرار دارد، تغییر عمق مبدل به 0.03m انجام شد. در شکل ۱۳ نمودار دما روی محور مرکزی تانک برای دو عمق مبدل 0.02m و 0.03m نشان داده شده است. ملاحظه می شود که نمودار دمای حالتی که عمق مبدل برابر 0.03m است در تمام نقاط، زیر منحنی عمق مبدل 0.02m قرار دارد. کاملاً واضح است با شرایط یکسان، که مبدل با عمق 0.02cm کارایی بهتری را نسبت به مبدل با عمق 0.03m ارائه می دهد.



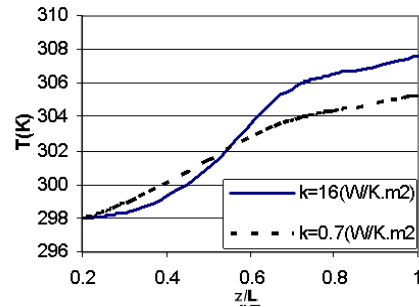
شکل ۱۳: نمودار دما روی محور مرکزی تانک با گذشت یک ساعت از بارگذاری برای حالت مبدل وسط برای عمق مبدل 0.02m و 0.03m.

شکل ۱۴ بردارهای سرعت روی صفحه میانی مبدل را برای عمق مبدل 0.03m یک ساعت پس از بارگذاری نشان می دهد. در شکل ۱۴ در مقایسه با شکل ۸، بدلیل افزایش قطر مبدل و سقوط قسمتی از جریان بلافاصله پس از ورود، یک رسیرکولاسیون در دوسوم میانی مبدل مشاهده می شود. این رسیرکولاسیون موجب تخریب لایه بندی حرارتی داخل مبدل جداره ای و به تبع آن تخریب لایه بندی حرارتی داخل تانک ذخیره می شود و همانطور که شرح داده شد، کارایی سیستم را کاهش می دهد. مطالعات دیگری هم بدون افزایش عمق مبدل بلکه با کاهش دمای ورودی از کلکتور به مبدل نیز یک

در تماس بودن با آب مصرفی، با گذشت زمان رسوب می نشیند که باعث افزایش مقاومت حرارتی دیواره تانک ذخیره می شود. این افزایش مقاومت با کاهش ثابت حرارتی دیواره فولادی تانک مدل شده است. کاهش ثابت حرارتی دیواره تانک، نرخ تبادل حرارت بین مبدل و تانک را کاهش داده و لایه بندی حرارتی داخل تانک را تضعیف می کند.

مراجع

1. Dehghan A. A., Hosni, M.H., Shiryazdi S.H., "Experimental Evaluation of The Thermal Behavior of a Vertical Solar Tank Using Energy and Exergy Analysis.", Proceedings of IMECE2005, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, November 5-11, 2005, Orlando, Florida USA.
2. Hassan, A., "Thermosiphon Solar Water Heaters: Effect of Storage Tank Volume and Configuration on Efficiency.", Energy Convers, Mgmt 38, No. 9, PP. 847-854, 1997.
3. Gutierrez, G., Hincapie, F., Duffie, J. A., and Bechman, W. A., "Simulation of Forced Circulation Water Heaters; Effects of Auxiliary Energy Supply, Load, Type and Storage Capacity.", Solar Energy 15, P287, 1974.
4. Sheridan, N. R., Bullock, K. J., and Duffie J. A., "Study of Solar Processes by Analog Computer.", Solar Energy 11, P69, 1976.
5. Ismail, k. A. R., Leal, J. F. B., Zanardi, M. A., "Models of Liquid Storage Tanks.", Energy 22, No. 8, PP. 805-815, 1997.
6. Furb, S, "Optom design of small DHW low flow solar heating systems.", in: Proceedings of ISES Solar World Congress, Budapest, Hungary, 1993.
7. Van Koppen, C. W. J., Thomas, J.P.S, Veltkamp, W. B., "The actual benefits of thermally stratified storage in a small and medium size solar system.", in: Proceeding of ISES Solar World Congress, Atlanta, USA, pp. 579-580, 1979.
8. Furbo, S, Mikkelsen, S. E., "Is low-flow operation an advantage for solar heating system?" in: Proceedings of ISES Solar World Congress, Humburg, vol. 1, pp. 962-966, 1987.
9. Hollands, K. G. T., "Recent development in low-fow, stratified tank solar water heating system." in: Proceeding North Sun, Borlange, Sweden, 1988.
10. Shah, L.J., "Investigation and modeling of thermal conditions in low SDHW systems.", PhD Thesis, Department of Buildings and Energy, Technical University of Denmark, Report R-034, 1999.
11. Knudsen, S., Furbo, S., "Thermal stratification in vertical mantle tanks.", in: Proceedings, ANZSES Solar Harvest Conference, 27-29 November, Newcastle, Australia, 2002.
12. Knudsen, S, Morison, G.L , Behnia, M, Furbo, S, "Analysis of the flow structure and heat transfer in a vertical mantle heat exchanger.", Solar Energy Solar Energy 78, pp. 281-289, 2004.



شکل ۱۶: نمودار دما روی محور مرکزی تانک با گذشت یک ساعت از بارگذاری با دمای ورودی مبدل 325k و برای دو جنس مختلف دیواره.

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق مدل سازی عددی در یک سیستم ذخیره انرژی خورشیدی شامل یک تانک و مبدل جداره ای انجام شده است. جریان آب گرم کلکتور از دهانه ورودی مبدل وارد شده و پس از تبادل انرژی با آب داخل تانک ذخیره، از دهانه خروجی مبدل خارج می شود. انتقال حرارت از سیال با درجه حرارت بالای داخل مبدل به آب داخل تانک ذخیره، باعث ایجاد یک جریان رو به بالا در مجاورت دیواره تانک بخاطر وجود جابجایی آزاد می شود. این جریان در نزدیکی دیواره به صورت عمودی بالا رفته و پس از برخورد با سطح بالائی تانک که با محیط در تماس است، کاهش دما پیدا کرده به سمت محور مرکزی تانک حرکت کرده و پایین می آید که یک جریان بسیار آرام رو به پایین در میانه تانک را ایجاد می کند.

در مبدل مشاهده می شود طرح کلی جریان به این گونه است که سیال پس از ورود مسیری را در اثر مولفه افقی سرعت می پیماید و سپس سقوط می کند. دمای بالای سیال و قابل توجه بودن نیروی شناوری، باعث می شود که سیال قبل از سقوط یک رسیر کولاسیون در قسمت بالائی مبدل انجام دهد تا زمانی که افت دما پیدا کرده و به سمت خروجی مبدل سقوط کند. رسیر کولاسیون در قسمت بالائی مبدل باعث ماندگاری بیشتر سیال گرم در این بخش و در نتیجه افزایش نرخ تبادل حرارت بین مبدل و تانک و تقویت لایه بندی حرارتی داخل تانک خواهد شد.

افزایش عمق مبدل جداره های از 2cm به 3cm لایه بندی حرارتی داخل تانک را تضعیف می کند. همچنین یک ناحیه بزرگ رسیر کولاسیون در دوسوم میانی مبدل ایجاد می شود که لایه بندی حرارتی مبدل جداره ای را تخریب می کند. کاهش عمق مبدل جداره ای به 1cm باعث بهبود لایه بندی حرارتی داخل تانک شده و انتقال حرارت بیشتری نیز به آب داخل تانک صورت می گیرد.

جابجایی مبدل روی دیواره تانک ذخیره اثر قابل ملاحظه ای روی کارایی سیستم دارد. قرارگیری مبدل در بالای تانک، آب با درجه حرارت بیشتر و حجم کمتری را برای مصرف آماده می کند و باعث می شود مصرف کننده آب با درجه حرارت متغیری را دریافت کند که با گذشت زمان افت دمایی زیادی دارد. قرارگیری مبدل در پایین، دمای آب بخش انتهایی تانک را بیشتر از دو حالت دیگر قرارگیری مبدل، بالا می برد و اختلاط داخل تانک را نیز افزایش می دهد که مطلوب نیست و کارایی را کاهش می دهد. قرارگیری مبدل در موقعیت وسط روی دیواره تانک، لایه بندی حرارتی بهتری را نسبت به حالتی که مبدل در بالا و پایین قرار داشته باشد، ایجاد می کند و حجم آب مناسبی را با دمای بالا در اختیار مصرف کننده قرار می دهد.

در عمل، روی دیواره داخلی تانک ذخیره یک آبگرمکن خورشیدی به علت